

5. 自然条件調査

5.1 地形測量

5.1.1 測量調査概要

(1) 調査概要

概略設計の基本図面の作成ならびに潮位・波浪解析の解析条件を得ることを目的として、測量調査を実施した。調査は MTHL プロジェクトの主要道路部（陸上部ならびに海上部）、IC 部（3 箇所）、ならびに計画道路・橋梁部以外に海上部の 2 測線を対象とした。

(2) 既往調査

プロジェクト主要道路（海上部）の深浅測量調査が 2013 年に以下の通り実施されている。

表 5.1.1 既往調査結果

報告書	時期	概要
Supplementary Geotechnical Investigations for the proposed Mumbai Trans Harbour Link (MMRDA)	2013 年 2 月	海上部計画道路線形 (KM4+200-KM14+900) x 200m

出典：JICA 調査団

(3) 測量調査

1) 基本条件

測量調査は表 5.1.2 に示す通り実施した。

表 5.1.2 測量調査基本情報

調査期間	深浅測量：2015 年 5 月 3 日～5 月 6 日 陸上部測量：2015 年 5 月 12 日～5 月 22 日
主要機材	深浅測量：マルチビーム測探機 陸上部測量：トータルステーション
測地系	WGS84 (UTM Conversion: Zone43)
調査水準	平均海面=+2.15m (海図基準面上)

出典：JICA 調査団

2) 調査項目と位置

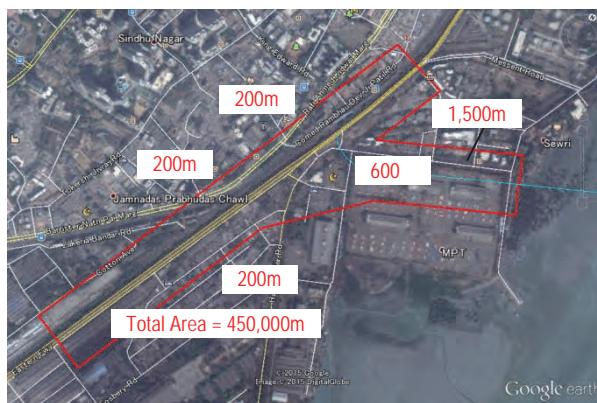
測量調査の項目ならびに数量を表 5.1.3 に示す。

表 5.1.3 調査項目ならびに数量

項目	単位	数量	備考
平面測量（陸上部）	m ²	3,190,000	<ul style="list-style-type: none"> セウリ IC : 450,000m² ナビ・ムンバイ側 : 1,100,000m² (5,500m x 200m) シバジ・ナガール IC : 600,000m² チルレ IC : 1,040,000m²
深淺測量	m ²	825,000	• 16,500m x 50m
縦断測量（陸上部）	M	6,500	<ul style="list-style-type: none"> ムンバイ側 : 1,000m ナビ・ムンバイ側 : 5,500m
横断測量（陸上部）	M	17,500	• 本線部 : 17,500m (350 line x 50m)
縦断測量（陸上部・交差道路）	M	3,400	<ul style="list-style-type: none"> イースタン・フリーウェイ : 1,500m シバジ・ナガール IC : 600m チルレ IC : 1,300m
横断測量（陸上部・交差道路）	m	8,500	<ul style="list-style-type: none"> イースタン・フリーウェイ : 3,750m (75 line x 50m) シバジ・ナガール IC : 1,500m (30 line x 50m) チルレ IC : 3,250m (65 line x 50m)
縦断測量（陸上部）	m	1,200	• 800m + 400m (2 line)、水理解析用
縦断測量（海上部）	m	16,540	• 8,380m + 8160m (2 line)、水理解析用

出典：JICA 調査団

IC 部の調査位置を図 5.1.1 に示す。



(a) セウリ IC



(c) チルレ IC



(b) シバジ・ナガール IC

出典：JICA 調査団

図 5.1.1 平面測量（IC 部）位置

深淺測量の調査測線は計画線形ならびに水理解析計画を考慮し、図 5.1.2 に示す通りとした。



出典：JICA 調査団

図 5.1.2 深淺測量調査位置

3) 現地調査写真

調査実施状況の写真を図 5.1.3 に示す。



測量状況（セウリ部）



深淺測量の調査船

出典：JICA 調査団

図 5.1.3 調査状況写真

5.1.2 調査結果

(1) 平面測量結果ならびに横断測量結果

平面測量ならびに横断測量結果は概略設計の基本図面として利用した。測量結果のうち、平面測量結果（終点部付近、ナビ・ムンバイ側）を図 5.1.4 に示す。

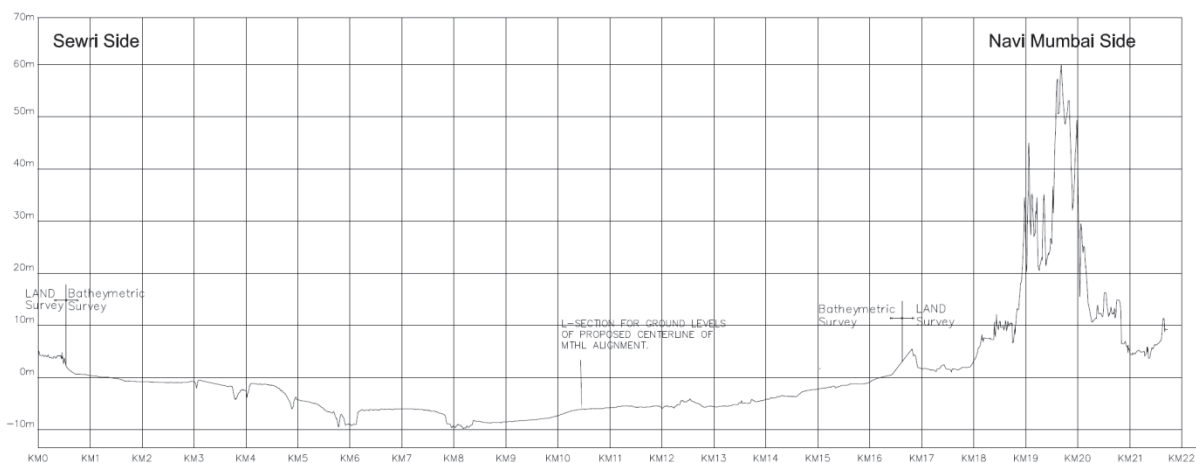


出典：JICA 調査団

図 5.1.4 平面測量結果（終点部付近、ナビ・ムンバイ側）

(2) MTHL 測線の縦断概要

縦断測量ならびに深浅測量結果から、MTHL の現況縦断図を作成し、概略設計図の基本図として使用した。作成した現況縦断図を図 5.1.5 に示す。本結果から分かるように計画路線はセウリ側で標高 5m 程度の平地に計画されており、ナビ・ムンバイ側では標高 5m～60m 程度にわたる起伏の激しい丘陵地帯を通過している。海上部は 4km 地点まで最大-3m 程度と浅い海域が連続し、終点側に最大約-10m 程度の深度の海域を通過した後、緩やかに海底面が上がっている。



出典：JICA 調査団

図 5.1.5 MTHL 現況縦断図

(3) 対象地域の地形概要

セウリ側（ムンバイ市半島側）は以前は分割された 7 つの島であったが、18 世紀に埋め立て工事が行われ、現在は標高 5m～20m 程度の低平な平地、低い丘陵地からなっている。ナビ・ムンバイ地区はデカントラップと呼ばれる地球上で最も広大な火成活動の痕跡の一端に属しており、50m～300m 程度の丘陵を織り成す地形が広がっている。計画道路の起点となるセウリ側（ムンバイ側）は埋立て地に位置していると推定され、先に示したように標高 5m 程度の低平な地形を通過する計画となっており、ナビ・ムンバイ側は最大約 60m の丘陵を通過する計画となっている。

5.2 地質調査

5.2.1 地質調査概要

(1) 目的

地質調査は MTHL プロジェクトの海上橋梁部の地質情報を得るため、以下に示す事項を目的として実施した。

- 1) 計画道路部（海上部）の地質条件、地層区分ならびにその性状を明らかにすること。
- 2) 橋梁部の地層条件ならびに解析に必要な定数を設定すること。

(2) 地質概要

ムンバイ周辺部は中生代白亜紀終わりから新生代第三紀初めにかけて、約 3 万年間の火成活動、火山の噴火によって噴出された溶岩流によって形成されたと推定されている広大な大地、デカントラップの一端に位置している。このデカントラップは何重もの種々の玄武岩層から構成されており、2,000m 以上の層厚と推定されている。玄武岩層の表層部は風化し部分的に固いシルト質粘土、赤土等が分布することもある。海底部、ムンバイ湾及び沿岸域には海成堆積物、粘性土が 2～20m の層厚で分布していると推定されている。

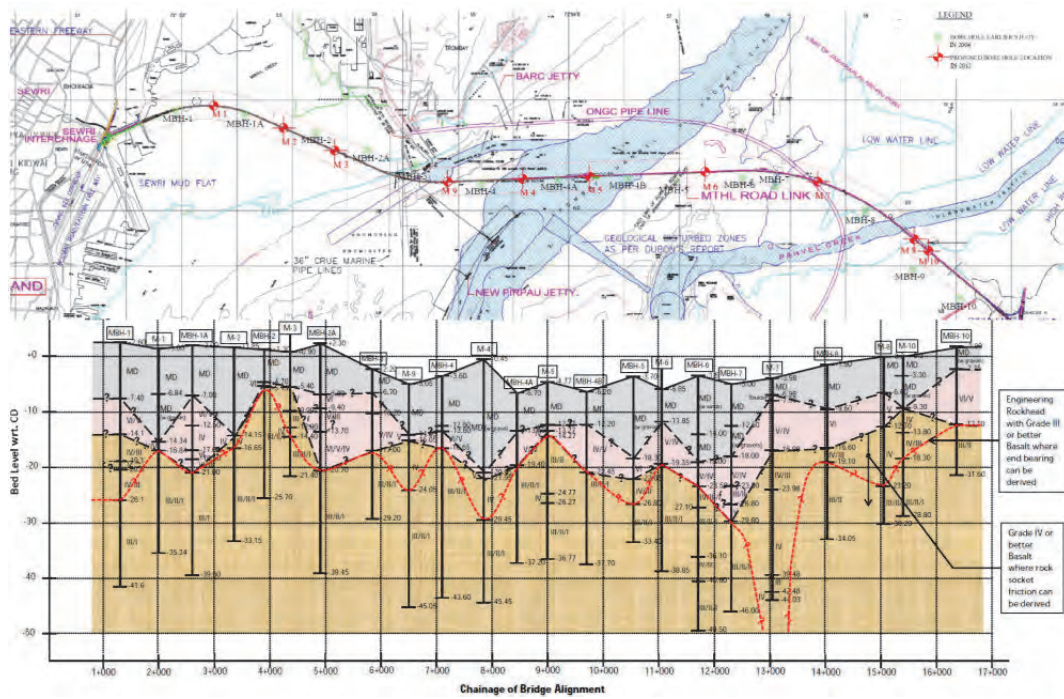
(3) 既往調査

近年実施された本プロジェクトに係る地質調査を表 5.2.1 に示す。ボーリング調査はこれまで 38 孔が実施され、2013 年の調査において図 5.2.1 に示す推定地質図が作成されている。本結果から玄武岩の上部に 10m 程度の厚さで風化玄武岩ならびに海成堆積物が堆積していることが分かる。

表 5.2.1 既往地質調査結果

報告書	調査機関	概要
Techno-Economic Feasibility Study, 2004	MSRDC	ボーリング調査 14 孔
Supplementary Geotechnical Investigations for the proposed Mumbai Trans Harbour Link (Sewri to Nhava), Feb, 2013 (以下、Supplementary Geotechnical Investigations, 2013 とする。)	MMRDA	海上ボーリング調査、10 孔 ボーリング調査（ナーバ側）、10 孔 ボーリング調査（セウリ側）、4 孔

出典：JICA 調査団



出典：Supplementary Geotechnical Investigations, 2013

図 5.2.1 推定地質図

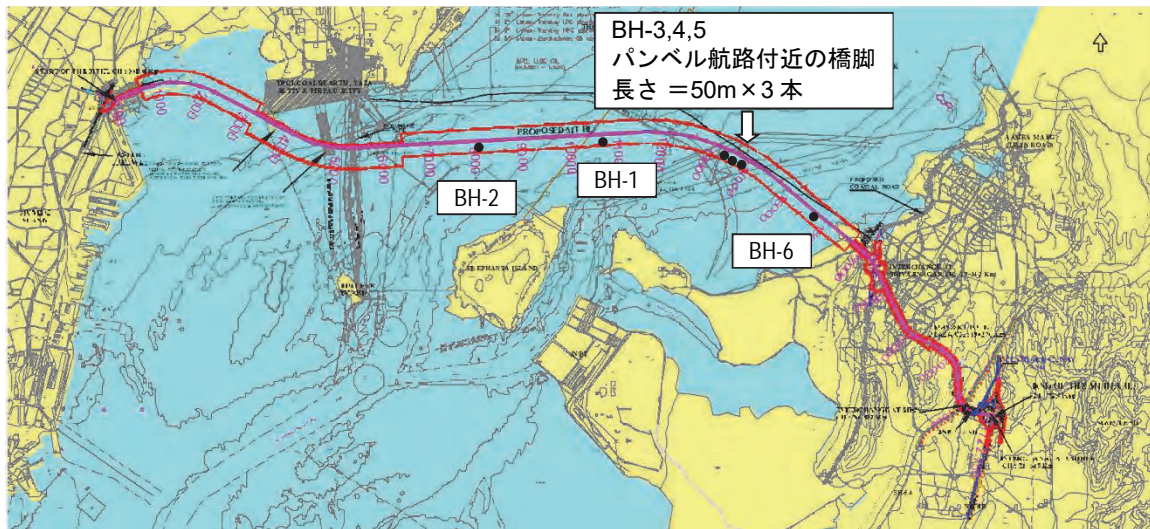
(4) 調査概要

ボーリング調査は既往調査結果の確認ならびに主要橋梁基礎の地質条件の確認を目的として調査位置を設定した。調査位置は表 5.2.2、図 5.2.2 に示す通りである。

表 5.2.2 ボーリング調査位置

No.	孔番	距離 (KM)	座標		深度 (m)	主目的
1	BH-1(2015)	10+500	E284389.00	N2101122.00	25.5	既往調査結果の確認
2	BH-2(2015)	8+000	E281555.00	N2100932.00	25.5	
3	BH-3(2015)	13+100	E286953.00	N2100893.00	25.5	Panvel 水路部近くの主要橋梁部地質確認
4	BH-4(2015)	12+990	E286846.00	N2100932.00	26.2	
5	BH-5(2015)	13+460	E287282.00	N2100749.00	22.2	既往調査結果の確認
6	BH-6(2015)	15+500	E288918.00	N2099540.00	22.2	
合計					147.1	

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 5.2.2 ボーリング調査位置

室内土質試験は地層の性状を把握する目的で実施した。調査項目と数量は表 5.2.3 に示す通りである。

表 5.2.3 室内土質試験

試験項目	単位	数量	基準
土粒子の密度	試料	31	インド基準または BS1377
含水比	試料	2	インド基準または BS1377
粒度	試料	47	インド基準または BS1377
液塑性限界	試料	27	インド基準または BS1377
一軸圧縮強度	試料	20	インド基準または BS1377
圧密	試料	2	インド基準または BS1377

出典：JICA 調査団

5.2.2 地質調査結果

(1) 調査結果

1) ボーリング調査結果

ボーリング調査結果は詳細を柱状図にとりまとめた。柱状図は巻末に添付する。

2) 地層状況

ボーリング調査で確認した地層を種別、深度ならびに概要をとりまとめ表 5.2.4 に示した。風化玄武岩 (Layer6) は全孔で確認されており、地層の上面は海底面から 10m~35m の深度となっており、本結果は既往調査結果と整合している。風化玄武岩・玄武岩層の写真を図 5.2.3 に示す。

表 5.2.4 地層状況

区分	番号	種別	厚さ	概要
海成堆積物	Layer1	粘土層 (軟弱)	0~10m	海底面化に分布する軟弱な粘性土層 N 値は 0~3 程度で非常に柔らかい。ところどころ泥質状となっている。
風化岩	Layer2	粘性土層 (中位~固い)	0~7m	風化岩層。ところどころに細砂を混入する粘性土 N 値は 15~40 程度を示し、中位~固い。
	Layer3	砂質土	0~7m	ところどころ礫分を含む密実な砂質土。13KM~16KM 付近で確認されている。N 値は 50 以上を示している。
	Layer4	砂礫 I	0~5m	密実な砂礫層、KM13+260 で確認されている。
岩	Layer5	風化玄武岩	2~25m	強風化、風化した玄武岩 RQD は 0~50 を示している。ところどころ風化が激しく礫化している。
	Layer6	玄武岩	-	弱風化した玄武岩。RQD は 50~100 を示している。

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 5.2.3 玄武岩・コア状況

3) 室内土質試験

土砂の物理試験結果を各土層ごとにまとめ、表 5.2.5 に示す。試験結果の詳細は巻末に添付する。本結果から、海底の堆積物は粘性土に区分される軟弱層以下、比較的固い粘性土層、砂質土層、砂礫層から構成されていることが分かる。

表 5.2.5 室内土質試験結果

番号	種別	厚さ	土質区分	物理試験結果概要
Layer1	粘土層 (軟弱)	0~10m	CH	土粒子の密度は平均 2.57 (g/cm ³) と概ね一般的な値を示す。粒度は深層部で部分的に砂分の混入が 40~50%程度と卓越する箇所が見られるが概ねシルト分が 50~60%、粘土分が 40%程度を示す。平均で液性限界が 59%、塑性限界が 29%を示している。圧縮指数 Cc は 0.85、間隙比 e ₀ は 1.7 を示し比較的高い圧縮性が伺える。
Layer2	粘性土層 (中位~固い)	0~7m	CH	土粒子の密度は平均 2.59 (g/cm ³) と概ね一般的な値を示す。粒度は平均で礫分が 7%、砂分が 10%、シルト分が 44%、粘土分が 39%程度となっている。平均で液性限界が 67%、塑性限界が 28%を示している。
Layer3	砂質土	0~7m	SM	土粒子の密度は平均 2.52 (g/cm ³) と概ね一般的な値を示す。粒度は平均で礫分が 5%、砂分が 80%、シルト分が 12%、粘土分が 8%程度となっている。
Layer4	砂礫	0~5m	GP	粒子の密度は平均 2.52 (g/cm ³) と概ね一般的な値を示す。粒度は平均で礫分が 48%、砂分が 35%、シルト分が 14.5%、粘土分が 5%程度となっている。
Layer5	風化玄武岩	2~25m	SP	粒子の密度は平均 2.51 (g/cm ³) と概ね一般的な値を示す。粒度は平均で礫分が 13%、砂分が 64%、シルト分が 13%、粘土分が 21%程度となっている。
Layer6	玄武岩	-	-	-

出典：JICA 調査団

Layer6 の玄武岩の岩石試験結果は 20 供試体で実施している。平均密度は 2.7g/cm³ となっており、一軸圧縮強度は 5.5~112Mpa、平均で 40MPa を示しており、構造物基礎の支持層の強度として十分な強度が確認されている。

5.2.3 推定地質断面図

MTHL の推定地質断面図を既往調査結果ならびに本調査結果を参考として作成した。作成した地質断面図を図 5.2.4 に示す。

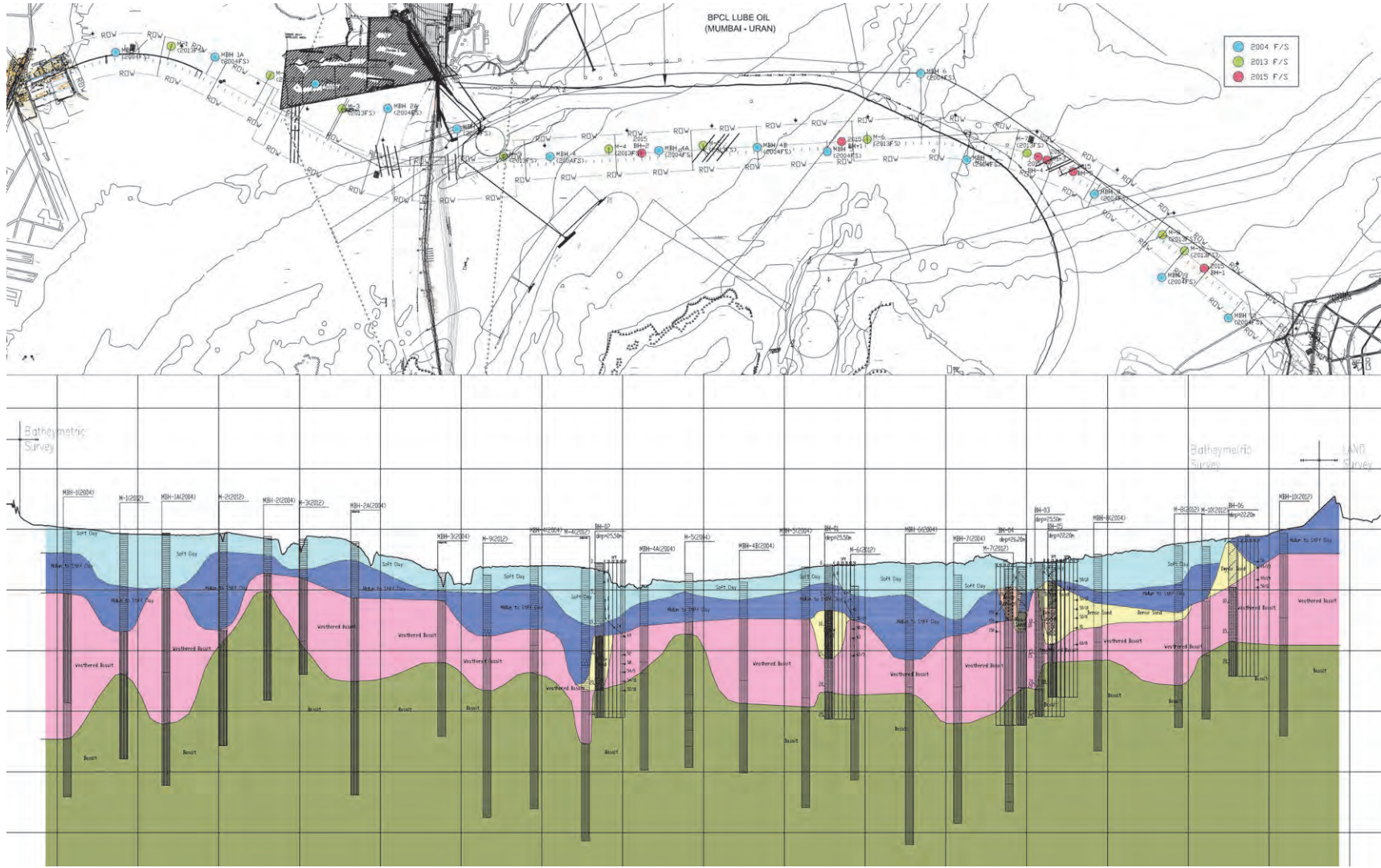


図 5.2.4

推定地質断面図

出典：JICA 調査団

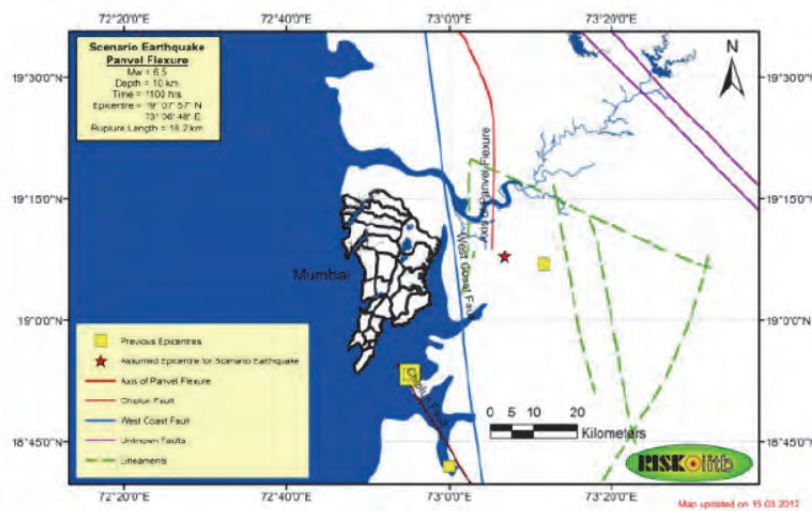
5.2.4 評価

玄武岩層は海底面から 10～35m の深度から分布している。本玄武岩層は安定しており、一軸圧縮強度が平均で 40MPa 程度と構造物基礎の良好な支持層として評価できる。上層部には海成の軟弱な粘性土が海底面化に 0～10m 程度の層厚で分布している区間があり、施工計画上の配慮が必要である。

玄武岩の上部にとりどころ密実な砂、砂礫層（N 値 50 以上）が確認されているため、杭基礎施工時の掘削においては補助工法の適用など、施工計画上の配慮が必要である。

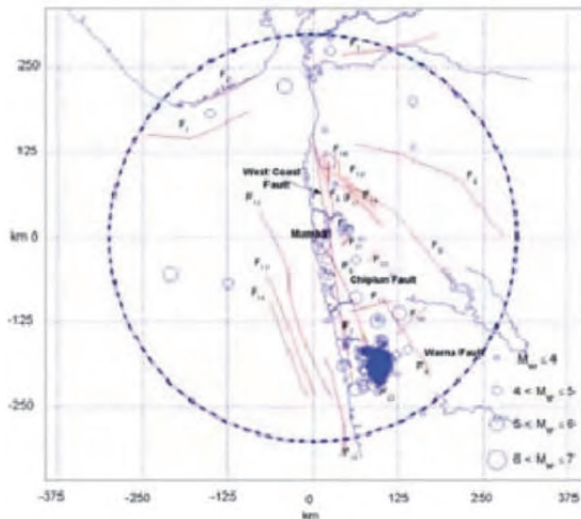
5.2.5 地震環境

既往調査においてプロジェクトサイトの断層の存在について言及されている。ムンバイ地区の断層の中では、西岸断層（West Coast Fault）が活断層として知られている（Nandy, 1995 and Dessai, 1995）。周辺地区の断層の位置図を図 5.2.5 に示すが、断層の位置は MTHL の橋梁区間からは外れている。一方で他の断層が活断層かどうかは明確な状況ではない。なお、既往文献によるとムンバイ近郊では図 5.2.6、表 5.2.6 に示す地震が記録されており、改正メルカリ震度（MMI）VI～IX（加速度 44-432gal）の数例の地震が過去 400 年に記録されている。また、図 5.2.6 に示される円はムンバイから概ね 300km の範囲を示しているが、過去 400 年の記録ではマグニチュード 7 を超える地震の発生が無いことが分かる。Criteria For Earthquake Resistant Design of Structures (IS.1893-2002) によるとムンバイは Zone III（地震の発生確率が中程度）とされている。以上より、当該地の地震の発生規模・頻度は中程度と評価される。



出典：Geological Survey of India、2000

図 5.2.5 インド西岸部・ムンバイ近郊の断層図



出典： Seismic Hazard for Mumbai City, CURRENT SCIENCE, 1494 VOL. 91, NO. 11, 10 DECEMBER 2006

図 5.2.6 ムンバイ地区の歴史的地震

表 5.2.6 ムンバイ地区の歴史的地震

Year	Month	Intensity (MMI) / Magnitude (R)
1594	--	IV
1618	May	IX**
1678	--	IV
1832	October	VI
1854	December	IV
1865	December	IV
1877	December	IV
1896	April	III
1906	March	VI
1910	September	III
1924	January	IV
1928	November	III
1929	February	V
1933	July	V
1935	September	III
1937	January	III
1941	May	IV
1951	April	VIII
1961	January	III
1963	March	IV
1964	November	III
1965	July	III
1965	December	IV
1966	May	V
1967	April	4.5
1967	June	4.2
1998	May	3.6

*Source: Compiled from catalogues of IMD, NGRI, EPRI and MERI.

**There is some uncertainty about this damage being caused due to an earthquake.

出典： A postulated earth quake damage scenario For Mumbai, ISET Journal, 1999

5.3 気象、水文調査

5.3.1 概要

ムンバイは、アラビア海の西海外に位置し、ケッペン-ガイガーの気候区分により「Aw：熱帯乾湿あるいはサバンナ気候」に分類される。Awの気候は、最も乾燥した月の降雨量が60mm未満で、年間総降雨量の1/25未満の降雨量を有し、顕著な乾季をもつ。夏季と冬季の気候は、南西／北東の季節風に支配され、秋季と春季は実質的には区別できない。ムンバイは、6月から9月まで南西モンスーンの直接の影響下にあり、その時期の降雨量は非常に大きく、年間降水量の93%以上もの降雨が6月から9月に発生する。11月から3月は北東モンスーンの期間であり、時折、強風がこの北東モンスーンの時期に起こるが、降水量はごく僅かである。

ムンバイ湾に流入する河川を、表 5.3.1 と図 5.3.1 に示す。それらは、インドの河川の中では比較的小さな流域をもつ河川として位置づけられているが、MTHLの上流の河川区域でさえ1,358haもの流域をもつ。対象区域の河川の上流は急峻であり、アラビア海に流入する50-100km手前で0-150mの海岸平野を横過する。

表 5.3.1 ムンバイ湾に流入する河川

No.	River Name	Tributary Name	Watershed ID	Drainage Area (km ²)	No. of Dams	No. of Barrages/Weirs /Annicuts	Remarks (CWC Hydrometric Observation Site)
1	Panvel	Kasadi, Kalundre, etc.	B14BHT36	425.9	1	0	
2	Thane	Thane	B14BHT37	932.3	2	0	
3	Patalganga	Patalganga	B14BHT38	575.4	6	0	
4	Amba	Amba	B14BHT39	698.4	5	0	2 Sta. (Pali -310 km ² , Nagathone -420km ²)
5	Amba	Amba	B14BHT40	727.3	6	0	1 Sta. (Pen -125 km ²)
Total areas of 1+2 basins				1,358.1	3	0	Upstream of MTHL
Total areas of 1+2+3+4+5 basins				3,359.2	20	0	Inflow Area into Mumbai Bay

出典：Water Resources Information System of India（以下、India-WRIS とする。）
Central Water Commission（以下、CWC とする。）



出典：India-WRIS、CWC

図 5.3.1 ムンバイ湾に流入する河川

5.3.2 気象と水文に関するデータ収集項目

潮流と潮位の状況を把握するには、対象区域周辺の湾や関連河川の水文・水理に関する収集可能なデータや条件を収集し、明らかにすることが必要である。ムンバイの気象と水文に関するデータについては、気象データは India Meteorological Department（以下、IMD とする。） 、潮位、潮流、高潮や海底地形などの海洋水文データや港湾情報／データは MMB、MbPT、Survey of India（以下、SOI とする。） と CWPRS により管理運営されている。また、河川水文データは、CWC により管理されている。

データ収集項目を表 5.3.2 に示し、データ収集を行う観測所の位置図を図 5.3.2 に示す。

表 5.3.2 データ収集項目

Survey Items	Related Organization	Remarks
Meteorological Survey		
Information of Meteorological Stations, Temperature, Relative Humidity, Wind Speed&Directions, Evaporation, Sunshine Hours, Rainfall, etc.	Mumbai- IMD of MES	
Hydrological and Port information Survey		
Data collection of related rivers		
Information of Hydrological Stations, Annual Maximum Discharge, Annual Maximum Water Level, Daily Discharge, etc.	CWC of MWR, SOI of MST	
Catchment Basin Information, Morphology, etc.		
Data collection of the Mumbai Bay		
Tidal Condition (Chart datum, etc.), Astronomical Tide at Certain years, Strom Surge Situations, etc.	MMB, MbPT of the Maharashtra State, SOI of MST, CWPRS of MWS	
Nautical Chart for Port of Mumbai, Other Bathymetric Survey Information, Grain Size distribution results of Bed Materials, etc.		
Navigation Channel and Port information		
Navigation Channel (Tidal creek) information / requirement		
List of Vessels(ships)	MMB, MbPT of the Maharashtra State	
Facilities, Trade and Traffic volume (past/future) information of Port		
Bibliographical Survey		

Abbreviation: IMD (India Meteorological Department) of MES (Ministry of Earth Sciences),
CWC (Central Water Commission) of MWR (Ministry of Water Resources) ,
CWPRS (Central Water and Power Research Station) of MWR
MMB (Maharashtra Maritime Board), MbPT (Mumbai Port Trust) of Maharashtra State Government
SOI (Survey of India) of MST (Ministry of Science and Technology)
MSRDC (Maharashtra State Road Development Corporation Ltd.)



出典：JICA 調査団

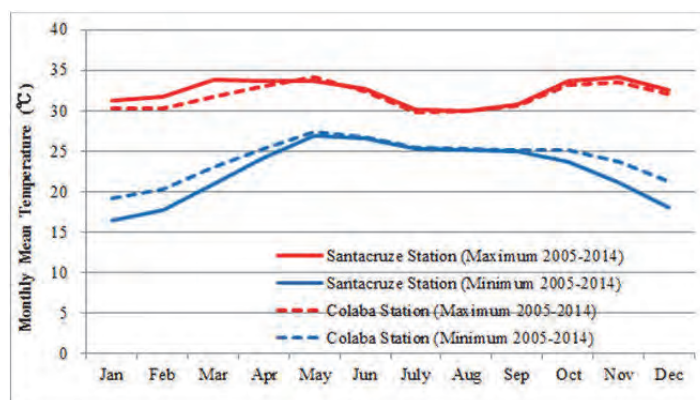
図 5.3.2 データ収集の観測所の位置図

5.3.3 ムンバイ近郊の気象の概況

(1) 一般気象

1) 気温

冬季に最低気温が 17℃に落ちる場合があるが、冬季を除き、平均日最高気温は 30-34℃の範囲にある。既往最高気温は、2011年3月にコラバ観測所で記録した 40.6℃である。図 5.3.3 に示すように、気温の高い月は3月から6月および10月から11月である。

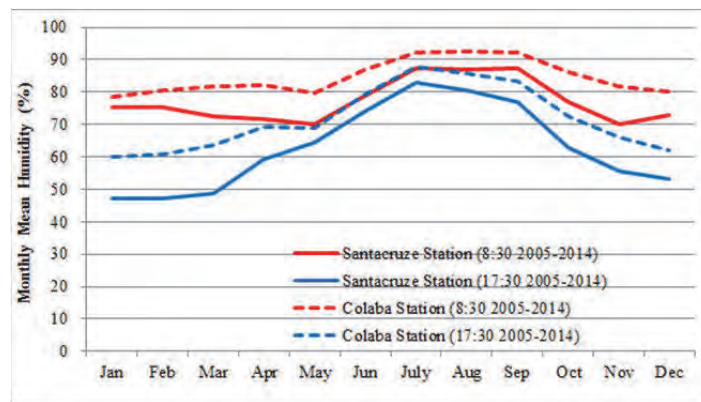


出典：IMD を基に JICA 調査団作成

図 5.3.3 平均月間最高および最低気温

2) 湿度

相対湿度は、朝に高く夕方に低く、南西モンスーンの時期に 63 %から 93 %の範囲で変動する。冬季（11月-1月）の間、相対湿度は 47 %から 82 %の範囲にある。



出典：IMD を基に JICA 調査団作成

図 5.3.4 8:30 と 17:30 の平均月間相対湿度

3) 風速および風向

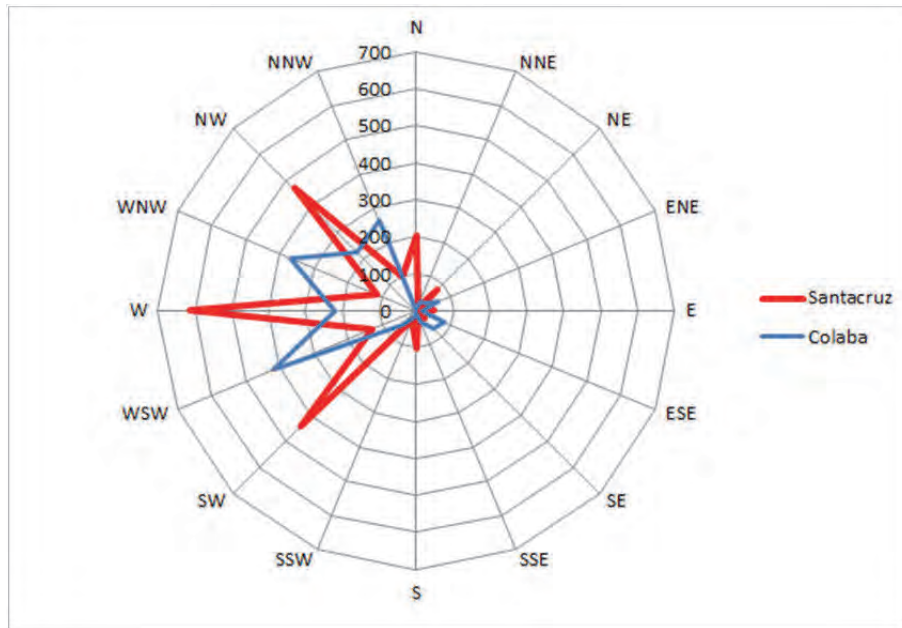
2005 年から 2014 年までの毎月の最大風速と風配図を表 5.3.3 と図 5.3.5 に示す。この図から、毎年の風向が南西から北西によって支配されることが分かる。過去の最大風速は、2014 年にサンタクルズ観測所で 48.5 m/s、2014 年のコラバでは 54.0 m/s が記録されている。

一方、橋梁の上部工設計に用いられる設計風速は、IS-875（インド規格）より、ムンバイ地域（ゾーン 5）では 44 m/s と規定されている。ある文献の統計解析結果によれば、この設計用の基本風速は安全側の値であり、50 年確率以上の値として予測されている。（表 5.3.4 参照。）

表 5.3.3 月間最大風速（2005-2014）

Monthly Maximum Wind Speed (m/s) at Santacruz Station												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2005	2.6	1.3	1.1	1.3	1.1	2.6	2.0	2.4	1.8	1.1	1.1	0.8
2006	1.0	1.0	1.3	1.6	1.2	1.3	1.9	1.3	1.3	1.0	0.8	0.8
2007	1.0	48.5	1.4	1.4	1.4	1.8	18.1	18.1	36.1	12.0	0.8	0.8
2008	36.1	2.0	4.9	42.1	42.0	2.0	1.6	1.8	42.1	1.0	3.5	0.7
2009	1.0	1.1	1.3	1.3	1.1	2.0	1.8	1.4	1.0	0.8	1.1	0.8
2010	1.3	1.6	1.3	1.1	1.8	18.0	1.6	18.2	1.3	2.4	1.4	1.1
2011	1.0	1.6	1.0	1.1	1.3	1.4	1.1	16.0	2.0	1.3	1.1	1.1
2012	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.7	1.4	1.4	1.8	1.1	0.8	1.0
2013	1.1	1.6	1.6	1.3	1.3	18.1	1.6	1.6	1.6	1.3	0.0	0.7
2014	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	6.2						
Monthly Maximum Wind Speed (m/s) at Colaba Station												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2005	0.8	1.0	0.8	0.8	0.7	1.1	2.0	1.4	1.6	0.7	0.8	0.7
2006	1.1	0.7	1.1	1.7	0.8	1.8	2.8	2.2	1.1	0.7	0.7	0.5
2007	0.7	0.6	1.7	0.8	0.7	2.4	1.1	1.8	1.7	0.6	0.5	0.6
2008	0.6	0.7	0.7	0.7	30.0	1.3	1.0	13.7	0.8	0.5	0.5	0.5
2009	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	7.3	4.9	2.4	1.0	1.0	2.4
2010	0.8	1.8	0.8	1.4	2.4	1.0	1.8	2.6	0.7	0.8	0.8	3.6
2011	1.2	0.8	2.6	6.4	0.7	0.8	5.0	1.1	2.4	1.1	0.6	0.6
2012	1.3	1.2	1.8	0.8	0.8	1.1	1.1	24.0	14.3	0.7	0.6	0.6
2013	0.6	0.6	1.2	0.8	0.7	0.0	1.1	1.3	42.0	0.7	0.7	0.7
2014	0.7	0.7	0.7	54.0	0.8	30.1	8.5	30.1	3.6	12.0	0.5	36.0

出典：IMD を基に JICA 調査団作成



出典：IMD を基に JICA 調査団作成

図 5.3.5 風配図（風向別の累積風速）、2005-2014

表 5.3.4 全年間最大風速記録を用いたグンベル分布での設計風速の予測

Station ID	Wind Zone of IS:875	Basic Wind Speed of IS:875 V_b (m/s)	Revised basic wind speed V_{br} (m/s)	Wind Speed with T= 50 yrs	Percentage difference ID:875	Remarks
Bombay/Colaba	3	44	33	28	-26%	
Bombay/Santacruz	3	44	40	35	-8%	

Note. In the calculation of the literature, it is used annual maximum values over the threshold.

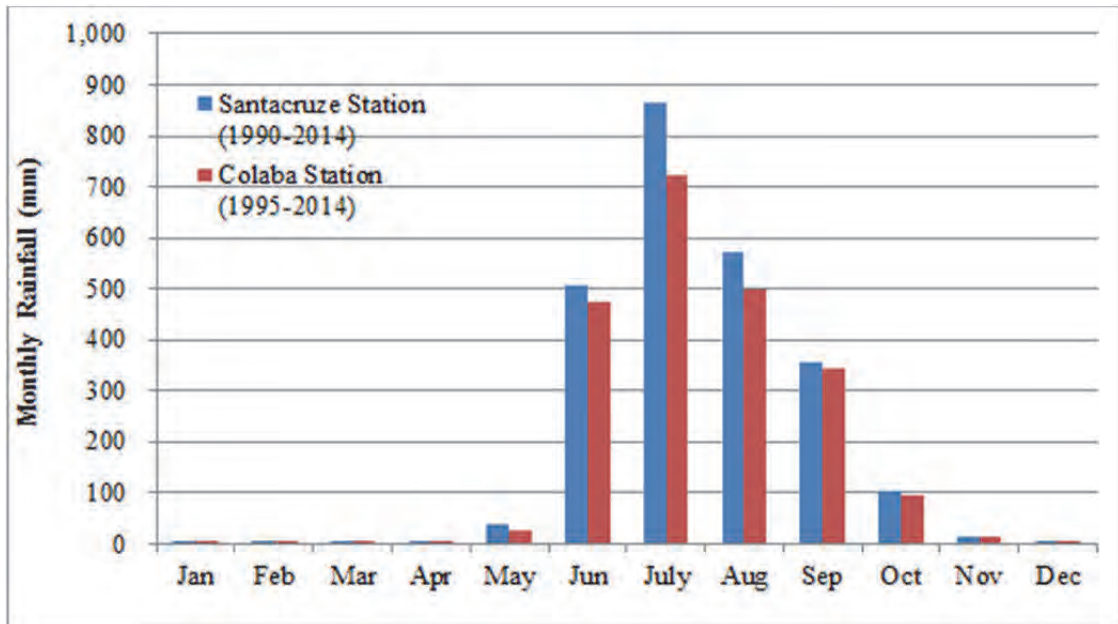
出典：「インドの長期間の毎時風速データと基本風速マップ」、N. Lakshmanan（構造工学研究センター）、最新の科学（インド）、Vol. 96、No. 7、2009年4月

(2) 降水量

1) 年間降水量および季節／長期変動

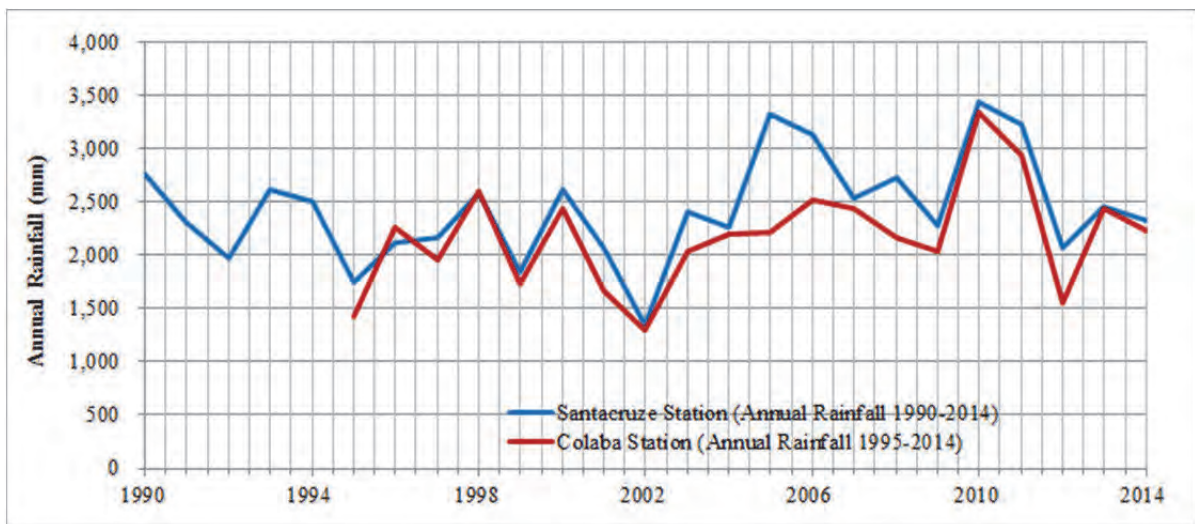
年間降水量の殆どは、6月から9月の南西モンスーンの間には発生する。図 5.3.6 は、ムンバイのコラバとサンタクルズ観測所で 1990（1995）から 2014 年に計測された月間平均降水量を示す。また、その年間降水量の変動を図 5.3.7 に示している。これらの観測データや過去の文献より、以下の事が推測される。

- 平均年間降水量は、コラバ観測所で 2,181 mm、サンタクルズで 2,455 mm である。
- 南西モンスーンの期間中の平均月間降水量は 500 mm 以上ある。
- 最高降水量は、通常 7 月の月に発生し、8 月が続く。
- 文献によれば、年間雨天日数は 91 日あり、30 mm を超える降雨日の平均は 20 日／年である。



出典：IMD を基に JICA 調査団作成

図 5.3.6 平均月間降水量



出典：IMD を基に JICA 調査団作成

図 5.3.7 年間降水量の変動

表 5.3.5 サンタクルズとコラバ観測所での月間降水量

Monthly Rainfall	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Santacruz 1990-2014													
1990	0.0	2.8	2.9	0.0	133.4	740.5	339.0	888.0	564.8	95.1	Trace	Trace	2,766.5
1991	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	905.8	1,045.7	285.4	58.7	Trace	Trace	7.3	2,303.9
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	Trace	129.8	603.6	863.2	339.6	38.9	0.0	0.0	1,975.1
1993	0.0	0.0	0.0	0.0	Trace	373.5	810.6	396.0	904.6	130.1	Trace	0.3	2,615.1
1994	17.8	Trace	0.0	2.0	5.8	553.1	953.6	504.9	386.5	79.7	0.5	0.0	2,503.9
1995	1.5	Trace	Trace	0.0	Trace	82.2	661.5	419.4	527.5	61.2	Trace	0.0	1,753.3
1996	0.7	0.0	0.0	0.0	Trace	219.3	996.9	377.2	283.8	237.0	0.8	Trace	2,115.7
1997	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	515.2	504.1	743.3	324.3	0.0	61.1	21.8	2,171.5
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	540.7	520.9	587.7	540.4	376.6	22.7	Trace	2,589.3
1999	Trace	Trace	0.0	0.0	61.4	521.3	497.3	173.1	371.8	222.0	0.0	0.0	1,846.9
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	387.8	364.8	1,229.8	496.1	79.0	58.0	0.0	5.9	2,621.4
2001	2.0	Trace	0.0	1.1	22.9	634.5	747.1	493.2	118.0	56.5	Trace	0.0	2,075.3
2002	0.0	0.0	0.2	0.0	1.0	455.9	102.8	669.0	116.9	Trace	0.7	0.2	1,346.7
2003	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	783.1	892.0	434.9	284.4	12.1	Trace	0.0	2,411.5
2004	Trace	0.0	0.0	0.0	69.7	253.6	818.6	938.2	155.9	21.9	0.5	0.0	2,258.4
2005	0.3	0.0	0.2	Trace	0.3	563.5	1,454.5	527.1	744.1	32.2	0.0	0.0	3,322.2
2006	0.0	0.0	13.1	0.0	45.0	481.1	1,061.4	951.5	336.3	238.6	4.2	0.0	3,131.2
2007	Trace	0.3	Trace	0.0	0.0	749.8	737.1	605.0	437.3	0.0	5.4	0.0	2,534.9
2008	0.0	Trace	0.0	0.0	1.0	800.5	950.2	627.0	327.9	17.3	0.1	Trace	2,724.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	216.4	1,142.2	290.3	322.2	223.3	77.5	Trace	2,272.2
2010	0.0	Trace	0.0	0.7	0.0	712.1	1,250.4	1,036.5	328.9	64.0	47.2	0.0	3,439.8
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	Trace	661.7	1,312.9	855.2	274.7	120.1	0.0	0.0	3,224.6
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	298.5	627.9	377.1	563.9	198.5	0.0	0.0	2,065.9
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	Trace	1,029.8	891.1	256.3	191.3	85.7	0.0	0.0	2,454.2
2014	Trace	0.0	0.0	0.0	0.0	87.3	1,468.5	458.0	285.8	23.4	5.8	1.5	2,330.3
25 yrs Average	1.1	0.4	0.7	0.2	38.4	507.0	864.8	570.1	354.7	104.0	11.9	1.9	2,455.3
	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%	20.6%	35.2%	23.2%	14.4%	4.2%	0.5%	0.1%	100.0%
Colaba 1995-2014													
1995	0.8	0.0	0.0	0.0	Trace	101.4	499.1	261.6	436.0	133.1	Trace	0.0	1,432.0
1996	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	272.2	1,009.3	456.1	429.5	94.3	2.1	0.0	2,266.7
1997	1.7	0.0	0.0	0.5	0.0	572.9	476.5	490.3	349.9	0.0	5.8	63.4	1,961.0
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	Trace	510.3	613.7	755.6	292.2	415.4	6.8	Trace	2,594.0
1999	0.0	0.2	0.0	0.0	87.9	538.3	467.6	177.5	357.6	95.3	0.0	0.0	1,724.4
2000	0.0	0.0	0.0	Trace	188.3	352.0	1,130.1	635.3	122.1	6.5	0.0	10.8	2,445.1
2001	0.7	0.0	0.0	1.1	22.4	568.4	534.5	370.2	83.0	78.3	0.0	0.0	1,658.6
2002	0.0	0.0	14.8	0.0	1.9	436.8	103.5	604.9	130.6	0.7	0.0	0.4	1,293.6
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	Trace	679.8	763.6	309.9	278.1	0.0	0.0	0.0	2,031.4
2004	Trace		0.0	0.0	0.0	30.1	310.1	806.1	786.9	189.6	69.3	4.5	2,196.6
2005	0.8	Trace	Trace	Trace	0.0	560.0	645.0	398.1	593.3	20.4	0.0	Trace	2,217.6
2006	0.0	0.0	7.3	0.0	128.0	430.6	937.5	578.6	184.0	246.0	8.2	0.0	2,520.2
2007	Trace	4.2	0.0	0.0	0.7	803.3	524.8	687.4	420.5	0.0	2.4	0.0	2,443.3
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	735.5	689.6	370.6	348.1	13.4	3.1	0.3	2,160.6
2009	0.0	0.0	Trace	0.0	2.3	265.9	771.3	204.5	519.8	158.3	120.2	Trace	2,042.3
2010	Trace	Trace	0.0	0.3	0.0	947.4	1,099.0	849.8	272.9	122.4	55.7	0.0	3,347.5
2011	0.0	0.1	0.0	0.0	0.7	461.2	1,284.2	798.8	334.4	65.6	0.0	0.0	2,945.0
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	177.1	393.0	520.2	340.0	127.5	0.0	0.0	1,557.8
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	954.7	874.5	234.8	307.2	66.1	6.4	0.5	2,444.2
2014	0.9	7.8	0.0	0.0	0.0	55.0	1,356.9	432.4	291.7	46.2	4.2	30.0	2,225.1
20 yrs Average	0.5	0.7	1.2	0.1	25.4	472.6	724.2	497.1	343.9	94.0	15.0	6.5	2,181.2
	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	1.2%	21.7%	33.2%	22.8%	15.8%	4.3%	0.7%	0.3%	100.0%

注) 「Trace」の値は、計測不可能な微量の雨量を意味する。

出典：IMDを基に JICA 調査団作成

2) 降雨の超過確率

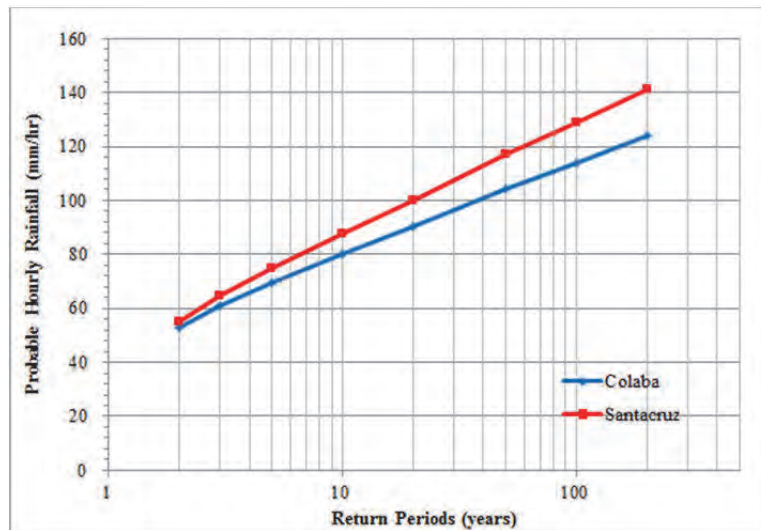
降雨パターン分析は、2012年インド工科大学により実施されている。1時間および24時間の超過確率降雨量を表5.3.6に示す。

現時点では、ムンバイの路面排水は、2年確率で、50 mm/hrの降雨強度にて設計されている。しかし、上記表の値は、50 mm/hrより高く、また、2005年7月26日の降雨により、時間当たりの最大降雨強度は190.3 mm/hrが記録されている。

表 5.3.6 各確率年の降雨量

Return Period (years)		Colaba (mm/hr)		Santacruz (mm/hr)		Remarks
(year)	(%)	1 hour (mm/hour)	24 hour (mm/day)	1 hour (mm/hour)	24 hour (mm/day)	
2	50%	53.1	177	55.2	204	
3	33.3%	60.8	208	64.5	240	
5	20%	69.4	242	74.9	280	
10	10%	80.1	286	87.9	330	
20	5%	90.5	327	100	378	
50	2%	104	281	117	440	
100	1%	114	421	129	486	
200	0.5%	124	461	141	533	

出典：「インド・ムンバイ市の降雨パターンの空間—時間的変動の研究」、環境研究開発ジャーナル、Vol.6 No.3、2012年1-3月



出典：「インド・ムンバイ市の降雨パターンの空間—時間的変動の研究」、環境研究開発ジャーナル、Vol.6 No.3、2012年1-3月

図 5.3.8 確率時間雨量

5.3.4 ムンバイ近郊の水文の概況

(1) ムンバイ湾に流入する河川の特性

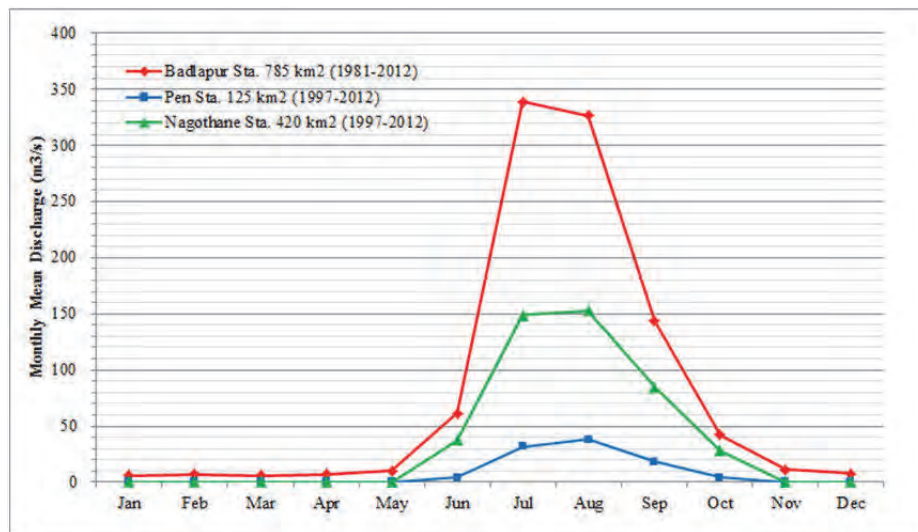
MTHL の上流に位置する河川には水位観測所はない。よって、以下の 3 つの水位観測所の水文データを収集した。(Pen と Nagothane 観測所の雨水がムンバイ湾に流入するが、Badlapur 観測所は、ムンバイ湾流域外の Ulhas 川流域に位置する。)

表 5.3.7 と図 5.3.9 は、3 観測所での過去の観測記録の月平均流出量を示している。最大流出量の多くは、降雨の季節傾向と同様、6月から9月に発生することを示している。

表 5.3.7 水位観測所での月間平均流出量

Station Name	Catchment Area (km ²)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Mean Discharge (m ³ /s)
		Monthly Mean Discharge (m ³ /s)												
Badlapur	785	6.0	7.3	6.3	7.4	10.3	61.2	339.1	326.5	143.5	42.2	11.0	7.9	1,754
Pen	125	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	31.8	37.9	18.5	4.2	0.5	0.0	222
Nagothane	420	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.5	148.7	153.2	84.5	28.2	0.2	0.0	872
		Monthly Mean Discharge per Catchment Area (m ³ /s/km ²)												
Badlapur		0.0077	0.0093	0.0081	0.0094	0.0131	0.0780	0.4320	0.4160	0.1828	0.0537	0.0140	0.0101	2.2342
Pen		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0326	0.2542	0.3030	0.1482	0.0335	0.0037	0.0002	1.7753
Nagothane		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0892	0.3541	0.3648	0.2011	0.0671	0.0005	0.0000	2.0768

出典：CWC を基に JICA 調査団作成



出典：CWC を基に JICA 調査団作成

図 5.3.9 水位観測所での月間平均流出量

表 5.3.8 に示すように、MTHL より上流流域の確率年毎の最大流出量が、3 観測所の過去の年間最大流出量データから計算される。ムンバイ湾に流れ込む流出量は、湾内の潮汐運動に支配的な影響を与えない。それでも、例えば、100 年確率の最大流出量は 7,340 m³/s と推定される。

表 5.3.8 水位観測所での確率年別最大流出量

Station Name		Badlapur	Pen	Nagothane	Remarks	
Catchment Area (km ²)		785	125	420		
Data No.		32	16	16		
Records of Annual Maximum Discharge (m ³ /s)	1981	1557				
	1982	1785				
	1983	2600				
	1984	1631				
	1985	1517				
	1986	3427				
	1987	1503				
	1988	4440				
	1989	1603				
	1990	2707				
	1991	1989				
	1992	2667				
	1993	1500				
	1994	3542				
	1995	1500				
	1996	2372				
	1997	3075	366	1727		
	1998	1978	285	750		
	1999	1240	344	1100		
	2000	2450	212	508		
	2001	1103	223	370		
	2002	3635	242	687		
	2003	2645	89	640		
	2004	3615	281	574		
2005	4483	732	1290			
2006	2856	204	910			
2007	1575	118	1021			
2008	2209	222	1588			
2009	2597	87	1063			
2010	1708	229	853			
2011	1956	263	768			
2012	1701	147	1008			
Mean Value		(mm/day) 2348.9	252.8	928.5		
Std. Deviation		σ_{n-1}	907.399	151.202	372.830	
Annual Maximum Discharge each Return Period (m ³ /s)	1.1	K _T	-1.132	1,322	82	506
	2		-0.164	2,200	228	867
	5		0.719	3,002	362	1,197
	10		1.305	3,533	450	1,415
	20		1.866	4,042	535	1,624
	25		2.044	4,204	562	1,690
	50		2.592	4,701	645	1,895
	100		3.137	5,195	727	2,098
	200		3.679	5,687	809	2,300
500	4.395	6,337	917	2,567		
Catchment Area of Upstream of MTHL			1,358	km ²	Average Inflow to MTHL location of Mumbai Bay.	
Annual Maximum Unit Discharge each Return Period (m ³ /sec/km ²)	1.1	(1.6838)	0.6528	1.2059	0.9293 * 1358 km2 = 1262m3/s	
	2	(2.8024)	1.8233	2.0649	1.9441 * 1358 km2 = 2640m3/s	
	5	(3.8239)	2.8923	2.8493	2.8708 * 1358 km2 = 3899m3/s	
	10	(4.5003)	3.6000	3.3687	3.4844 * 1358 km2 = 4732m3/s	
	20	(5.1490)	4.2789	3.8670	4.0729 * 1358 km2 = 5532m3/s	
	25	(5.3548)	4.4943	4.0250	4.2596 * 1358 km2 = 5785m3/s	
	50	(5.9888)	5.1577	4.5118	4.8348 * 1358 km2 = 6566m3/s	
	100	(6.6180)	5.8162	4.9951	5.4056 * 1358 km2 = 7342m3/s	
	200	(7.2450)	6.4723	5.4766	5.9744 * 1358 km2 = 8114m3/s	
500	(8.0722)	7.3379	6.1118	6.7249 * 1358 km2 = 9133m3/s		

Note. The probable discharge per drainage area is estimated by average value between Pen and Nagothane stations.

出典：CWC の水文データより JICA 調査団にて解析

(2) ムンバイ湾周辺の潮位と潮流等

1) 各統計潮位

ムンバイ港の支配的な潮位は、12 時間 40 分の周期をもつ半日潮である。ムンバイ港の潮汐チャートを表 5.3.9 に示す。（ムンバイ地域の陸上測量の地盤高は、通常、SOI のインドの測量基準面の規則より、ムンバイ港の平均海面をゼロとして表示される。）潮汐チャートから、平均の大潮と小潮の変化（干満差）は 3.66 m および 1.44 m として観測されている。また、既往最高と最低潮位の差は 5.85 m で、サイクロン等の高潮の影響を含む既往最高高潮位は、CD 上 5.39 m である。

Final Feasibility Study Report, 2012 に基づき、設計最高高潮位は、CWPRS の助言より CD 上 5.60 m とする。

表 5.3.9 ムンバイ港の各統計潮位

潮位	海図基準面からの高さ (+) (-)	インド測量基準面の平均海面からの高さ (+) (-)
設計最高高潮位 (HHTL)	+ 5.60 m	+ 3.09 m
既往最高高潮位	+ 5.39 m	+ 2.88 m
大潮平均高潮位 (MHWS)	+ 4.42 m	+ 1.91 m
小潮平均高潮位 (MHWN)	+ 3.30 m	+ 0.79 m
最高低潮位	+ 2.74 m	+ 0.23 m
平均海面 (MSL)	+ 2.51 m	+ 0.00 m
最低高潮位	+ 2.48 m	- 0.03 m
小潮平均低潮位 (MLWN)	+ 1.86 m	- 0.65 m
大潮平均低潮位 (MLWS)	+ 0.76 m	- 1.75 m
海図基準面 (CDL)	+ 0.00 m	- 2.51 m
既往最低低潮位	- 0.46 m	- 2.97 m

出典：MbPT を基に JICA 調査団作成

2) サイクロン

サイクロンは、5 月／6 月か 10 月／11 月の期間に発生する事がある。ムンバイ沖で発生した最近の大型サイクロンは、1996 年 6 月に通過し、これ以前のサイクロンは 1992 年と 1982 年に発生している。

3) 潮流

ムンバイ湾内の潮流は、本質的には、潮汐により引き起こされており、モンスーン等によってあまり影響も受けない。潮の流れは不定流であり、潮流の大きさと方向は、場所、時間および水深に関連して変化する。2004 年 6 月に行われた過去の観測結果の分析によれば、MTHL の計画路線沿いで、最大 0.77 m/s の流速を観測している。また、海図上での最大流速は、上げ潮／引き潮の時に、3 ノット (1.54 m/s) / 2 ノット (1.03 m/s) と記述されている。さらに、引き潮で雨天時に入り江からの大きな流出量が重なる時には、4 ノット (2.06 m/s) の潮流を引き起こすことが報告されている。

4) 波浪

卓越波浪は深海のうねりによって生じるうねり波である。

波の卓越波向は、6月-9月の間、南西からの向きである。波高は、低気圧通過期間に遥かに高くなることがあるが、これらの波は、主に、モンスーン直前とその期間中に発生し、通常の状態では最大1.5mに達する波高を持ち、波の周期は6秒から10秒である。

北東モンスーンの期間中、「Elephantas」として知られる北東風が10月から11月の間の短期間に吹く。これらの風の吹送距離と時間は限定的で、それによって引起される「波高」は3秒から5秒の範囲の周期で1mを超える事はない。

5) 堆砂

ムンバイ湾が堆砂しやすい事は周知の事実である。滞砂現象が憂慮すべき状況ではないが、かなり実在化しており、無視することはできない。滞砂の問題は、大量の水塊に含まれるシルトの流入に起因し、入り江を満ち引きさせる潮汐作用が主な原因である。潮汐活動に加え、潮流の強さや方向、河川流出量、波の作用、流動条件、塩分変化および海底の性質などの他の要因も、湾内の滞砂量に寄与する。潮流のパターンは、堆積物を輸送し、湾内の海底材料を再配分するのに、重要な役割を果たしている。本質的に非常に微細な海底土砂は、僅かなく乱で容易に浮遊状態になり、潮流の方向と速度に応じて輸送される。そして、瞬時の潮流が弱くなると、浮遊した土砂は急速に沈降し始める。

多くの堆砂に関する検討が、様々な組織により過去行われている。CWPRSの滞砂の数値モデルの研究（技術レポート No.4030）によると、MTHL付近の堆砂は、下記に達すると予測されている。

- Pir Pau Channel, Turning Circle, Berth (New) 0.67m
- Pir Pau Berth (Old) 2.00m
- Pir Pau Channel and Turning Circle (Old) 0.70m, 1.30m

(3) 高潮と天文潮の予測

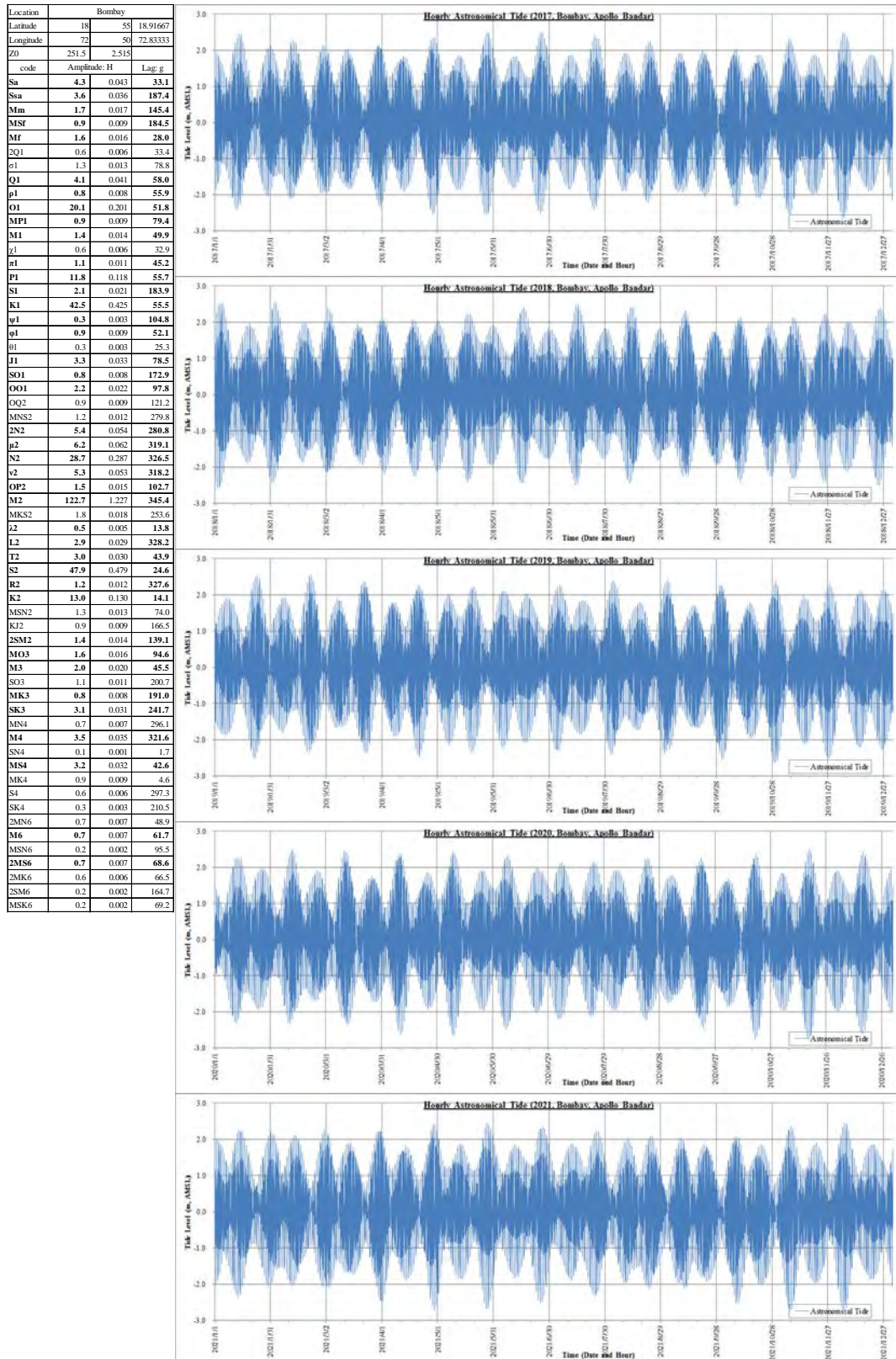
1) 天文潮

天文潮の調和解析は、SOIによって行われている。SOIによるムンバイ（アポロバンドル）観測所での60分潮（潮汐成分）の調和定数を図5.3.10示す。これらの定数の中の40の定数を用いて、将来の2017-2021年度の天文潮を計算し予測する。これらの結果は、MTHLの建設の船舶を用いた施工計画の立案に有用である。

2) 高潮

高潮の高さは、サイクロン（すなわち、非常に高い圧力勾配）とその結果として起こる非常に強い風の強さ、およびサイクロンが沿岸地帯を横過する際の周辺の海底地形に依存する。高潮のピークは天文満潮時に発生した場合、総海面上昇量は増加する。ムンバイ湾周辺の沿岸地帯も大きな高潮に対しては脆弱である。しかしながら、ムンバイ湾地域の高潮の予測に

関する過去の研究や有益な参考文献は少ない。よって、MTHLの詳細設計段階では、必要に応じて高潮の予測は、津波発生の可能性と共に、検討されるべきである。



出典：JICA 調査団、MMB (SOI)

図 5.3.10 調和定数および 2017-2021 年の天文潮

5.3.5 MTHL の建設による水理的影響

MTHL の建設に対する水理的な影響について、CWPRS は、MTHL の専門家により確定した線形計画と橋梁スパン割をもとに検討している。（CWPRS 技術レポート No.5165、2014 年）

CWPRS は、「線形計画及び構造物が対象地域全体の潮汐の流体力学に対して悪影響を及ぼす事は無い」という所見を与えている。言い換えれば、潮位-潮流の既往の条件は、殆ど変化はないと結論付けると共に、Final Feasibility Study Report, 2012 の MTHL の線形計画とスパン割の条件下では水理的なインパクトは与えないことを示している。

5.4 MTHL に関連する支障物件の概要

5.4.1 支障物件調査

支障物件調査は、MTHL の計画を作成するために、ユーティリティ、障害物および航路の仕様（位置、サイズ、種類、所有者など）を対象として実施された。

5.4.2 ユーティリティ、施設および港湾（航路）の調査項目

表 5.4.1 に示すように、ユーティリティ、施設および港湾(航路)のための調査は、以下の機関に対し行われた。調査では、その対象物、ユーティリティ所有者、位置、種類、サイズおよび建設年度等を明らかにした。また、必要に応じて、これらの機関から計画の MTHL の線形へのコメントと、竣工図面、現状調査および将来計画などを収集した。

表 5.4.1 ユーティリティ、施設および港湾（航路）の調査項目

区間		距離	主要ユーティリティと支障物	機関 (ユーティリティ所有者)
1	ムンバイ側 (セウリ) 陸上部	0.49 km	Power Cable/Pole Under-ground Utilities Existing Road Existing Railway Others	IOCL, BPCL, BMC, HPCL, and Others
2	海上部 (ムンバイ湾)	18.33 km	Tata Intake/Discharge Channel Tata Coal Berth Channel Oil, Product, Freshwater Pipelines Power, Telephone Cables Pir Pau Jetty Thane Creek (Navigation Channel) ONGC&BPCL&Reliance Pipelines Panvel Creek (Navigation Channel) Others	MbPT, ONGC, BPCL Refinery, Reliance, TATA power, and Others
3	ナビ・ムンバイ側 (チルレ) 陸上部	3.39 km	Power Cable/Pole Under-ground Utilities Existing Road Proposed Road Existing Railway Others	MJP, Deepak Fertilizer, CIDCO, GAIL India Limited, and Others

出典：JICA 調査団

5.4.3 ユーティリティ、施設および港湾(航路)

海上部の海底パイプライン（ONGC, Reliance など）の位置とサイズ等を表 5.4.2 と図 5.4.1 に示す。陸上部のユーティリティについても、表 5.4.5 に示す道路上にその多くが存在する。それらの詳細については、Appendix-4（再委託報告書）と図面に付す。



出典：JICA 調査団

図 5.4.1 海底パイプラインとケーブル位置図

表 5.4.2 海洋部のユーティリティー一覧

No.	Chainage	Utility Name	Size (inch)	Purpose	Remarks
1	4 + 960.0	TATA/BPCL Power Cable	-	Power	
2	5 + 270.0	ONGC Seabed Pipeline	36" * 2	Oil	
3	5 + 400.0	MbPT Seabed Pipeline	8"	Fresh water	
4	5 + 400.0	MbPT Seabed Pipeline	30"	White oil	
5	5 + 400.0	MbPT Seabed Pipeline	30"	White oil	
6	5 + 400.0	MbPT Seabed Pipeline	30"	White oil	
7	5 + 400.0	MbPT Seabed Pipeline	36"	Black oil	
8	5 + 400.0	MbPT Seabed Pipeline	42"	Crude oil	
9	5 + 480.0	MbPT Seabed Pipeline	8"	Fresh water	
10	5 + 500.0	MbPT Seabed Pipeline	12"	White oil	
11	5 + 510.0	MbPT Seabed Pipeline	16"	Naptha	
12	5 + 530.0	MbPT Seabed Pipeline	16"	HSD	
13	5 + 545.0	MbPT Seabed Pipeline	24"	Black oil	
14	5 + 560.0	MbPT Seabed Pipeline	24"	Crude oil	
15	5 + 575.0	MbPT Seabed Pipeline	24"	Crude oil	
16	12 + 20.0	ONGC Seabed Pipeline	8"	LPG	
17	12 + 20.0	ONGC Seabed Pipeline	8"	NGL	
18	12 + 20.0	ONGC Seabed Pipeline	18"	Gas	
19	12 + 20.0	ONGC Seabed Pipeline	36"	Oil	
20	12 + 200.0	ONGC Seabed Pipeline	36"	Oil	
21	12 + 300.0	ONGC Seabed Pipeline	20"	Gas	
22	12 + 350.0	BPCL Seabed Pipeline	10"	LPG	
23	14 + 100.0	Reliance Seabed Pipeline	12"	Petroleum	This does not cross.

出典：JICA 調査団

5.4.4 支障物とクリアランス

(1) 一般的な海上高架橋区間のクリアランス

海上部の高架橋一般部では、水平方向クリアランスが最小 50 m、鉛直方向クリアランスが HHTL 上 9.1 m を確保する。HHTL は海図基準面上 5.6 m である。

(2) 海上部での交差ユーティリティー

海上部の MTHL 線形には幾つかの交差支障物件がある。その種類および必要な水平方向クリアランスを調査し、表 5.4.3 に示す。

表 5.4.3 海洋部の交差支障物件とクリアランス

支障物件	測点	水平方向 クリアランス	鉛直方向クリアランス (チャート Datum から の高さ)	根拠資料
タタ火力発電所 (船舶進入路)	3+560	1x94m	HHTL5.8m+25.2m= 31.00m	Final Feasibility Study Report, 2012 でタタ火力発電 所と左記の条件で合意済み
タタ火力発電所 (石炭搬入路)	4+830	2x94m	31.00m	同上
タタ電カケーブル (1ケーブル)	4+960	パイプライン端部 から構造物端部の 離隔を 25m 以上確 保する。ただし、 施工時は 15m まで 狭めることは可能	-	同上
ONGC パイプライン (2パイプライン)	5+270			同上
タタ/MbPT パイプ ライン (13パイプ ライン)	5+400 ~ 5+575			同上
ピアパウ埠頭	5+800	-	埠頭上面から 6.0m	Final Feasibility Study Report, 2012 で MMB と左記 の条件で合意済み
ターネ航路	8+900	2x94m	31.00m	2012 年 8 月 31 日のレター ³² にて MMB と左記の条件で合 意済み
ONGC パイプライン	12+20 12+200 12+300	パイプライン端部 から構造物端部の 離隔を 25m 以上確 保する。ただし、 施工時は 15m まで 狭めることは可能	-	2012 年 5 月 2 日の会議議事 録 ³³ にて左記の条件で合意済 み
BPCL パイプライン	12+300			Final Feasibility Study Report, 2012 で合意済み
パンベル航路	13+290	2x100m	31.00m	2012 年 8 月 31 日のレター ³² にて左記の条件で合意済み

出典：JICA 調査団

(3) 陸上部の交差ユーティリティ

陸上部の MTHL 線形上に幾つかの交差道路や鉄道がある。交差道路の鉛直方向クリアランスを表 5.4.4 に示す。

³² Letter No. MMB/ENG/MTHL/1942, 31st, August, 2012

³³ Minutes of Meeting, ONGC and CES, 2nd, May, 2012

表 5.4.4 交差道路のクリアランス

交差道路	測点	鉛直方向クリアランス	根拠資料
イースタン・フリーウェイおよびBランプ	0+000	道路表面から 5.5m	IRC SP 87-2013 に準じ 左記の条件で合意済み
埠頭道路	0+480		
Nhava 道路	16+820		
CIDCO 海岸道路 (計画)	17+300		
CIDCO 道路 (計画)	18+050		
学校までの Gavhan 道路	18+170		
CIDCO 道路 (計画)	18+300		
CIDCO 道路 (計画)	18+540		
CIDCO 道路 (計画)	18+880		
既設道路	20+170		
NH 54 道路	20+970		
JNPT 道路 (NH4B)	21+650		

出典：JICA 調査団

交差鉄道の鉛直及び水平方向クリアランスを表 5.4.5 及び図 5.4.2 に示す。

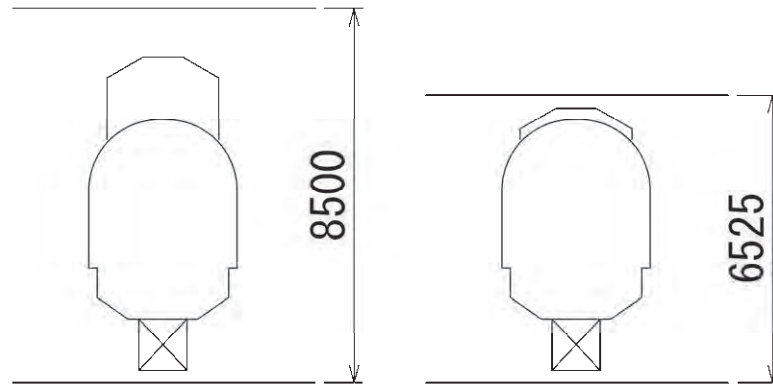
表 5.4.5 交差鉄道のクリアランス

交差鉄道	測点	水平方向 クリアランス	鉛直方向 クリアランス	根拠資料
鉄道 (セウリ駅 - コットングリーン駅)	0+000	概略設計図 面参照	軌道面から 8.500m	図面番号 MMRDA- 102/SEWRI-WORLI- MTHL/SEWRI- ROB/RLY/
スبران鉄道	18+500		軌道面から 6.525m	図面番号 2180581/ I/ ROB- 01 ³⁴ from MMRDA
鉄道 (DFCC コリドー、パンベルウラ ン、JNPT 鉄道)	21+200 から 21+350		軌道面から 8.500m	図面番号 2180581/ I/ ROB- 01 ³⁵ from MMRDA

出典：JICA 調査団

³⁴ Construction of ROB on Nerul – Uran Line at between KM 44 – 45 at Railway Construction Department CH 8+400, Drawing No. 2180581/ I/ ROB - 01

³⁵ Construction of ROB on MTHL (CH. 21+333) across Panvel – Uran/ JNPT RLY. Line between KM. 83/23 – 83/27, Drawing No. 2180581/I/ROB - 01



鉄道（セウリ-コットングリーン、DFCC
コリドー、パンベルウラン、JNPT 鉄道）

スブラン鉄道

出典：JICA 調査団

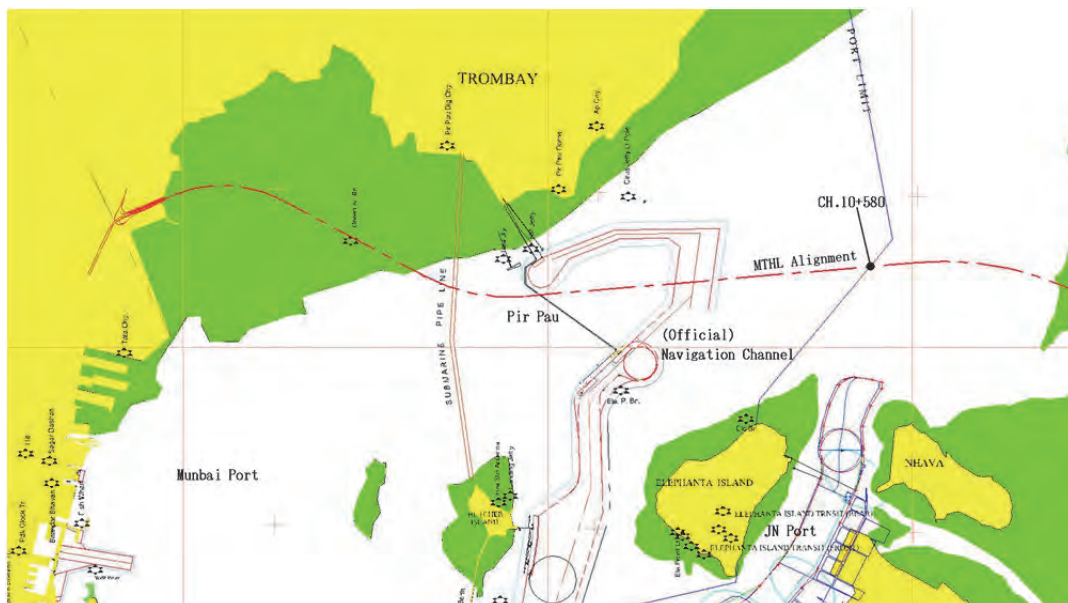
図 5.4.2 鉄道の鉛直方向クリアランス

5.4.5 MTHL プロジェクトに関連する他の情報

(1) 既存航路での船舶航行ルート

図 5.4.3 に MbPT より収集した航路図を示す。

既存航路の浚渫条は、海図上の航路深さが維持されるように、モンスーンシーズン終了後、年に一度、浚渫される。なお、MbPT と JNPT の間の港湾境界は、図 5.4.3 に示すとおり、CH.10+580 に位置している。



出典：MbPT

図 5.4.3 MTHL アライメント周辺の航路

6. 概略設計

6.1 はじめに

この章においては本調査で実施した MTHL の概略設計の内容について記述する。概略設計の主な目的としては、円借款スキーム形成のための適切な工事数量と工事費を把握することである。

先に述べたように本プロジェクトは過去 40 年間に亘り様々な検討が実施され現在に至っている。このため、過去に実施された検討を尊重するものの、現在の状況にそぐわない、または改善が好ましいと判断される事項については改善の提案を行った。

特に海上部の船舶航路を横断する箇所、密集する海底パイプラインを横断する箇所、栈橋を横断する箇所等においては、長支間の橋梁が適用されることになるが、先の検討ではこれらの箇所も一般部と同様の形式である PC 箱桁が適用されている。しかしながら、今回工期短縮、工事安全性の向上（現場施工期間の短縮）、品質の向上、「イ」国への技術移転を考慮し、鋼床版箱桁の適用を提案した。なお、鋼桁の塩害対策としての防錆処理方法については、6.5.4 章を参照されたい。

また、本概略設計において適用した道路および橋梁の設計基準と設計条件は、6.2、6.3 章に記載した。これらは主に最新のインド基準もしくは Final Feasibility Study Report, 2012 における決定事項によるものである。

6.2 道路概略設計条件

6.2.1 設計基準

(1) 道路設計基準

本概略設計で用いる道路設計基準を表 6.2.1 に示す。これらの基準の中から IRC: SP: 87-2013 と IRC: 73-1980 を主に準用した。

IRC: SP: 87-2013 は PPP 事業の 4 車線から 6 車線の道路に対して適用されるが、PPP 以外のプロジェクトにも同じように適用可能である。また IRC: SP: 87-2013 に示されている幾何基準項目のいくつかは、IRC: 73-1980 に基づいている。

表 6.2.1 「イ」国の幾何構造基準

Title of Publication	Code No.
Manual of Specifications & Standards for Six Laning of Highways through Public Private Partnership	IRC: SP: 87-2013
Manual of Specifications & Standards for Four Laning of Highways through Public Private Partnership	IRC: SP: 84-2014
Two-laning of Highways through Public Private Partnership Manual of Specifications & Standards	IRC: SP: 73-2007
Manual of Specifications And Standards for Expressways	IRC SP:99-2013
Geometric Design Standards for RURAL (NON-URBAN) HIGHWAYS	IRC: 73-1980
Geometric Design Standards for URBAN ROADS IN PLAINS	IRC: 86-1983
Recommendations About the Alignment Survey and Geometric Design of Hill Roads	IRC: 52-1981

出典：JICA 調査団

【SP:99-2013 について】

適用する幾何構造基準として、SP:87-2013 と SP:99-2013 が考えられる。本設計では以下の内容を考慮し SP:87-2013 を採用した。

- 本線は法的に、高速道路、国道、州道の分類分けに属さない。
- Final Feasibility Study Report, 2012 は SP : 87-2013 の改定前基準 SP : 87-2010 に準拠している。
- MMRDA が建設管理するため、都市部に不適な SP : 99-2013 はそぐわない。
- SP-99-2013 は主に土工（Green Field）を対象とした基準。
- 本業務で用いた最新マニュアル（IRC : SP : 87-2013）は MMRDA により認可されている。

(2) 環境クライテリア

道路設計は、12.3 章に示す EIA および CRZ の通知を順守して設計する必要がある。

6.2.2 標準幅員

(1) 車線幅員

IRC : SP-87-2013 では設計速度 100kph の場合、本線の車道幅員は 3.5m である。日本の高規格幹線道路幾何構造基準案では大型車混入率が低い場合、車線幅員は 3.5m であり、Asian Highway も 3.5m である。今回の交通需要予測結果によると大型車混入率は最大でも 9.4%（2022 年）と低く、車道幅員 3.5m は十分な安全性と道路機能が確保されると判断できる。

表 6.2.2 MTHL における予測大型車混入率

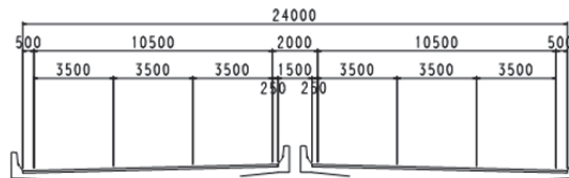
2022 年	9.4 %
2032 年	6.1 %
2042 年	5.6 %

出典：JICA 調査団

(2) 路肩幅員

1) 当初計画路肩

Final Feasibility Study Report, 2012 で採用された左側路肩 0.5m、右側路肩 0.25m は、本線設計速度 100km/h に対しては狭い路肩と考えられる。走行の安全性確保や非常駐車時の空間確保等に問題がないか、本業務で再検討する。



出典：Final Feasibility Study Report, 2012 より JICA 調査団作成

図 6.2.1 標準幅員 (Final Feasibility Study Report, 2012)

2) 路肩の機能

路肩の機能を確認し、本線の設計速度 100km/h との妥当性を検証する。一般的に路肩は主に以下の機能を担っている。

- 走行機能：車両の安全性と快適性のための側方余裕の確保。道路規格や設計速度により定まり、高い設計速度ほど広い路肩幅員が求められる。
- 非常停車機能：事故車両を本線走行車両から待避し、事故と交通の混乱を防止する機能。

表 6.2.3 に、路肩幅と機能の関連を示す。

表 6.2.3 路肩の機能

路肩幅	路肩の機能
2.4m – 3.6m	すべての車両の一時停車が可能。
1.25m – 1.8m	車両走行に大きな影響を与えない側方余裕幅が確保され、乗用車の停車が可能
0.5m – 0.75m	走行上必要な最小限の側方余裕が確保

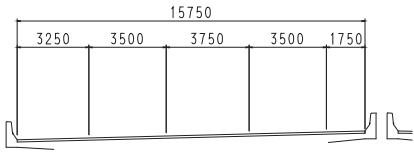
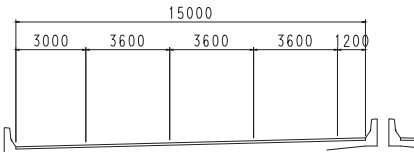
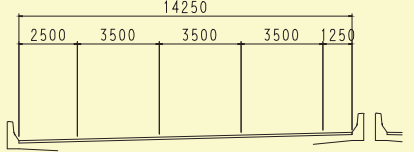
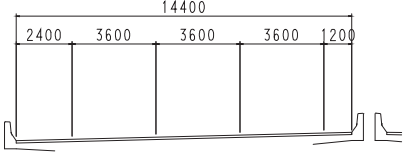
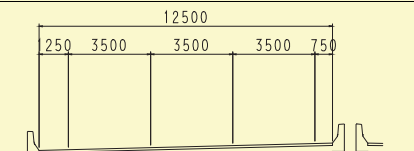
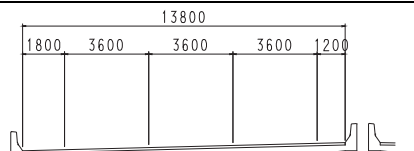
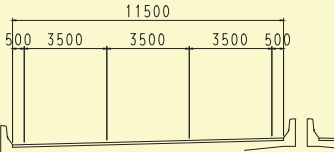
出典：道路構造令

路肩幅の検討は、国際基準との比較を行い、本線に求められる設計速度に該当する幅員を選定する。また路肩幅員は幅員構成に影響を与えるため、次項の「(3) 標準幅員構成」に検討結果を示す。

(3) 標準幅員構成

本線部の幅員検討は「イ」国基準、日本基準の各設計速度の幅員構成を立案し、各設計速度で好ましい幅員構成を選定した。この上で、本線設計速度に該当する幅員構成を選定した。表 6.2.4 に各国の標準幅員の抽出結果を示す。

表 6.2.4 各国の標準幅員

設計速度 km/h	「イ」国基準	日本基準	参考 (AASHTO)
120		 <p>建設費増加割合 1.30</p>	 <p>建設費増加割合 1.23</p>
100	設計基準 (IRC SP 87 2013) は設計速度 100km/h として記載されている。しかし安全性に配慮するのであれば、80km/h (60km/h) を運用速度とすべきである。	 <p>建設費増加割合 1.18</p>	 <p>建設費増加割合 1.19</p>
80		 <p>建設費増加割合 1.07</p>	 <p>建設費増加割合 1.15</p>
60	 <p>建設費 増加割合 1.00</p>		

出典：JICA 調査団

各設計速度の比較案の抽出

1) 120km/h の幅員構成：

Final Feasibility Study Report, 2012 で計画されていない速度のため、比較対象からは除外する。

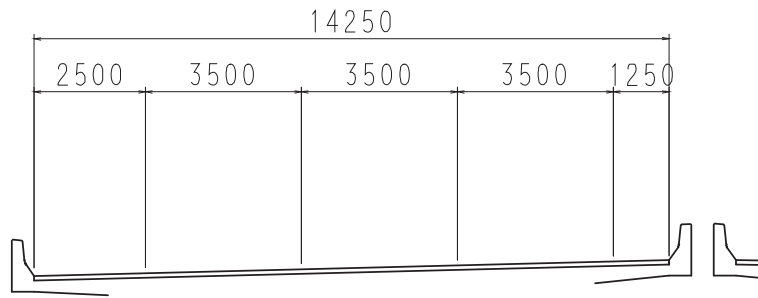
2) 100km/h、80km/h の幅員構成：

「イ」国の設計基準 (IRC SP 87 2013) に記載されている。しかし国際基準との比較した結果、日本基準の幅員を適用する。

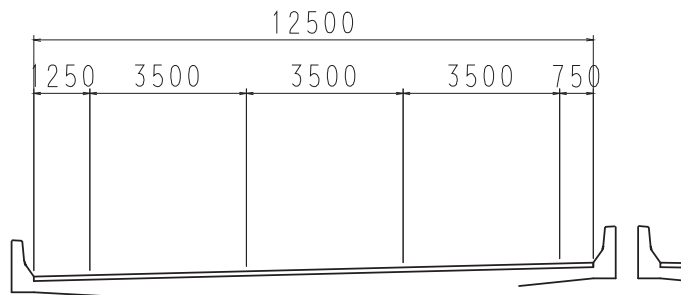
3) 60km/h の幅員構成：

「イ」国基準 (IRC SP 87 2013) の幅員構成を準用した。図 6.2.2 に各設計速度の比較案を示す。

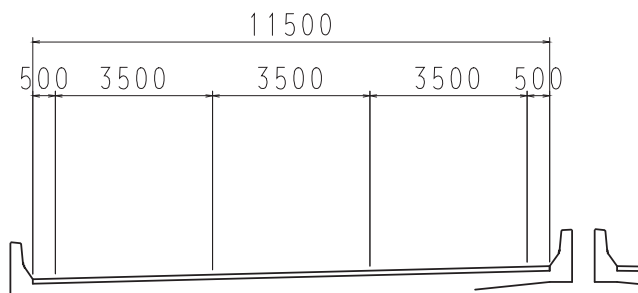
提案 1 設計速度 100km/h



提案 2 設計速度 80km/h



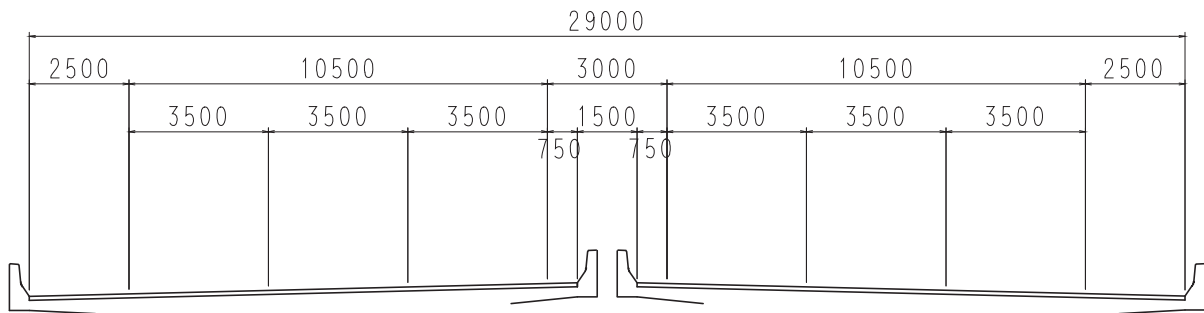
提案 3 設計速度 60km/h



出典：JICA 調査団

図 6.2.2 標準幅員の比較

3つの比較案について MMRDA との協議を行った結果、設計速度 100km/h に即した幅員構成として図 6.2.3 を採用することになった。



出典：JICA 調査団

図 6.2.3 採用した標準横断面図 (100km/h)

(4) 非常駐車帯

過年度成果では Technical Advisory Committee, 2012-2013 (以下、MTHL 技術支援委員会とする。)に基づき 5km 毎の設置と決定されている。しかし、左側路肩を 2.5m (全路肩) とするため、非常駐車帯は必要としない。

6.2.3 道路規格と設計速度

MTHL は平地および丘陵地区に位置するため設計速度は 100km/h となる。ただし、シバジ・ナガール IC を過ぎてからは山岳地であり、設計速度は低減され 60km/h となる。またこの部分は料金所もあり、走行速度が低下する区間でもある。

表 6.2.5 設計速度

地 形	SP:87-2013		SP:99-2013
	推奨値	最小値	
平地および丘陵部	100	80	120
山岳地および急勾配部	60	40	100

出典：JICA 調査団

6.2.4 幾何構造基準

MTHL に適用する幾何構造基準を以下に示す。採用の値は「イ」国基準を基本としている。

(1) 本線線形

本線線形の幾何構造基準値は以下のように定められる。参考までに日本基準と AASHTO の値を記載する。

表 6.2.6 本線線形幾何構造基準値

項目	単位	採用値	「イ」国基準		日本基準	AASHTO	
			73-1980	SP: 87-2013			
車道幅員	m	3.50	3.50	3.50	3.50	3.6	
路肩幅員	左側路肩	m	2.50	-	0.50	2.50	3.0
	右側路肩	m	0.75	-	0.50	0.75	1.2
中央分離帯幅	土工部	m	3.0-5.0	3.0-5.0	3.0-5.0	3.00	
	高架部	m	1.50	1.50 (1.20)	-	3.00	
車線数増減時の擦り付け率	rate	1:15-1:20	1:15-1:20	-	1/15		
横断勾配	%	2.5	2.0 - 2.5	2.5	2.0	1.5-2.0	
設計速度	Kph	100					
最小平面曲線半径（推奨値）	m	400	360	400	460	328	
最小曲線長	m	170	-	-	170		
最小平面曲線半径（推奨値）横断勾配未考慮	m	2600	2600	2600	5,000	3,720	
最大横断勾配	%	5%	7%	5%	10%	12%	
緩和区間長	R=400m	m	115	115	115	85	56
	R=600m	m	80	80	80		
	R=1000m	m	50	50	50		
	R=1,800m	m	30	30	30		
	R=2,500m	m	-	-	-		
	R=4,200m	m	-	-	-		
最小緩和区間省略曲線半径	m	2,000	2,000	2,000	3,000	2,770	
片勾配すり付け率		1/150	-	-	1/150	1/227	
制動停止視距	m	180	160	180	160	185	
追越視距	m	640	640	640	500	320	
最小縦断勾配	%	0.5	0.5	0.5	-		
最大縦断勾配	%	2.5	3.3	2.5 (推奨値) 3.3 (特例値)	3.0	3.0	
最小縦断曲線長	m	60m	60m	60m	85m		
最小縦断曲線半径	凸	m	6,500	-	-	6,500	
	凹	m	3,000	-	-	3,000	
合成勾配	%	10.0	-	-	10.0		

出典：JICA 調査団

(2) インターチェンジ線形

ICの幾何構造基準を以下に示す。

IRC：SP：87-2013 に網羅されていないものは IRC：73-1980 を適用し、該当しない項目は日本基準を適用する。また IC 付近は車両の分合流が発生し走行速度が変化する区間に適用される日本基準をも合わせて示す。

表 6.2.7 インターチェンジランプの幾何構造基準

項目	単位	採用値	「イ」国基準 IRC: 73-1980	日本基準	AASHTO	
車道幅員	m	3.5	3.5	3.5	3.6	
路肩幅員*	両側 (セウリ IC)	m	0.25*	0.5	0.75	3.0
	両側 (セウリ IC 以外)	m	0.50	0.5	0.75	1.2
設計速度	Kph	40				
最小平面曲線半径	m	60	60	50	36	
最小曲線長	m	-	-	70	45	
片勾配打ち切り半径	m	420	420	600	804	
標準横断勾配	%	2.5	2.0-2.5	1.5	1.5-2.0	
最大横断勾配	%	7.0	7.0	10.0	10	
緩和区間長 R=45	m	45	45	35	22	
60		60	60			
90		90	90			
100		100	100			
150		150	150			
170		170	170			
200		200	200			
240		240	240			
300		300	300			
緩和区間省略半径	m	500	500	500	594	
片勾配すり付け率		1/100	-	1/100	1/143	
車線増減すり付け率			1:15-1:20	1/15		
制動停止視距	m	45	45	40	65	
追越視距	m	90	90	150	160	
最大縦断勾配	%	3.3 特例値 6.7	3.3 特例値 6.7	6.0	5.0	
最小縦断勾配	%	0.5	0.5	-	-	
最小縦断曲線長	m	30	30	35		
最小縦断曲線半径 凸	m	450	-	450		
凹	m	450	-	450		
合成勾配	%	11.5	-	11.5		

* 路肩幅員は以下に分類される。

- ・セウリ IC は橋梁区間、用地制約区間として 0.25m とする。
- ・他の IC は用地制約のない区間として 0.50m とする。

出典：JICA 調査団

表 6.2.8 ランプターミナル付近の幾何条件 (本線)

項目	単位		日本基準		
本線設計速度	km/h	100	80	60	
平面曲線半径	M	1,500	1,100	500	
最急縦断勾配	%	2.0	3.0	4.5	
最小縦断曲線半径	凸	m	25,000	12,000	6,000
	凹	m	12,000	8,000	4,000
織り込み長	m	275	215	215	

出典：JICA 調査団

表 6.2.9 ランプターミナル付近の幾何条件 (ランプ)

項目	単位	日本基準		
		100	80	60
本線設計速度	km/h	100	80	60
平面曲線半径	m	200	170	100
緩和曲線	m	70	60	50
最小縦断曲線半径	凸	1,000	800	450
	凹	850	700	450

出典：JICA 調査団

(3) インターチェンジの緩和曲線と車線拡幅

3.3.5 で述べたように、Final Feasibility Study Report, 2012 における IC の線形においては緩和曲線と車線拡幅が考慮されていない。緩和曲線は、直線区間から曲線区間に移行する際、車両を滑らかに導くことが可能な線形要素である。このため、以下に示した緩和曲線と車線拡幅の基準に基づき、IC にも緩和曲線を適用する。

なお、本線線形においては、緩和曲線は考慮されており、車線拡幅の必要ない曲線半径が使用されている。

表 6.2.10 緩和区間長 (設計速度 40km/h)

曲線半径 (m)	最小緩和区間長 (m)
R= 45	-
R= 60	75
R= 90	50
R=100	45
R=150	30
R=170	25
R=200	25
R=240	20
R=300	-

出典：IRC: 73-1980

「イ」国基準において、車線拡幅は 1 車線道路、2 車線道路それぞれに異なる拡幅量が定められている。日本では 1 車線あたりに定められた拡幅量を多車線に適応している。表 6.2.11 にそれぞれの基準を示す。両者を比較すると日本の方が細かな設定となっていることが分かる。今回のランプは R=100m 前後の適用が多く、この部分の拡幅量は「イ」国基準の方が大きいため拡幅量は「イ」国基準を採用した。

表 6.2.11 曲線部の車線拡幅

「イ」国基準			日本基準	
曲線半径 (m)	2車線道路	1車線道路	曲線半径 (m)	1車線あたり
300 以上	-	-	160 以上	-
101 to 300	0.6	-	160 to 90	0.25
61 to 100	0.9	-	90 to 60	0.50
41 to 60	1.2	0.6	60 to 45	0.75
21 to 40	1.5	0.6	45 to 32	1.00
20m 以下	1.5	0.9	32 to 26	1.25
			26 to 21	1.50
			21 to 19	1.75
			19 to 16	2.00
			16 to 15	2.25

出典：JICA 調査団

また日本では 1 車線ランプに対して、緊急時に車両が停止しても通行可能な幅員を確保する拡幅量が計画されるが、今回は 2 車線ランプのため緊急時に停車しても、もう 1 車線の幅員は確保されており問題は少ない。

(4) 既往計画の加減速車線

Final Feasibility Study Report, 2012 では次の 2 つの形式が混在した計画になっている。一つは多車線（最大 8 車線）と標準 3 車線を一定の比率で増減させる一律増減式（仮称）、もう一つは加減速区間とテーパーで構成された加減速方式である。

- 一律増減式：多車線と標準幅員のすり付けを一定の率ですりつける。
- 加減速式：加減速区間とテーパーで構成されており円滑な分合流を促す一般的な形態。

表 6.2.12 加減速車線のタイプ分類

形式	IC
一律増減式	セウリ IC、SH54 IC
加減速形式	シバジ・ナガール IC、チルレ IC

出典：JICA 調査団

表 6.2.13 テーパー形式と平行式

一律増減式

項目	単位	採用値	「イ」国基準 IRC SP-87-2013
車線数増減時の擦り付け率	率	1:15-1:20	1:15-1:20

出典：JICA 調査団

加減速式

項目	単位	採用値	「イ」国基準 IRC SP-87-2013
減速長	m	145	145
加速長	m	150	150

出典：JICA 調査団

(5) 加減速車線の提案

本線とランプの分合流形式は次の理由により加減速式を採用する。

- インド基準、日本基準とも本線と IC 区間との分合流は、加減速式が採用されている。
- 分合流形式は全線において統一性が需要で一般的な加減速式の採用が好ましい。
- 加減速式は速度の異なるランプと本線の加減速区間が明確で安全性に配慮された形式である。
- 一律増減式は同一速度での車線増減に用いられるべきで、速度が変化する本線-IC 区間には加減速式を採用すべきである。

またセウリ IC では 4 車線が同時に分合流するため、隣り合う 2 のランプを先ず合流させ、合流が完了した後、ランプをまた合流させる方式を採用した。

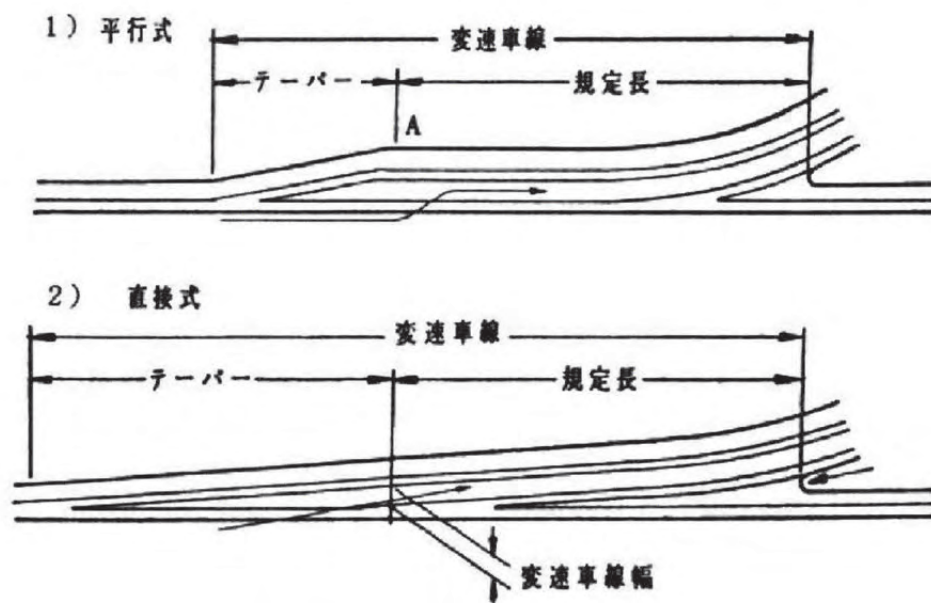
加減速形式には平行式、直接式の 2 つの形式がある。平行式、直接式の特徴に配慮し各 IC で形式を使い分けた。

1) 平行式

変速車線が本線と平行する加減速方式で、ランプから本線に加速合流する車両が本線通行車両の間合いを確認して合流する軌跡 (S 形状) に適した形状とされている。

2) 直接式

変速車線が本線から分岐減速する方式で、分岐する車両は本線通行車両に影響なく直接分岐 (本線と異なる角度を持って) する際の軌跡に適した形状とされている。



出典：NEXCO 設計要領 4 集

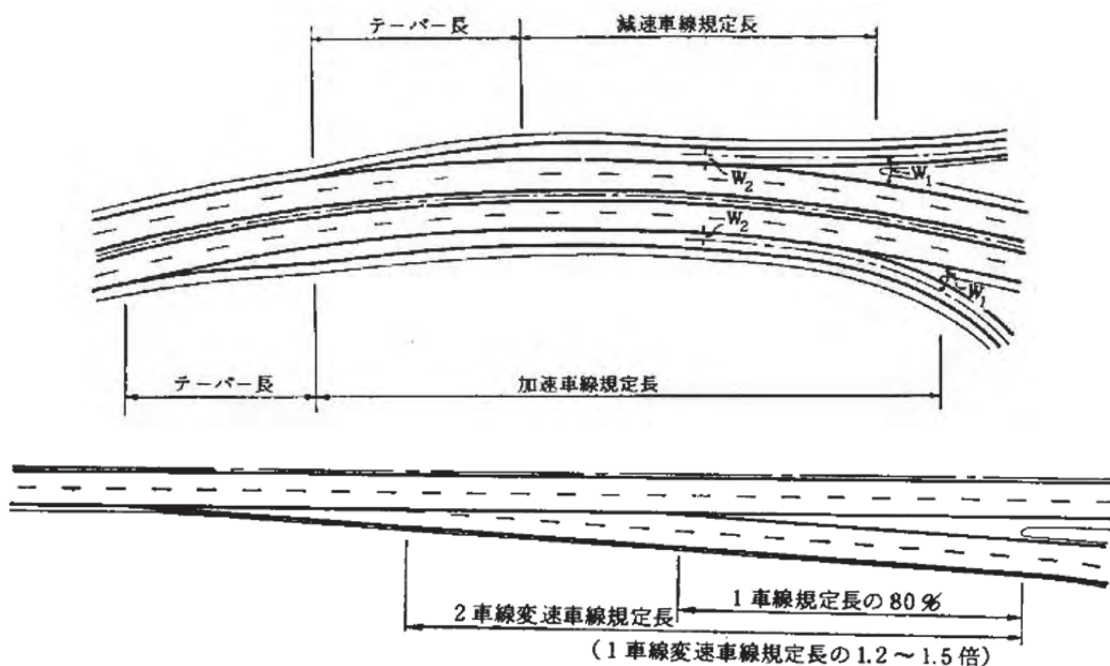
図 6.2.4 平行式および直接式

一般的に分岐する際は直接式、合流する際は平行式を採用することが多い。しかし、本線が曲線区間の場合に平行式を採用すると、路面がねじ曲がって見える場合があり、曲線区間では分合流ともに直接式を採用することもある。今回の場合は以下のように使い分けた。

- 平行式（本線直線区間）：シバジ・ナガール IC の SH54 側加速区間、チルレ IC 織り込み区間
- 直接式（本線曲線区間）：上記以外の IC

3) 2車線分合流の計画方法

2車線ランプの分合流は、ノーズから変速長端部（1車線確保部）を接続するだけでなく、中間に2車線確保のポイントを設けることが望ましい。2車線確保位置は1車線規定長の80%を目安とする。



出典：NEXCO 設計要領 4 集

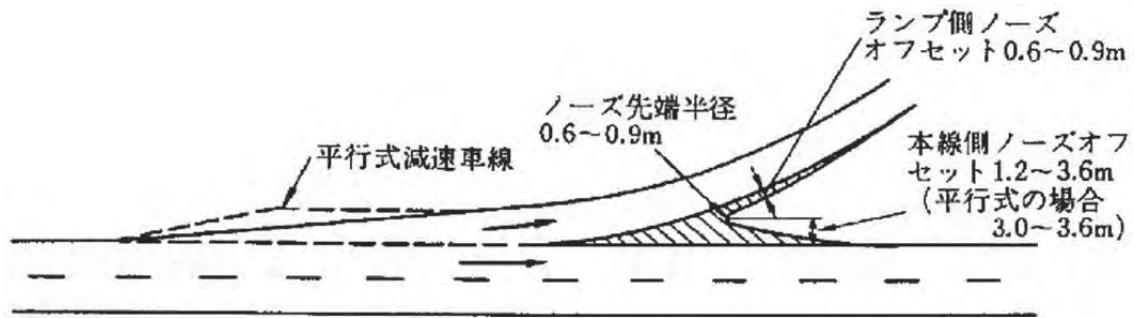
図 6.2.5 2車線分合流

4) その他細目

(a) ノーズオフセット

運転者が分岐の判断を誤った際に、本線への移行がスムーズに行える空間を設置する。

ただしセウリ IC は、各ランプが全て平行に余裕なく配置されており、既に用地が確定していることからノーズオフセットは設けないこととした。



出典：NEXCO 設計要領 4 集

図 6.2.6 ノーズオフセット

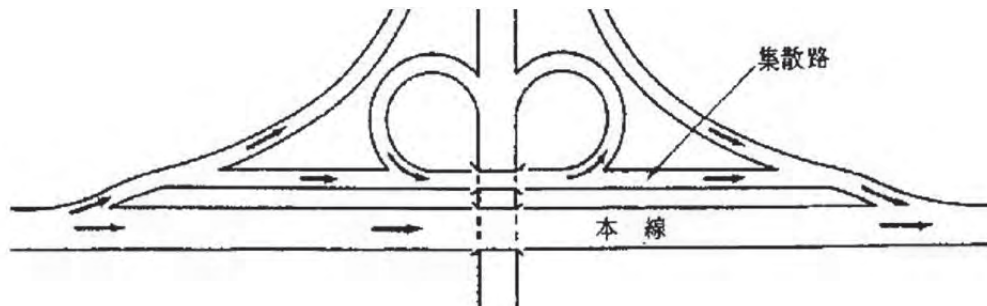
(b) 変速区間の補正

本線縦断勾配が 2% を越える場合、変速区間長の補正が必要となる（日本基準）が、今回の縦断勾配は全区間において 2% 以下のため補正の必要はない。

(c) 集散路

チルレ IC のようにオン、オフランプの分岐、合流が連続する IC では、本線とランプの交通を分散する集散路を設ける場合がある。

今回の場合、既に用地条件が固定されており、集散路を設けるスペースが確保できないため、適用は断念した。

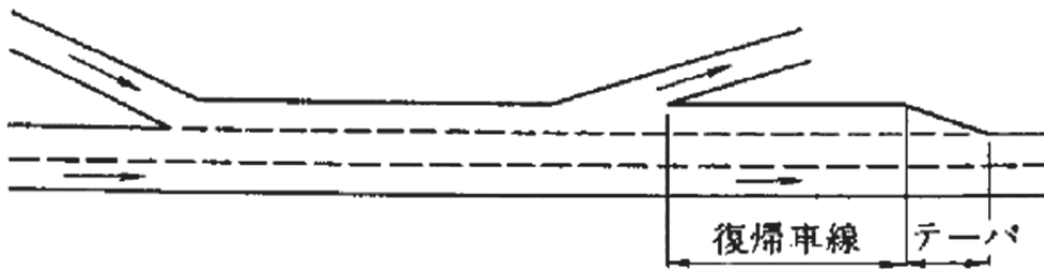


出典：NEXCO 設計要領 4 集

図 6.2.7 集散路

(d) 復帰車線

復帰車線は、オンランプの後にオフランプが配置される場合に余裕をもった運転が行えるよう配慮した車線である。本設計ではチルレ IC に設置した。シバジ・ナガール IC にも 1 か所対象箇所はあるが、視距確保によるセットバックがあるためこのスペースが復帰車線を兼ねることが可能と考えた。



出典：NEXCO 設計要領 4 集

図 6.2.8 復帰車線

以下に変速区間長の規定値を示す。IC の計画は表 6.2.14 に基づいて実施した。本ランプは全箇所ですべて 2 車線ランプであるが、「イ」国基準には 2 車線ランプの基準がないため日本基準に基づいて計画した。

表 6.2.14 加減速車線長

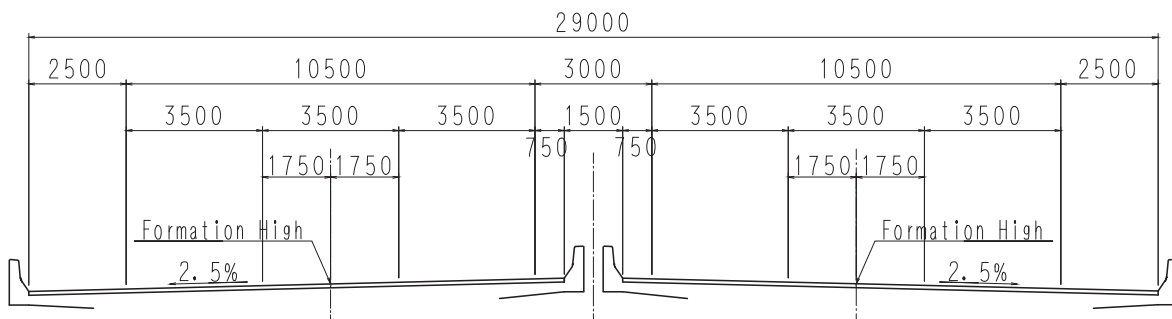
本線設計速度(km/h)		100	80	60	「イ」国基準*
減速車線規定長 (m)	1 車線	90	80	70	80m
	2 車線	130	110	90	(1 車線)
加速車線規定長 (m)	1 車線	180	160	120	95m
	2 車線	260	220	160	(1 車線)
テーパ長 (m)	1 車線	60	50	45	55
流出角	1 車線	1/25	1/20	1/15	-
	2 車線				
流入角	1 車線	1/40	1/30	1/20	-
	2 車線				
ノーズ間距離	-	275	215	215	-

* 「イ」国基準 (SP : 87-2013) の立体交差点の値

出典：JICA 調査団

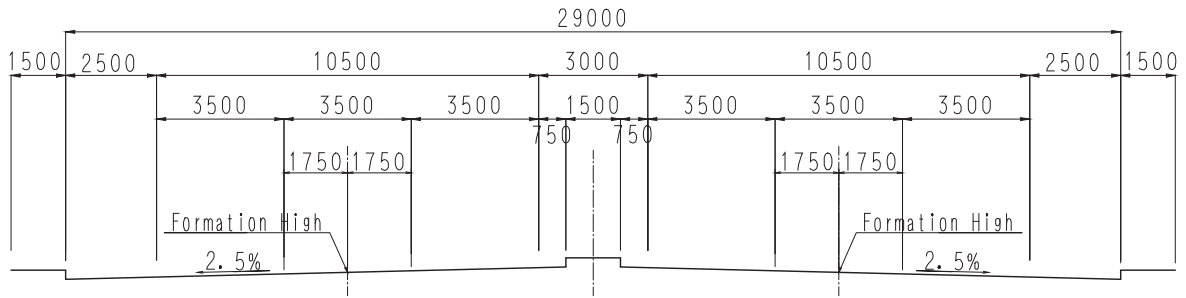
6.2.5 標準横断面図

標準横断面図を以下に示す。



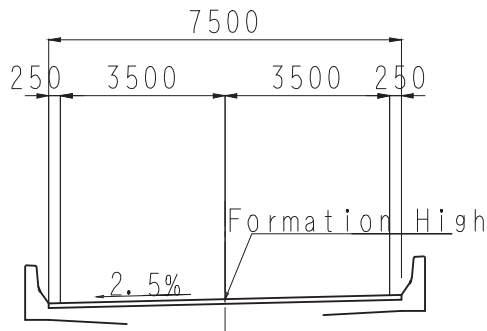
出典：JICA 調査団

図 6.2.9 本線橋梁区間



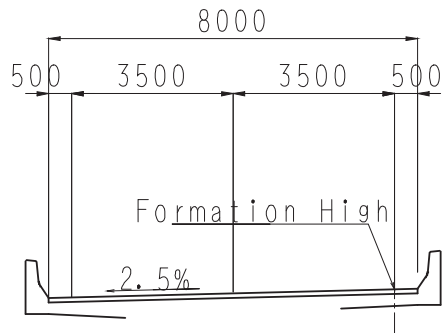
出典：JICA 調査団

図 6.2.10 本線土工区間 (18+950 - 19+950)



出典：JICA 調査団

図 6.2.11 セウリ IC



出典：JICA 調査団

図 6.2.12 シバジ・ナガール IC、SH54、チルレ IC

6.3 橋梁設計条件

6.3.1 設計基準

橋梁設計における主な設計基準を表 6.3.1 に示す。

表 6.3.1 橋梁設計における主な基準

基準番号	基準名
IRC: 5-1998	道路橋の設計基準 セクション I—外観基準
IRC: 6-2010	道路橋の設計基準 セクション II—荷重及び応力
IRC: 7-1971	橋梁及びカルバートの番号付けの推奨要領
IRC: 18-2000	PC 道路橋（ポストテンション方式）の設計基準
IRC: 21-2000	道路橋の設計基準 セクション III—セメントコンクリート（無筋コンクリートと鉄筋コンクリート）
IRC: 22-2008	道路橋の設計基準 セクション VI—合成構造
IRC: 24-2010	道路橋の設計基準 セクション V—鋼道路橋（限界状態法）
IRC: 45-1972	橋梁の井筒基礎において最大洗掘面以深における土の耐力算出
IRC:46-1972	路側の広告に関する方針
IRC: 54-1974	地下道路の建築限界
IRC: 78-2000	道路橋の設計基準 セクション V II—基礎及び下部工
IRC: 83-1999 Part I	道路橋の設計基準 セクション IX—支承 パート I：鋼製支承
IRC: 83-1987 Part II	道路橋の設計基準 セクション IX—支承 パート II：ゴム支承
IRC:83-2002 Part III	道路橋の設計基準 セクション IX—支承 パート III：ハイブリッド支承及びせん断型ピン支承
IRC: 89-1997	道路橋のため河川工事の設計ガイドライン
IRC: 112-2011	コンクリート道路橋の設計要領
IRC:SP-13-2004	小規模橋梁及びカルバートの設計ガイドライン
IRC:SP-18-1978	道路橋の維持管理調査のマニュアル
IRC:SP-33-1989	重要橋梁の設計・構造細目・耐久性の対策ガイドライン
IRC:SP-35-1990	橋梁の調査及び維持管理ガイドライン
IRC:SP-37-2010	橋梁の耐荷力ガイドライン
IRC:SP-40-1993	橋梁の補修技術ガイドライン
IRC:SP-47-1998	道路橋の品質管理ガイドライン（無筋コンクリート・鉄筋コンクリート・プレストレストコンクリート・合成コンクリート）
IRC:SP-54-2000	橋梁プロジェクト準備マニュアル
IRC:SP-56-2011	鋼歩道橋ガイドライン
IRC:SP-65-2005	セグメント橋の設計及び施工ガイドライン
IRC:SP-66-2005	連続橋の設計ガイドライン
IRC:SP-67-2005	橋梁における PC 外ケーブル及びアンボンド PC ケーブルの使用ガイドライン
IRC:SP-69-2005	伸縮装置の技術基準に関するガイドライン
IRC:SP-70-2005	橋梁における高強度コンクリートガイドライン
IRC:SP-71-2006	橋梁のプレテン桁の設計及び施工ガイドライン
IRC:SP-74-2007	鋼橋の補修・補強ガイドライン
IRC:SP-80-2008	コンクリート橋梁の防食・モニタリング・補修ガイドライン

出典：Final Feasibility Study Report, 2012 を基に JICA 調査団作成

6.3.2 設計コンセプト

(1) 設計寿命

構造物の設計寿命は、IRC: 112-2011 を準拠し 100 年とする。

(2) 環境条件

- フラミンゴの飛行に重大な影響を与えない橋梁形式を選定する必要がある。
- 支間割および下部工形状は、干潟およびマングローブ生息区間において、環境への影響を最小限にする必要がある。

6.3.3 設計荷重

橋梁設計に考慮する荷重を以下に示す。

(1) 死荷重

構造物、添架物および舗装等の死荷重は IRC: 6-2014 に従い、表 6.3.2 のとおりとする。

表 6.3.2 死荷重単位重量

材料		単位重量 (t/m ³)
コンクリート	アスファルト	2.2
	無筋コンクリート	2.5
	鉄筋コンクリート	2.5
	プレストレストコンクリート	2.5
鋼材		7.8

出典：IRC: 6-2014

ただし、MTHL のコンクリート橋には、塩害対策として MTHL 技術支援委員会で推奨された高強度コンクリートを適用し、その単位重量は、2.63 (t/m³) である。

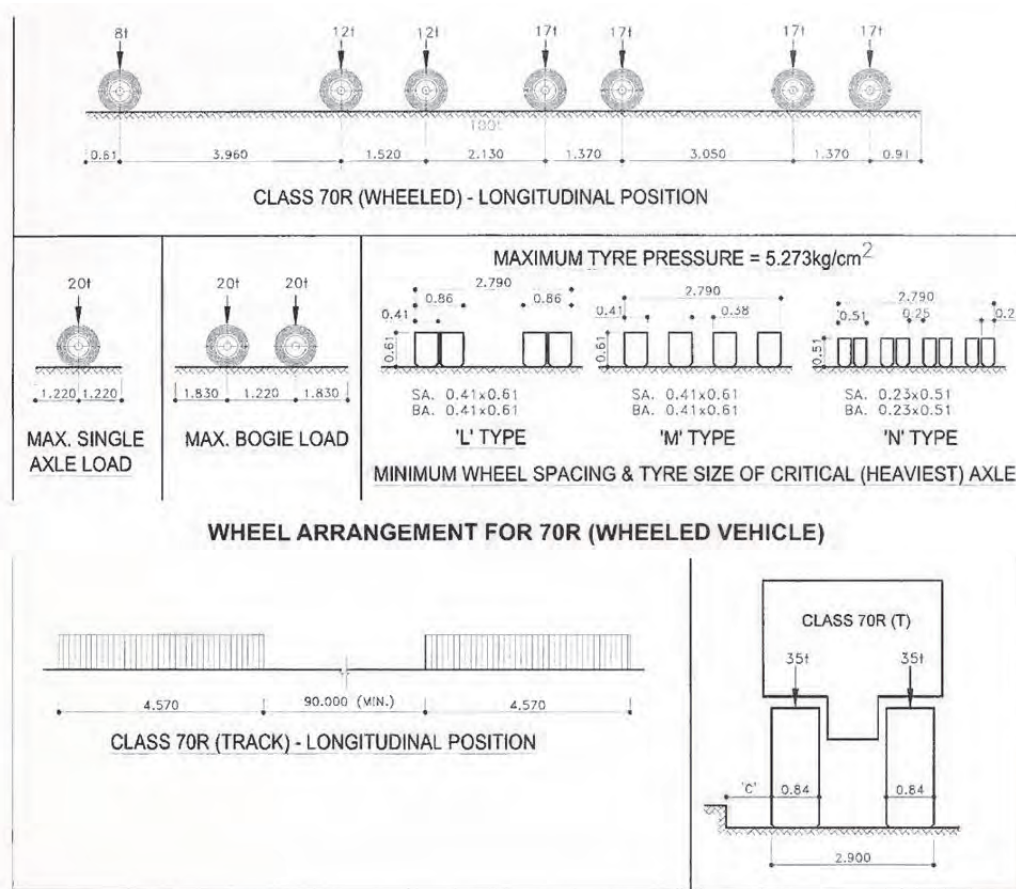
照明、非常電話および消火栓などの荷重として、両側の壁高欄および中央分離帯に沿って 5kN/m を考慮する。

(2) 活荷重

活荷重は、IRC: 6-2014 に従い、クラス 70R 車両荷重およびクラス A 荷重を考慮する。

1) クラス 70R 荷重および集中荷重

クラス 70R 荷重の仕様を図 6.3.1 に示す。

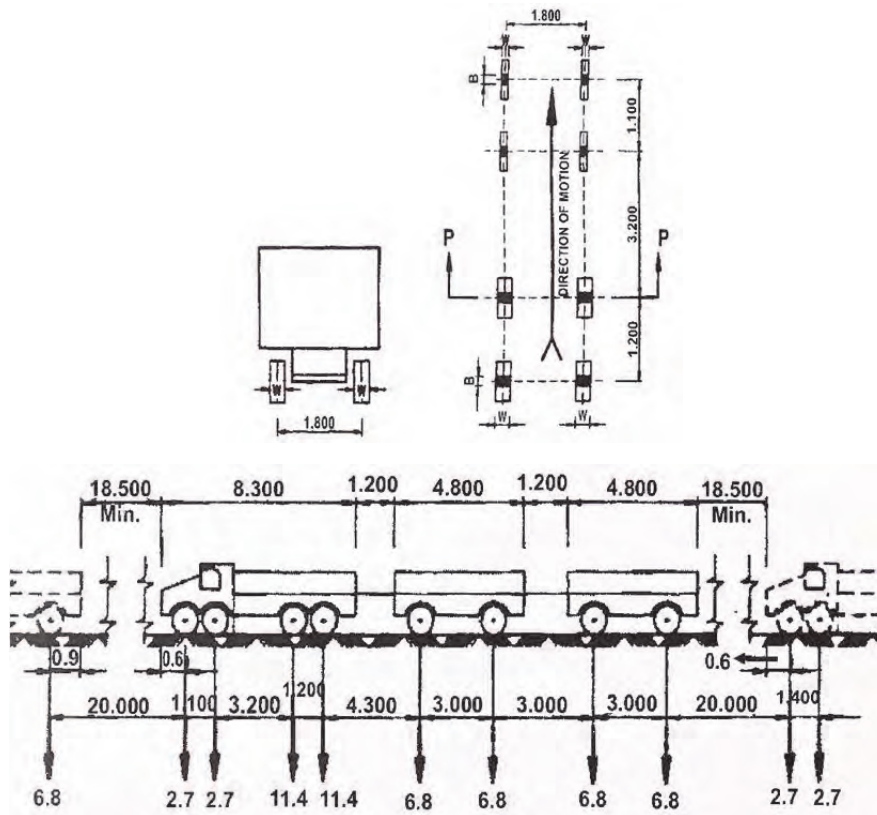


出典：IRC: 6-2014

図 6.3.1 クラス 70R 荷重

2) クラス A 荷重

クラス A 荷重の仕様を図 6.3.2 に示す。

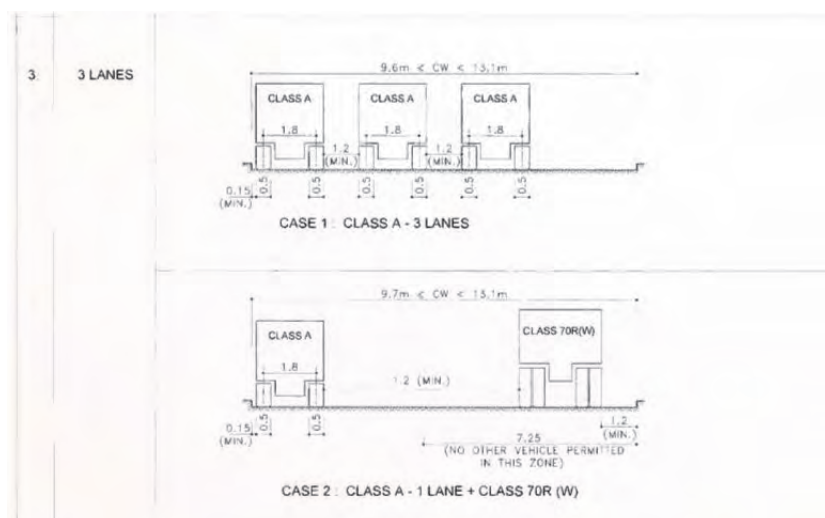


出典：IRC: 6-2014

図 6.3.2 クラス A 荷重

3) 活荷重の組み合わせ

活荷重の組み合わせを図 6.3.3 に示す。



出典：IRC: 6-2014

図 6.3.3 活荷重組み合わせ

4) 2車線以上の橋軸方向低減係数

2車線以上の場合の橋軸方向低減係数を表 6.3.3 に示す。

表 6.3.3 橋軸方向低減係数

車線数	橋軸方向低減係数
2車線	低減しない
3車線	10%低減
4車線以上	20%低減

出典：IRC: 6-2014

5) 衝撃係数

(a) クラス A 荷重

衝撃係数は、以下の式により算出を行う。支間長 45m 以上の橋梁は、支間長 45m の衝撃係数を使用する。

- コンクリート橋： $4.5/(6+L)$ ($3m < L < 45m$)
- 鋼橋： $9/(13.5+L)$ ($3m < L < 45m$)

(b) クラス 70R 荷重

a) 支間長 9m 以上

コンクリート橋

- トラック荷重：支間長 40m まで：0.1、支間長 40m 以上： $4.5/(6+L)$ ($40m < L < 45m$)
- タイヤ荷重：支間長 12m まで：0.25、支間長 12m 以上： $4.5/(6+L)$ ($12m < L < 45m$)

ただし、支間長 45m 以上は、 $L=45m$ のときの衝撃係数を使用する。

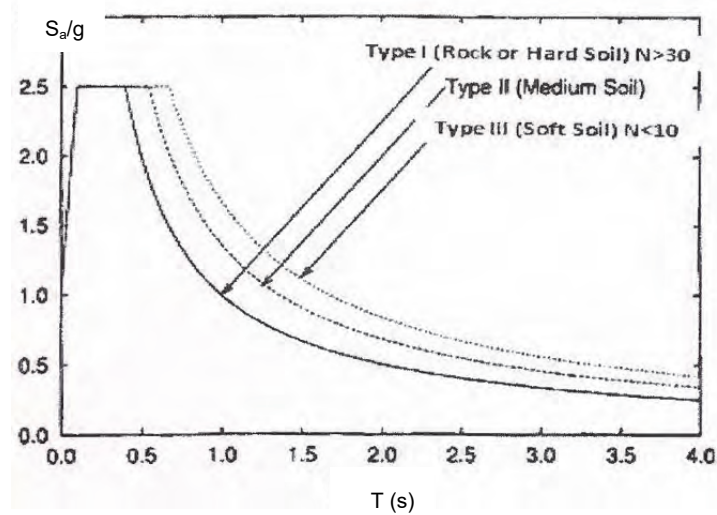
鋼橋

- トラック荷重：0.1
- タイヤ荷重：支間長 23m まで：0.25、支間長 23m 以上： $4.5/(6+L)$ ($23m < L < 45m$)

ただし、支間長 45m 以上は、 $L=45m$ のときの衝撃係数を使用する。

(3) 地震荷重

地震荷重は、IRC: 6-2014 および IS: 1893-1984 に従い設計を行う。静的解析は図 6.3.4 に示す応答スペクトルを使用する。



出典：IRC: 6-2014

図 6.3.4 応答スペクトル

設計水平震度の算出は下記の式を用いて算出を行う。

$$F_{eq} = A_h = (Z/2) \times (I) \times (S_a/g)$$

ここに、

F_{eq} ：地震抵抗力

A_h ：地震力係数

Z ：地域係数 ($Z=0.16$)

I ：重要度係数 ($I=1.5$)

S_a/g ：応答係数 (図 6.3.4 より算出)

(4) 風

風荷重は、IRC: 6-2014 に従い設計を行う。

1) 基本風速

MTHL は陸上レベルより高さが 50m 未満となるため、プロジェクト地域での時間平均風速は 44m/s、時間平均風荷重 879N/m^2 となる。

2) 上部工設計風荷重

(a) 橋軸直角方向風荷重

橋軸直角方向風荷重は以下の式を用いて算出する。

$$F_T = P_Z \times A_1 \times G \times C_D$$

ここに、

P_Z : 時間平均風荷重 (N/m^2)

A_1 : 面積 (m^2)

G : 突風係数 (2.0)

C_D : 橋梁形状に応じた抗力係数

1 主桁および 1 箱桁の場合、 $b/d=2.0$ のとき、 $C_D=1.5$ 、 $b/d>6$ のとき、 $C_D=1.3$ 、それ以外は線形補完により C_D を算出する。

2 主桁以上および 2 箱桁以上の場合、桁高と桁間隔の比が 7 を超えないときは、上記の C_D 値を 1.5 倍する。

プレートガーダー橋の場合、1 主桁のとき、 $C_D=2.2$ 、2 主桁以上のとき、 $C_D=2x(1+c/20d)$ (ただし、最大を 4 とする)。c は主桁間隔、d は桁高を表す。

(b) 橋軸方向風荷重

橋軸方向風荷重は、桁橋、箱桁橋、プレートガーダー橋の場合、橋軸直角方向風荷重の 25% とし、トラス橋の場合、橋軸直角方向風荷重の 50% とする。

(c) 鉛直方向風荷重

鉛直方向風荷重は以下の式を用いて算出する。

$$F_V = P_Z \times A_3 \times G \times C_L$$

ここに、

P_Z : 時間平均風荷重 (N/m^2)

A_3 : 面積 (m^2)

C_L : リフト係数 (床版橋、箱桁橋、I 桁橋、プレートガーダー橋) (0.75)

G : 突風係数 (2.0)

3) 下部工設計用風荷重

下部工は上部工に作用した風荷重力および下部工に直接作用する風荷重力の両方を考慮する必要がある。下部工に直接作用する風荷重は以下の式を用いて算出する。

$$F_T = P_Z \times A_1 \times G \times C_D$$

ここに、

P_Z : 時間中間風荷重 (N/m^2)

A_1 : 面積 (m^2)

G : 突風係数 (2.0)

C_D : 橋梁形状に応じた抗力係数 (IRC: 6-2014、Table6 参照)

(5) 流水

流水速度は 3m/s を考慮し、流水圧の計算は、以下の式により算出する。

$$P = 52KV^2$$

ここに、

P: 流水力 (kg/m²)

V: 流速 (m/s)

K: 橋脚形状による補正係数

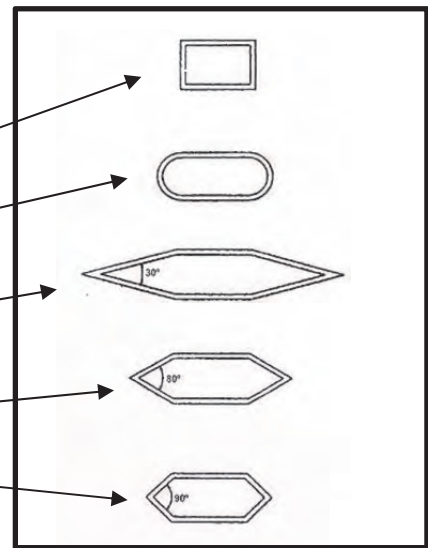
長方形橋脚: 1.50

円形橋脚: 0.66

30度以下の橋脚: 0.50

30度以上、60度未満の橋脚: 0.50~0.70

60度以上、90度未満の橋脚: 0.70~0.90



出典: IRC: 6-2014

図 6.3.5 橋脚の形状

(6) 温度

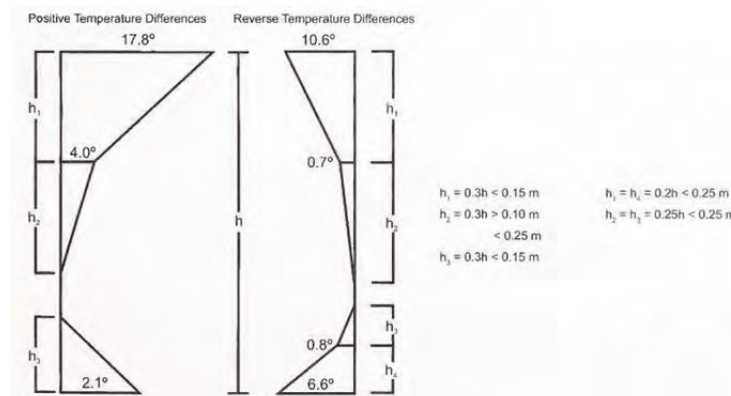
1) 設計温度範囲

温度荷重はムンバイの最高気温および最低気温を基準とする。ムンバイの最高気温は約 40 度であり、最低気温は約 10 度である。これにより、架橋位置の気温差は 20 度以上である。

橋梁設計に使用する温度範囲は、IRC: 6-2014 に従い、±10 度とする。

2) 温度差

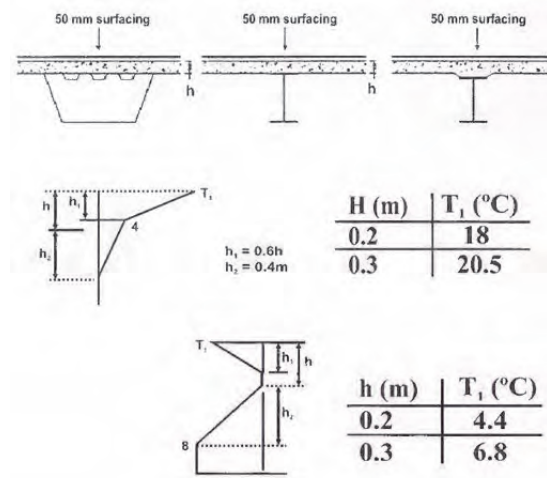
昼間および夜間のコンクリート床版の温度差は、IRC: 6-2014 に従い、図 6.3.6 に示すような温度差を想定する。図 6.3.6 の温度差は、舗装厚 50mm の時に適用される。



出典: IRC: 6-2014

図 6.3.6 コンクリート床版の温度差

また、鋼橋および鋼・コンクリート複合橋については、図 6.3.7 に示すような温度差を想定する。図 6.3.7 の温度差は、舗装厚 50mm の時に適用される。



出典：IRC: 6-2014

図 6.3.7 鋼橋、鋼・コンクリート複合橋の温度差

(7) 特殊荷重

1) 自動車衝突荷重（橋脚、壁高欄）

橋脚への自動車衝突荷重は、IRC: 6-2014 に従い算出する。

水平方向の自動車衝突荷重を表 6.3.4 に示す。自動車進行方向への衝突荷重、および自動車直角方向への衝突荷重は表 6.3.4 に示す荷重を考慮する。また、自動車の進行方向への衝突荷重と直角方向への衝突荷重は同時に作用させる必要はない。

表 6.3.4 自動車衝突荷重

	自動車進行方向の 衝突荷重 (ton)	自動車直角方向の 衝突荷重 (ton)	作用位置
自動車衝突荷重 (主荷重)	50	100	道路面より 0.75m から 1.5m のうちで最も厳しくなる位置に作用させる。
副荷重	25 (10)	50 (10)	道路面より 1m から 3m のうちで最も厳しくなる位置に作用させる。

出典：IRC: 6-2014

表 6.3.4 の衝突荷重は、車両速度 60km/h を想定している。60km/h より低速で走行する車両に対しては、衝突荷重を二乗の比率で減少させることができる。ただし、最小衝突荷重は表 6.3.4 の 50%とする。

また、防護柵への衝突荷重は副荷重のみで設計する。

2) 船舶衝突荷重

橋脚への船舶衝突荷重は、IRC: 6-2014 に従い設計を行う。

(a) 船舶衝突荷重設計用船舶

ターネ航路およびパンベル航路を通過する船舶を表 6.3.5 に示す。

表 6.3.5 船舶衝突荷重

項目	船舶
最大重量	4,000 トン
全長	96m
船幅	13.8m
速度	10 ノット
最小衝突速度	2 ノット

出典：JICA 調査団

(b) 船舶衝突エネルギー

$$KE = 500 \times C_H \times W \times V^2$$

ここに、

KE: 船舶衝突エネルギー (N-m)

W: 船舶最大重量 (T) : 4,000 tonnes

V: 船舶速度 (m/sec) : 10knots = 10/1.9438 = 5.145m/sec

C_H: 水圧係数 = 1.05 ~ 1.25 (船底下余裕水深)

船底下余裕水深 > 0.5 x 喫水、C_H = 1.05

船底下余裕水深 < 0.1 x 喫水、C_H = 1.25

上記以外については、線形補完

(c) 船舶損傷深さ

$$a_B = 3100 \times \{ [1 + 1.3 \times 10^{(-7)} \times KE]^{0.5} - 1 \}$$

ここに、

a_B: 船舶船首損傷深さ (mm)

(d) 船舶衝突力

船舶衝突力は以下の式にて算出する。

$$a_B < 100\text{mm}, PB = 6.0 \times 10^4 \times (a_B)$$

$$a_B \geq 100\text{mm}, PB = 6.0 \times 10^6 + 1600 \times (a_B)$$

6.3.4 使用材料

(1) コンクリート

2012年から2013年に開催されたMTHL技術支援委員会の結論に従い、高強度のコンクリートを使用することとした。最低圧縮強度は45MPaとし、具体的には表6.3.6に示す強度のものを使用する。

表 6.3.6 コンクリート強度

適用部材	圧縮強度 (MPa)
場所打ち杭基礎およびケーソン基礎	45
パイルキャップ	45
パイルキャップカバー	55
橋台	45
橋脚	55
床版	55
壁高欄、中央分離帯	45

出典：Technical Advisory Committee, 2012-2013
Final Feasibility Study Report, 2012

(2) 鉄筋

鉄筋はIRC: 21-2000に準拠し、鉄筋種別および降伏強度を表6.3.7に示す。

表 6.3.7 鉄筋種別および降伏強度

種別	降伏強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
Fe 240	240	200
Fe 415	415	200
Fe 500	500	200

出典：IRC: 21-2000

(3) PC 鋼材

PC 鋼材はIRC: 112-2011に準拠し、PC 鋼材種別および降伏応力度を表6.3.8に示す。

表 6.3.8 PC 鋼材種別および降伏強度

クラス	PC 鋼材種別	断面積 (mm ²)	降伏強度 (kN)	降伏強度 (低リラクセーション) (kN)
I	11.1mm 7本より	70.0	105.86	108.00
	12.7mm 7本より	92.9	139.90	144.10
	15.2mm 7本より	139.0	192.83	216.20
II	11.1mm 7本より	74.2	117.21	124.10
	12.7mm 7本より	98.8	156.11	165.30
	15.2mm 7本より	140.0	222.23	234.60

出典：IRC: 112-2011

(4) 鋼材

IRC24-2010 に準拠する。

6.3.5 環境クライテリア

橋梁設計は、12.3 章に示す EIA および CRZ の通知を順守して設計する必要がある。

6.4 道路概略設計

6.4.1 はじめに

第 3 章で述べたように道路平面線形は、過去及び本調査における検討において環境社会面への配慮が十分なされたものであり、かつ「イ」国基準を満足するものである。縦断線形は交差物件に必要なクリアランスが確保されているが、航路位置、航路限界の見直しが行われたため、経済性の観点から縦断線形の見直しを行った。本線縦断検討を含め本検討で実施した検討項目を以下に示した。

- 本線縦断の改良：海上部の航路位置、航路限界と整合した縦断計画。
- 本線車線数と料金所ブース数：交通需要予測結果を基に変更。
- インターチェンジ線形：緩和曲線の考慮とノーズ間距離を確保した線形修正、2 車線ランプの分合流計画を実施。
- ランプ車線数と料金所ブース数：車両通行に配慮した車線数と交通需要解析結果を基にした料金所ブース数。
- 切土部計画：切土区間の縦断と標準断面。
- 舗装構成：特に鋼床版箱桁上の舗装に着目した最適な舗装構成の提案。
- 排水計画：海上部の路面水計画。

6.4.2 本線縦断の改良

第 3 章で述べたように Final Feasibility Study Report, 2012 における海上部の縦断線形は、桁下高さに余裕のある箇所が数か所あるため、海上部について以下の条件を考慮し本線縦断改良案を検討した。

- 最大縦断勾配は 2.5% とし設計基準を順守する。
- 航路横断部での縦断のクレスト（頂上）は橋梁支間の中央とする。
- 極端な縦断勾配の折れは行わない。

次頁に先の調査における縦断線形と改良案の縦断イメージ図を図 6.4.1 に示す。

6.4.3 本線車線数の照査

本線の車線数は6車線である。これはマハラシュトラ州の上位計画より決定されているものである。本検討においては、Manual of Specifications and Standards for Expressways (IRC:SP-99-2013)』を用い、将来需要予測交通量からその妥当性を検証した。

結果、開通して10年後の2032年には6車線が必要となる。なお、20年後の2042年には8車線必要となるが、その時期においては同路線と並行して計画されているメトロが建設され道路機能は確保されていると推測される。

表 6.4.1 本線車線数の検証結果

西 暦	交通量 (台/日)	交通量 (PCU/日)	エクスプレスウェイ基準における設計交通量 (PCU/時間) (SP-99-2013)	必要車線数
2022	31,155	39,300	< 86,000 4車線	4車線
2032	88,613	103,886	< 130,000 6車線	6車線
2042	125,000	145,510	< 173,000 8車線	8車線

出典：JICA 調査団

6.4.4 本線料金所ブース数の検討

本線料金所ブースはシバジ・ナガール IC と SH54IC 間の土工部に位置する。3章においても述べたように、先の2012年時の検討において本線料金所ブース数は14ブース設けられていたが、その根拠は不明である。そのため、本検討においては開通20年後の2042年の将来予測交通量を用いて必要ブース数の検討を行った。

検討の結果、2042年において Electronic Toll Collection System (以下、ETC とする。) の普及率が30-40%と推測し、本線料金所ブース数は8ブースが必要となる。

表 6.4.2 本線料金所ブース数の検討結果

方 向	2042年交通量 (台/日)	2042年ピーク時交通量 (台/時)	ETCレーンの通過交通量 (台/時) (全体の約30-40%と仮定)	手動レーンの通過交通量 (台/時) (全体の60-70%と仮定)	必要 ETC ブース数	必要手動ブース数	合計ブース数
チルレ	25,000	1,800	630	1,170	1	3	4
セウリ	23,000	1,550	540	1,010	1	3	4

メモ： 手動レーンの場合の1台が料金所を通過する時間を8秒とする。
手動レーンにおいて車両3台が料金所に並ぶ場合、2ブース：780台/時間、3ブース：1,230台/時、4ブース：1,670台/時の処理能力が見込める。

出典：JH基準を基に JICA 調査団作成

6.4.5 インターチェンジ線形の改良提案

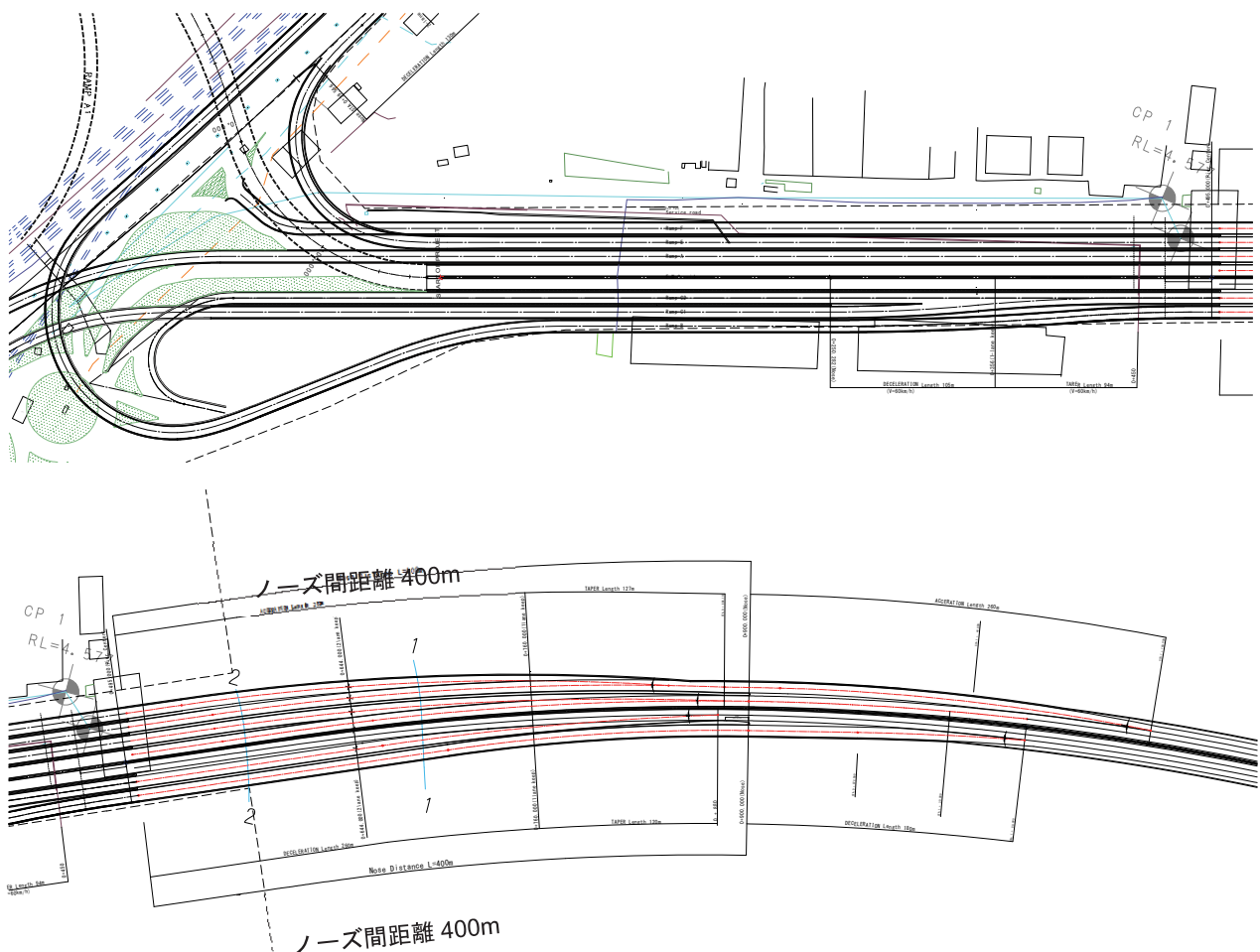
第3章で述べたように、先の調査におけるICのランプ線形において緩和曲線が考慮されていない。このためランプ線形については緩和曲線を考慮した線形計画を行った。なお、本線については Final Feasibility Study Report, 2012 より既に緩和曲線は考慮されている。

以下に各 IC について、緩和曲線の有無による線形の違いを示す。緩和曲線を考慮した場合とそうでない場合では図面上の違いはほとんど見られないが、緩和曲線を導入することで道路利用者の安全性・走行性が向上する。

(1) ランプ線形

セウリ IC

合流部は4つランプが同一ノーズで合流していた形態を、隣り合うランプ同士を合流させ、その後、改めて合流させる形態に修正した。ノーズ間距離 400m は基準値 275m (設計速度 100km/h) を確保している。分流も同様である。

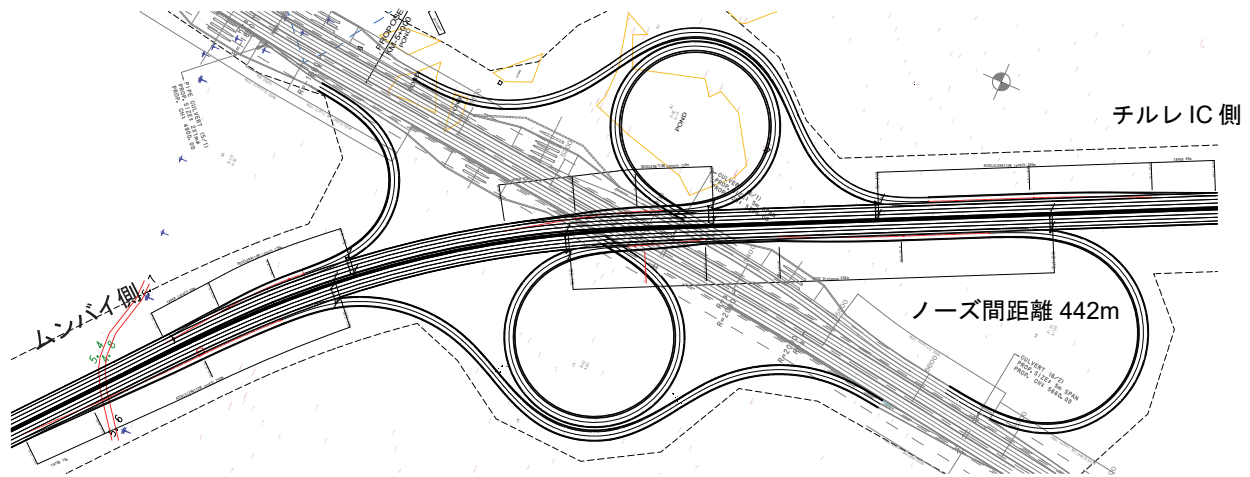


出典：JICA 調査団

図 6.4.2 セウリ IC

シバジ・ナガール IC

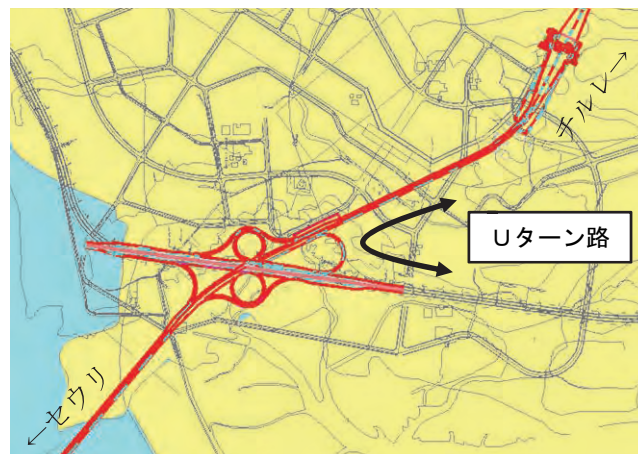
ノーズ間距離対象箇所は一か所のみである。ノーズ間距離 442mは基準値 275m（設計速度 100km/h）を確保している。



出典：JICA 調査団

図 6.4.3 シバジ・ナガール IC

またシバジ・ナガール IC はフルアクセスではなく、一部方向のランプが計画されていない。これは図 6.4.4 に示すように U ターンが可能なルートが CIDCO 計画道路において確保されるためと推測される。



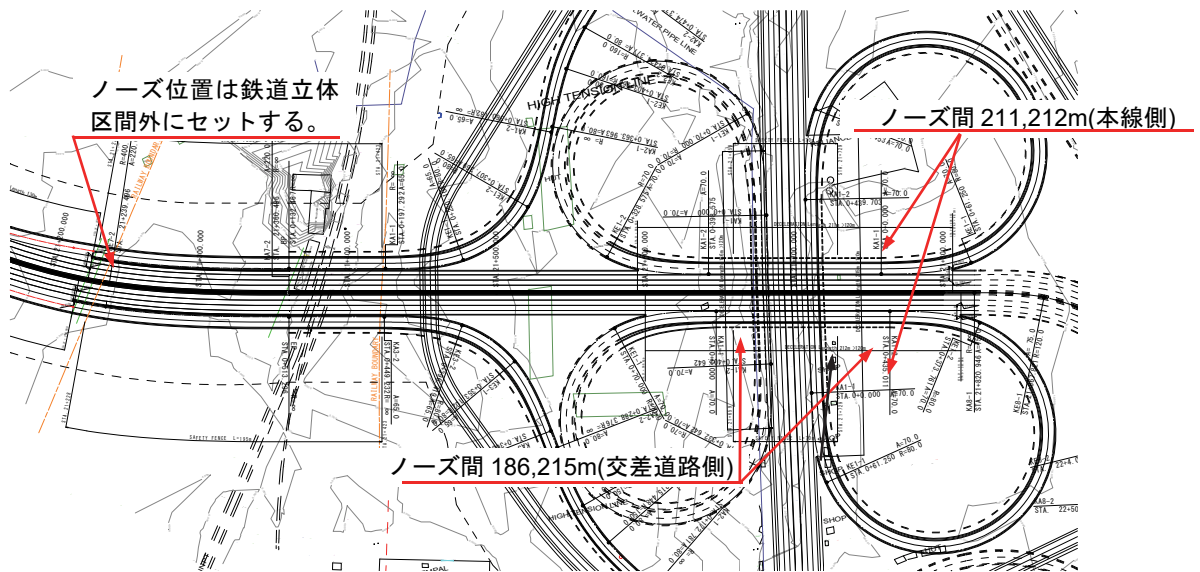
出典：JICA 調査団

図 6.4.4 シバジ・ナガール IC 計画図

チルレ IC

チルレ IC は将来の延伸計画を踏まえた暫定形である。また延伸部本線はランプ規格となっており、当該ランプ付近の本線設計は 60km/h で実施されている。

本線ノーズ間距離は 211m、212m で最小値 120m を満足している。また鉄道交差部は、管理者からの要望より同一幅員幅とした。



出典：JICA 調査団

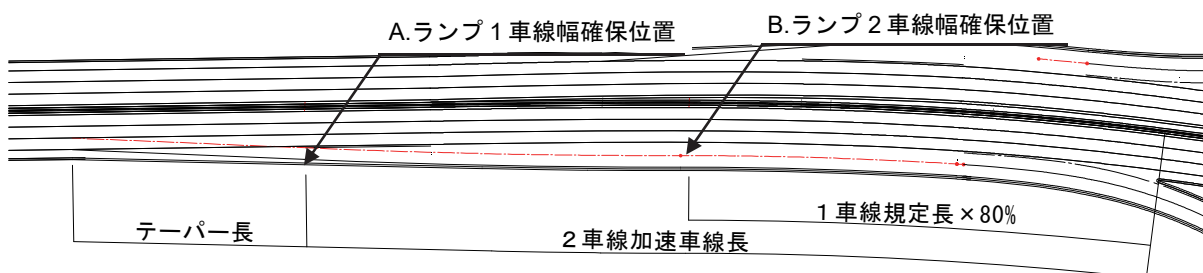
図 6.4.5 チルレ IC

(2) 加減速区間の考え方

2車線ランプの分合流計画は、次の2点 (A,B) の要求事項を順守する。

- A：加減速区間長は2車線の規定延長を確保し、テーパー端部では1車線の幅員を確保する。
- B：加減速区間の中間に2車線幅を確保する位置を設ける。(ノーズより1車線規定値の80%)

加速区間の中間に2車線確保位置を設けることで、線形が滑らかになり本線への分合流がスムーズになる。計画する全てのランプは2車線のため、このA、Bの要求事項に基づいて計画する。



出典：JICA 調査団

図 6.4.6 2車線ランプの分合流形式

6.4.6 IC車線数の検討

各 IC におけるランプ車線数は Final Feasibility Study Report, 2012 時の検討においては全て 2 車線以上となっている。しかしながら明確な根拠が不明である。このため、本検討においては、開通 20 年後の 2042 年における予測交通量と日本基準に基づいて車線数の照査を行った。予測交通量からの必要車線を以下に記す。

セウリ IC

本線からムンバイ港方向への C2 ランプのみ必要車線が 2 車線となり、その他のランプにおいては 1 車線となった。

シバジ・ナガール IC

本線とナビ・ムンバイ空港を連結するオン、オフランプの必要車線数が 2 車線となり、その他のランプにおいては 1 車線となった。

SH54IC

オン、オフランプ共に必要車線数は 1 車線となった。

チルレ IC

全てのランプにおいて必要車線数は 1 車線となった。

以上より、将来予測交通量のみを考慮した場合の各ランプの必要車線数は 1 車線または 2 車線となる。しかしながら 1 車線ランプは緊急時に車両が停止してもその脇を通行可能な幅員を確保する必要がある。

曲線半径が小さい場合、セミトレーラが走行する幅は約 $W=5.0\text{m}$ 必要となり、これに左右の余裕幅 0.5m を加えると総幅で $W=6.0\text{m}$ の幅員が必要となる。この幅は 2 車線総幅員 7.0m と大差ない幅であり、大型車が曲線部を走行することを考えると 2 車線の通行幅と同程度の幅が必要である。



出典：JICA 調査団

図 6.4.7 SH54IC のセミトレーラ走行軌跡

また、既に 2 車線ランプ（チルレ IC は 3 車線ランプ）として IC の用地が確保されていることも考慮し、ランプ車線数は以下とした。

表 6.4.3 ランプ車線数

ランプ名	Final Feasibility Study Report, 2012 検討時の車線数	2042 年予測交通量からの車線数	採用車線数	備考
セウリ IC の全ランプ	2 車線	1 車線 C2 のみ 2 車線	2 車線	ウェスタンフリーウェイの接続ランプを除く
シバジ・ナガール IC	2 車線	1 車線	2 車線	
本線とナビ・ムンバイ空港を連結するオン、オフランプ	2 車線	2 車線	2 車線	
その他のランプ		1 車線		
SH54IC の全ランプ	2 車線	2 車線	2 車線	
チルレ IC の全ランプ	3 車線	1 車線	2 車線	本線延伸計画ランプを除く

出典：JICA 調査団

6.4.7 IC 料金所ブース数の検討

IC において料金所が設置されるのはシバジ・ナガール IC である。今回シバジ・ナガール IC の出入り交通量は 2012 年時の検討結果よりも非常に多い結果となった。その理由は 4.3 章で述べた通りである。

ここでは、開通 20 年後の 2042 年の予測交通量に基づき必要料金ブース数の検討を行った。その結果、本線とナビ・ムンバイ空港方面を結ぶランプにおいて、必要ブース数が 6 ブースとなり、その他のランプにおいては 3 ブースとなる。

表 6.4.4 シバジ・ナガール IC ランプ料金所必要ブース数 (2042 年)

ランプ (方向)	必要料金ブース
ナビ・ムンバイ空港⇒セウリ	6
JNPT 港⇒セウリ	3
セウリ⇒ナビ・ムンバイ空港	6
セウリ⇒JNPT 港	3
ナビ・ムンバイ空港⇒チルレ	3
チルレ⇒ナビ・ムンバイ空港	3

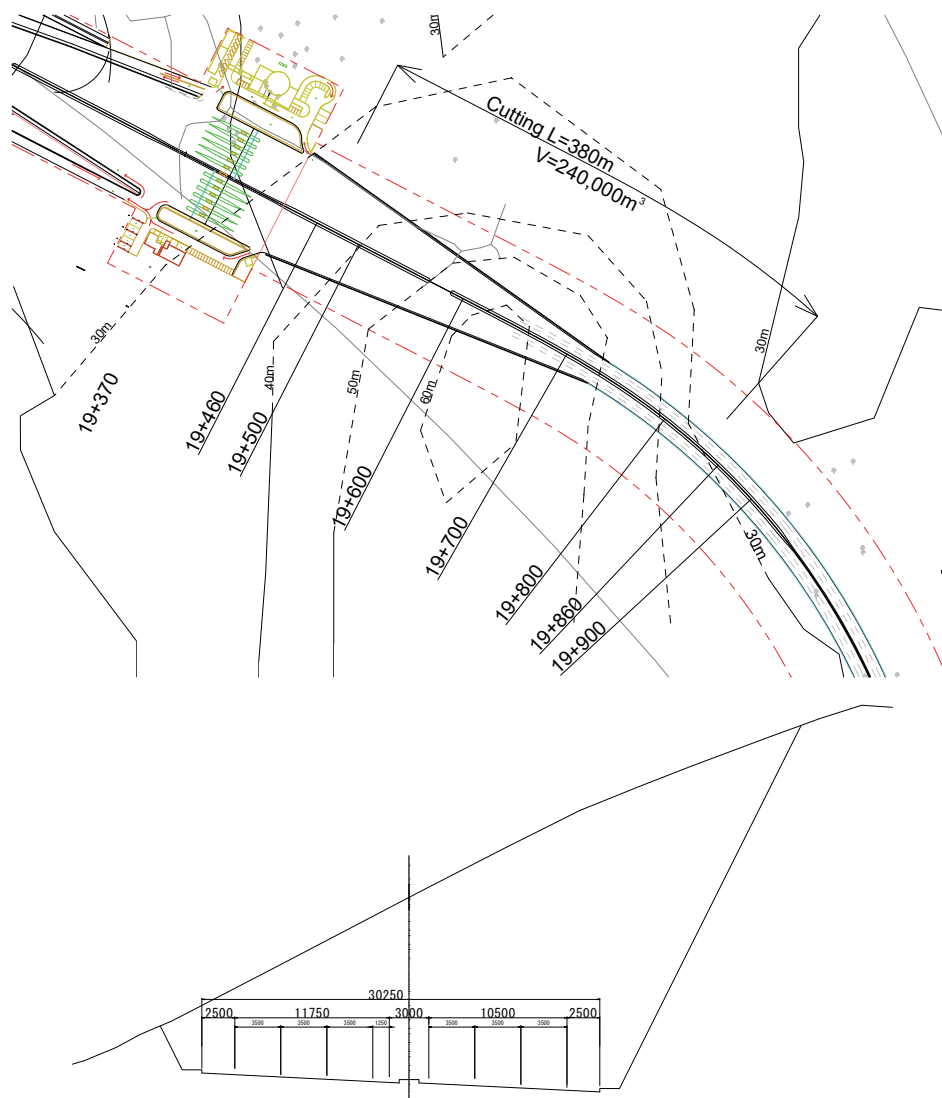
出典：JICA 調査団

一方、シバジ・ナガール IC の用地範囲は既に決定されており、その用地内に収めるには、本線とナビ・ムンバイ空港方面を結ぶランプにおいては最大 4 ブースの設置が可能となる。4 ブースを設置した場合 2032 年の予測交通量までは機能確保が可能であるが、2032 年以降は、ランプに設置された料金ブースを廃止し、本線部 (17+000) に新たな料金ブースを設置することを提案する。なお、この付近は海岸規制区域 (以下、CRZ とする。) に位置することより、2032 年までに必要となる環境クリアランスが取得される必要がある。

6.4.8 切土部設計

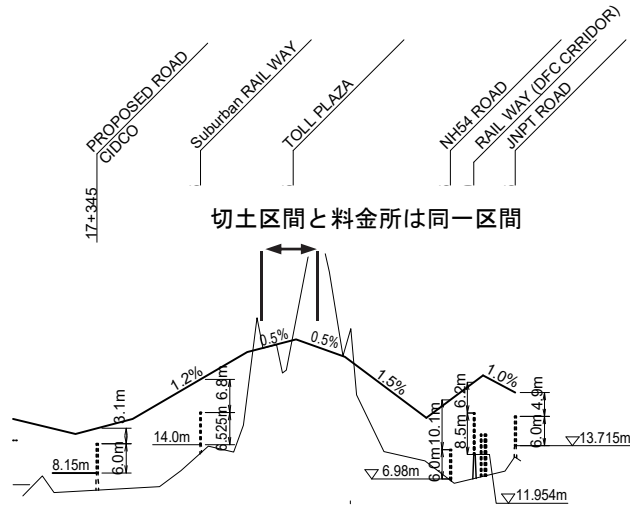
MTHL 本線のナビ・ムンバイ側の切土区間は、切土高さが $H=25\text{m}$ の大規模な切土構造となる。既往の地質調査よりこの近傍は玄武岩のため、切土工事には発破が用いられることを想定し、切土法面勾配 $1:0.5$ 、小段なしとして計画した。工事実施前には地質調査を行い、法面勾配小段の必要性を検討する必要がある。

切土区間は上下線縦断を変え土量の削減を行うことが考えられる。しかし、切土区間 380m は料金所区間のため縦断勾配を 0.5% で計画されており、縦断勾配を上下線で分離構造にすることは、安全走行、かつ線形上望ましくないため縦断の分離計画は行わない。



出典：JICA 調査団

図 6.4.8 切土部標準横断面図



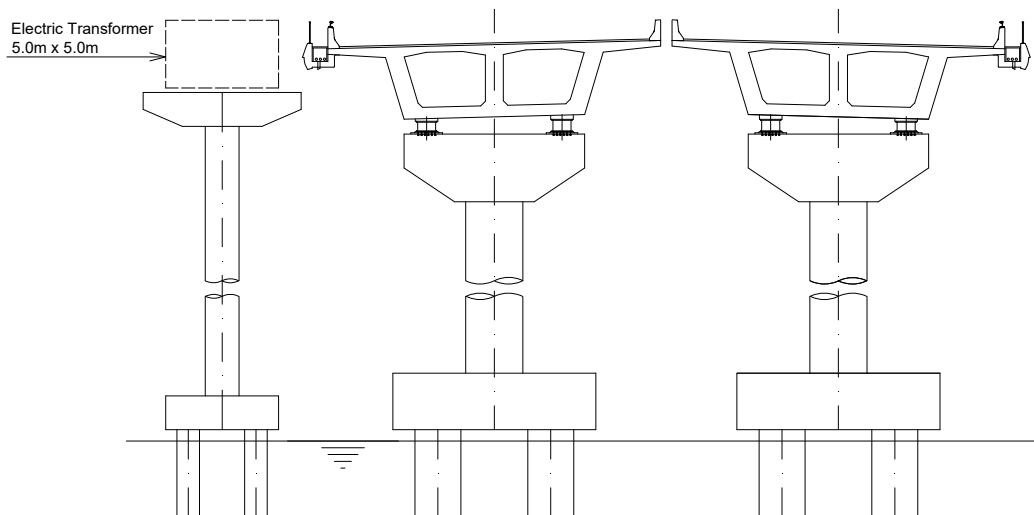
出典：JICA 調査団

図 6.4.9 料金所と切土区間

6.4.9 変電設備設置のためのデッキおよびレスキューステーション

変電設備設置のためのデッキは、MTHL とは分離して設けるものとする。Bombay Electric Supply & Transport (BEST)との協議において、変電設備は MTHL に電力を供給するうえで必要な設備であることが確認された。そのため、変電設備設置のために、サイズ 5m x 5m のデッキを 3km 毎、上下線に設置することとする。変電設備設置のためのイメージ図を図 6.4.10 に示す。

レスキューステーションは、MTHL の上り線、下り線の両側に沿って 1ヶ所ずつ設置される。その大きさは、長さ 50m、幅 7m であり、航路やパイプラインを跨がず緊急避難用の中央分離帯オープン区間付近の一般部に設置される。



出典：JICA 調査団

図 6.4.10 変電設備設置のためのデッキイメージ図

6.4.10 舗装設計

(1) 舗装に要求される性能

橋面上の舗装は予測される交通需要に対して橋梁本体に悪影響を及ぼさないように設計されなければならない。舗装に求められる性能は以下である。

- 走行の快適性を維持すること
- 路面の平坦性を良くするとともに適度のすべり抵抗性を持たせることによって、車両走行時の快適性や安全性を向上させること
- 周辺の環境に適合した舗装材料を使用し、良好な道路景観を創出すること

また、橋梁上で使用されるアスファルト材料は、自然要因や外的要因により起こりうる不具合から橋梁を保護する（機能を確保する）ことが主な役割である。

(2) 橋梁上のアスファルト舗装

橋梁上の舗装は以下の要求事項を満足する必要がある。

- ひずみに対する抵抗性
- 適度なすべり抵抗性
- 適度な剛性
- 平坦性
- 耐久性等
- 場所によりすり減り抵抗性（Tool booth 付近）

また舗装は、橋梁構造の耐久性能を確保するため、様々な自然条件下において設計時に考慮された交通条件の下、橋梁構造本体を保護する役割も担っている。さらには、活荷重を吸収、橋梁構造本体に伝達した上で、平坦性とたわみに対する抵抗性と程よいすべり抵抗性を提供する必要がある。

以上のように橋梁上の舗装は様々な要求事項があり、これらを満足するために舗装は層構成とされる。

一般的に橋梁上のアスファルト舗装は以下の4層に区分される。

- 接着層
- 防水層
- 基層
- 表層

防水層と基層はしばしば防水システムと呼ばれ、表面および浸透した雨水の排水方法を橋梁上の舗装では考慮する必要がある。

1) 接着層

アスファルト舗装は接着層が無ければ橋梁床板上に設置できない。このため、床版と防水層を接着するための接着層が設けられる。

接着層に求められる機能は以下である。特に鋼床版上においては錆に対する防御機能も要求される。

- 床版と防水層の強い粘着性の保証
- 防錆に対する信頼性
- 疲労抵抗性
- せん断抵抗

本件においては、接着層として最も多く使用されているのは瀝青系の接着剤の使用を推奨する。

なお、接着層の施工前は床版上面にある接着の妨げになりうるすべての異物を除去し、清掃、乾燥することが重要である。

2) 防水システム

防水システムは防水層と基層からなる。

防水層

橋梁の耐久性は床版の防水システムと伸縮装置が有効に機能しているかどうか、すなわち適切な排水機能が確保されているかに大きく左右される。このため、防水層に要求される主な機能は以下である。

- いかなる状況下（気温変動、交通荷重）においても堅固であること
- 接着層と基層との間に位置し接着性を有すること
- 基層に使用される材料との相性がよいこと
- 基層施工時の高温に耐えうる材料であること

橋面の舗装に使用される防水層は以下の 2 種類であるが、塗布材の使用が一般的である。このため、本件においても施工性も考慮し、瀝青系の塗布材の使用を推奨する。

- シート防水
ポリマーを用いた瀝青材料もしくはエラストマー系のシート防水が使用される。床板上に接着され、舗装の一部として形成される。
- 塗布防水
塗布材料としては、アクリル樹脂系、メチルメタクリレートポリマー、ポリウレタン樹脂系、瀝青系に大きく分類される。そのうち橋梁床板上の防水としては瀝青系の塗布材が一般に使用されるが、IRC、ISO、BBA または同等の基準をクリアしたものを使用し、最低 20 年以上の実績を持っている必要がある。

基層

基層は 2 層目の防水層としての役割と、防錆および表層からの荷重を適切に床板に伝達する役割を持っている。

近年マスチックアスファルトの他に、繊維質強化材を添加した碎石マスチックアスファルトが適用されており、この碎石マスチックアスファルトを適用することにより、防水性やたわみ性の他に耐流動性、耐摩耗性、すべり抵抗性、リフレクションクラック抑制効果等の機能が付加され、品質、耐久性が向上する。

表層

表層においては、安全で快適な走行を確保するために、高いすべり抵抗性、平坦性、低騒音であることが要求される。必要な耐久性を確保するために、表層には以下の要求事項が課せられる。

- 摩耗に対する十分な抵抗性の保持
- オイル、水、鉱物等に対する抵抗性の保持
- 天候に左右されにくい
- 床板および防水層の保護
- 高い安定性の保持
- 疲労耐久性の保持
- 変形に対する追随性の保持
- 荷重分散機能の保持

表層は瀝青材で形成され、一般的には密粒度アスファルト、マスチックアスファルト、碎石マスチックアスファルトなどが適用される。

(3) 橋梁上のアスファルトの構成

1) コンクリート床版上のアスファルト構成

「イ」国においてコンクリート床版は一般的であるが、コンクリート床版は重荷重やコンクリートの乾燥収縮によりクラックが発生する場合がある。コンクリート橋に要求される設計寿命は 100 年であり、この寿命を確保するには防水性に優れた高品質の舗装の施工が最も重要となる。

アスファルト舗装の主な役割はいかなる自然状況下においても要求される防水機能を確保し、曲線部においても車両から発生する横方向の荷重や制動荷重などの車両荷重等に対して十分な強度と安定性を有することである。

アスファルト舗装は通常、基層と表層の 2 層構成である。前述したとおり、基層は品質と耐久性を考慮し、マスチックアスファルトもしくは碎石マスチックアスファルトが使用される

場合が多い。上記要求事項を満足するために表層は硬質アスファルトもしくはポリマー改質アスファルトの使用が推奨される。

表 6.4.5 はコンクリート床板上のアスファルト構成の比較である。MTHL は最重要路線であり、大型車の混入率は高くないものの夏場における高温と将来交通量の影響を考慮し、耐流動性、耐水性、耐久性に優れた砕石マスチックアスファルト（ポリマー改質アスファルト II 型）を基層に設ける。表層に関しては施工性、維持管理性、経済性を重視し、インドで一般的な密粒度アスファルトを推奨する。

また、橋梁上の全舗装厚は過去の実績と試験結果より一般的な 80mm とする。

表 6.4.5 コンクリート床板上のアスファルト構成比較

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
基層	マスチックアスファルト (40mm)	砕石マスチックアスファルト II型 (40mm)	砕石マスチックアスファルト II型 (40mm)
表層	砕石マスチックアスファルト II型 (40mm)	砕石マスチックアスファルト II型 (40mm)	密粒度アスファルト (40mm)
舗装厚	80mm	80mm	80mm
特徴	- 基層のマスチックアスファルトは高い耐久性能と耐水性、変形性能を有するが、特別な乳剤とプラントと舗装機材が必要となり非常に高価である。	- 砕石マスチックアスファルトは食物繊維を添加させた改質アスファルトである。高い耐流動性、防水性能を有し、従来のプラントおよび舗装機材で施工が可能である。	- 耐流動性と防水性能は他案より劣るものの、基層に砕石マスチックアスファルト(改質II型)を使用することで十分な機能が保たれる。 - 従来のプラントおよび機械で施工が可能である。
耐流動性	A	A	B 基層は耐流動性は高い。
たわみ追随性	A+	A	B コンクリート床版上ではたわみは生じない。
接着性	A+	A	B
防水性	A+	A+	B 基層は耐流動性が高い。
施工性	B (専用プラントと重機が必要)	A	A
工期	B	A	A
耐久性	A	A	A+ コンクリート床版上ではたわみ等が生じないことより耐久性を有するため。
初期コスト	C	A	A
LCC	A	A	A+ コンクリート床版上では耐久性を有するためLCCも有利となる。
維持管理の容易さ	C	A	A
評価	-	-	推奨

注) マスチックアスファルト=グースアスファルト

凡例: A+: 優れる/とても良い、A: 良い、B: 普通、C: 劣る

出典: JICA 調査団

2) 鋼床版上のアスファルト構成

鋼床版はコンクリート床板よりたわみ(変形)が大きい。このため、より高いたわみ追随性、耐久性と水密性が要求される。また、舗装厚は死荷重軽減を図るため最小限の80mmとする。

表 6.4.6 は鋼床版上のアスファルト構成の比較である。

コンクリート床版上に要求される性能に加えて、たわみ性能を有した舗装を採用する必要がある。表 6.4.6 によると、たわみ追随性能に優れる舗装はケース 1 とケース 3 である。しかしながら、「イ」国における施工性、維持管理性、工費を総合的に考慮し、ケース 2 を推奨する。

表 6.4.6 鋼床版上のアスファルト構成比較

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
基 層	マチックアスファルト (40mm)	砕石マチックアスファルト II 型 (40mm)	砕石マチックアスファルト III 型 (40mm)
表 層	マチックアスファルト (40mm)	砕石マチックアスファルト II 型 (40mm)	砕石マチックアスファルト II 型 (40mm)
舗装厚	80mm	80mm	80mm
特 徴	- 高い耐久性能と耐水性、変形性能を有するが、特別な乳剤とプラントと重機が必要となり非常に高価である。 - たわみ追随性が最も高い。	- 食物繊維を添加させた改質アスファルトである。高い耐流動性、防水性能を有し、従来のプラントおよび機械で施工が可能である。	- 基層に用いられる改質 III 型はケース 1 と同様に高いたわみ追随性を有する。 - 従来のプラントおよび機械で施工が可能であるが、改質アスファルト III 型の材料は輸入となる。
耐流動性	A	A	A
たわみ追随性	A+	A	A+
接着性	A+	A	A
防水性	A+	A	A+
施工性	C (専用プラントと重機が必要)	A	A
工 期	B	A	A
耐久性	A+	A	A
初期コスト	C	A	B
LCC	A	A	A
維持管理の容易さ	C	A	B
評 価	-	推 奨	-

注) マチックアスファルト＝グースアスファルト

凡例：A+：優れる/とても良い、A：良い、B：普通、C：劣る

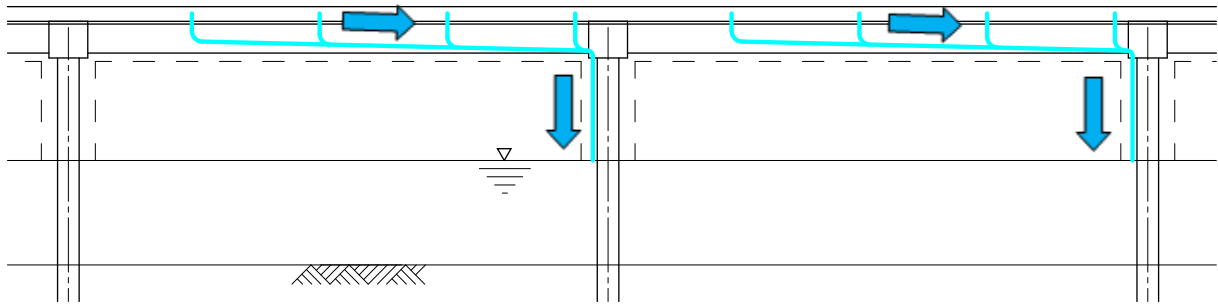
出典：JICA 調査団

6.4.11 排水計画

海上部高架橋の排水は、管理者の許可が得られれば直接放流が可能である。しかし、干潟部分の放流は、干潟への影響を考慮し、図 6.4.11 に示すような計画を行う。

- 路面排水は柵等で土砂、ごみを除去する。
- 除去された排水は集約する。
- 集約した排水は干潟の浸食に影響を与えずに放流する。

干潟部の排水イメージ図（案）を以下に示す。

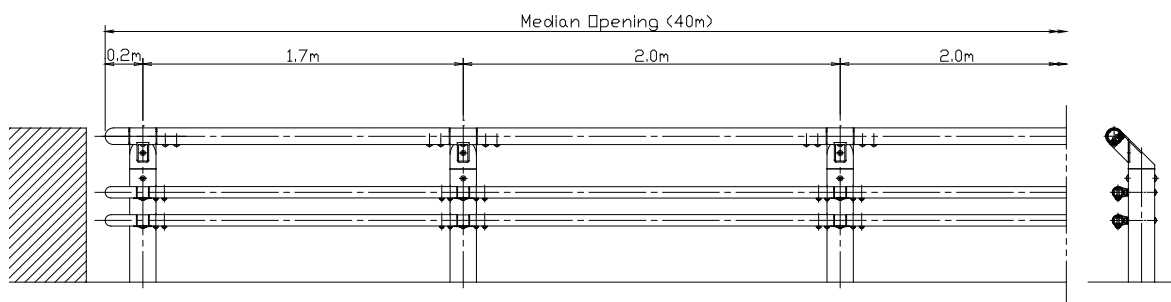


出典：JICA 調査団

図 6.4.11 干潟部の排水イメージ図

6.4.12 緊急避難用の中央分離帯開口部

中央分離帯開口部（L=40m）は、橋梁補修等のために車線規制をする必要がある場合、および重大事故などの非常時に使用される。中央分離帯開口部は、日本の基準に準じて、2km 毎に設置する。



出典：JICA 調査団

図 6.4.12 緊急避難用の中央分離帯開口部

6.4.13 遮音壁

遮音壁は、フラミンゴを騒音から守るために、ムンバイ側およびナビ・ムンバイ側の干潟エリアに設置する。

表 6.4.7 遮音壁

測点	長さ	高さ
CH. 0+500～4+000（北側）	3,500m	3m
CH. 0+500～5+500（南側）	5,000m	3m
CH. 16+980～17+580（両側）	600m	3m

出典：JICA 調査団

6.4.14 目隠し板

目隠し板は、MTHL を通行する運転手の視線からバーバ原子力研究所を隠すために設置する。これは、MTHL の北側のみに設置する。

表 6.4.8 目隠し板

測点	長さ	高さ
CH. 4+000～10+000 (北側)	6,000m	3m

出典：JICA 調査団

6.4.15 安全フェンス

安全フェンスは、交差道路、鉄道、航路を MTHL からの落下物から守るために設置する。

表 6.4.9 安全フェンス

測点	長さ	高さ	交差物件
CH. 5+500～6+078 (南側)	578 m	3m	パイプライン、コンベヤーなど
CH. 8+720～9+080 (南側)	360m	3m	ターネ航路
CH. 13+138～13+510 (両側)	372m	3m	パンベル航路
CH. 16+840～16+880 (両側)	484 m	3m	道路
CH. 18+087～18+127 (両側)	40 m	3m	計画道路
CH. 18+187～18+217 (両側)	30 m	3m	道路
CH. 18+317～18+357 (両側)	40 m	3m	計画道路
CH. 18+424～18+492 (両側)	68 m	3m	鉄道／道路
CH. 18+574～18+644 (両側)	70 m	3m	計画道路
CH. 18+884～18+929 (両側)	45 m	3m	計画道路
CH. 20+225～20+260 (両側)	35 m	3m	道路
CH. 21+009～21+079 (両側)	70 m	3m	SH54
CH. 21+228～21+423 (両側)	195 m	3m	鉄道
CH. 21+659～21+729 (両側)	70 m	3m	NH4B

出典：JICA 調査団

6.5 橋梁概略設計

6.5.1 はじめに

MTHL の高架区間は海上部と陸上部に分かれ、様々な橋梁形式と支間によって構成されている。

ムンバイ側始点部であるセウリ IC は多層構造になっており、ナビ・ムンバイ側に位置する3つの IC においては立体構造と地上部への接続構造が混在している。

海上部における標準部（一般部）においては施工性と維持管理の容易性、経済性、「イ」国における豊富な実績を考慮して支間長 50m の PC 箱桁橋が Final Feasibility Study Report, 2012 において推奨されており、非常に合理的で適切な構造形式であると判断される。また、その PC 箱桁橋は桁支間中央の曲げモーメントを減少すべく 6 径間の連続構造が採用され、支承と伸縮継手が省略され経済的になる他、走行性向上及び維持管理性に対しても配慮されたものとなっている。

陸上部においては、支間長 30m の PC 箱桁橋が既存調査において推奨されており、施工性、経済性、工期短縮を重視したものと考えられる。支間長 30m の PC 箱桁橋は「イ」国で一般的に採用されている橋種であり、施工性も問題ないと判断される。床版連結した構造形式となっており、伸縮装置の省略により、走行性および維持管理性に配慮されたものとなっている。

また、船舶の航路、海底パイプライン等と交差し、長支間（150-180m）を要する箇所についての最適な構造形式の検討については、本章での検討の結果、大ブロック一括架設採用により大幅な工期短縮が図れる鋼床版箱桁橋を推奨している。

6.5.2 本線の橋梁計画

(1) 支間割の検討

1) 一般部（支障物件のない箇所）

海上一般部の支間長は、既存調査により漁船および作業船航行を考慮して決定した。プロジェクト道路近辺に漁港があり、漁船が漁をするために外洋に出る際や漁を終え漁港に戻る際にプロジェクト道路を横断する。また、ムンバイ湾は河川堆積物等が溜まりやすく、定期的にムンバイ湾内、特に航路において、海底浚渫作業を行っている。漁船の移動および海底浚渫作業のために、橋梁支間長は 50m を基本とする。また、干潟区間については、環境上の要求事項により、支間長は 50m 以上と規定されている。上記の内容については、Final Feasibility Study Report, 2012 およびその中で実施された MTHL 技術支援委員会においても示されている。

陸上一般部の支間長は、30m を基本として計画した。この支間長の橋梁形式は、「イ」国で豊富な実績があり、安価に建設できる橋種を選定することが可能となるためである。

2) 海上特殊部

5.4 章の支障物件調査結果に基づき、支間割の検討を行った。その結果を表 6.5.1 に示す。

表 6.5.1 海上部における支障物件および支間割

支障物件	水平方向クリアランス	測点	支間割 (m)
タタ火力発電所 (排水路)	94m	No. 3+395~No. 3+715	85+150+85=320m
タタ火力発電所 (石炭搬入路)	2x94m	No. 4+625~No. 6+078	90+2@150+2@100+93 =683m 120+180+120+140+120+90 =770m
パイプライン	-		
石炭コンベヤー	5m		
冷却水路	94m		
ピアパウ埠頭	-		
ターネ航路	2x94m	No. 8+620~No. 9+180	100+2@180+100=560m
ONGC パイプライン BPCL パイプライン	-	No. 11+880~No. 13+610	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) 84+2@130+180+115=639m 74+4@95+65=519m 112+2@180+100=572m (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) 98+140+150+180+90=658m 55+4@95+65=500m 100+2@180+112=572m
パンベル航路	2x100m		

出典：JICA 調査団

3) マングローブ林部 (ナビ・ムンバイ側)

ナビ・ムンバイ側の海岸付近には、MTHL は、延長約 2km のマングローブ林エリアを通過する。マングローブ林部は CIDCO 海岸道路 (計画) を境界として、海岸側と内陸側に 2 分割される。Final Feasibility Study Report, 2012 では、マングローブ林区間はすべて支間長 50m の計画であった。しかしながら、CIDCO 海岸道路完成後において、CIDCO 海岸道路より内陸側に海水が流入することはほとんど無いことから、CIDCO 海岸道路より内陸側は、陸上部とみなすことが可能なため、経済性および施工を重視し、支間長 30m を採用した。



出典：JICA 調査団

図 6.5.1 マングローブ林エリア (ナビ・ムンバイ側)

海岸側については、マングローブ林への影響を低減するために、支間長 80m 案も検討したが、建設費が大きく増加することにより、採用しなかった。

4) 鉄道交差部

鉄道交差部については、MMRDA が「イ」国鉄との間で協議済みで、橋脚位置、形状、上部工形式が指定されており、その協議結果に基づき支間割を行った。

表 6.5.2 交差鉄道および支間割

交差鉄道	水平方向クリアランス	測点	支間割 (m)
スプラン鉄道	70m	No. 18+421.5~No. 18+491.5	70m
鉄道 (DFCC コリドー、パンベルウラン、 JNPT 鉄道)	195m	No. 21+232~No. 21+427	3@65=195m

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 6.5.2 鉄道交差部

5) 道路交差部

5.4 章の支障物件調査結果を表 6.5.3 に示す。既存および計画交差道路が特定されており、計画道路については、CIDCO にも確認済みである。これらの交差道路を考慮し、支間割を決定した。その結果を表 6.5.3 に示す。

表 6.5.3 交差道路および支間割

交差道路	水平方向クリアランス	測点	支間割 (m)
既存道路	約 6m	No. 16+840~No. 16+880	40m
CIDCO 海岸道路 (計画)	約 27m	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) No. 17+320~No. 17+471 (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) No. 17+341~No. 17+482	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) 45+49+57=151m (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) 57+34+50=141m
計画道路	約 33m	No. 18+087~No. 18+127	40m
既存道路	約 7m	No. 18+187~No. 18+217	30m
計画道路	約 24m	No. 18+317~No. 18+357	40m
既存道路	約 6m	No. 18+421.5~No. 18+491.5	70m
既存道路	約 4m	No. 18+421.5~No. 18+491.5	70m
計画道路	約 30m	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) No. 18+574~No. 18+644 (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) No. 18+554~No. 18+644	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) 35+35=70m (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) 40+50=90m
計画道路	約 30m	No. 18+884~No. 18+929	45m
既存道路	約 15m	No. 20+225~No. 20+260	35m
SH54	約 26m	No. 21+012~No. 21+079	67m
計画道路	About 12m	No. 21+427~No. 21+467	40m
NH4B	約 25m	No. 21+660~No. 21+730	2@35=70m

出典：JICA 調査団



(a) SH54



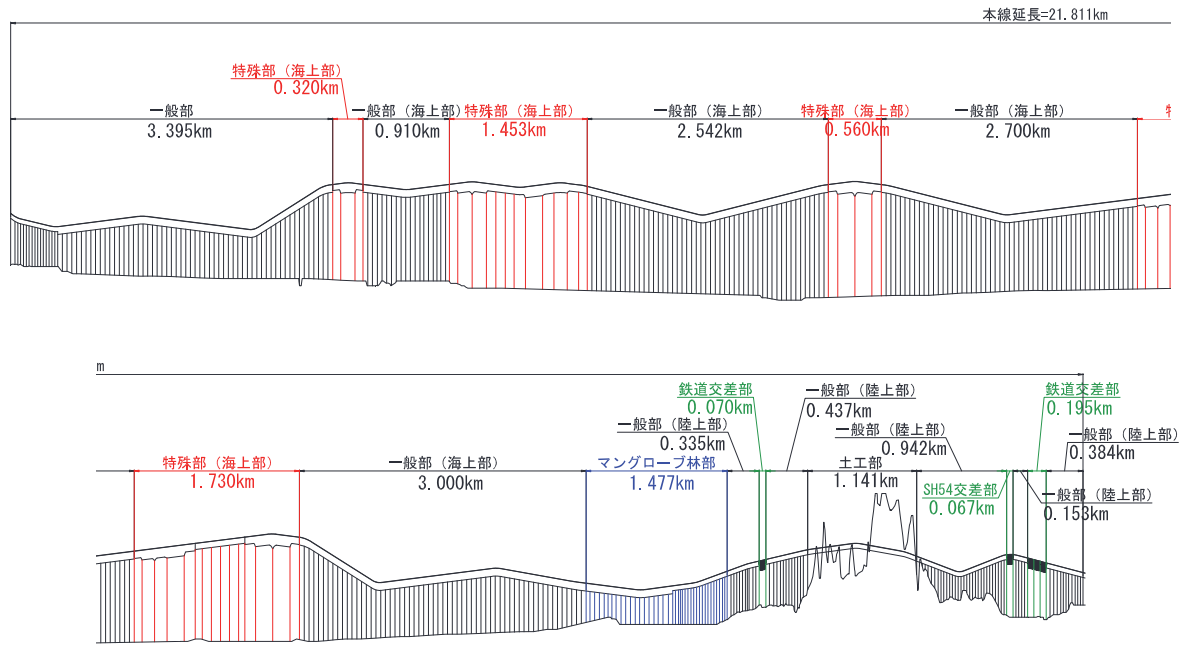
(b) NH4B

出典：JICA 調査団

図 6.5.3 道路交差部

6) まとめ

上記検討結果に基づき、本線全体の支間割を計画した。その結果を図 6.5.4 および表 6.5.4～表 6.5.5 に示す。



注) 一般部 (海上部) 支間長 50m

一般部 (陸上部) 支間長 30m

特殊部、交差点の支間割は、表 6.5.4～表 6.5.5 を参照

出典：JICA 調査団

図 6.5.4 本線の橋梁計画

表 6.5.4 本線の橋梁計画-1

測点	区分	支間割
No. 0+495~No. 3+395	一般部（海上部）	2,900m (2@50m, 3@50m, 3x2@50m, 5@50m, 7x6@50m)
No. 3+395~No. 3+715	支障物件部	320m (85m+150m+85m)
No. 3+715~No. 4+625	一般部（海上部）	910m (2x6@50m, 40m+2@50m+40m, 40m+50m+40m)
No. 4+625~No. 6+078	支障物件部	1,453m (90m+2@150m+2@100m+93m, 120m+180m+120m+140m+120m+90m)
No. 6+078~No. 8+620	一般部（海上部）	2,542m (6x6@50m, 2x5@50m, 46m+3@50m+46m)
No. 8+620~No. 9+180	支障物件部	560m (100m+2@180m+100m)
No. 9+180~No. 11+880	一般部（海上部）	2,700m (9x6@50m)
No. 11+880~No. 13+610	支障物件部	1,730m (ムンバイ→ナビ・ムンバイ) (84m+2@130m+180m+115m, 74m+4@95m+65m, 112m+2@180m+100m) (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) (98m+140m+150m+180m+90m, 55m+4@95m+65m, 100m+2@180m+112m)
No. 13+610~No. 16+610	一般部（海上部）	3,000m (10x6@50m)
No. 16+610~No. 16+840	マングローブ林部	230m (40m+3@50m+40m)
No. 16+840~No. 16+880	道路交差部	40m
(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) No. 16+880~No. 17+320 (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) No. 16+880~No. 17+341	マングローブ林部	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) 440m (45m+4@50m, 45m+3@50m) (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) 461m (45m+3@50m+30m+20m, 45m+3@50m, 21m)
(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) No. 17+320~No. 17+471 (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) No. 17+341~No. 17+482	道路交差部	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) 151m (45m+49m+57m) (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) 141m (57m+34m+50m)
(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) No. 17+471~No. 18+087 (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) No. 17+482~No. 18+087	マングローブ林部	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) 616m (46m, 2x30m, 2x20m, 14x30m, 2x25m) (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) 605m (35m, 2x30m, 2x20m, 14x30m, 2x25m)
No. 18+087~No. 18+127	道路交差部	40m
No. 18+127~No. 18+187	一般部（陸上部）	60m (2@30m)
No. 18+187~No. 18+217	道路交差部	30m
No. 18+217~No. 18+317	一般部（陸上部）	100m (2x30m+2x20m)
No. 18+317~No. 18+357	道路交差部	40m
No. 18+357~No. 18+421.5	一般部（陸上部）	64.5m (30m+34.5m)
No. 18+421.5~No. 18+491.5	鉄道交差部	70m

出典：JICA 調査団

表 6.5.5 本線の橋梁計画-2

測点	区分	支間割
(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) No. 18+491.5~No. 18+574 (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) No. 18+491.5~No. 18+554	一般部 (陸上部)	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) 82.5m (37.5m+45m) (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) 62.5m (37.5m+25m)
(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) No. 18+574~No. 18+644 (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) No. 18+554~No. 18+644	道路交差部	(ムンバイ→ナビ・ムンバイ) 70m (2@35m) (ナビ・ムンバイ→ムンバイ) 90m (40m+50m)
No. 18+644~No. 18+884	一般部 (陸上部)	240m (8@30m)
No. 18+884~No. 18+929	道路交差部	45m
No. 18+929~No. 20+070	土工部	
No. 20+070~No. 20+225	一般部 (陸上部)	155m (4x30m+35m)
No. 20+225~No. 20+260	道路交差部	35m
No. 20+260~No. 21+012	一般部 (陸上部)	752m (35m+23x30m+27m)
No. 21+012~No. 21+079	道路交差部	67m
No. 21+079~No. 21+232	一般部 (陸上部)	153m (4x30m+33m)
No. 21+232~No. 21+427	鉄道交差部	195m (3@65)
No. 21+427~No. 21+467	道路交差部	40m
No. 21+467~No. 21+660	一般部 (陸上部)	193m (38m+2x37m+3x27m)
No. 21+660~No. 21+730	道路交差部	70m (2x35m)
No. 21+730~No. 21+811	一般部 (陸上部)	81m (3x27m)

出典：JICA 調査団

(2) 橋梁形式の検討

1) 一般部 (海上および陸上)

(a) 上部工形式

海上一般部の支間長は 50m、陸上一般部の支間長は 30m を基本として計画している。「イ」国において、支間長 30m~50m の橋梁は、一般的に PC 箱桁橋が採用されている。PC 箱桁橋形式は、「イ」国内での採用数も多く、他の橋種よりも安価で建設することが可能である。本邦においても、支間長 30m~60m 程度の橋梁は、PC 箱桁橋が採用されるケースが多くみられ、PC 箱桁橋の採用は妥当と考えられる。また、海上橋梁の維持管理は容易ではないことから、伸縮装置数を減らすことが可能となる連続桁形式を採用し、支承数を減らすために上部構造と橋脚を剛結したラーメン構造を採用する。陸上部においては、維持管理性に配慮して、伸縮装置を省略できる床版連結式の PC 単純桁形式とする。

(b) 下部工・基礎工形式

下部工の形式としては、上下線分離型橋脚と上下線一体型橋脚が考えられ、比較検討を実施する。

表 6.5.6 橋脚形式比較表（上下線分離型と上下線一体型橋脚）

	上下線分離型	上下線一体型
概略図		
構造的性	上部工架設時の架設ガーダーと桁自重を桁直下の柱で支えており安定性が高い構造である。	上部工架設ガーダーと桁自重の偏載荷のため柱頭部に回転モーメントが発生するため梁剛性を確保する必要がある。
施工性	柱頭部ブロックをプレキャスト化することが可能など梁部分施工性は良い。	柱、ピアキャップ施工は上下線分離型よりも良いが梁部分の施工はより注意を要する。
経済性	○	○
セキュリティ	○	×
総合評価	上部架設時の構造的性と景観性に優れるために採用する。 ◎ (採用)	上部架設時の構造的性に不安がある。 セキュリティ上不安がある。

出典：JICA 調査団

上下線一体型の場合は、主桁架設時に主桁自重と架設ガーダー重量が片側載荷（偏載荷）状態になるため、主桁にねじりモーメントを発生させるおそれがある。よって、張出桁部（横桁）は剛性を確保するために横梁部にハンチを設けた。

比較検討は構造的性、施工性、経済性、セキュリティの観点から総合的に判断し、上下線分離型橋脚を採用した。

また、陸上部橋脚に関しても海上部橋脚と同様の構造的性が要求されることより上下線分離型橋脚とした。

基礎の形式としては、パイルベント形式、場所打ち杭、鋼管矢板井筒基礎、ケーソン基礎が考えられるが、海上一般部の支間長は 50m、陸上一般部の支間長は、30m と比較的短く、各橋脚および基礎が支持する荷重は小規模である。鋼管矢板井筒基礎およびケーソン基礎は、主に中規模～大規模な橋梁に適用されることが多く、本橋梁形式に適用することは経済上不利となる。場所打ち杭は、小規模～中規模な橋梁に多く採用されており、本橋梁への適用は妥当と考えられる。また、パイルベント形式の柱は、土中施工は杭施工と同じ施工法のため、「イ」国内での杭施工実績を考慮し柱径（＝杭径）が $\phi 2,400$ （ケーシングを除く内径）となるが、構造計算の結果、支持力が不足し採用に至らなかった。

また、場所打ち杭の杭径は杭径比較により決定する。

2) 海上特殊部

(a) 上部工形式

海上特殊部の支間長は、150m および 180m となる。支間長 150m および 180m に適用可能な橋種を選定し、一次選定を行った。その結果を表 6.5.7 に示す。

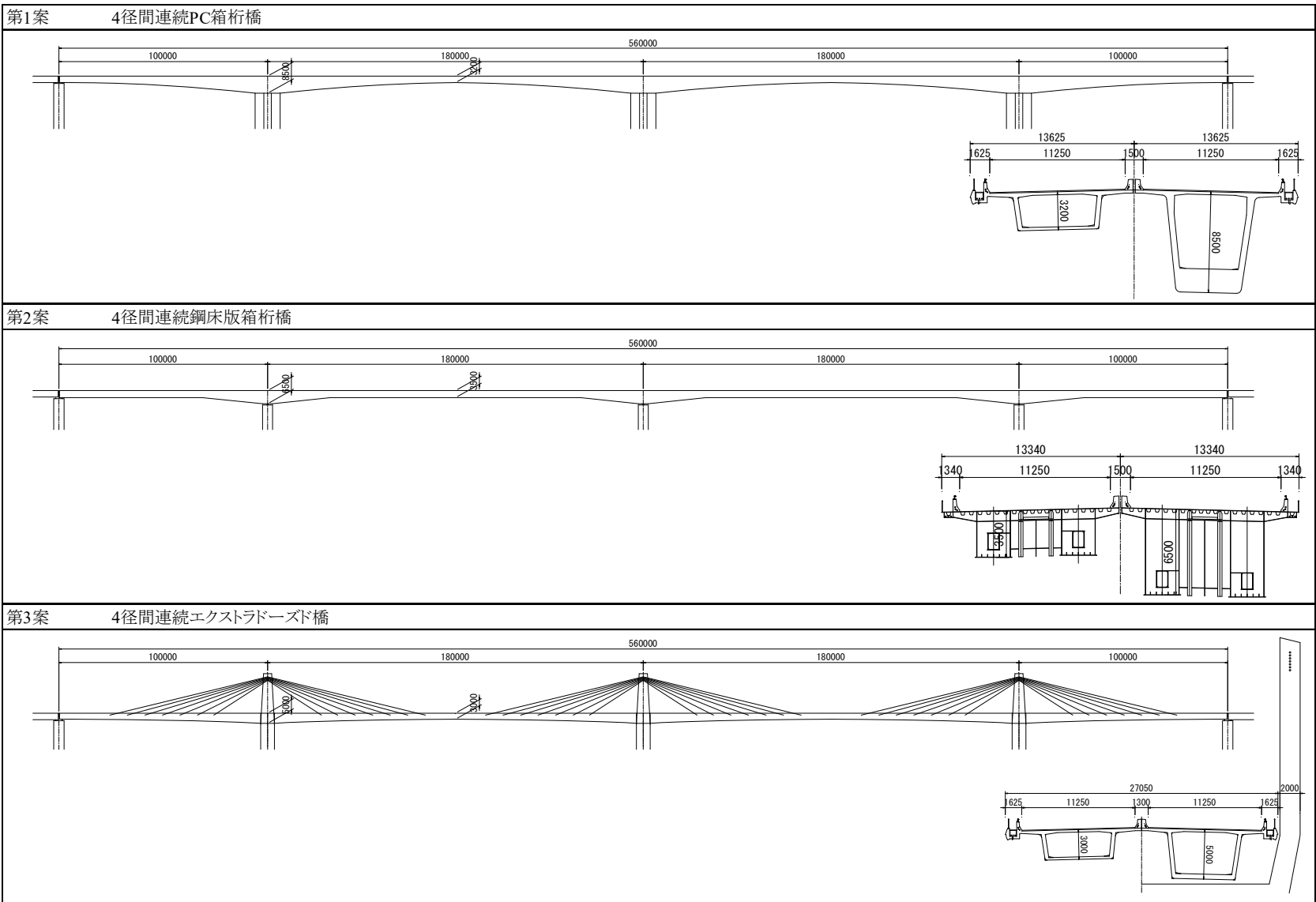
表 6.5.7 一次橋種選定

橋種	標準適用支間	選定理由	選定の有無
PC ラーメン箱桁橋	50m~140m	適用標準支間長を超えているが適用可能である。	○
鋼床版鋼箱桁橋	30m~200m	本支間長程度において施工実績が多く、適用可能である。	○
鋼トラス橋	40m~120m	適用可能ではあるが、適用標準支間長を大幅に超えており、経済性はかなり悪い。前後の橋梁形式と連続性が無く、景観性に劣る。	×
鋼アーチ橋	50m~200m	4 径間、5 径間連続アーチの実績はほとんど無く、適用は避けたほうが望ましい。後の橋梁形式と連続性が無く、景観性に劣る。	×
PC エクストラドーズド橋	100m~200m	本支間長程度において施工実績が多く、適用可能である。	○
PC 斜張橋	110m~400m	適用可能であるが、本支間長においてエクストラドーズド橋より経済性に劣る。	×

出典：JICA 調査団

表 6.5.7 で選定された 3 案について詳細な比較検討を実施した。比較表を表 6.5.8 および表 6.5.9 に示す。なお、比較は支間長 180m が必要とされるターネ航路で実施した。

表 6.5.8 海上特殊部橋梁 2次選定比較表-1



出典：JICA調査団

表 6.5.9 海上特殊部橋梁 2次選定比較表 2

橋梁形式 ターネ航路 (100+180+180+100)			第1案	第2案	第3案
			4径間連続PC箱桁橋 (既存レポート)	4径間連続鋼床版箱桁橋	4径間連続エクストラード橋
橋梁イメージ					
構造性	信頼性	施工実績	多い ◎	多い ◎	標準 ○
		標準適用支間長	50m~140m △	60m~200m ◎	100m~200m ◎
	耐久性		高い ◎	高い ◎	高い ◎
	地震抵抗性	上部工重量	標準(上部工重量は重い) ○	有利(上部工重量は軽い) ◎	標準(上部工重量は重い) ○
施工性	施工工法	施工難易度	標準 (キャンチレバー工法) ○	標準 (大ブロック架設) ○	高い (ケーブルを用いたキャンチレバー工法) △
	品質管理	現場製作or 工場製作	現場製作 ○	工場製作 ◎	現場製作(難易度高い) △
施工全体工期			6年(既存レポート) △	約4.5年* ◎	約6年 △
維持管理の容易性	維持管理期間	再塗装	不要 ◎	再塗装35年/回 △	不要 ◎
		伸縮装置	取り換え20年/回 ○	取り換え20年/回 ○	取り換え20年/回 ○
		支承	取り換え40年/回 ◎	取り換え40年/回 ○	取り換え40年/回 ○
	その他			Necessary of high maintenance technology △	
景観性	景観性		前後の橋梁とマッチしている ○	前後の橋梁とマッチしている ○	モニュメントとなる ◎
環境性	海洋環境保護	基礎サイズ	標準 ○	小さい ◎	大きい △
		橋脚サイズ	標準 ○	薄い ◎	厚い △
	施工時の環境影響		標準 ○	小さい (施工工期が短いため) ◎	大きい (施工工期が長い) △
新技術(技術移転)			なし △	新橋梁形式 大ブロック架設 重防食塗装 ◎	なし △
評価			2	1	3
施工費(率)	ターネ航路のみ		1.00	1.29	1.37
	プロジェクト全体		1.00	1.07	1.13
経済便益 (経済的內部収益率)			約14%	約14%	約13%

凡例: ◎良い、○標準、△悪い
*) : ムンバイ側に約5kmの仮橋架設に最低でも2.5年必要である。そのため、3年ですべてを施工するのは不可能である。

出典: JICA 調査団

各項目の評価方法を下記に示す。

構造性

構造性は、構造物の信頼性、耐久性、地震に対する抵抗性の3つの観点から評価される。

構造物の信頼性は、施工実績に基づいて評価する。過去に施工された橋種（施工実績）の数が多きほど構造の信頼性が高いと考えられる。しかし、施工実績が多い橋梁においても一般的に使用されている支間長より長い支間長に適用する場合は信頼性に欠けることとなる。このため、信頼性は支間長も考慮した施工実績により評価を行う。

構造物の耐久性は、橋梁の寿命を表し、耐久性が高いほど長期間の供用が可能となる。橋梁は床版・主桁・橋脚・基礎から成り立っており、床版は主桁・橋脚・基礎とは違い、繰り返しの車両荷重を直接受けることによる疲労耐久性が問題となることが多い。RC床版は疲労耐久性に弱く、PC床版や鋼床版と比べて寿命が短い。一般的にRC床版の寿命は50年、PC床版および鋼床版の寿命は100年と考えられている。このため、床版材料に焦点を当て、評価を行う。

地震に対する抵抗性は、構造物の重量に基づいて評価する。地震力と構造物の重量は密接に関係し、構造物の重量が大ききほど構造物が受ける地震力は比例して大きくなる。反対に、構造物自体の重量が軽ければ、構造物が受ける地震力は小さくなる。構造物の軽量化を図ることにより、地震への抵抗性を大きくすることが可能となるため、構造物の重量により評価を行う。

施工性

施工性には、施工自体の難易度と施工時の品質管理の難易度の2つの観点から評価される。

施工難易度は、安全性の高い橋梁建設を行う上で重要な指標である。施工難易度が高くなれば、高い施工精度が要求される。施工難易度は架設工法や橋梁の種類により異なり、比較的容易な架設工法はブロック架設やスパンバイスパン架設である。（施工ヤードでブロックを製作するため架設自体は比較的容易である。）難易度の高い架設工法には、現場打ち片持ち架設などが挙げられる。また、エクストラードード橋や斜張橋は、片持ち架設に加えケーブル緊張の施工もあることからさらに難易度が高くなる。このため、適用される架設工法により評価を行う。

施工時の品質管理は、品質の高い橋梁建設を行う上で重要な指標である。工場あるいはヤード製作が可能な部材については、品質管理が容易であり、高品質なものを安定して供給することが可能となる。しかしながら、現場で製作する部材については、品質管理が難しく、高品質なものを安定して提供するためには、非常に高い品質管理を行う必要がある。このため、部材の製作場所によって評価を行う。

施工工期

ナビ・ムンバイ空港は 2019 年の開港を目指して、建設が進められている。また、同時にナビ・ムンバイ側で経済特区の建設も進められている。これらの施設完成後は、ムンバイとナビ・ムンバイ間の移動が活発となることから、MTHL の早急な開通が求められている。施工期間の短縮はムンバイおよびナビ・ムンバイを含めた経済活動の促進を図る上で重要な指標である。

維持管理性

橋梁の維持管理性は、再塗装と部品・装置の取り換えの 2 つの観点から評価を行う。

再塗装は、橋梁本体構造の寿命を延ばすために必要である。再塗装をしない場合、塗装が劣化した箇所から鋼材が腐食し、橋梁の補修などの大規模な修繕が必要となる。海上橋梁に必要な重防食塗装の寿命は 35 年程度であるため、設計寿命期間中には再塗装が必要となる。再塗装を行うためには費用がかかるため、再塗装が少ない構造材料を選定することが望ましい。このため、再塗装の頻度について評価を行う。

部品・装置の取替えについては、橋梁を安全に使用あるいは交通の円滑性を確保するために必要である。取替えが必要な部品は伸縮装置及び支承であり、伸縮装置は 20 年程度に 1 回、支承は 40 年程度に 1 回取り換えが必要となる。伸縮装置や支承の取り換えを行うためには費用がかかり、交通規制も伴うため、伸縮装置と支承が不要な構造を選定することが望ましい。このため、伸縮装置・支承の有無について評価を行う。

景観性

MTHL は、ナビ・ムンバイ新空港からムンバイの中心部を結ぶ重要な路線でもある。また、ナビ・ムンバイ新空港からムンバイへ入る際の玄関口となることから、新しいランドマークとなる。ナビ・ムンバイ新空港に降り立った観光客が最初に目にする主要な構造物の一つであり、ムンバイ発展の象徴となることから、橋梁の景観に焦点を当て、評価を行う。

環境性

MTHL はムンバイ湾を横断するように計画されている。ムンバイ湾は、魚類、フラミンゴやマングローブ等が数多く生息・生育しており、これらの自然環境を保護することが重要である。構造物の施工工期を短くすることや橋脚・基礎のサイズを小さくすることで、自然環境への影響を少なくすることが可能となる。このため、構造物の施工工期および橋脚・基礎のサイズにより評価を行う。

新技術（技術移転）

新技術の採用に関しては、MTHL を建設する上で、既存の技術よりも有意義（長寿命化等）になると考えられる技術について採用する。採用した新技術について、「イ」国への技術移転を行うことで、「イ」国の橋梁技術の発展に寄与できると考えられるため、新技術採用の有無により評価を行う。

建設費

建設費は基礎・橋台・橋脚・上部工を含み、表 6.5.9 に示す。

経済便益

開通後 40 年を目標年次として概略の経済便益の算出を行った。

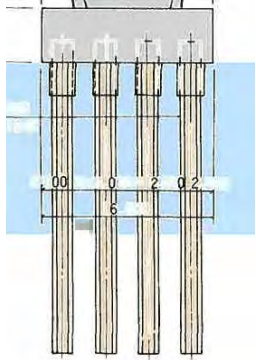
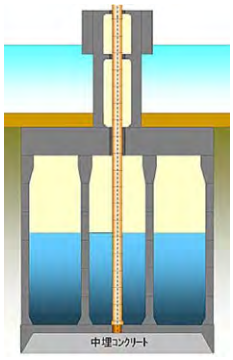

結論

表 6.5.8 および表 6.5.9 の結果より、上部工形式は第 2 案の鋼床版箱桁橋を採用する。

(b) 下部工・基礎工形式

基礎の形式としては、場所打ち杭、鋼管矢板井筒基礎、ケーソン基礎が考えられるが、海上特殊部の支間長は 150m および 180m であること、上部工には鋼床版箱桁を採用することから、上部工の軽量化が図られており、各橋脚および基礎が支持する荷重は中規模程度である。以上を踏まえ、多柱式基礎（場所打ち杭）およびケーソン基礎、鋼管矢板井筒基礎の比較を行い、基礎形式を決定する。

表 6.5.10 海上特殊部基礎工比較表

	多柱式基礎（杭基礎）	ケーソン基礎	鋼管矢板井筒基礎
概略図			
特性	・「イ」国内での実績のある工法である。杭基礎の実績は多数。	・「イ」国内での実績のある工法である。	・「イ」国内では実績のない工法である。
	・この荷重規模の橋梁には優位性がある。	・荷重規模はケーソン基礎が必要なほど大きくはない。	・荷重規模もケーソン基礎が必要なほど大きくはない。
	・施工上の問題はない。	・水深10m下の施工では設備が大規模になり、杭基礎型式に比べ優位性がない。	・「イ」国で実績がないため、施工精度、工期等に問題が生じる可能性あり
総合評価	○	△	×

出典：JICA 調査団

「イ」国内では、多柱式基礎とケーソン基礎の実績がある。海上特殊部の上部工形式は、鋼床版箱桁橋（最大支間長 180m）であり、その荷重規模は大規模ではなく、多柱式基礎に優位性がある。ケーソン基礎は比較的大規模な荷重の基礎に適した形式であり、航路部は水深が 10m 程度のために施工設備が大規模となり経済的に劣る。また、鋼管矢板井筒基礎は、本橋梁が海上に存在するため、施工の難易度が高いことから、「イ」国で施工実績の多くない本

工法を採用することは避けるべきと考えられる。以上のような理由により、海上特殊部の基礎形式は多柱式基礎（場所打ち杭）とした。

また、場所打ち杭の杭径については比較検討の上決定する。

3) マングローブ林部（ナビ・ムンバイ側）

(a) 上部工形式

本橋梁は、環境への影響および経済性、施工を重視し、一般部（海上）と同様、支間長 50m が推奨されたため、支間長 50m の箇所については、PC ラーメン箱桁橋を採用し、なお、橋梁形式については、マングローブ林への負の影響を更に小さくするために支間長 80m の鋼箱桁橋の検討も行ったが、経済性の観点から採用を断念した。

(b) 下部工・基礎工形式

下部工の形式は、一般部（海上）と同様に上下線分離型橋脚とする。また、基礎形式については一般部（海上）同様、場所打ち杭形式を採用する。

マングローブ林区間の場所打ち杭形式は、海上部同様にパイルキャップ下面を CD 上+6.00m の位置とし、パイルキャップの床掘りによるマングローブ林への影響をなくす構造とする。このため比較対象構造が海上部と同様となる。

4) 鉄道交差部

(a) 上部工形式

鉄道交差部は本調査の前に MMRDA が鉄道管理者（「イ」国鉄道公社）と協議を行い、すでに鋼トラス橋を採用することで合意済みである。このため、鉄道交差部においては、MMRDA と鉄道管理者との協議結果を踏まえ、鋼トラス橋を採用する。

(b) 下部工・基礎工形式

基礎の形式においても上述したように、MMRDA と鉄道管理者との協議で決定しており、協議結果を踏まえ、場所打ち杭を採用する。

5) 道路交差部

(a) 上部工形式

道路交差部の支間長は、50m を基本として計画しているため、一般部同様 PC ラーメン箱桁橋を採用する。

(b) 下部工・基礎工形式

下部工の形式としては、一般部（陸上部）と同様の構造性が要求されることより張出式橋脚とした。また、基礎形式も一般部（陸上部）と同様に場所打ち杭とする。

6.5.3 インターチェンジの橋梁計画

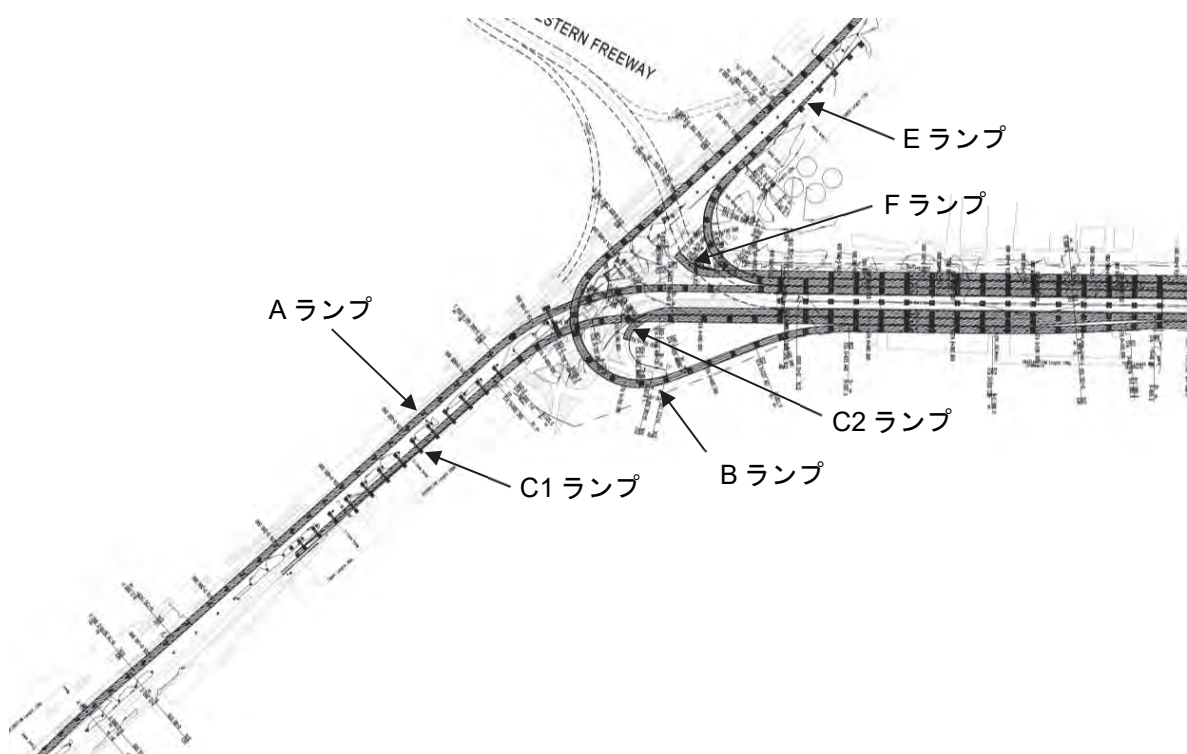
MTHLに取り付くICは、下記の4箇所存在する。

- セウリ IC (ムンバイ側)
- シバジ・ナガール IC (ナビ・ムンバイ側)
- SH54 IC (ナビ・ムンバイ側)
- チルレ IC (ナビ・ムンバイ側)

(1) セウリ IC

1) 支間割および上部工形式

本 IC の支間割は経済性および施工工期を勘案して、支間長 30m の PC 箱桁橋を基本として計画した。ランプ同士が交差する箇所および既存道路を跨ぐ箇所については、交差物件の鉛直方向クリアランスを考慮し、支間長を決定した。支間長は 30m～50m 程度であるため、この支間長に最も適する PC 箱桁橋を採用した。支間割を図 6.5.5 および表 6.5.11 に示す。



出典：JICA 調査団

図 6.5.5 セウリ IC の支間割

表 6.5.11 セウリ IC の支間割

ランプ名	橋脚番号	測点	橋種	支間割
A ランプ	AP1 - MP1	~No. 0+495	PC 箱桁橋	1,698m (26m, 23m, 30m, 7x26m, 25m, 3x35m, 17x26m, 35m, 2x51m, 35m, 2x25m, 2x30m, 60m, 23m, 15x30m, 50m)
B ランプ	BP1 - MP1	~No. 0+495	PC 箱桁橋	1,530m (2x33m, 4x26m, 21m, 2x30m, 3x26m, 31m, 11x26m, 32m, 49m, 23m, 3x35m, 2x30m, 25m, 18x30m, 50m)
C1 ランプ	C1P1 - C2P9		PC 箱桁橋	910m (12m, 22m, 11x26m, 30m, 25m, 30m, 23m, 30m, 32m, 50m, 40m, 11x30m)
C2 ランプ	C2A1 - MP1	~No. 0+495	PC 箱桁橋	500m (15x30m, 50m)
E ランプ	EP1 - MP1	~No. 0+495	PC 箱桁橋	908m (20m, 2x26m, 32m, 4x26m, 31m, 15m, 25m, 2x30m, 44m, 25m, 15x30m, 50m)
F ランプ	FA1 - MP1	~No. 0+495	PC 箱桁橋	440m (13x30m, 50m)

出典：JICA 調査団

2) 下部工・基礎工形式

ランプ橋は上部工が曲線橋であることや拡幅等があるため、パイルベント形式は適用が難しく、1本柱の張出し式橋脚を基本とする。ただし、ランプ A は、イースタン・フリーウェイを超える箇所があるために一部に門型ラーメン橋脚を採用する。基礎形式は場所打ち杭を採用する。

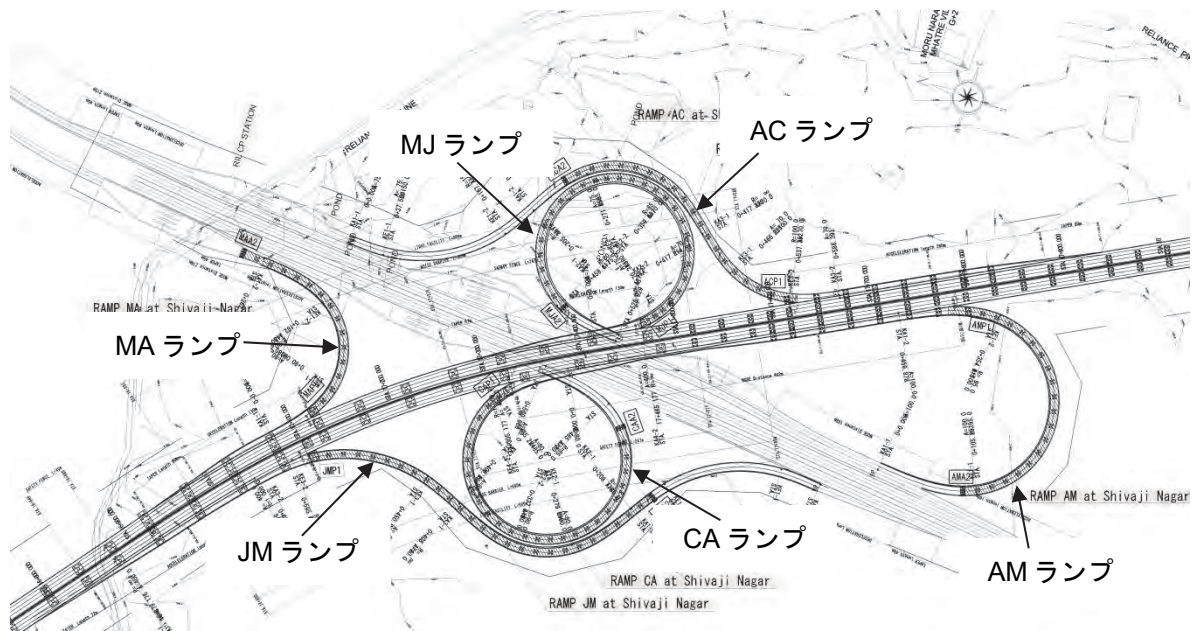
(2) シバジ・ナガール IC

1) 支間割および上部工形式

シバジ・ナガール IC は、橋梁施工のための制約条件が無い場合、「イ」国国内で多くの実績があり、経済的に優れている RC 中空床版橋を採用した。本橋梁はステージング（固定支保工）による施工が可能である。

2) 下部工・基礎工形式

下部工形式は、張出し式橋脚とした。基礎は場所打ち杭を採用する。



出典：JICA 調査団

図 6.5.6 シバジ・ナガール IC の支間割

表 6.5.12 シバジ・ナガール IC の支間割

ランプ名	橋脚番号	測点	橋種	支間割
MA ランプ	MP289 - MAA2	No. 17+125～	RC 中空床版橋	225m (15x15m)
AC ランプ	MP302 - ACA2	No. 17+617～	RC 中空床版橋	285m (19x15m)
JM ランプ	MP288 - JMA2	No. 17+105～	RC 中空床版橋	390m (26x15m)
MJ ランプ	MP296 - MJA2	No. 17+471～	RC 中空床版橋	388m (11m, 2x10m, 7x15m, 14m, 5x13m, 12m, 2x13m, 9x15m)
CA ランプ	MP293 - CAA2	No. 17+320～	RC 中空床版橋	373m (10m, 12x15m, 6x13m, 7x15m)
AM ランプ	MP308 - AMA2	No. 17+797～	RC 中空床版橋	285m (19x15m)

出典：JICA 調査団

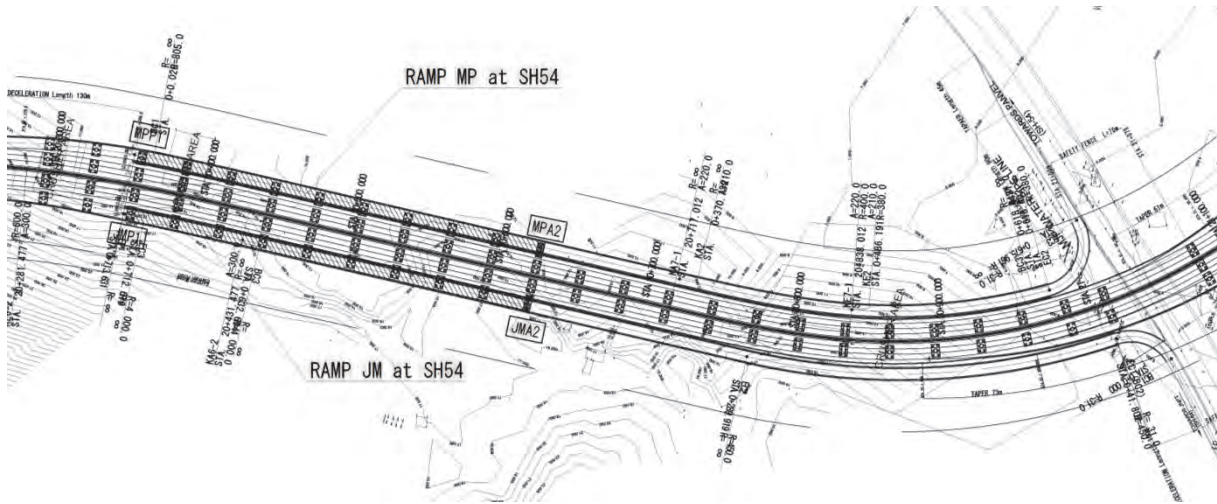
(3) SH54 IC

1) 支間割および上部工形式

本 IC は本線と平行するため、本線同様 PC 箱桁橋を採用した。

2) 下部工・基礎工形式

下部工形式は、張出し式橋脚とした。基礎は場所打ち杭を採用する。



出典：JICA 調査団

図 6.5.7 SH54 IC の支間割

表 6.5.13 SH54 IC の支間割

ランプ名	橋脚番号	測点	橋種	支間割
MP ランプ	LP9 - MPA2	No. 20+355～	PC 箱桁橋	270m (9x30m)
JM ランプ	LP9 - JMA2	No. 20+355～	PC 箱桁橋	270m (9x30m)

出典：JICA 調査団

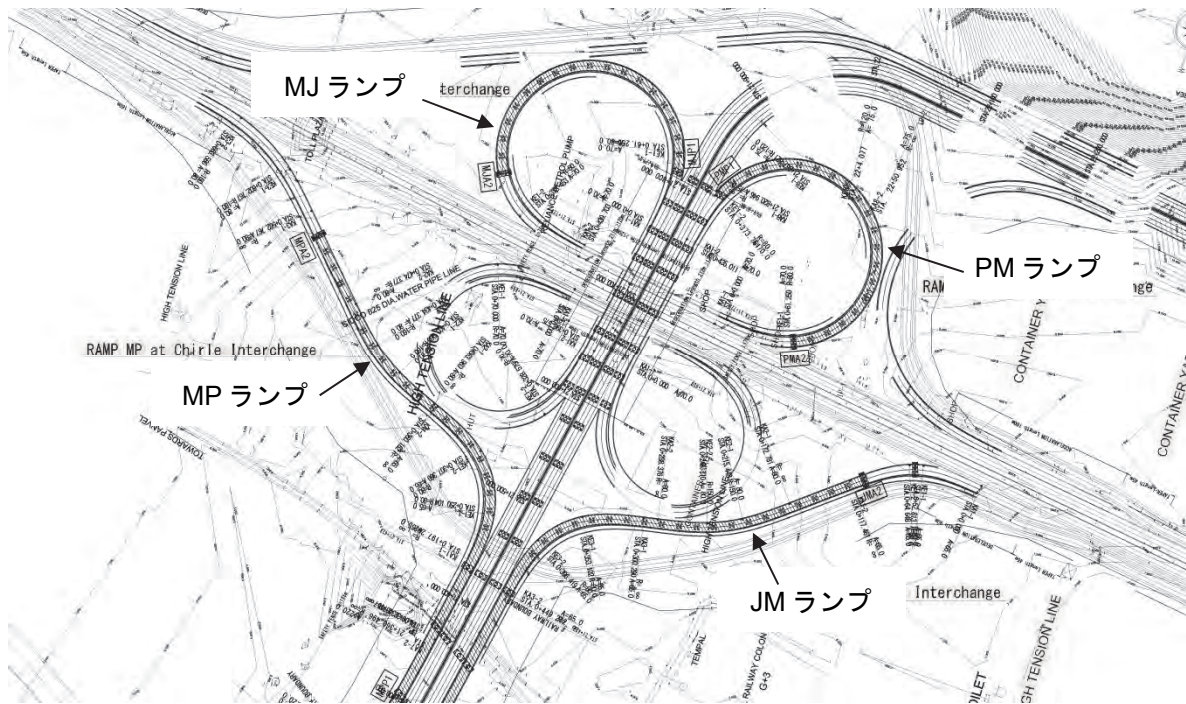
(4) チルレ IC

1) 支間割および上部工形式

チルレ IC は、シバジ・ナガール IC 同様、橋梁施工のための制約条件が無い為、「イ」国国内で多くの実績があり、経済的に優れている RC 中空床版橋を採用した。本橋梁はステージング（固定支保工）による施工が可能である。また、チルレ IC の鉄道を跨ぐ箇所に関しては、鋼箱桁橋を採用した。

2) 下部工・基礎工形式

下部工形式は、張出し式橋脚とした。基礎は場所打ち杭を採用する。



出典：JICA 調査団

図 6.5.8 チルレ IC の支間割

表 6.5.14 チルレ IC の支間割

ランプ名	橋脚番号	測点	橋種	支間割
MP ランプ	LP37 - MPA2	No. 21+232～	鋼トラス橋 PC 箱桁橋 RC 中空床版橋	535m (3x65m, 40m, 20x15m)
JM ランプ	LP37 - JMA2	No. 21+232～	鋼トラス橋 PC 箱桁橋 RC 中空床版橋	535m (3x65m, 40m, 20x15m)
MJ ランプ	LP52 - MJA2	No. 21+811～	RC 中空床版橋	270m (18x15m)
PM ランプ	LP52 - PMA2	No. 21+811～	RC 中空床版橋	300m (20x15m)

出典：JICA 調査団

6.5.4 塩害対策

海上特殊部および鉄道交差部にて鋼橋が採用されたことから、本項では、鋼橋の塩害対策について詳述する。

海上橋において鋼桁を採用する際は、腐食について最新の注意を払う必要がある。この章では、(1)海上橋における鋼橋の事例、(2)防食仕様について、(3) MTHL において推奨される防食仕様、(4)鋼橋の維持管理方法について記述する。

(1) 海上橋における鋼橋の事例

1) 長寿命の海上鋼橋梁

一般に海上部での鋼橋はコンクリート橋よりも腐食が問題であると考えられている。しかし、適切な防錆処理や維持管理を実施することで 100 年以上経ても健全な橋梁で有り続けることができる。その代表例としてスコットランドエジンバラのフォース橋（1890 年竣工）やニューヨークのブルックリン橋（1883 年竣工）が挙げられる。

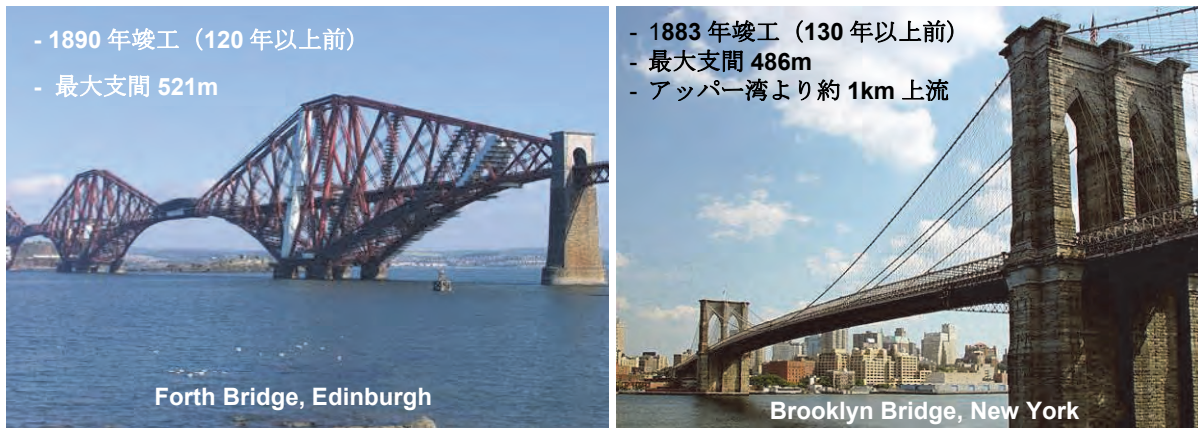


図 6.5.9 海上鋼橋梁の事例

2) 日本における海上鋼橋梁の事例

日本は島国であることもあり、海上に架かる鋼橋が多数存在し、腐食問題を克服してきた。

なお、海上橋で鋼橋が適用されている主な理由は以下である。

- 航路等により長支間の橋が要求される。
- 品質管理が容易・安定している（工場で作成）。
- 現場（海上）作業が短くなり安全面に優れる。
- 腐食や損傷は外面から確認できるため維持管理しやすい。
- 孔明けや切断等が比較的容易である。
- 適切に維持管理することで長寿命化が可能である。

日本における海上の鋼橋梁を以下に紹介する。

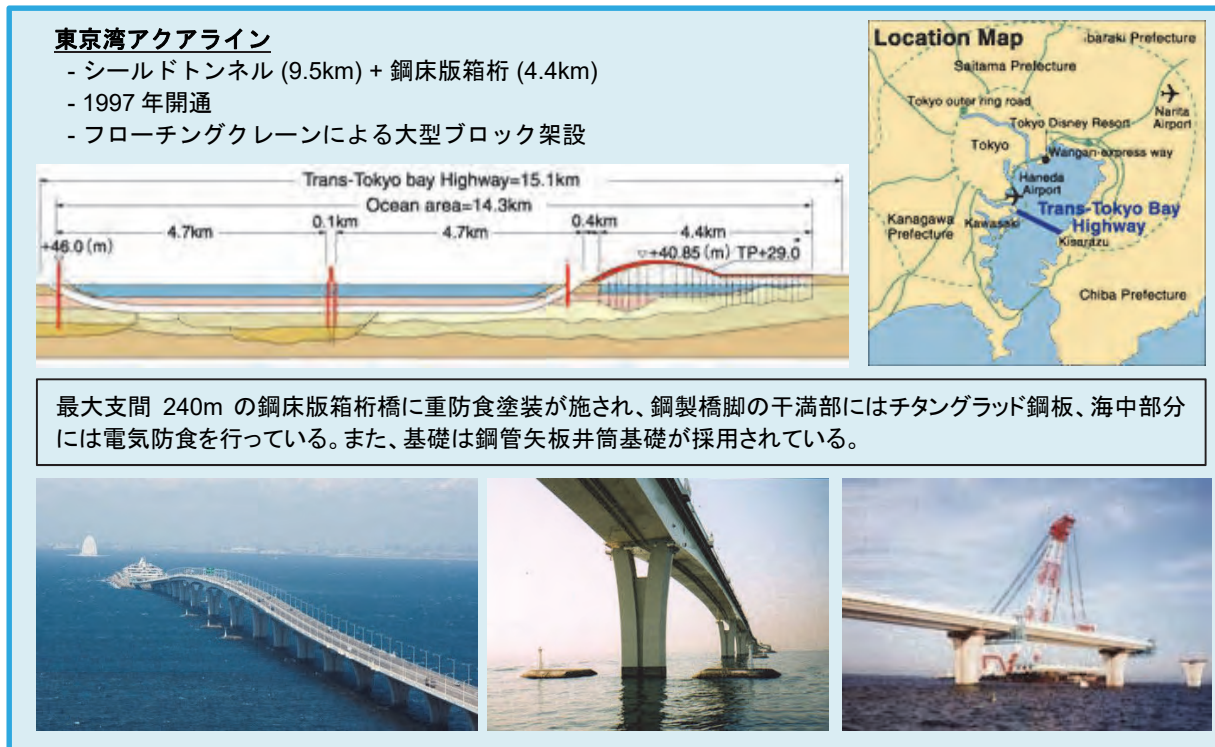


図 6.5.10 日本の海上鋼橋梁例 1 (東京湾アクアライン)

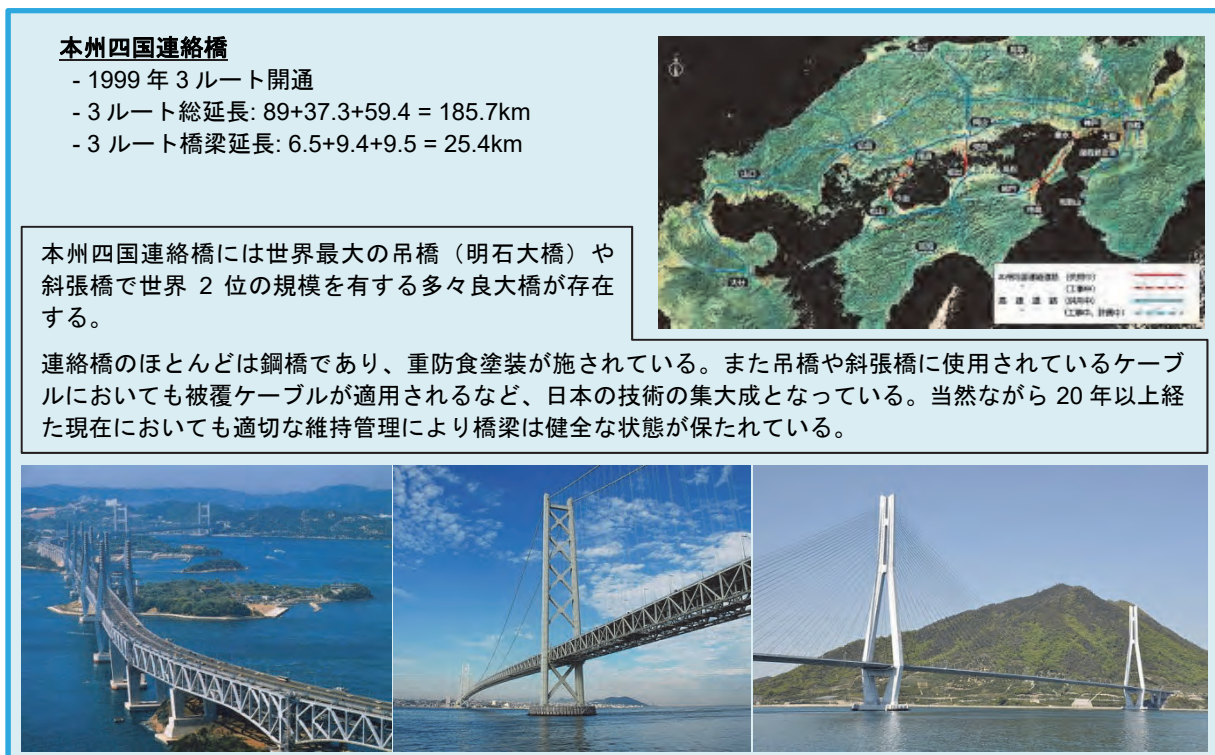


図 6.5.11 日本の海上鋼橋梁例 2 (本州四国連絡橋)



図 6.5.12 日本の海上鋼橋梁例 3 (伊王島橋)



図 6.5.13 日本の海上鋼橋梁例 4 (東京ゲートブリッジ)



図 6.5.14 日本の海上鋼橋梁例 5 (伊良部大橋)

(2) 鋼橋の防食法について

道路橋は、一度供用されると道路網の一部として長期間その機能が継続的に発揮される必要があり、一時的にでもその機能が損なわれることや周辺環境などへ悪影響を及ぼすことは避けなければならない。

海上橋梁において鋼材が錆やすいのは、飛沫化した海水により大気中にもたらされた塩分が鋼材表面に付着して腐食反応を促進するためであり、海上部は当然ながら腐食環境が厳しい。

そのため、海上橋の防食法には所要の防食機能が確実に発揮されるために最低限満たされなければならない以下の条件がある。

- 使用する防食性能の信頼性が高く実績が多いこと
- 維持管理 (部分補修や全面補修) が可能であること

鋼道路橋を腐食から守る方法は、被覆、耐食性材料の使用、環境改善、電気防食の 4 つに大別できる。このうち多く使われているのが、被覆と耐候性鋼材である。環境改善は鋼材を腐食しない環境に置くことであり、非常に難しい。また電気防食は海中部ではよく使用されるが海上部ではほとんど使用されていない。

耐候性鋼材は、「イ」国ガンジー橋の架け替えで採用が提案されているが、海岸部では自ら形成する安定錆を形成できないため使用できない。

重防食塗装はこれまで多くの海上橋梁で採用されており、信頼性が高い。また、維持管理も容易である。このため、MTHL に採用される海上の鋼橋においては重防食塗装による防食法を推奨する（表 6.5.15 参照）。

表 6.5.15 鋼桁の防食法比較

防食法	塗装		耐候性鋼材	溶融亜鉛メッキ	金属溶射
	一般塗装	重防食塗装			
防食原理	塗膜による環境遮断	塗膜による環境遮断とジंकリッチペイントによる防食	安定錆の生成による腐食速度の低下	亜鉛被膜による環境遮断	溶射被膜による環境遮断
施工方法	スプレー、ブラシ、ローラーを用いた塗装		製作時に合金元素を添加	メッキ工場における亜鉛タンクへの浸漬	溶射ガンによる溶射
適用地域	陸上部 (飛来塩分の高い地域では適用不可)	海上部及び 海岸地域	陸上部 (飛来塩分の高い地域では適用不可)	全ての地域	
外観（色彩）	色彩は自由		茶褐色	灰白色	灰白色
初期コスト	安価	やや高価	やや高価	高価	高価
維持管理（塗替）	約 30 年に 1 度の塗替	約 35 年に 1 度の塗替	塗替の必要なし	25 年後に再塗装（しかし実績無）	60 年後に再溶射（しかし実績無）
評価	適用不可	適用可能 推奨案	適用不可	推奨しない	

出典：鋼道路橋塗装防食便覧（日本）に基づいて JICA 調査団作成

応札者が重防食塗装より耐久性の高い金属溶射を提案した場合、その適用については表 6.5.16 に基づいて判断することができる。

表 6.5.16 金属溶射および重防食塗装の比較

	金属溶射工法				塗装工法
	1) アルミニウム・マグネシウム合金	2) アルミニウム	3) 亜鉛	4) 亜鉛・アルミニウム合金	5) 重防食塗装 (MTHL)
素地調整	ISO Sa3	ISO Sa3	ISO Sa2 1/2	ISO Sa2 1/2	表 6.5.15 参照
溶射材料	アルミニウム・マグネシウム合金	アルミニウム	亜鉛	亜鉛・アルミニウム合金	
溶射方法	プラズマ溶射	ガスフレーム溶射またはアーク溶射	ガスフレーム溶射またはアーク溶射	ガスフレーム溶射またはアーク溶射	
被膜厚	150μm 以上	150μm 以上	100μm 以上	100μm 以上	
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐久性は高いがコストも高い。 ・ プラスト後 4 時間以内に金属溶射を行う必要があり、大断面を金属溶射する場合は、数回に分けて実施する必要がある。 ・ 海上部または海に近いエリアでの実績は極めて少ない。 ・ 凹凸がある部分の金属溶射は不可能である。 ・ 環境条件によっては、金属溶射の上にさらに、下地処理、下塗り、中塗り、上塗りを施す必要がある。 				コストは安い。 施工実績も多数あり、凹凸がある部分の塗装も可能である。

出典：Structure Painting Vol.41 鋼橋における金属溶射に基づいて JICA 調査団作成

(3) MTHL において推奨される防食仕様

表 6.5.15 により、MTHL の海上鋼橋部分には一般に海上橋梁に使用される重防食塗装の適用を推奨する。

塗装で防錆された鋼橋は適切な維持管理を行えば 100 年以上の耐久性が保たれる。また先の海上橋梁の事例で述べたように、細部において違いはあるものの、全てが重防食塗装による防錆が実施されている。

なお、重防食塗装は以下の基準を満足しているものを使用する必要がある。

- ISO 2810-2004: Paints and varnishes - Natural weathering of coatings - Exposure and assessment
- ISO 9223-1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification
- ASTM D1014-02: Standard Practice for Conducting Exterior Exposure Tests of Paints and Coatings on Metal Substrates

塗装は一次防錆プライマー、防食下地、下塗り塗装、中塗り塗装、上塗り塗装があり、これらを組み合わせた防食方法である。

それぞれの役割は以下である。

1) 一次防錆プライマー

ブラスト処理で除去した鋼材は錆が発生しやすい。これを防ぐために直ちに塗装するプライマーを 1 次防錆プライマーという。

2) 防食下地

鋼材の腐食を防ぐ。ジンクリッチペイント等。

3) 下塗り塗装

水分や塩類などの腐食性物質の浸透を防ぐ機能。エポキシ樹脂塗装等。

4) 中塗り塗装

下塗り塗装と上塗り塗装を一体化させる役割。

5) 上塗り塗装

耐候性の良い樹脂と顔料を選択することで、長期間に渡り光沢や色相を保つ機能がある。表 6.5.17 が適用を推奨する MTHL における重防食塗装の仕様である。重防食塗装以外にも重防食塗装を上回る耐久性を持つ塗装は適用可能である。

表 6.5.17 重防食塗装の仕様

塗装工程		塗料名	目標膜厚 (μm)
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理	-
	プライマー	無機ジंकリッチプライマー	(15)
橋梁製作工場	2次素地調整	ブラスト処理	-
	防食下地	無ジंकリッチペイント	75
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	-
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	120
	中塗	フッ素樹脂塗料中塗	30
	上塗	フッ素樹脂塗料上塗	25

出典：鋼道路橋塗装・防食便覧（日本）

(4) 鋼橋の維持管理方法

1) 定期点検

半年に1回、目視又は双眼鏡を用いた塗膜外観調査（さび、はがれ、われ、ふくれ、変退色、汚れ）および漏水や滞水の有無等を点検し記録する。

2) 詳細点検

5年に1回程度の頻度で上記と同じ方法で実施する。また、出来る限り全ての塗装部位に近接し塗膜劣化程度を把握する。

3) 塗装の塗り替え

塗装の塗り替えは下式で示す塗装の劣化速度により、概ね35-40年に1度となると予測される。

$$\text{上塗} : 25 \mu\text{m} / (2/3 \mu\text{m} / \text{year}) = 37.5 \text{ year}$$

6.5.5 下部工および基礎概略設計

(1) 一般部（海上および陸上）およびマングローブ林部

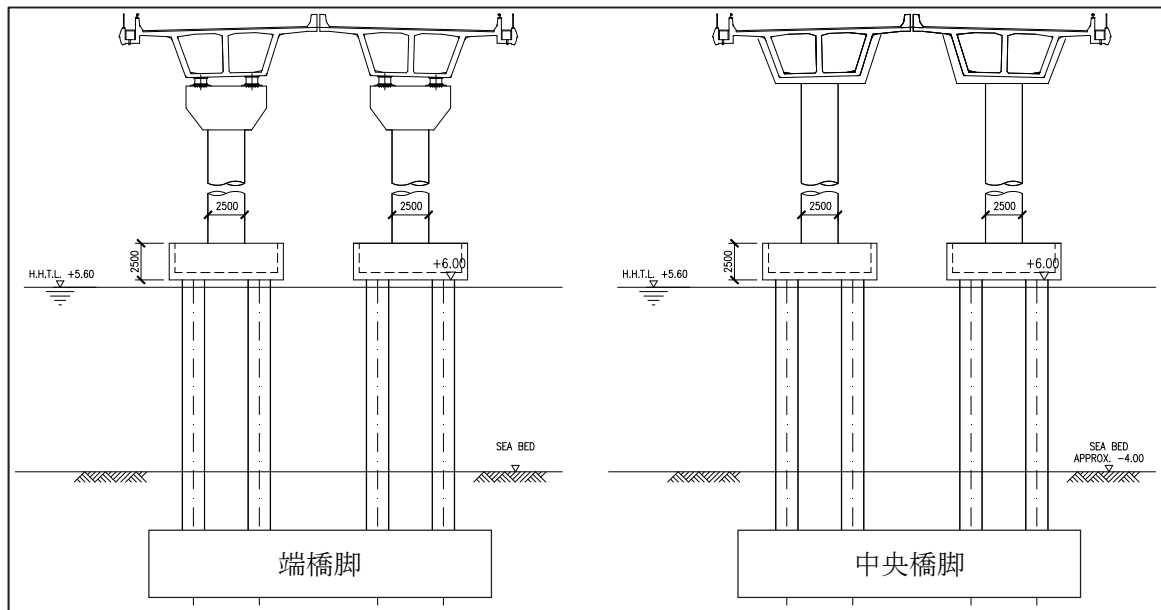
一般部およびマングローブ林部における PC 箱桁橋の下部工は、パイルキャップを有する場所打ち杭形式の RC 柱式橋脚で計画した。

海上一般部（マングローブ林部含む）は、0+495～3+395（2,900m）、3+715～4+625（910m）、6+078～8+620（2,542m）、9+180～11+880（2,700m）、13+610～16+840（3,230m）の区間に場所打ち杭形式を適用した。

場所打ち杭の橋脚形状は、 $\phi 2,500$ の RC 円柱による柱式橋脚とした。連続橋梁の端橋脚は、柱頭部に支承を配置した形式であるが、中間橋脚は支承のないラーメン構造であり、維持管理性に優れている。

パイルキャップは、下面の高さを+6.00（CD 基準）と HHWL より上方とすることで、橋脚が潮流に及ぼす影響を最小限にし、パイルキャップ施工時の床掘りが必要ないため環境に配慮し

た構造である。また、海水位の影響を受けずにパイルキャップの施工を行うことが可能であり、下部工の施工性が向上する。さらに、パイルキャップには埋め殺しのプレキャスト型枠等を使用するなどの施工性向上の対策を図ることができる。



出典：JICA 調査団

図 6.5.15 海上一般部（マングローブ林部含む）の下部工概略図

場所打ち杭の杭径は、「イ」国内の実績と支間長 50m の PC 箱桁の荷重規模を考慮して杭径 $\phi 1,500$ と $\phi 2,000$ を比較検討した。比較検討結果は表 6.5.17 に示す。比較検討は平均的な橋脚高さで比較した結果である。杭本数は、杭径 $\phi 2,000$ は $\phi 1,500$ より半減し、経済性に優れるだけでなく施工期間の短縮に寄与することができるため、 $\phi 2,000$ を採用した。

$\phi 2,000$ の杭は、杭施工時のケーシングとして鋼管を使用し、海洋環境に影響を及ぼさないように配慮した。

杭径と鋼管の厚さの関係を以下に示す。

- 杭径が 2.0m 以上の場合、鋼管厚は 16mm
- 杭径が 1.5m 以上から 2.0m 未満の場合、鋼管厚は 12mm
- 杭径が 1.5m 未満の場合、鋼管厚は 8mm

表 6.5.18 海上一般部（マングローブ林部含む）における場所打ち杭杭径比較表

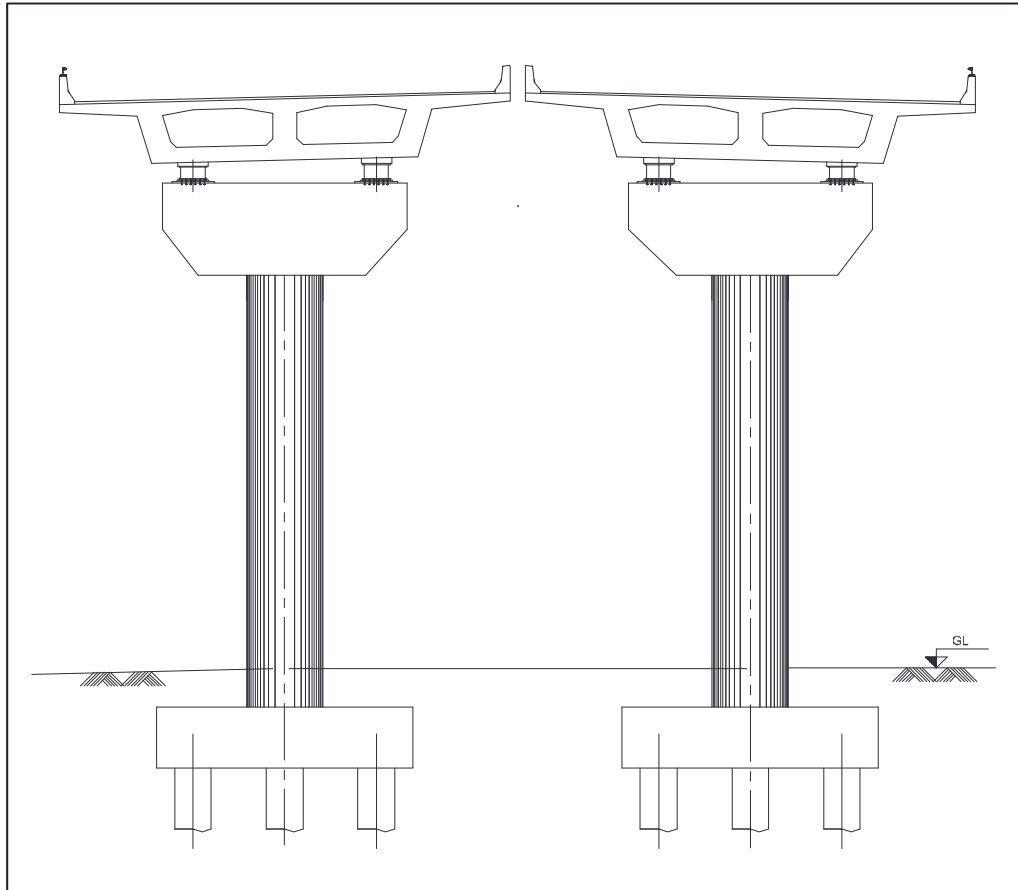
	杭径Φ1500	杭径Φ2000
概略図	<p>杭種：場所打ち杭 杭径：1.50 m 杭長：32.00 m</p>	<p>杭種：場所打ち杭 杭径：2.00 m 杭長：32.00 m</p>
経済性	杭径Φ1500×8本、L=29m 1700USD/m×29m×8=394,400USD	杭径Φ2000×4、L=29m 2900USD×29m×4=336,400USD
評価		Φ1500に比べ経済的で工事期間も短いことからΦ2000を採用する。 ③

出典：JICA 調査団

陸上一般部（マングローブ林部含む）において、16+840～17+517（677m）の上部工支間長は、50m であり、海上一般部と同様に場所打ち杭形式とするが、ここは現地盤が比較的高いため、パイルキャップの土被りを 1.2m 確保した。なお、杭径は、海上一般部と同様φ2,000を採用した。

海上部からシバジ・ナガール IC までの上部工形式は、支間長 50m の PC 箱桁であるが、シバジ・ナガール IC より終点側 17+517 以降は、経済性、施工性、施工期間等を考慮して支間長 30m の PC 箱桁橋を採用した。

この支間長 30m の PC 箱桁区間の橋脚形式は、RC 柱式橋脚とした。RC 脚柱はφ2,500 の円柱とし、上部工が単純桁で支承を配置することから、横梁を有する形式とする。パイルキャップの土被りは、陸上一般部同様最小 1.2m を確保した。



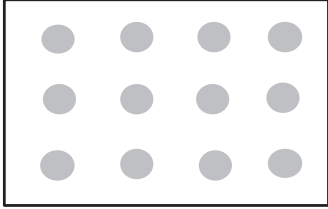
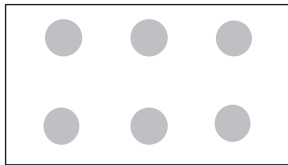
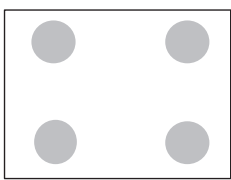
出典：JICA 調査団

図 6.5.16 陸上一般部（マングローブ林部含む）下部工概略図

場所打ち杭の杭径は、「イ」国内の実績と支間長 30m の PC 箱桁橋の荷重規模を考慮して杭径 $\phi 1,000$ と $\phi 1,200$ と $\phi 1,500$ を比較検討した。比較検討結果は表 6.5.19 に示す。

比較検討は平均的な橋脚高さで計算した結果である $\phi 1,000$ は経済的に $\phi 1,200$ および $\phi 1,500$ に大きく劣っている。さらに $\phi 1,200$ は 5%ではあるが $\phi 1,500$ よりも経済的である。また、ナビ・ムンバイ側陸上部は料金所付近において浅い支持層が介在する。支持層の浅い部分では、太径では杭としての機能に課題が生じ、不経済な基礎構造になる可能性がある。そのため、調整が可能なより細径の $\phi 1,200$ を選択する。

表 6.5.19 陸上一般部（マングローブ林部含む）における場所打ち杭の杭径比較表

	杭径 Φ1000	杭径 Φ1200	杭径 Φ1500
概略図	12本 L=7m 	6本 L=7m 	4本 L=7m 
	杭径 Φ1000×12本、L=7m 750 USD/m×7m×12=63,000 USD	杭径 Φ1200×6、L=7m 960 USD×7m×6=40,320 USD	杭径 Φ1500×4、L=7m 1,500 USD×7m×4=42,000 USD
評価	Φ1000は経済的にΦ1200およびΦ1500に劣る。	Φ1000よりも経済的で、5%ではあるがΦ1500よりも経済的である。 ◎	浅い支持層が介在し、太径では杭としての機能に課題が生じ、不経済な構造となる可能性がある。

注) 杭施工単価は、「イ」国コントラクターへのヒアリング結果に基づき設定した。

出典：JICA 調査団

表 6.5.20 一般部（陸上および海上）およびマングローブ林部の下部基礎工結果

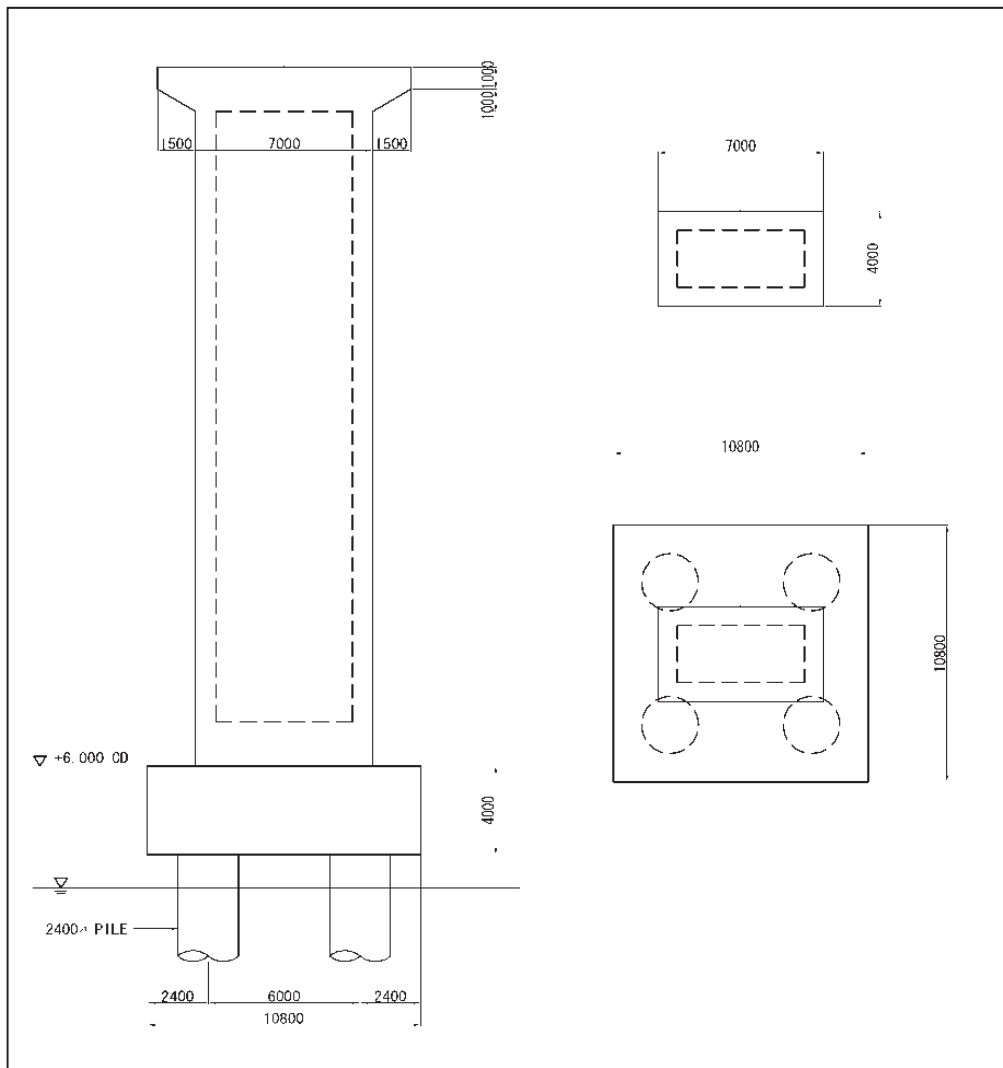
測点	測点	パイルキャップ位置	杭径、杭本数
海上一般部	No. 0+495～No. 3+395 No. 3+715～No. 4+625 No. 6+078～No. 8+620 No. 9+180～No. 11+880 No. 13+610～No. 16+610	海面上 パイルキャップ下面高さを+6.00 (CD 基準)	φ2,000 - 4本
	No. 16+610～No. 16+840		
マングローブ林部	No. 16+840～No. 17+517 No. 17+517～No. 18+087	土中、土被り 1.2m 確保	φ1,200 - 6本
	No. 18+127～No. 18+187 No. 18+217～No. 18+317 No. 18+357～No. 18+424 No. 18+492～No. 18+574 No. 18+644～No. 18+884 No. 20+070～No. 20+225 No. 20+260～No. 21+009 No. 21+079～No. 21+228 No. 21+423～No. 21+659 No. 21+729～No. 21+834		

出典：JICA 調査団

(2) 海上特殊部

海上特殊部の 3+395～3+715 (320m)、4+625～6+078 (1453m)、8+620～9+180 (560m)、11+880～13+610 (1,730m) の鋼床版箱桁橋の橋脚形式は、張出し式橋脚とし、脚柱は軽量化のために中空断面とした。

パイルキャップは、海面より上方で可視できる位置とするが、一般部と同様に下面を CD+6.00 とすると杭の突出長が過大となり杭基礎規模が増大し、建設費も増大する。それを避けるため Final Feasibility Study Report, 2012 で示されている高さも考慮し、上面高さを CD+6.00 とした。



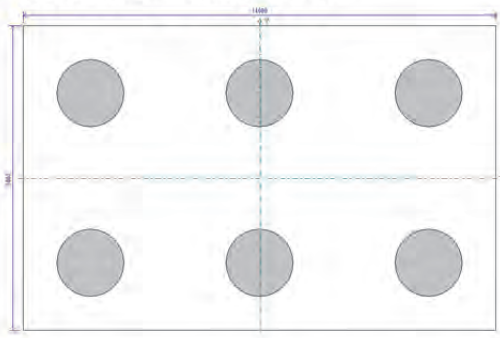
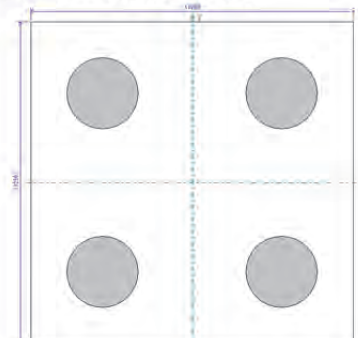
出典：JICA 調査団

図 6.5.17 海上特殊部橋脚概略図

場所打ち杭の杭径は、荷重規模を考慮し杭径 $\phi 2,000$ と $\phi 2,400$ を比較検討した。海上特殊部は、上部工の支間長が 100m~180m と変化し、多径間の橋梁が数箇所にあぶるために、代表橋脚を選出しての比較検討では十分ではないと判断し、この区間の全橋脚の杭本数を算出し比較を行った。

比較対象の橋脚基数 60 基（掛け違い部を除く）について $\phi 2,000$ と $\phi 2,400$ の必要杭本数を計算しその総数で比較した。経済的にはほぼ同じであるが、 $\phi 2,400$ の杭本数は $\phi 2,000$ の約 70%ほどであり、施工期間が短くなることから $\phi 2,400$ を採用した。

表 6.5.21 海上特殊部における場所打ち杭の杭径比較表

	杭径Φ2000	杭径Φ2400
概略図	<p>【掛違い橋脚を除く、航路部60橋脚 比較】 Φ2000、4～8本/橋脚、 平均杭長：31m、総杭本数：348本</p> 	<p>【掛違い橋脚を除く、航路部60橋脚 比較】 Φ2400、4本/橋脚、 平均杭長：31m、総杭本数：240本</p> 
経済性	31m×348本×2900 USD/m=31,285,200 USD	31m×240本×4100 USD/m=30,504,000 USD
評価		<p>経済的にはやや有利で本数がΦ2000の70%であり、工事期間が圧倒的に短くなることからΦ2400を採用する。</p> <p style="text-align: center;">◎</p>

注) 杭施工単価は、「イ」国コントラクターへのヒアリング結果に基づき設定した。

出典：JICA 調査団

(3) 鉄道交差部

鉄道交差部の鋼トラス橋の橋脚形式は、一般部（陸上部）同様の2柱式橋脚とし、基礎杭は荷重規模を考慮し、場所打ち杭φ1,200とする。

(4) 道路交差部

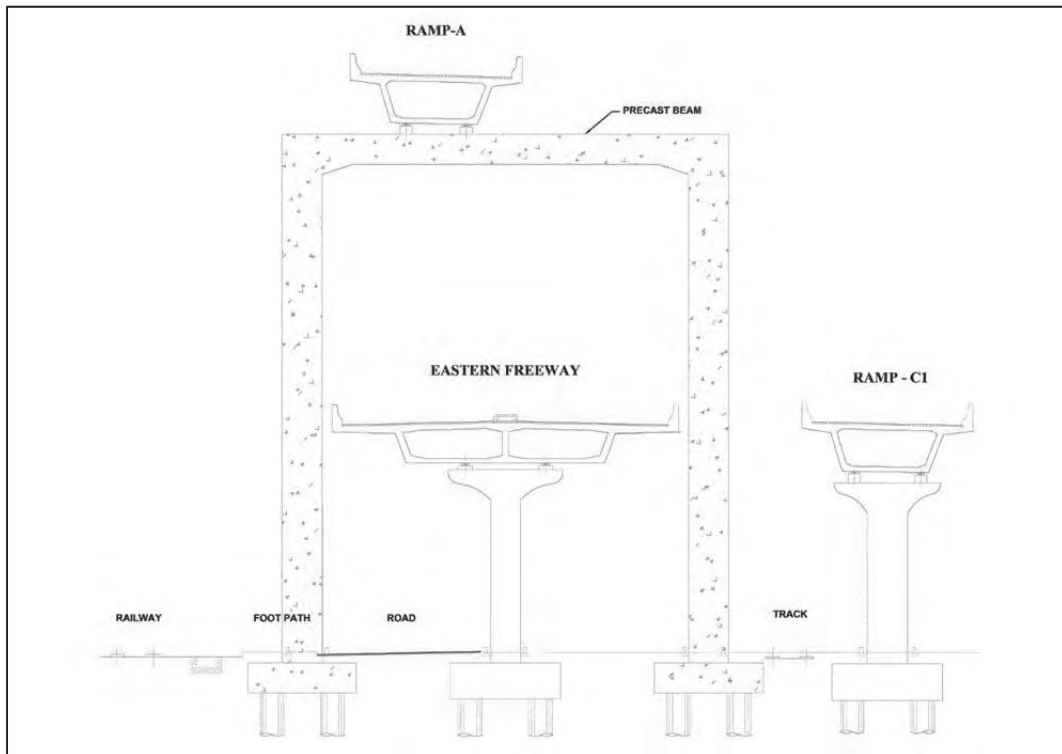
道路交差部は、PC箱桁橋のため、一般部（陸上部）同様の2柱式橋脚とし、基礎は場所打ち杭φ1,200とする。

(5) インターチェンジ部

1) セウリ IC

セウリ IC 部の PC 箱桁の下部工形式は、RC 張出式橋脚とし、基礎杭は PC 箱桁橋支間長 30m～50m 程度の荷重規模を考慮し、場所打ち杭φ1,200とする。

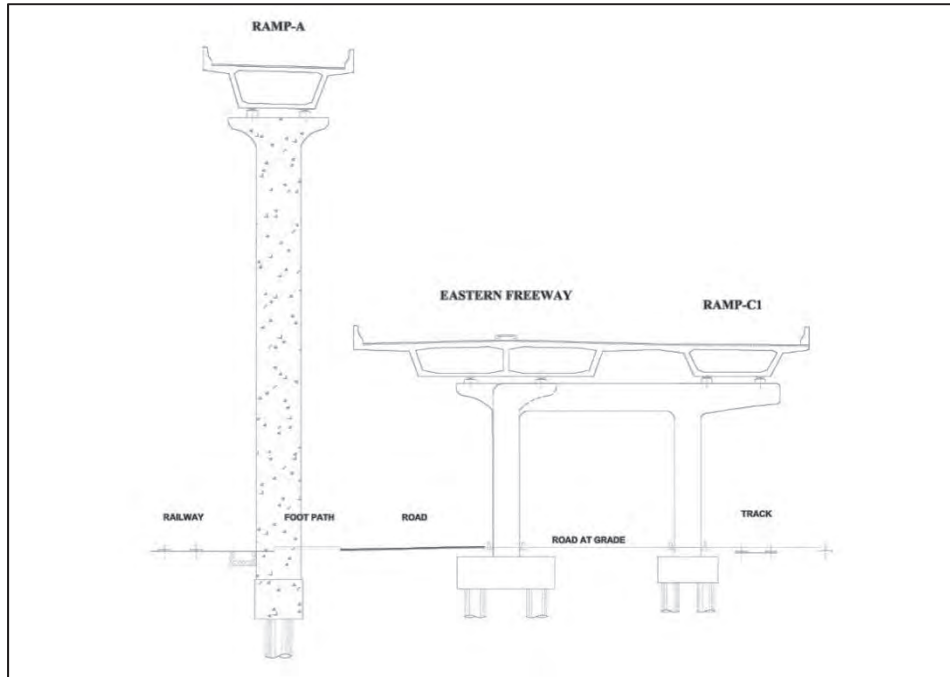
ランプ A も基本的には RC 張出式橋脚とするが、イースタン・フリーウェイを超える箇所は、門型ラーメン橋脚とする。門型ラーメン橋脚の横梁部分は、フリーウェイの上方での高所施工であり、現場打ちコンクリートでの施工が困難なことが予想される。その場合、横梁のプレキャスト化などの工法を用いるものとする。



出典：JICA 調査団

図 6.5.18 門型ラーメン橋脚（ランプ A）概略図

また、イースタン・フリーウェイを越えたあとは、狭い鉄道軌道との境界に橋脚を設置する必要があるために杭基礎を縦列配置する構造とする。1 橋脚に橋軸方向に 2 本の杭配置となるために、鉄道軌道と並行する箇所のランプ A の橋脚は杭径を $\phi 1,500$ とする。更にイースタン・フリーウェイを超える部分は支間長が 50m 程度となり、荷重規模が他橋脚よりも大きくなるために橋軸方向に杭径 $\phi 2,000$ の 2 本が必要になる。

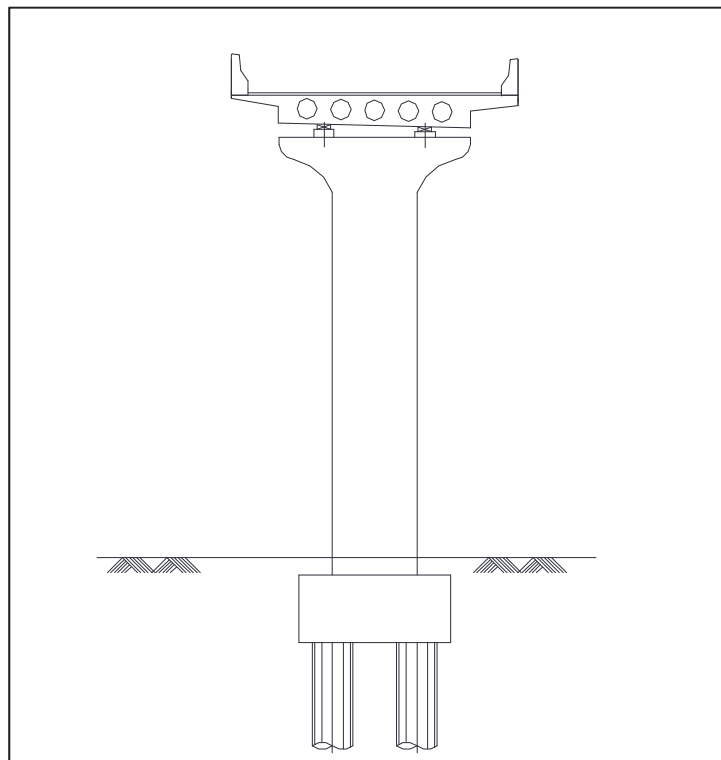


出典：JICA 調査団

図 6.5.19 張出式橋脚（ランプ A）概略図

2) シバジ・ナガール IC

支間 15m の RC 中空床版橋区間は、RC 張出し式橋脚とする。基礎は、荷重規模を考慮して場所打ち杭 $\phi 1,000$ とする。

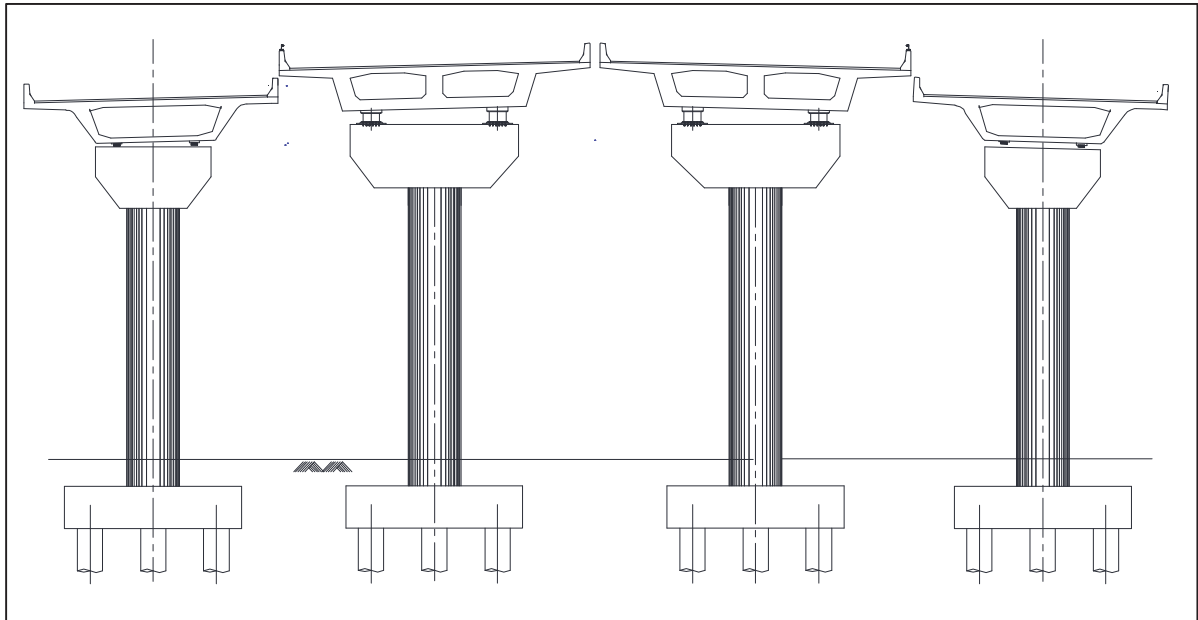


出典：JICA 調査団

図 6.5.20 シバジ・ナガール IC 橋脚概略図

3) SH54 IC

ランプが本線と平行するため、ランプ部の上部工形式を本線同様に支間長 30mの PC 箱桁としている。橋脚形状は本線と同様に RC 張出式橋脚とし、基礎は場所打ち杭 $\phi 1,200$ とする。



出典：JICA 調査団

図 6.5.21 SH54 IC 橋脚概略図

4) チルレ IC

シバジ・ナガール IC 同様、下部工は RC 張出し式橋脚とし、基礎は場所打ち杭 $\phi 1,000$ とする。

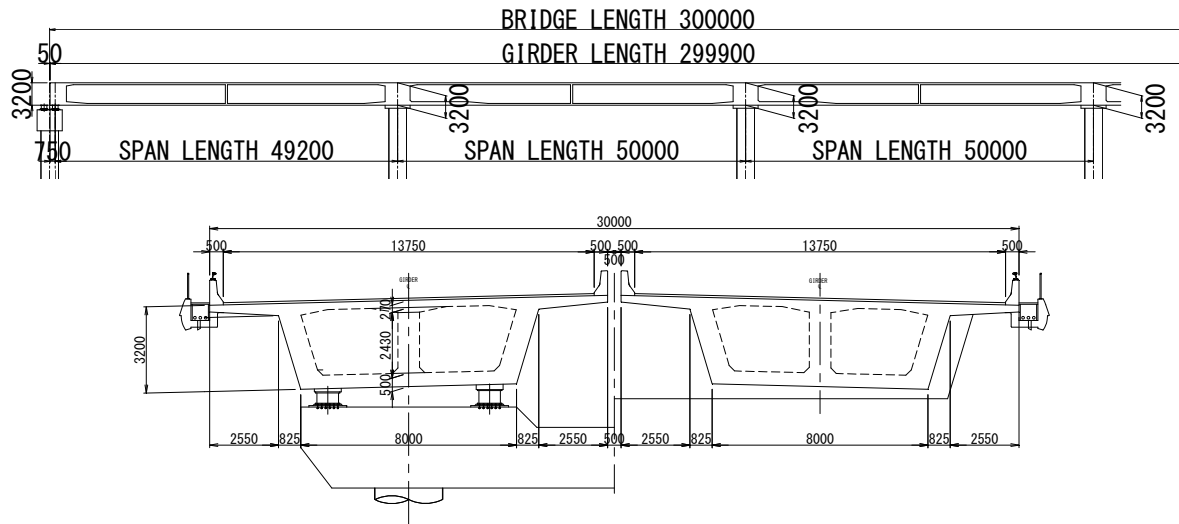
6.5.6 上部工概略設計

(1) 一般部（海上および陸上）

海上一般部の支間長は 50m を基本としており、上部工形式は PC 箱桁橋を採用した。また陸上一般部の支間長は 30m を基本としており、上部工形式は海上一般部同様、「イ」国で実績の多い PC 箱桁橋を採用している。このため、これらの PC 箱桁橋の概略設計を実施した。

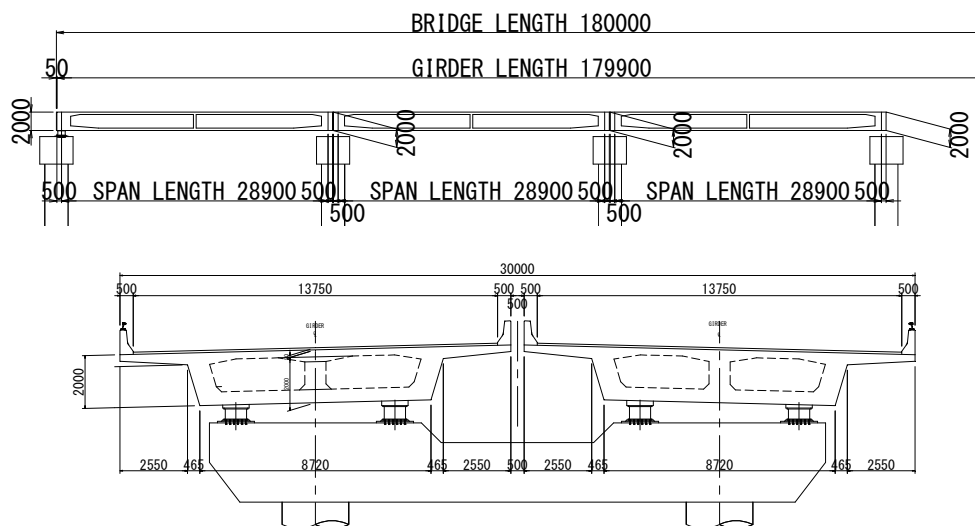
海上一般部について、標準的な総幅員は、14.75m であるため、二室箱桁形式を採用した。また、桁高については、連続箱桁橋の桁高支間比 1/15~1/20 より、桁高は 3.2m と設定した。陸上一般部について、標準的な総幅員は、海上一般部同様 14.75m であるため、二室箱桁形式を採用した。また、桁高については、単純箱桁橋の桁高支間比より、桁高は 2.0m と設定した。

側面図および断面図を図 6.5.22 および図 6.5.23 に示す。



出典：JICA 調査団

図 6.5.22 海上一般部の上部工側面図および断面図 (PC 箱桁橋)



出典：JICA 調査団

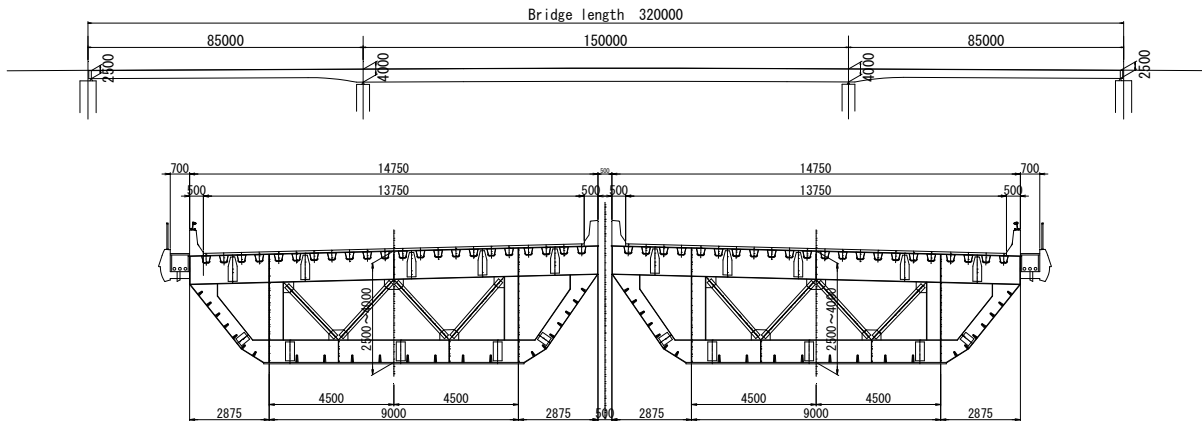
図 6.5.23 陸上一般部の上部工側面図および断面図 (PC 箱桁橋)

(2) 海上特殊部

海上特殊部の支間長は 150m および 180m であり、上部工形式は鋼床版鋼箱桁橋を採用した。このため、鋼床版箱桁橋の概略設計を実施した。

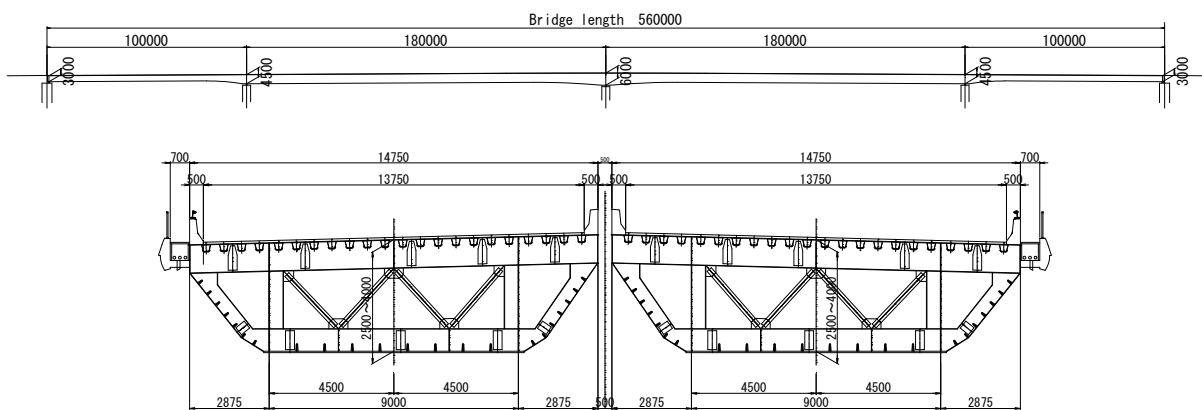
海上特殊部について、標準的な総幅員は、14.75m である。また、桁高については、支間長が 150m、180m と長支間となるため、経済性を考慮し、変断面を採用した。支間長 180m の場合、桁高は 2.5m～4.5m で変化する。

側面図および断面図を以下に示す。



出典：JICA 調査団

図 6.5.24 海上特殊部の上部工側面図および断面図（支間長 150m）（鋼床版箱桁橋）



出典：JICA 調査団

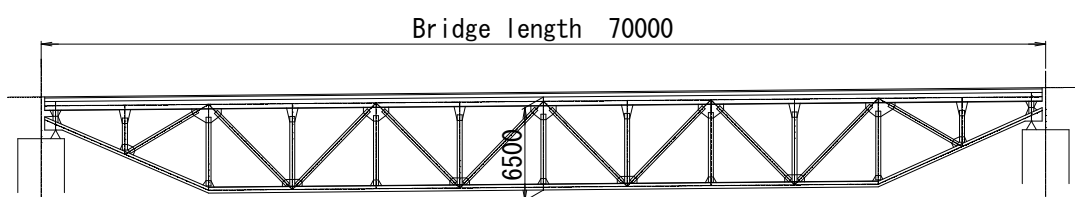
図 6.5.25 海上特殊部の上部工側面図および断面図（支間長 180m）（鋼床版箱桁橋）

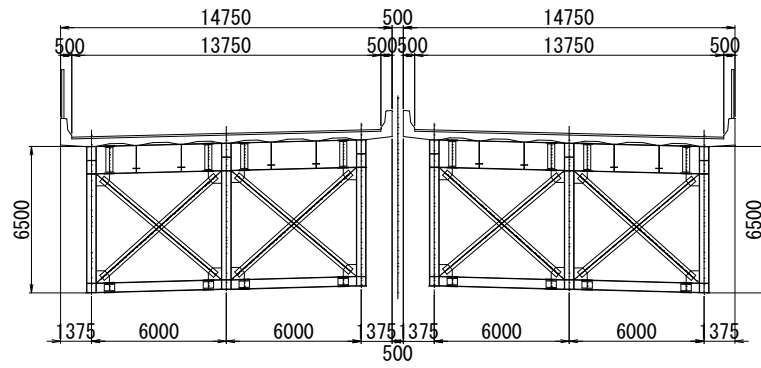
(3) マングローブ林部

マングローブ林部の支間長は 50m および 30m であり、上部工形式は PC 箱桁橋を採用している。上部工形状は一般部（海上および陸上）と同様である。

(4) 鉄道交差部

鉄道交差部の支間長は 65m および 68m であり、上部工形式は「イ」国鉄との協議により鋼トラス橋を採用している。この鋼トラス橋の側面図および断面図を以下に示す。





出典：JICA 調査団

図 6.5.26 鉄道交差部の上部工側面図および断面図（鋼トラス橋）

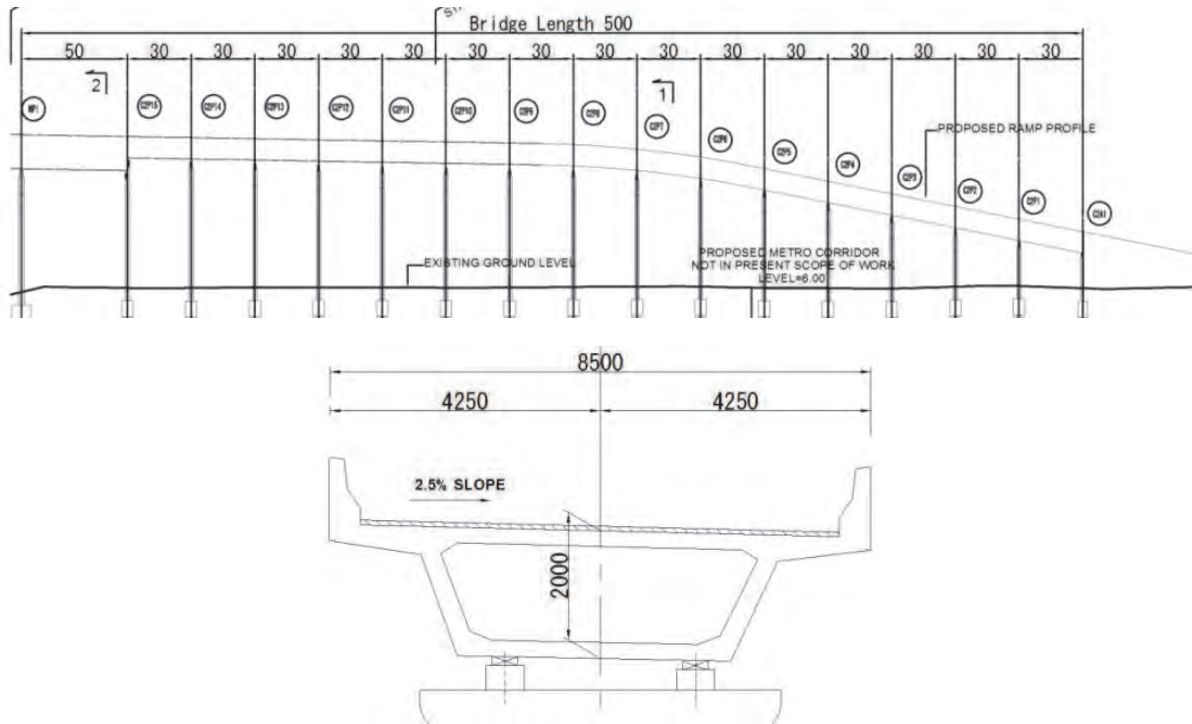
(5) 道路交差部

道路交差部の支間長は 50m を基本としており、上部工形式は PC 箱桁橋を採用している。上部工形状は一般部（海上および陸上）と同様である。

(6) インターチェンジ

1) セウリ IC

本 IC の支間長は 30m を基本としており、上部工形式は PC 箱桁橋を採用している。PC 箱桁橋の概略設計結果に基づいた側面図および断面図を以下に示す。

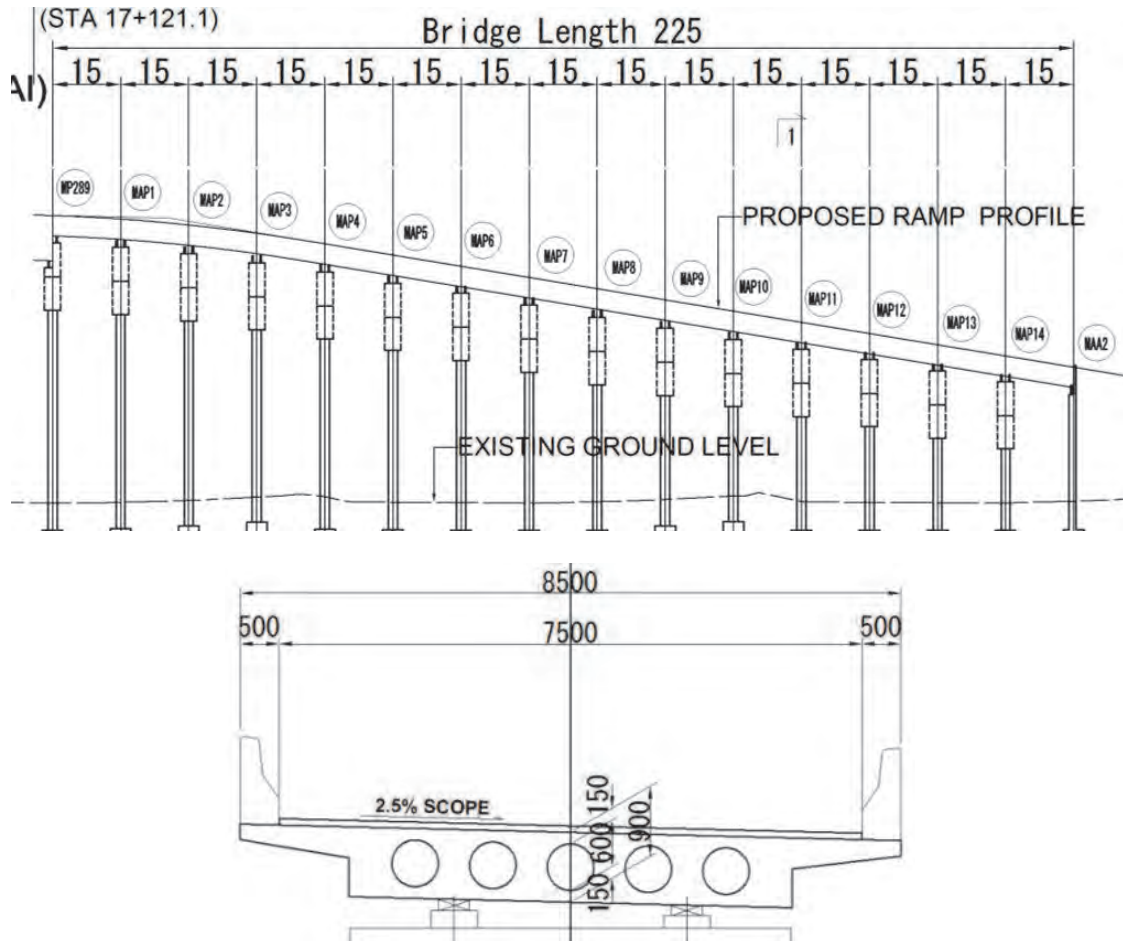


出典：JICA 調査団

図 6.5.27 セウリ IC (C2 ランプ) の上部工側面図および断面図 (PC 箱桁橋)

2) シバジ・ナガール IC

本 IC の支間長は 15m を基本としており、上部工形式は RC 中空床版橋を採用している。RC 中空床版橋の概略設計結果に基づいた側面図および断面図を以下に示す。

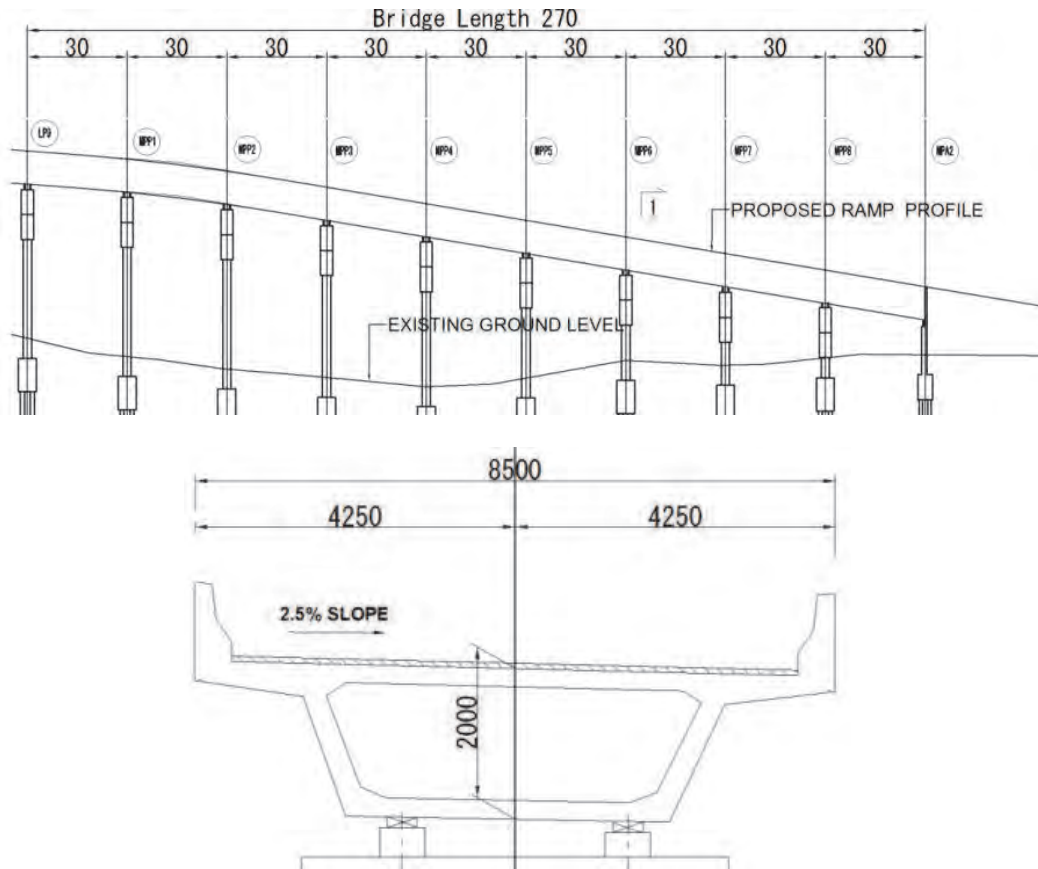


出典：JICA 調査団

図 6.5.28 シバジ・ナガール IC (MA ランプ) の上部工側面図および断面図 (RC 中空床版橋)

3) SH54 IC

本 IC の支間長は 30m を基本としており、上部工形式は PC 箱桁橋を採用している。PC 箱桁橋の概略設計結果に基づいた側面図および断面図を以下に示す。



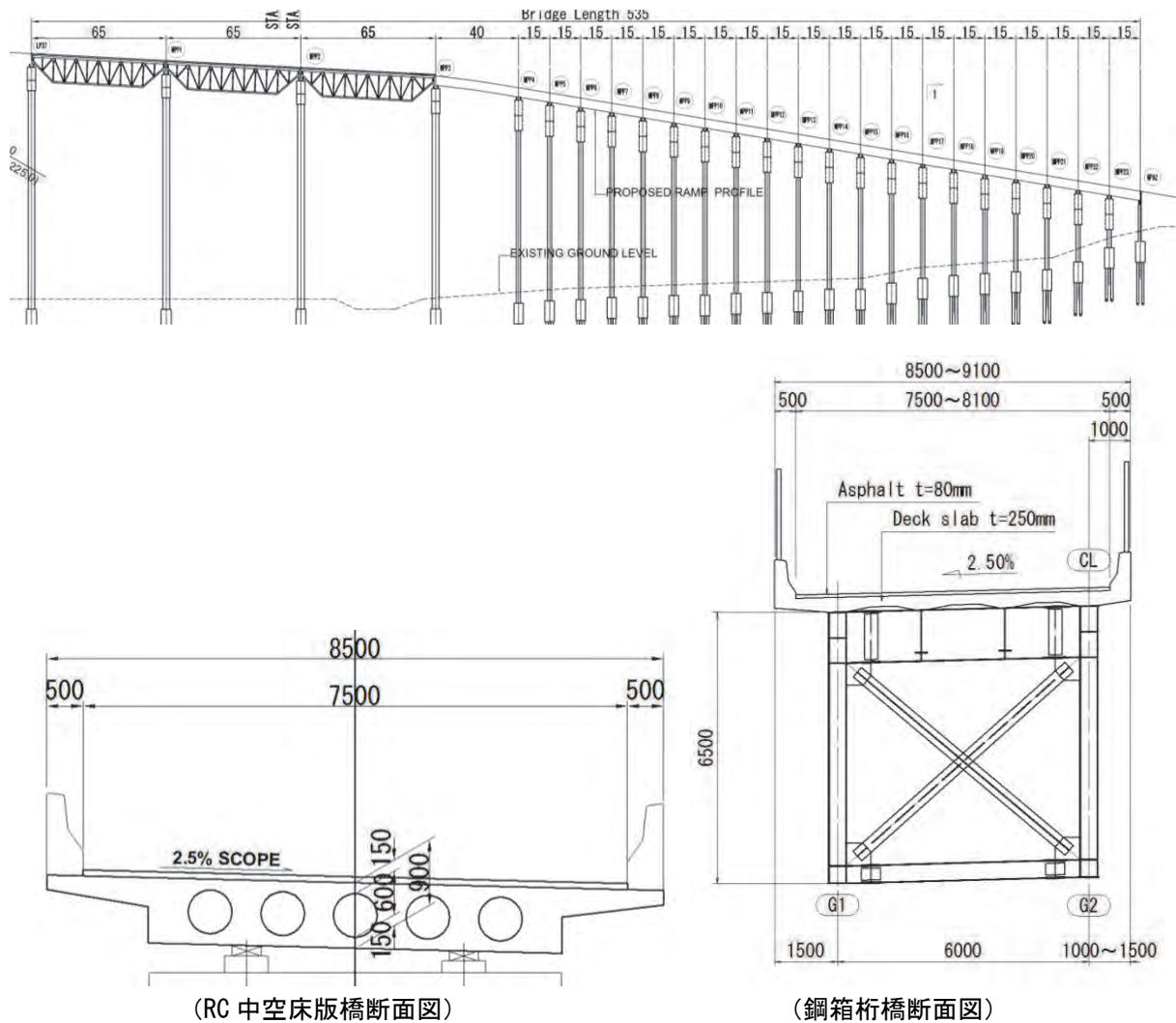
出典：JICA 調査団

図 6.5.29 SH54 IC (MP ランプ) の上部工側面図および断面図 (PC 箱桁橋)

4) チルレ IC

鉄道を跨ぐ箇所は MMRDA と「イ」国鉄との協議により鋼トラス橋が指定されている。しかしながら、本ランプ橋は曲線区間であり、トラス橋の採用は不可能である。このため、鉄道を跨ぐ区間において、支間長は本線と同様 65m を採用し、上部工形式は鋼箱桁橋を採用している。

その他、交差物件のない箇所は支間長 15m を基本としており、RC 中空床版橋を採用している。これらの側面図および断面図を以下に示す。



出典：JICA 調査団

図 6.5.30 チルレ IC (MP ランプ) の上部工側面図および断面図 (RC 中空床版橋)

6.6 高度道路交通システム (ITS)

6.6.1 はじめに

本項では、MTHL における高度道路交通システム（以下、ITS とする。）の導入を検討する。MTHL は、アクセスコントロールされた高規格の有料道路であるため、周辺の類似道路の ITS の導入状況を踏まえ、MTHL の道路特性と交通管理体制を考慮した料金収受システム及び交通管制システムを導入する。

6.6.2 周辺の有料道路等における ITS 導入状況

MTHL 周辺の有料道路として Bandra Worli Sea Link と Mumbai Pune Expressway があり、それらの道路への ITS の導入状況について示す。また、ムンバイ市内の一般道路における状況についても同様に示す。



出典：MSRDC

図 6.6.1 周辺道路位置図

(1) Bandra Worli Sea Link (BWSL)

1) 路線概要

ムンバイ都市圏西部郊外の南北交通の渋滞ボトルネック解消を目的にウェスタン・フリーウェイの一部として沿岸部の Bandra～Worli 間の海上に高架形式の自動車専用道路として整備された路線である。2010 年 3 月に完成し、延長 5.6km である。通行は 4 輪以上の自動車に限定され、車線数は、片側 4 車線の計 8 車線からなる。

事業実施機関は、MSRDC であり、運営維持管理会社は、MEP Infrastructure Developers Ltd.（以下、MEP とする。）である。運営・維持管理は、3 年契約で、現在はフェーズ 2 である。

湾岸に建設された高架形式のアクセスコントロールされた有料道路であり、MTHL に類似した路線である。



出典：JICA 調査団

図 6.6.2 シーリンク

2) 料金收受システム

シーリンクの料金所は、Bandra 側の本線料金所 1 箇所のみである。本線料金所は計 16 レーンあり、4 レーンが ETC 専用として運用されている。ETC 規格は RFID TAG 方式である。

料金收受システムは、EFKON Toll Management System（以下、ETMS とする。）を導入している。このシステムは、レーン側とコントロールルーム側に区分される。レーン側では、料金ブース内のレーンコントローラーにて料金收受処理とレーン監視を行うアプリケーションを備えている。コントロールルームはワークステーションで構成され、料金収入の管理や料金計算、料金所設備のモニタリングや収受員の監視等を行う。

料金の支払は、現金支払による有人レーン利用と RFID TAG 購入による ETC レーン利用に分類される。各種分類ごとの料金表を表 6.6.1 に示す。

表 6.6.1 料金表（シーリンク）

Vehicle Type	Single Journey	Return Journey	Daily Pass	Monthly Pass	Discount Card (50 trip) 10%	Discount Card (100 trip) 20%
Car / LMV	60	90	150	3000 / -	2700 / -	4800 / -
Tempo / LCV	95	140	235	4750 / -	4275 / -	7600 / -
Truck / Bus	125	185	310	6250 / -	5625 / -	10000 / -

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 6.6.3 料金所（シーリンク）

3) 道路交通管制システム

シーリンクの路上設備の概要を表 6.6.2 に示す。

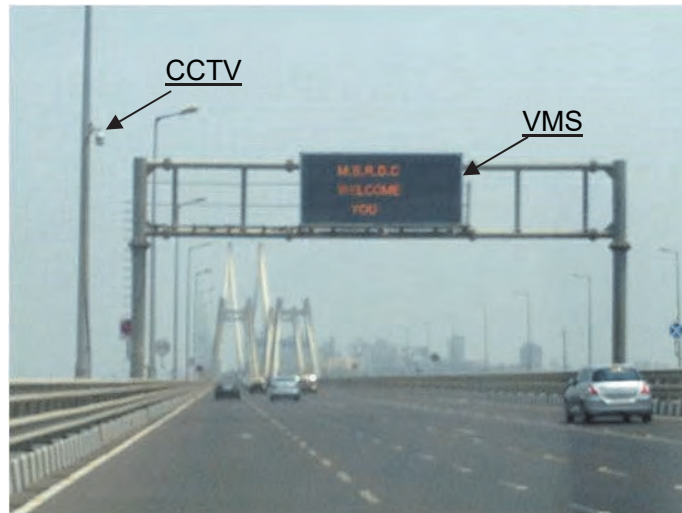
Closed Circuit Television（以下、CCTV とする。）カメラは、料金所及び本線両側に約 250m 間隔で設置され、橋梁の桁下にもセキュリティー確認のため約 400m 間隔で設置されており、交通管制室にて常時モニタリングが行われている。

道路交通管制システムは、EFKON 社の Highway Traffic Monitoring System（以下、HTMS とする。）を導入している。路上側設備と交通管制室は光ファイバーケーブルで接続されている。

表 6.6.2 路上設備（シーリンク）

種類	設置数量	設置間隔	設置箇所
CCTV（路上）	57	約 250m	路側支柱
CCTV（桁下）	15	約 400m	中央分離帯の下部
非常電話（以下、ECB とする。）	11	約 1km	路側
可変式情報板（以下、VMS とする。）	3		流入側：料金所手前 両方向の流入後
交通量計測装置（以下、ATCC とする。）	2		両方向の料金所通過後

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 6.6.4 路側装置（シーリンク）



出典：JICA 調査団

図 6.6.5 交通管制室（シーリンク）

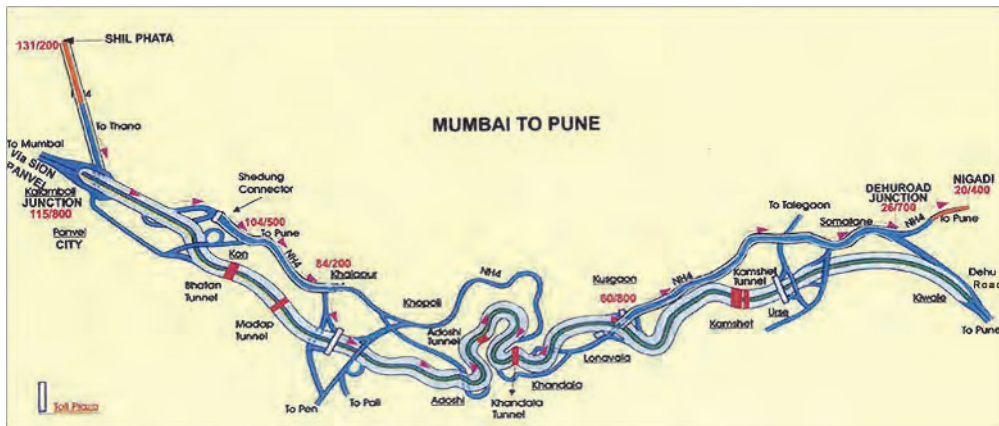
(2) Mumbai Pune Expressway (MPE)

1) 路線概要

Mumbai Pune Expressway (MPE)は、正式には「Yashwantrao Chavan Expressway」といい、インド初の高規格のアクセスコントロールされた有料高速道路である。延長 94.5km、6 車線、コンクリート舗装の高速道路で、マハラシュトラ州の首都ムンバイと州の産業と文化の中心であるプネを結ぶ。起点が Kalamboli (Panvel 付近) で終点は Dehu 道路 (プネ付近) である。

当該高速道路事業は BOT 方式で実施され、平行する NH4 の 4 車線拡幅及び運営維持管理を含めた事業として、2002 年に開通した。

事業実施機関は、MSRDC であり、コンセッションネアは IRB Infrastructure Developers Ltd. である。コンセッション期間は 15 年 (2004 年～2019 年) である。



出典：MSRDC

図 6.6.6 Mumbai Pune Expressway 路線図



出典：JICA 調査団

図 6.6.7 Mumbai Pune Expressway

2) 料金收受システム

MPE の料金所は、本線料金所 2 箇所（Khalapur, Telegaon）、IC 料金所 2 箇所（Kusgaon, Lonavala）である。ムンバイ側の Khalapur 料金所は計 17 レーン、うち ETC 専用レーンは 2 レーンであり、プネ側の Telegaon 料金所は計 16 レーン、うち ETC 専用レーンは 2 レーンである。ETC 規格は RFID TAG 方式である。

支払い方法の選択肢は IC カードによるタッチ&ゴー方式とマニュアルの現金支払及び RFID TAG 方式である。ただし、シーリンクとの互換性はない。

Khalapur 料金所で支払うムンバイからプネまでの料金表を表 6.6.3 に示す。

表 6.6.3 料金表 (ムンバイー Pune・エクスプレスウェイ、Khalapur)

Vehicle Type	Dehu Road / Pune	Kusgaon / Lonavala
Car	195	117
Tempo	300	180
Truck / Bus	418	251
Bus	572	343
3 Axle	990	594
M Axle	1317	790

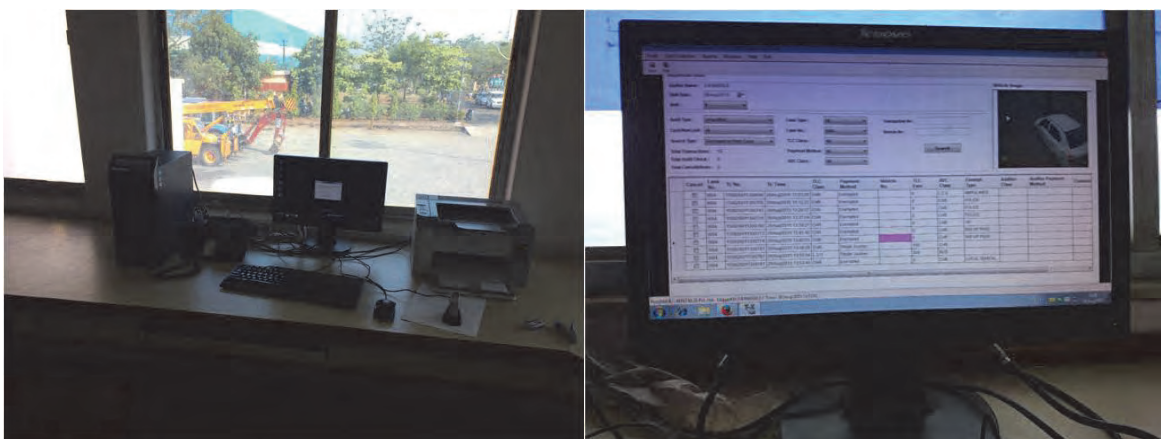
出典：JICA 調査団

料金所での処理状況は、料金所に併設する料金事務所の管制室内のシステムでモニタリングされる。オペレーターが料金収受員による車種判別（マニュアル）と自動判別装置によるものを CCTV 画像を基に照合を行い、車種や料金等の処理データを蓄積している。



出典：JICA 調査団

図 6.6.8 料金所 (ムンバイー Pune・エクスプレスウェイ)



出典：JICA 調査団

図 6.6.9 コントロールルーム (ムンバイー Pune・エクスプレスウェイ)

3) 道路交通管制システム

MPE の路上設備の概要を表 6.6.4 に示す。

交通状況のモニタリングを行う道路交通管制システムを導入しておらず、非常電話の通報を管制室で受け、関係部署や警察への連絡等の初動対応を行っている。

表 6.6.4 道路設備（ムンバイープネ・エクスプレスウェイ）

種類	設置数量	設置間隔	設置箇所
非常電話	約 100	約 2km	路側
交通量計測装置	4		両方向の料金所（2箇所）通過後

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 6.6.10 コールセンター（ムンバイープネ・エクスプレスウェイ）

(3) 拡大ムンバイ圏

1) 道路交通管制システム

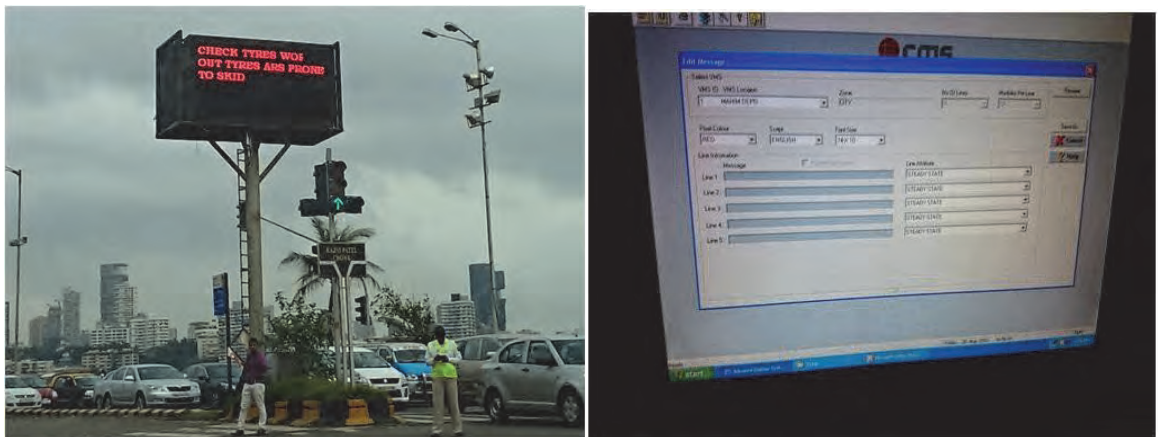
拡大ムンバイ圏では、交通警察に交通管制センターを保有している。ムンバイ市内の主要交差点等に CCTV カメラ 229 基と Area Traffic Control（以下、ATC とする。）信号機 250 基、定周期式の信号機 250 基が設置されており、交通管制センターにてモニタリングしている。画像による混雑状況の確認と主要交差点に配置されている交通監視員からの連絡に基づき、信号現示の調整を行っている。交通管制センターには、交通警察に加えて、拡大ムンバイ圏が契約しているテクニカルコンサルタントがおり、交通警察の指示により、テクニカルコンサルタントが各種操作を行う。交通管制システムは世銀の援助による Mumbai Urban Transport Project（以下、MUTP とする。）において、スペインの Televent 社製のシステムが導入された。

拡大ムンバイ圏に可変情報板 48 基が設置されており、交通管制センター内のシステムで個別に表示内容を設定している。しかしながら、表示される情報はスピード違反警告、ヘルメット着用の警告等の定型の啓蒙メッセージにとどまり、目的地までの予測所要時間、渋滞情報、ルート選択等の動的な情報提供は行われていない。なお、啓蒙メッセージは交通警察の Joint Commissioner により半月ごとに決定される。



出典：JICA 調査団

図 6.6.11 交通コントロールセンター（ムンバイ交通警察）



出典：JICA 調査団

図 6.6.12 VMS システム（ムンバイ）

2) ムンバイ都市圏 ITS 構想（案）

MTHL の整備によりムンバイ～ナビ・ムンバイ間のアクセスルートが強化される。整備効果を更に高めるためには、道路利用者が最適なルート選択を可能とする交通情報の提供は欠かせない。これを実現させるためには、ムンバイ～ナビ・ムンバイ側にそれぞれ VMS を設置し、ナビ・ムンバイ側の VMS にはムンバイ市内の混雑状況と主要目的地までの所要時間を提供することにより、道路利用者には目的地に応じたルート選定を促すことが望ましい。

構想の概要を以下に示す。

- 拡大ムンバイ圏内の道路交通情報を道路ユーザーに提供
- 主要交差点手前に情報板を設置し、拡大ムンバイ圏内への流入交通の分散を図る
- 情報板には、拡大ムンバイ圏内の交通状況を（商用車両などのプローブデータによる交通情報を専門業者より購入し）表示させる。

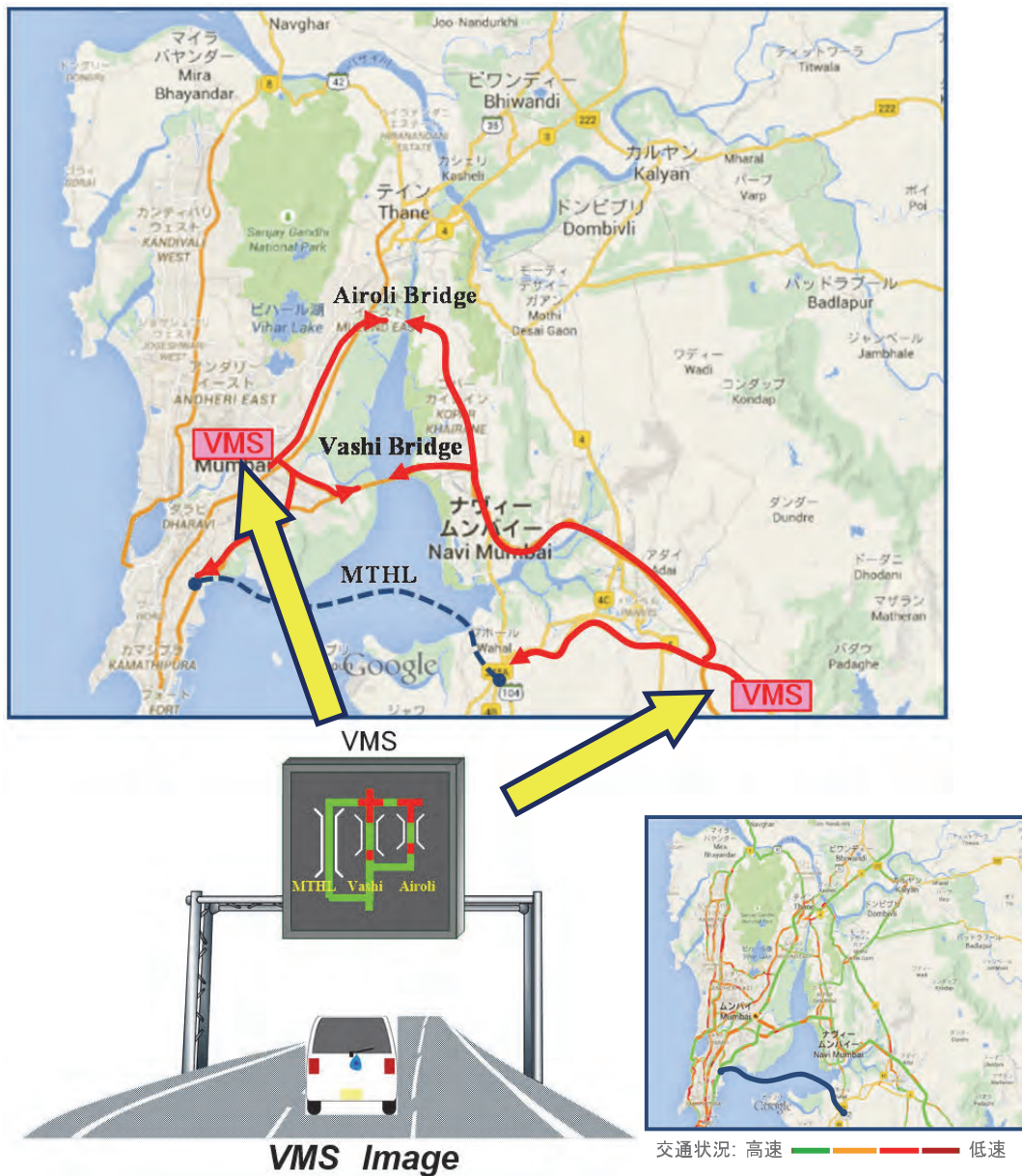


図 6.6.13 ムンバイ都市圏 ITS イメージ

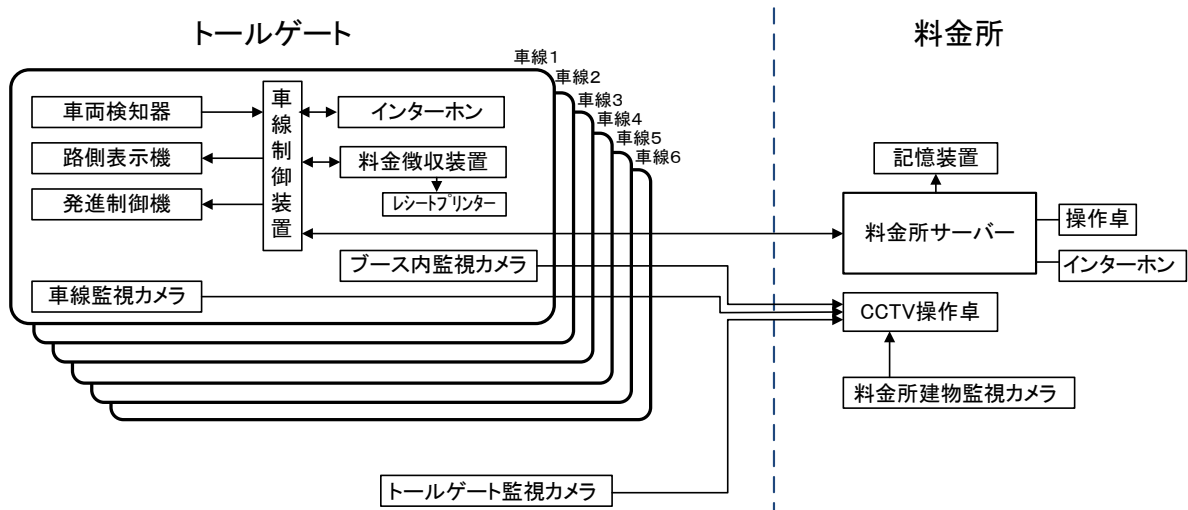
6.6.3 料金収受システム

(1) 料金収受設備のシステム構成

自動車専用道路である MTHL に導入される料金徴収システムは、基本的に MTHL を利用するすべての運転者から徴収するものとする。

利用料金の徴収には、ETC とマニュアル徴収（現金）の方式を用いる。これらの料金徴収方式のための対応レーンは、ETC 専用レーンとマニュアルレーンとするが、ETC レーンは ETC 機器故障や現金徴収機器の故障時に対応可能なように、現金徴収によるバックアップ対応可能な機器配置とする。

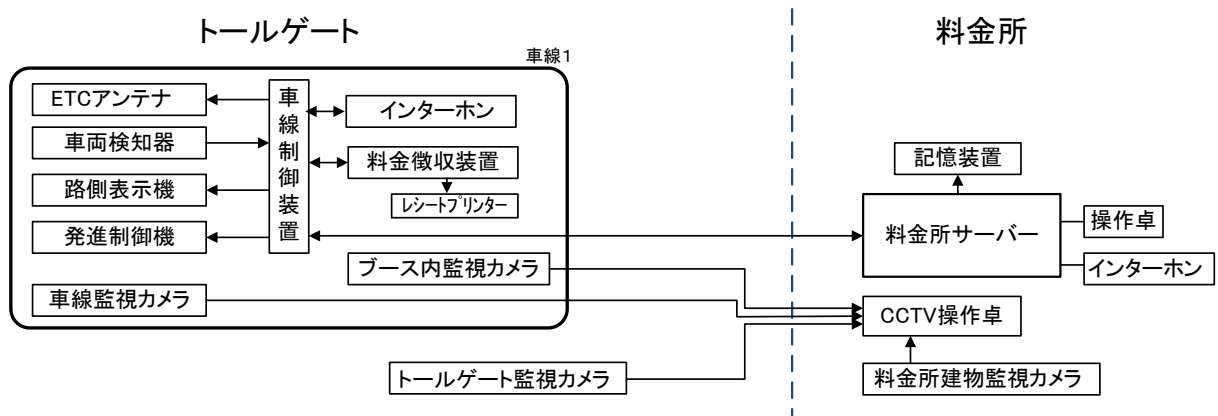
1) マニュアル方式のシステム構成



出典：JICA 調査団

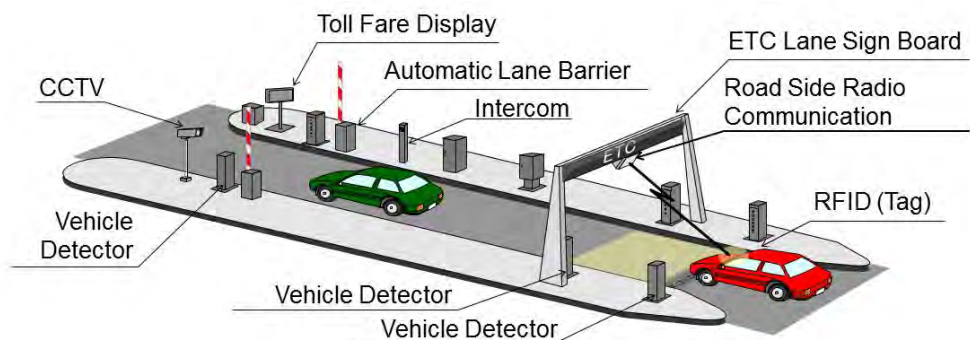
図 6.6.14 マニュアル方式のシステム構成

2) ETC方式のシステム構成



出典：JICA 調査団

図 6.6.15 ETC方式のシステム構成



出典：JICA 調査団

図 6.6.16 ETC レーン

(2) レーン設備

1) マニュアルレーン設備

表 6.6.5 マニュアルレーン設備

装置名	機能／目的
車線制御装置	当該レーンでの料金処理
料金徴収装置	収受員が操作する POS
レシートプリンター	レシートプリンター
インターホン	料金事務所との連絡用
車両検知器	車両検知及び車種判別
路側表示機	車両に対し通行の可否及び料金表示
発進制御機	開閉バーにより車両の発進を制御
車線監視カメラ	車線の監視
ブース内監視カメラ	ブース内の収受員の監視

出典：JICA 調査団

2) ETC レーン設備

表 6.6.6 ETC レーン設備

装置名	機能／目的
車線制御装置	当該レーンでの料金処理、アンテナとの無線通信の処理
ETC アンテナ	ETC 処理に伴う車載側との無線通信
料金徴収装置	収受員が操作する POS
レシートプリンター	レシートプリンター
インターホン	料金事務所との連絡用
車両検知器	車両検知及び車種判別
路側表示機	車両に対し通行の可否及び料金表示
発進制御機	開閉バーにより車両の発進を制御
車線監視カメラ	車線の監視
ブース内監視カメラ	ブース内の収受員の監視

出典：JICA 調査団

3) 料金所コンピューターシステム

表 6.6.7 料金所コンピューターシステム

装置名	機能／目的
料金所サーバー	各レーンのデータ集計
操作卓	集計用の操作卓
インターホン	各車線との連絡用
記憶装置	データ・ステータス及び操作ログを記録保存
CCTV 操作卓	各種監視カメラの操作及びデータ記憶
料金所建物監視カメラ	料金所建物内の監視

出典：JICA 調査団

(3) 必要レーン数

料金所の交通量（入車間隔）、平均サービス時間及びサービス基準（平均待台数）より、料金所での必要レーン数を検討する。

1) 処理可能台数

サービス時間及びサービス基準を基に、マニュアル（現金）方式の1時間当たりの処理可能台数を表 6.6.8 に示す。

- サービス時間は、均一料金制を採用し、8秒を基本として、所要車線数を算定する。
- サービス基準は、料金所での平均待台数で計られ、日本の場合は一般的に1台を想定しているが、周辺の有料道路の料金所での車両の待ち状況等から、処理時間に余裕を見て、平均待台数を3台と設定する。

表 6.6.8 時間当たりの処理可能台数

(単位：台 / 時間)

区分	1レーン	2レーン	3レーン	4レーン	5レーン
均一料金／現金徴収	340	780	1230	1670	2120

(サービス時間：8秒 平均待台数：3台)

出典：東日本高速道路㈱設計要領

ETCレーンの1時間当たりの処理可能台数は、IRC基準（SP99-2013）を適用し、1200台/時間とする。

2) ETC利用率

周辺の有料道路のコンセションエアの情報によると、2015年時点のETC利用率は10%未満で、増加傾向であることを考慮し、毎年1%の増加を見込む。

ETC利用率は、2022年10% 2032年20% 2042年30%と設定する。

3) 必要レーン数

必要レーン数は、ピーク時の時間交通量から算出する。

$$\text{設計時間交通量} = \text{年平均日交通量} \times \text{ピーク率}$$

2042年の料金設定 Case2 におけるピーク時交通量を用いて算出される、各料金所の必要レーン数を表 6.6.9 に示す。

表 6.6.9 各料金所の料金徴収方式別車線数

IC	方向	入口 / 出口	必要 ETC ブース数	必要マニュアルブース数	合計 ブース数	備考
本線料金所	セウリ	入口	1	3	4	Ch19+370
	チルレ	出口	1	3	4	
シバジ・ナガール IC	ナビ・ムンバイ 空港→セウリ	入口 1	1	5	6	Ch17+400
	JNPT 港→セウリ	入口 2	1	2	3	
	ナビ・ムンバイ 空港→チルレ	入口 3	1	2	3	
	セウリ→ナビ・ムンバイ 空港	出口 1	1	5	6	
	セウリ→JNPT 港	出口 2	1	2	3	
	チルレ→ナビ・ムンバイ 空港	出口 3	1	2	3	

出典：JICA 調査団

(4) インターチェンジにおけるブラックスポット化の可能性と課金処理

CH：17+4000 にあるシバジ・ナガール IC は、変形クローバ型インターチェンジである。このランプ合流地点にウィービング箇所（短い距離での交差）が有り、ブラックスポット（交通事故の危険性が高い箇所）となる可能性がある。一般道（新空港方面）から MTHL への流入（ムンバイ方面）の車両と本線（ムンバイ方面）から一般道（JNPT 方面）への流出車両が重なるポイントである。シバジ・ナガール IC の配置計画及びウィービング箇所を図 6.6.17 に示す。

他の分合流部は、分合流に際し十分な距離が取れていると考えられるため、ブラックスポット化の可能性は小さい。

また、セウリ - a - シバジ・ナガール - b - 主料金所 間の a 区間と b 区間において、課金処理に問題があると考えられる。

課題①：既設計の料金所（入口）では、ナビ・ムンバイ 空港→チルレかナビ・ムンバイ 空港→セウリの方向の判別が出来ない。

⇒ 対策：既設計の料金所（入口）の位置を前に移動し、ナビ・ムンバイ 空港→チルレ、ナビ・ムンバイ 空港→セウリを分離する。入口 1 と入口 3 を設置。

課題②③：ウィービング箇所が発生する

課題④：入口 2 通過後、ランプに流入せず直進出来てしまう。

⇒ 対策：料金所後の直進方向は閉鎖する。

課題⑤：既設計の料金所（出口 2）では、セウリ→ナビ・ムンバイ 空港の料金徴収ができない。

⇒ 対策：出口 1 を設置。

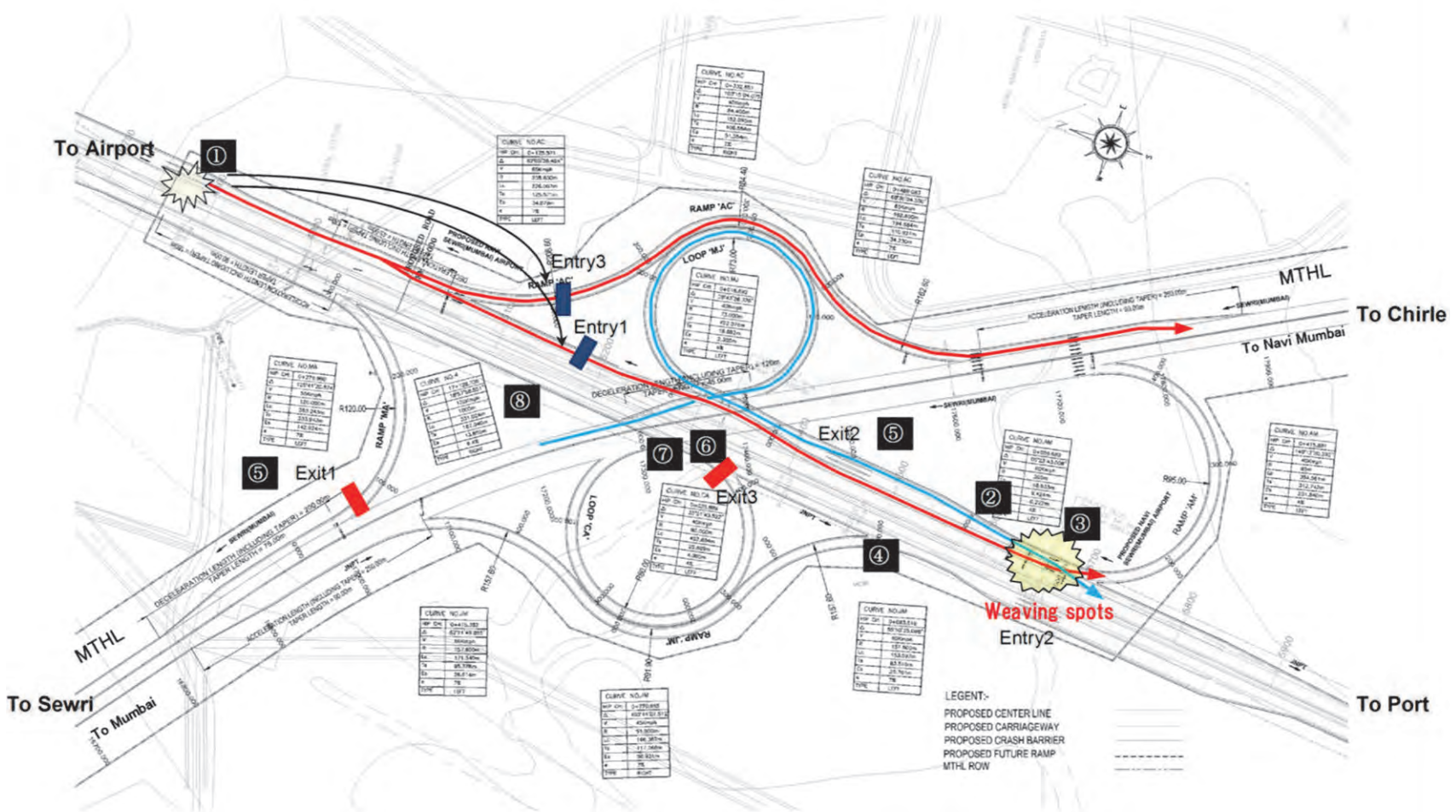
課題⑥：チルレ方面から来る車両に対して、本線料金所で料金徴収する際にシバジ・ナガール IC で流出するかセウリ IC に向かうか判断出来ない。

⇒ 対策：出口 3 を設置。本線料金所で全区間分（セウリ IC まで）の料金を徴収し、出口 3 で差額を返金する。

課題⑦：出口 3 で返金する現金を準備しておく必要があり、運用上現実的でない。

課題⑧：シバジ・ナガール IC の料金事務所の設置場所及び料金収受員の通路確保について検討を要する。

補足：入口 3 のマニュアルレーンは、入場券（日時印刷のもの）を発券し本線料金所で料金徴収すれば良い。



出典：JICA 調査団

(5) 料金收受システム概算費用

料金收受システムの概算費用を表 6.6.10 に示す。

表 6.6.10 料金收受システムの概算費用

	項目	概算金額		支出年度
		外貨 (百万 INR)	内貨 (百万 INR)	
1	料金收受システム	0	204	建設最終年次+10年毎の更新

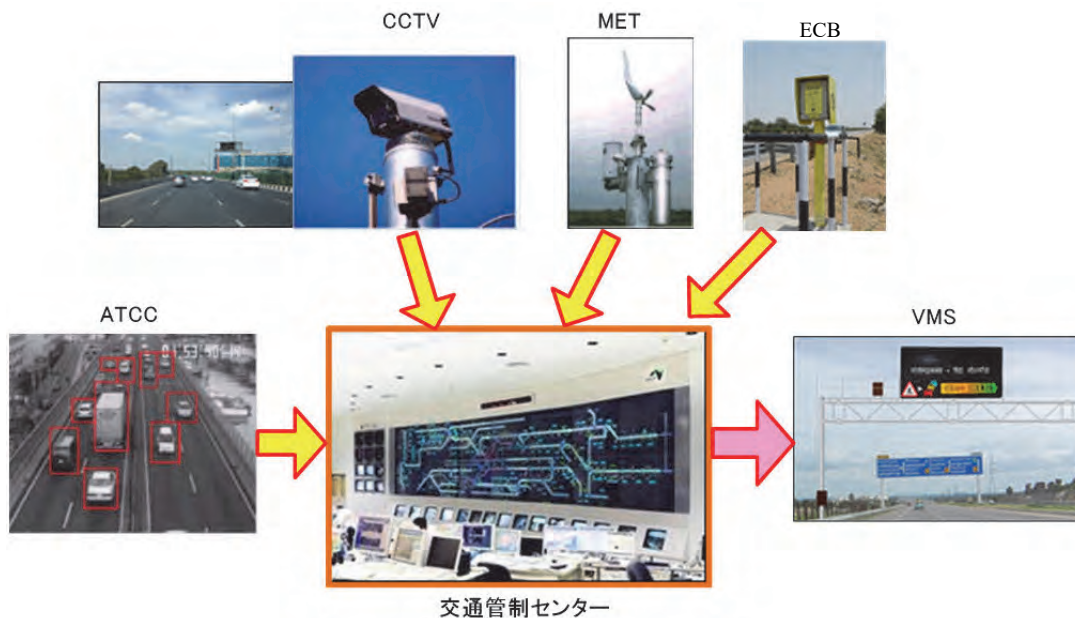
出典：JICA 調査団

6.6.4 道路交通管制システム

(1) システムの概要

MTHL の交通管制システムは、MTHL の交通を安全かつ効率的に通行させるための支援システムである。システム概念図を図 6.6.18 に示す。システムは、情報収集系設備（CCTV、ECB、ATCC、気象観測装置（以下、MET とする。））と情報提供系設備（VMS）で構成される。

CCTV は 1km 当たり 3 箇所程度で配置され、ほぼ全線の交通状況の監視が可能となっている。また、非常電話・気象観測装置・交通量計測装置の情報も管制センターにおいて収集される。これらの収集された情報が、適切な道路情報として情報板に表示される。これらの情報は、MTHL に敷設される光ファイバーケーブルを媒体として管制センターに伝送される。



出典：JICA 調査団

図 6.6.18 概念的システム構成

(2) 道路管制設備

1) 情報収集系システム及び情報提供系システム

表 6.6.11 情報収集系システム及び情報提供系システム

装置名	目的／機能
CCTV : on-road (Closed Circuit Television)	<ul style="list-style-type: none"> 本線の交通流監視、渋滞・事故等の監視 交通管制センター側からの遠隔制御機能によるズーム・旋回等の操作が可能
CCTV : under-girder (Closed Circuit Television)	<ul style="list-style-type: none"> 橋梁下部においてテロ等の監視
MET (Meteorological Observation System)	<ul style="list-style-type: none"> ムンバイ湾気象状況の監視 雨量、霧、風向風速等
ECB (Emergency Call Box)	<ul style="list-style-type: none"> 災害、故障、事故等における救急時、交通管制センターへの通報支援システム
ATCC (Automatic Traffic Counter-cum-Classifier)	<ul style="list-style-type: none"> 本線交通量の計測 車種分類
VMS (Variable Message Sign)	<ul style="list-style-type: none"> 道路利用者に対する道路状況・天候等の情報提供

出典：JICA 調査団

2) 配置計画

路上装置の配置については、前述 6.6.2 における類似道路の状況調査結果及び MMRDA との協議に基づき計画した。

表 6.6.12 路上設備配置計画

種類	設置数量	設置間隔	設置箇所
CCTV (路上)	132	約 333m	路側支柱
CCTV (桁下)	22	約 1km	中央分離帯の下部
非常電話 (ECB)	44	約 1km	路側
可変式情報板 (VMS)	4	流入前 1.5km 流入後 Shivaji Nagar IC 手前	Chirle→Mumbai 流入側：料金所手前 Sewri→NaviMumbai 両方向の流入後 Shivaji Nagar IC 手前（一般道）
気象観測装置 (MET)	3	約 7km	路側
交通量計測装置 (ATCC)	4		Shivaji Nagar IC の前後（本線）

出典：JICA 調査団

可変式情報板の配置については、図 6.6.19 のとおりセウリ、チルレ及びシバジ・ナガール IC からの流入部に設置し MTHL の情報提供を行うものとする。高架橋梁中間部は、注意啓蒙程度であり固定標識で十分であること、MTHL より外側に出ていく車両に対しては提供できる情報を有していないことにより可変式情報板を設置しないものとした。

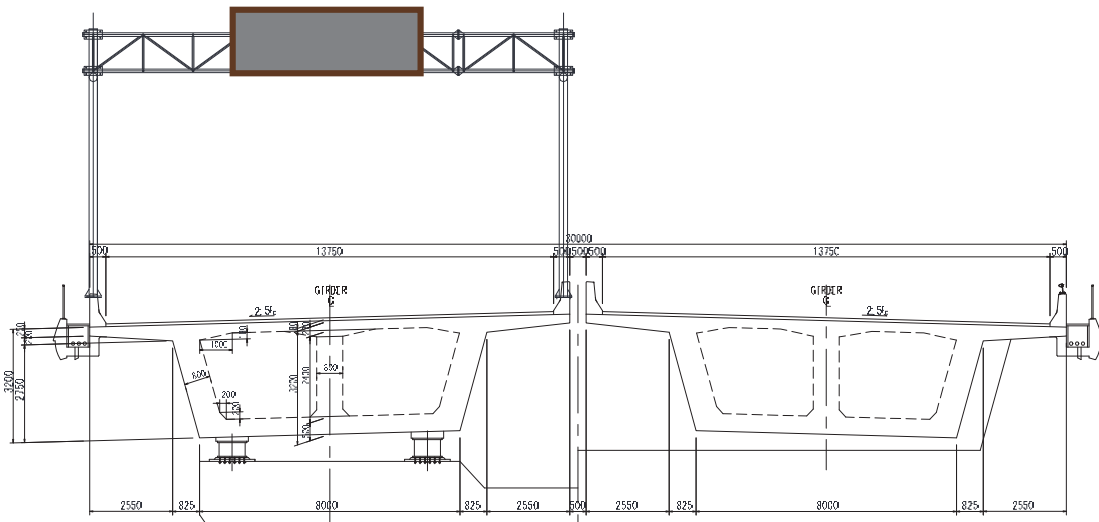


出典：JICA 調査団

図 6.6.19 VMS の配置案

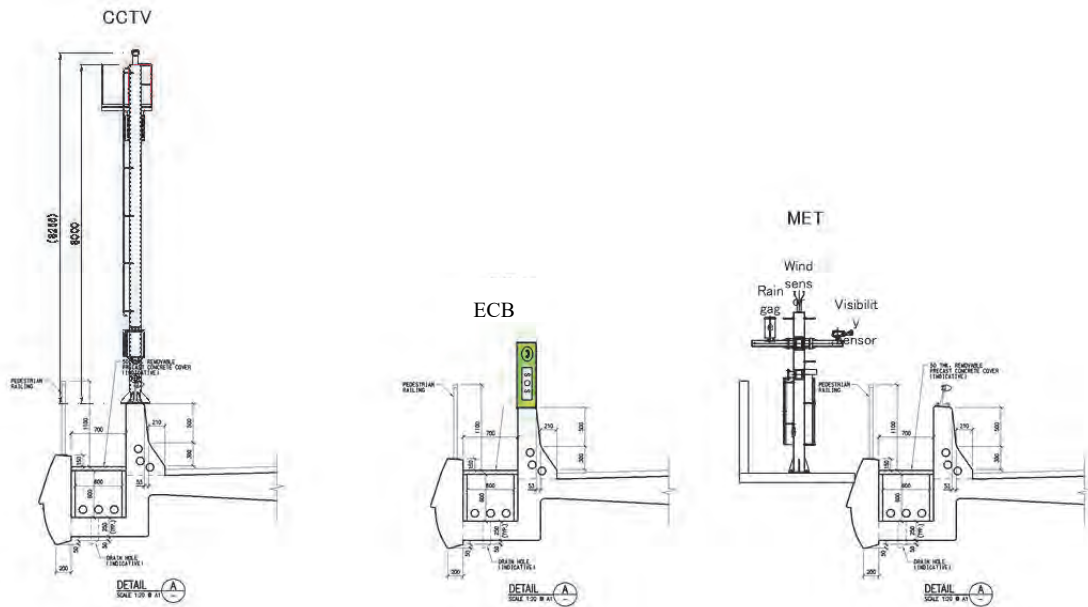
3) 設置案

橋梁部における各設備の設置方法案を以下に示す。



出典：JICA 調査団

図 6.6.20 VMS の設置方法 (案)



出典：JICA 調査団

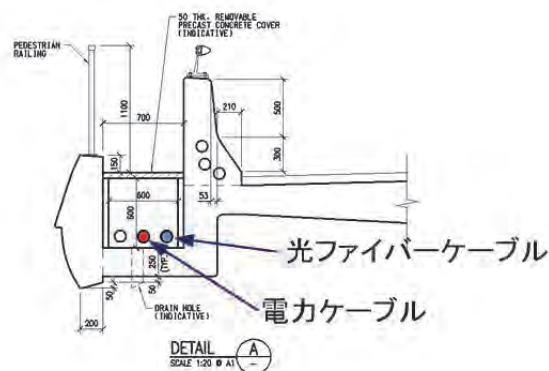
図 6.6.21 CCTV、ECB、MET の設置方法 (案)

4) 光ファイバーケーブル

MTHL は、ほぼ全線がムンバイ湾の横断橋梁部のため、各種路上設備から交通管制センター間の通信は通信事業者回線を利用せず、光ファイバーケーブルを本線両側に敷設し MTHL 独自の通信ラインを確立させることとする。

5) 電力ケーブル

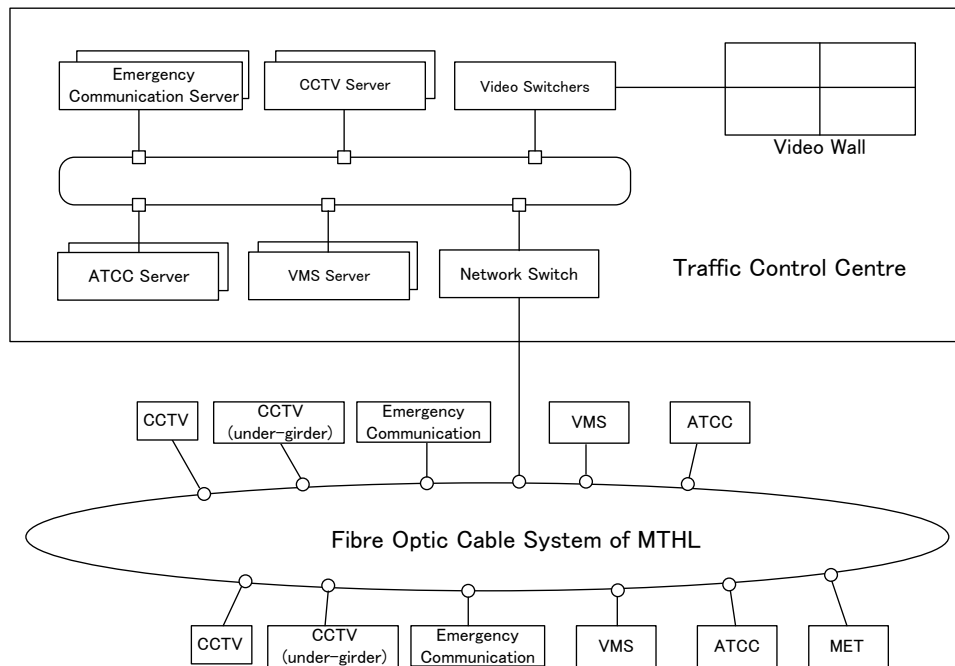
MTHL は、上記同様、ほぼ全線が高架橋梁部であるため、各種路上設備への電源供給はムンバイ側、ナビ・ムンバイ側から供給する。なお、停電時のバックアップのために、自家発電設備についてもムンバイ側、ナビ・ムンバイ側の各々において必要となる。



出典：JICA 調査団

図 6.6.22 ケーブル敷設 (案)

(3) 道路交通管制システム構成



出典：JICA 調査団

図 6.6.23 道路交通管制システム構成

(4) 道路交通管制システム概算費用

道路交通管制システム設置の概算費用を表 6.6.13 に示す。

表 6.6.13 交通管理システムの概算費用

	項目	概算金額		支出年度
		外貨 (百万 INR)	内貨 (百万 INR)	
1	交通管制システム	0	475	建設最終年次+10年毎の更新

出典：JICA 調査団

6.7 安全に対する配慮

6.7.1 はじめに

本節では、様々な脅威に対する MTHL の脆弱性について検討するとともに、それらの脅威から MTHL を守るための緩和策を検討する。

本節では以下を考慮する。

- MTHL に関わる可能性の高い脅威の洗い出し
- それらの脅威が MTHL に与える影響
- MTHL の安全対策

6.7.2 脅威の評価

(1) テロリズム

「イ」国では、テロリストの襲撃を過去に数回経験している。「イ」国において、橋梁がテロリストの標的となった事例は存在しないが、橋梁はシンボリックな象徴であり、標的となった場合、混乱を招き、国内外経済へ重大な影響を与えることが懸念される。

MTHL は、新国際空港とムンバイを結び、将来のムンバイ拡大圏の発展に重要な役割を果たすことが期待されている。また、テロリストは、橋梁、建築構造物、運営システムおよびそれらに関わる従業員を標的にする可能性があるため、非常に脅威である。そのため、テロリストの攻撃を緩和するために、様々な対策を講じることが必要である。

(2) 犯罪

橋梁は犯罪の脅威にさらされる可能性があり、発生する可能性が高い犯罪を表 6.7.1 に示す。

表 6.7.1 MTHL への主要な犯罪

犯罪	分析
落書き／破壊	落書き／破壊の痕跡を放置すると、さらなる犯罪被害の原因となる。
放火	放火は、MTHL に対して重大な脅威である。
妨害行為	妨害行為は、橋梁の警備および安全な運営システムを妨害する可能性がある。
窃盗	MTHL が脅威にさらされる。
不法侵入	MTHL への不法侵入はその運営に対して重大な脅威である。

(3) 市民衝突

「イ」国では、デモンストレーションのような市民の抗議行動や暴動が発生しているが、橋梁を対象とした抗議行動は発生していない。

6.7.3 脅威への対策

脅威に対する一般的な対策を下記に示す。

(1) テロリズム

強固な橋脚・構造物、橋台や変電所への車両進入を防ぐための防護壁、CCTV による監視

(2) 犯罪

料金所、橋台、変電所への侵入防止

(3) 市民衝突

抗議による占領のための関連エリアへの侵入阻止

6.7.4 安全およびセキュリティー対策施設の設置

上記に示した脅威に対して、安全およびセキュリティー対策施設の設置について下記に詳述する。

(1) 不審者および不審物侵入の予防

CCTV カメラは、本線 1km 毎に 3 箇所、上下線別で設置され、交通状況、不審者および不審物の侵入をとらえ、交通監視センターで監視する。さらに、CCTV カメラは、橋梁上部工の下側に 1km 毎に 1 箇所設置される。必要に応じて、パトロール車やパトロール用のボートも使用する。これらの施設の詳細は、6.6.4 章に記載している。

橋梁点検およびメンテナンスのための検査路は橋脚周りに設置され、鋼橋上部工の検査は移動検査車が設置されるが、PC 橋部の点検およびメンテナンスは、橋梁点検車により橋面から実施する。これらの施設の詳細は、9.4.1 章に記載している。

(2) 目隠し版の設置

目隠し版は、本線の北側の原子力研究所に沿って設置される。設置範囲は、Ch. 4+000 から Ch. 10+000 の 6km 区間である。

(3) 不法投棄防止（安全）フェンスの設置

不法投棄防止フェンスは、高さが 3m であり、航路および交差越道、交差道路の区間に設置される。

(4) 緊急車両対策（中央分離帯開口部）

緊急車両通行のために中央分離帯部に 3km 毎に開口部を設ける。

(5) 橋梁構造対応

MTHL は、テロ等の影響を最小限にするために、上下線分離構造を採用した。

MTHL は、PC 箱桁橋および鋼床版箱桁橋で構成されており、比較的小規模な脅威においては、PC 橋は鋼橋に勝っている。しかしながら、脅威によって、PC 橋の PC ケーブルが破断した場合、上部工すべての補修または上部工の架け替えが必要となり、小規模な補修での対応は不可能である。一方、鋼橋の場合、小規模な補修での対応が可能である。テロリストの攻撃に対する対策を考慮すると、単純桁の方が望ましいが、地震の抵抗性、建設費、メンテナンス費を重要視したため、MTHL は連続桁形式を採用した。