

8 概略設計

8.1 概略設計の概要

8.1.1 設計の内容

“5. 路線選定”に記述のとおり、路線選定段階においては代替4路線案の比較評価の結果、「ルート D（線形バージョン R1a）」が最適路線として選定され、JICA 及び DPWH から合意を得た。

路線選定後、原契約の特記仕様書に基づき、プロジェクト道路を2車線一般国道とする概略設計を実施した。2020年6月に2車線一般国道の概略設計成果を取りまとめたインテリム・レポート（IT/R-1）をJICAへ提出した。

その後、別件 JICA 調査「高規格道路網開発マスタープランプロジェクトフェーズ2（以下、HSHMP2）」において、全国高規格道路ネットワークにおけるダルトンパスバイパスの4車線高規格道路整備計画が示された。これより、DPWH がプロジェクト道路を将来的な4車線高規格道路の概略設計として実施する事を調査団及び JICA へ要望し、JICA と DPWH が当該変更に関し合意したため、変更契約を締結して将来的な4車線高規格道路の概略設計を実施した。

本報告書では、4車線高規格道路の概略設計成果を以下に示す。概略設計の内容は、表 8.1-1 に示すとおりである。

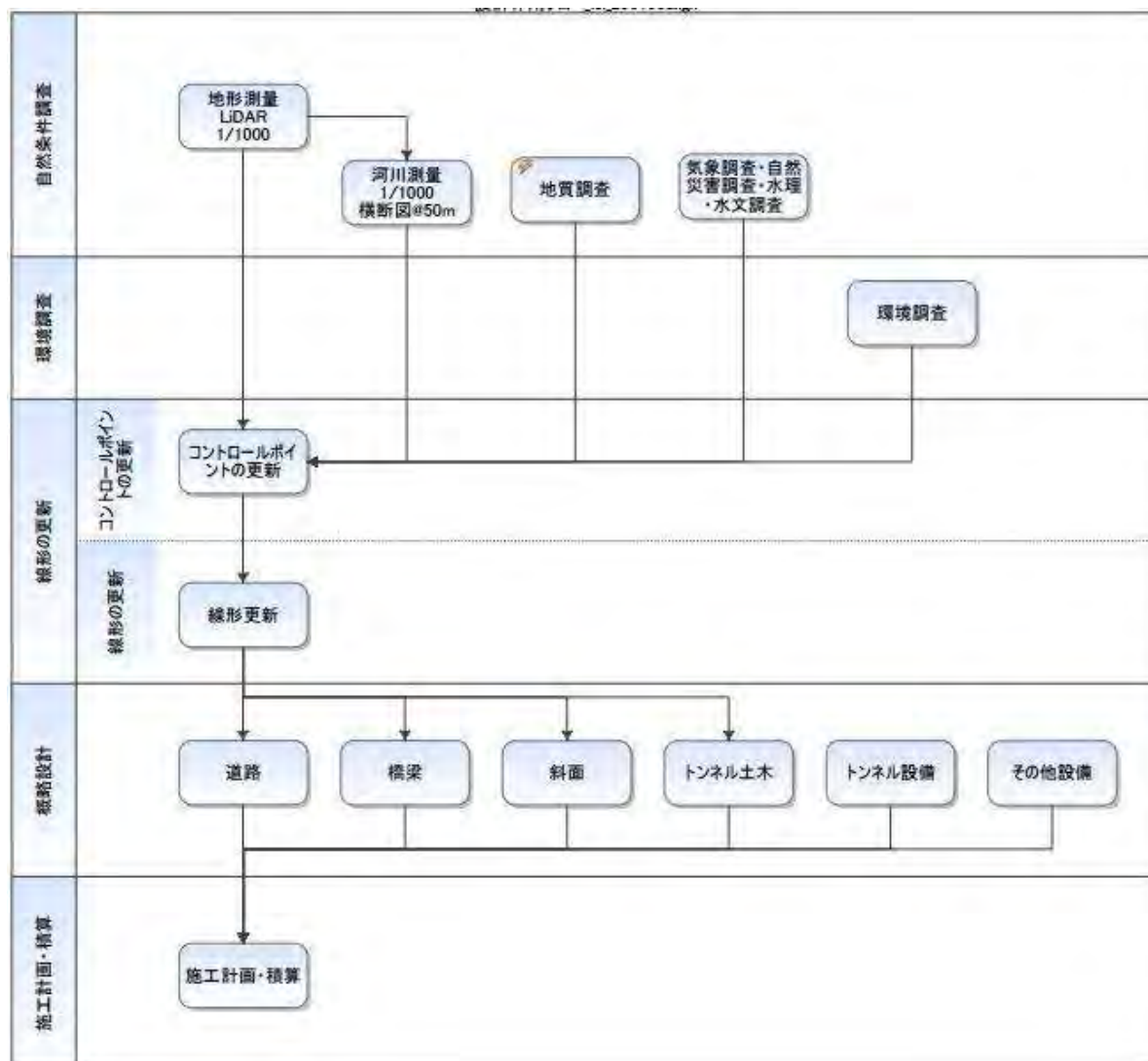
表 8.1-1 概略設計の内容

特記仕様書の項目	本報告書の内容
	8.1 概略設計の概要
道路の線形設計 ・道路平面設計（縮尺 1/2000） ・道路縦横断設計（50mピッチ）	8.2 幾何構造基準
	8.3 中心線線形の変更履歴
	8.4 道路設計、8.4.1 線形設計
	8.4.2 標準横断図
道路の構造設計 ・舗装設計 ・道路・斜面施設設計 ・その他小構造物の設計（斜面施設、排水施設等） ・橋梁設計	8.4.3 交差道路設計
	8.4.4 側道計画及び付替道路計画
	8.4.5 法面保護工
	8.4.6 排水設計
	8.4.7 舗装設計
	8.4.8 付帯構造物
	8.4.9 料金収受施設
	8.5 橋梁設計
	8.6 トンネル設計
道路トンネルの設計 ・トンネル設計基準（案）の作成 ・トンネル断面設計 ・地山分類 ・地山分類に応じた支保構造の計画 ・坑門設計 ・トンネル換気設計 ・その他トンネル附属施設の設計	8.7 トンネル設備設計(1)（電気・通信）
	8.8 トンネル設備設計(2)（機械）
電気設備・保守設備・防災設備の計画	
完成予想図（CIMを活用したCG等）	8.9 電力送配電計画
	8.10 施工計画
	8.11 土石流対策工

出典: JICA 調査団

8.1.2 概略設計の作業フロー

概略設計の作業フローを図 8.1-1 に示す。



出典: JICA 調査団

図 8.1-1 概略設計の作業フロー

8.2 幾何構造基準

4 車線高規格道路の概略設計に適用した幾何構造基準は、DPWH に提出し、受領したコメントを基に更新した「Proposed Geometric Design Standards for 4-Lane Highway」に示された通りである。

資料	発行日
Proposed Geometric Design Standards for 4-Lane Highway (Revision 2a)	2022/3/11
DPWH's comments on Revision 2	2022/2/16
Proposed Geometric Design Standards for 4-Lane Highway (Revision 2)	2021/12/14
Proposed Geometric Design Standards for 4-Lane Highway (Revision 1)	2021/9/20
Proposed Geometric Design Standards for 4-Lane Highway (Revision 0)	2020/3/9

8.2.1 準拠した技術基準

本調査では以下の 7 つの技術基準を参照した。

- 1) Design Guidelines, Criteria & Standards (DGCS), Volume 4: Highway Design, 2015
- 2) Tentative Design Standards, High Standard Highway Network Development Masterplan Phase 2 (HSHMP2)
- 3) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, The Green Book (AASHTO), AASHTO, 2018
- 4) 日本道路構造令 (JRSO)、国土交通省、令和 3 年
- 5) Design Guidelines, Criteria and Standards (DGCS), Volume 5: Bridge Design, 2015
- 6) LRFD Bridge Seismic Design Specifications (BSDS) 2012
- 7) Interim Revisions 2019 to LRFD BSDS

本調査に適用する幾何構造基準は、上記のうち 1)と 2)を採用した。当該 2 基準について、次ページに記載する。また、1)と 2)で明確に設定されていない幾何構造基準の採用値について、3)と 4)を参照し決定した。

表 8.2-1 DPWH の幾何構造基準 (2015)

Table 3-1 Minimum Design Standards for Philippine Highways – excluding Tourism Roads								
Average Daily Traffic (ADT)	FMR	BARANGAY	SECONDARY		PRIMARY		EXPRESSWAY	
	Under 200	200-400	400-1000		1000-2000		More than 2000	
			Minimum	Desirable	Minimum	Desirable	Minimum	Desirable
DESIGN SPEED (kph)								
Flat Topography	60	70	70	90	80	95	90	100
Rolling Topography	40	50	60	80	60	80	70	90
Mountainous Topography	30	40	40	50	50	60	60	70
RADIUS (meters)								
Flat Topography	120	160	160	280	220	320	260	350
Rolling Topography	55	85	120	220	120	220	160	280
Mountainous Topography	30	50	50	80	80	120	100	160
GRADE (percent)								
Flat Topography	6.0	6.0	5.0	3.0	4.0	3.0	4.0	3.0
Rolling Topography	8.0	7.0	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0
Mountainous Topography	10.0	9.0	8.0	6.0	7.0	6.0	7.0	5.0
Pavement Width (meters)	4.0	5.5 – 6.0		6.10		6.70	6.70	7.30
Shoulder Width (meters)	0.5	1.0	1.50	2.00	2.50	3.00		3.00
Right of Way Width (meters)	20	30		30	30	30		60
Superelevation (meters/meter)	0.08 (max.)		0.08 (max.)		0.08 (max.)		0.08 (max.)	
NON PASSING SIGHT DISTANCE (meters)								
Flat Topography	70	90	90	135	115	150	135	160
Rolling Topography	40	60	70	115	70	115	90	135
Mountainous Topography	40	40	40	60	60	70	70	90
PASSING SIGHT DISTANCE (meters)								
Flat Topography	420	490	490	615	560	645	615	675
Rolling Topography	270	350	420	560	420	560	490	615
Mountainous Topography	190	270	270	350	360	420	420	490
Type of Surfacing	Gravel, crushed gravel or crushed stone, bitumen preservative treatment, single or double bituminous surface treatment,		Bituminous dense or open graded plant mix surface course, bituminous concrete surface course		Bituminous concrete surface course		Bituminous concrete surface course, Portland cement concrete pavement	

Source: Table 3.2 in Ministry of Public Works and Highways, 1984, Design Guidelines Criteria and Standards Volume II, Bureau of Design, Manila.

表 8.2-2 高規格道路網開発マスタープランプロジェクト（フェーズ 2）の幾何構造基準(2020)

		Philippine HSH Class- 1	(Proposed) HSH Class-2	USA AASHTO (Interstate Highway)		NEXCO	Japan Road Structure Ordinance ^{*4)}		Asian Highway AH26 (Inter-Urban Highway)	
		HSH Class- 1(U)	Regional High Standard	Inter- Urban	Intra-Urban	Inter-Urban, Mountainous, (Type 1 Class3, 4)	National Highway Flat Terrain (Type3 Class1)	National Highway Flat or Mountainous Area (Type3 Class2)	Primary (Expressway)	Class I ^{*)}
Design Speed (km/h)		60-80	50	No difference in design elements in Flat Terrain and Mountainous Area		60-80	80	60	80	60
No. of Lanes ^{*5)}		4 or more	4 or more			4 or 6	4 or more	2 or 4	4 or more	
Lane Width (m)		3.50	3.25			3.50 (80kph) 3.25 (60kph)	3.50	3.25	3.75	3.50
Shoulder Width (m)	Outer Shoulder	1.75-2.50	0.75-1.25			1.75	1.25	0.75	2.50	2.50
	Inner Shoulder	1.00	0.50			1.00	0.50	0.50	-	-
Median Strip Width (m)		2.00	1.75	2.00	1.75	1.75	3.00	2.50		
Bridge	Traffic Load	HS20-44	HS20-44	B Live Load ^{*2)}				HS20-44		
	Vertical Clearance (m)	5.30	5.00	4.50 ^{*3)}				4.50	4.50	
Note		*1) Class I may be corresponding to the Arterial Road in the Philippines.								
		*2) Almost corresponding to (HS20-44) X1.25.								
		*3) In case that allowance for extra layers of pavement are considered, the vertical clearance is to be 4.70m. A vertical clearance of 4.5m is the requirement for safe passage of standards ISO containers.								
		*4) Roads shall be classified into Type1 through 4. (National Expressway and access-controlled highway is Type 1(Rural) and Type 2(Urban Area). Other Roads such as National Highway, Prefectural Roads is Type 3(Rural) and Type 4(Urban Area).								
		*5) The HSH is designed to be 4-6 lanes highway, however, if the traffic demand is still low at the initial stage, a 2-lane highway will be possible.								

出典：HSHMP2

8.2.2 道路規格・設計速度

本調査における道路規格及び設計速度について、4車線高規格道路の幾何構造基準レポート（改訂 2a 版）に記載の通りで、表 8.2-3 に示す。

表 8.2-3 道路規格及び設計速度

	Design Elements	Ultimate Stage	Reference
1	Highway Classification	Expressway	DGCS
2	Terrain Type	Mountainous	DGCS
3	Design Vehicles (L x W x H) (L x W x H) Live Loading	14 x 2.5 x 4.5 (WB-12 equivalent) HS20-44	DGCS 表 3.1-2 (HSH-MP)
4	Design Speed (km/h)	60	DGCS

8.3 中心線線形の変更履歴

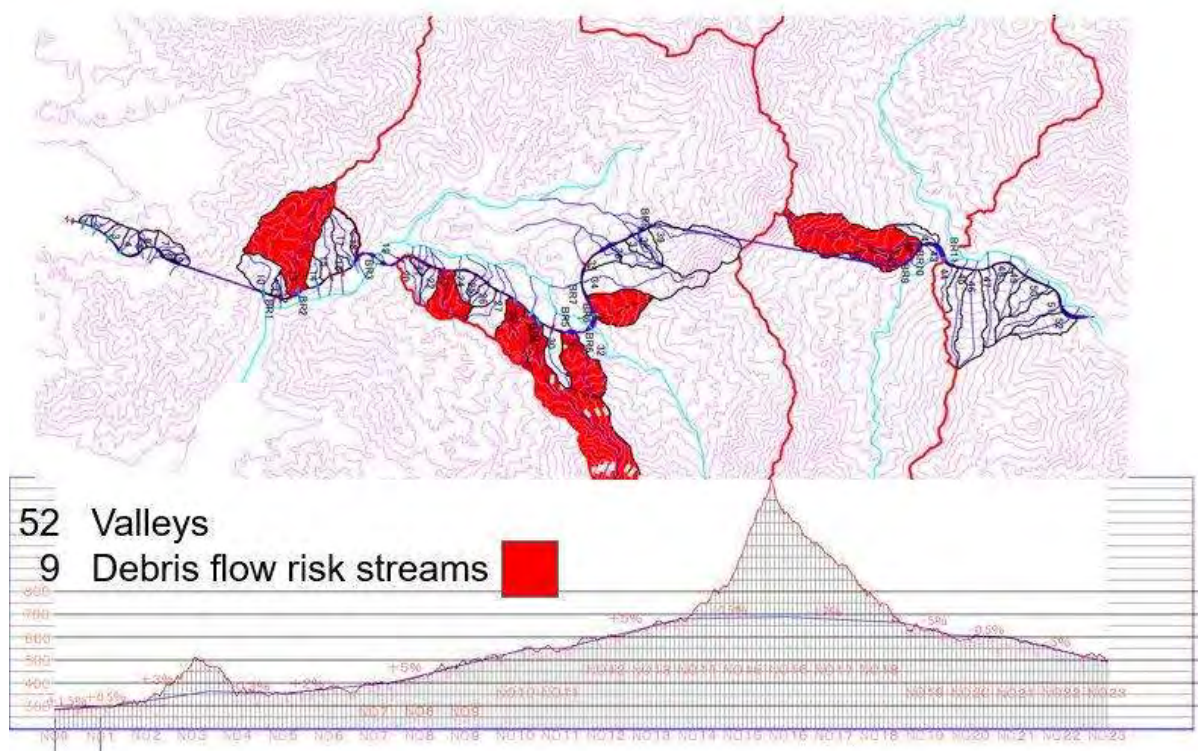
8.3.1 コントロールポイントの確認

LiDAR 測量に基づく地形図(1/1,000)および航空写真(1/1,000)に基づいて、次のようなコントロールポイントを確認した。2車線国道設計時に確認したコントロールポイントは、4車線高規格道路の設計時にそれぞれ更新した。

- 地形：渡河位置
- 地形：坑口位置
- 地形：切土区間と盛土区間の最適化
- 谷・沢筋：架橋位置と橋梁のスパン割の更新
- 谷・沢筋：52 か所の谷・沢筋から要求条件を確認し、交差構造物計画へ反映
- 水路：航空写真からリストアップし、交差構造物計画へ反映
- 道路/人道：航空写真からリストアップ、交差構造物計画へ反映

8.3.2 土石流発生河川の確認

地形図(1/10,000)及び現地踏査結果から、路線沿いに 9 か所の土石流発生河川を確認した。



出典: JICA 調査団

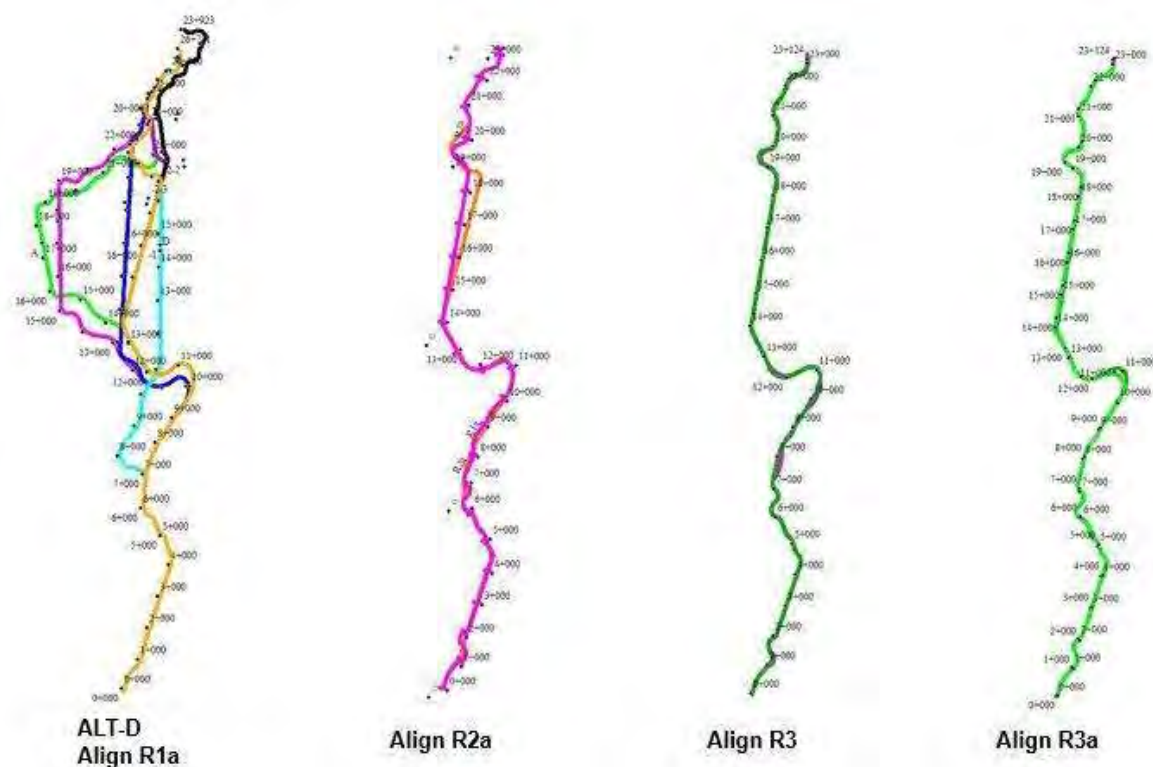
図 8.3-1 確認された土石流発生河川

8.3.3 更新した線形

(1) 線形の更新履歴

2 車線国道設計時は、路線選定時の線形 (R1a) を概略設計時の数回の現地踏査によって図 8.3-2 のように更新した。路線選定時(R1a)は 1/10,000 地形図を用いて実施しており、最適路線として選定された R1a について、より詳細な 1/1,000 地形図を用いて以下を目的として線形を R3a まで更新した。

- ・ 土工区間について、地形に沿った平面線形・縦断線形とすることで長大法面を減らす
- ・ 橋梁区間について、橋梁延長を短縮させる



出典: JICA 調査団

図 8.3-2 第二次現地調査における線形の更新履歴（2車線国道設計時）

(2) 4車線高規格道路の線形

表 8.3-1 に路線選定時の線形（R1a）、2車線一般国道の最終線形（R3a）及び4車線高規格道路の最終線形（R4L）の比較を示す。

表 8.3-1 更新前後の線形比較表

No.	カテゴリ	R4L (4車線最終線形)	R3a (2車線最終線形)	R1a	差 (R4L vs R1a)
1	長さ(m)	23,007	22,953	23,139	- 132
	道路	14,016	14,568	13,759	+ 257
	橋梁	10 Nos	10 Nos	12 Nos	- 2 Nos
		2,917	2,425	3,500	- 583
	トンネル	South 1,590 North 4,485	South 1,550 North 4,410	South 1,580 North 4,300	
		6,074	5,960	5,880	- 194
2	R ≤ 220m	4 Nos 904 m	5 Nos 1,489 m	4 Nos 1,171 m	0 Nos - 267 m
3	Profile I = 5%	6,346 m	8,800 m	9,597 m	- 3,251 m

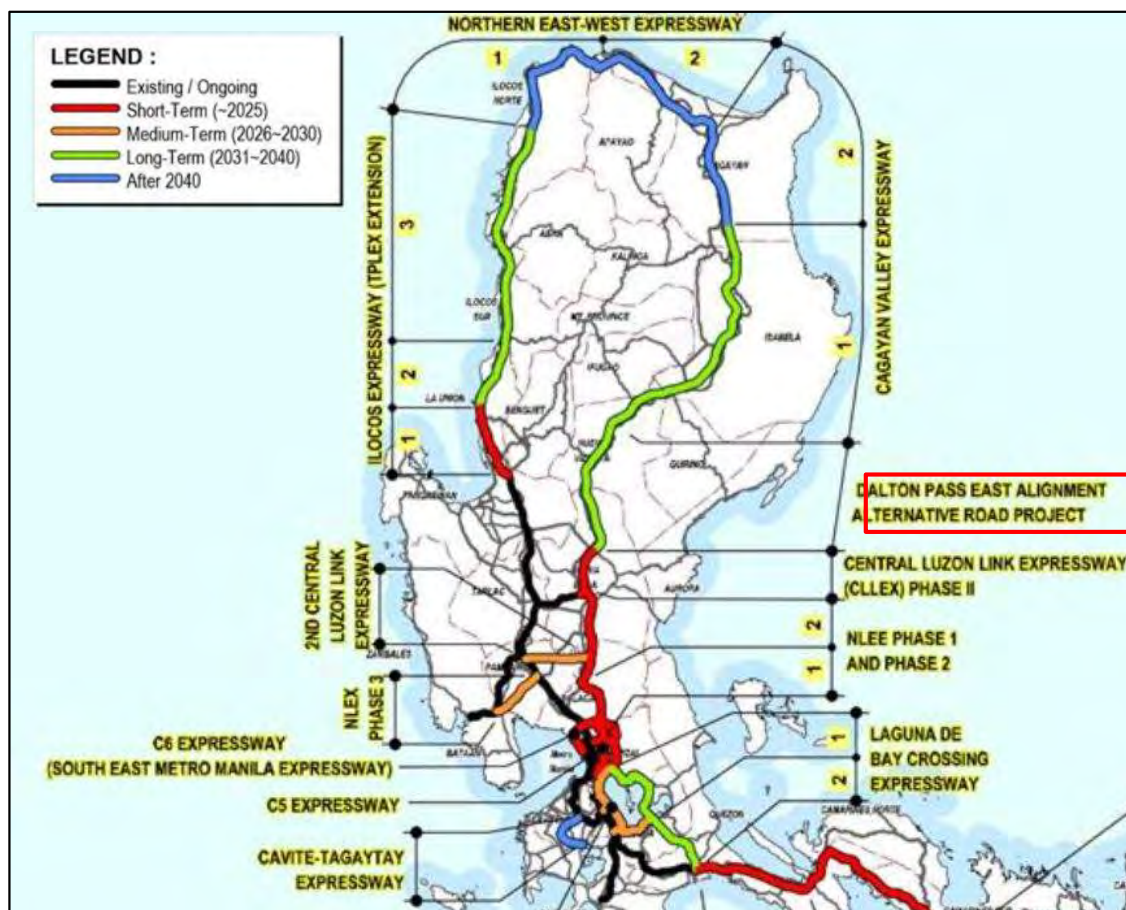
出典: JICA 調査団

8.4 道路設計

8.4.1 線形設計

(1) 道路規格

本調査の道路線形は以下の点を考慮し設計した。道路区分については、HSHMP2 では、図 8.4-1 に示す通りプロジェクト道路が HSH Class I に分類され、フィリピンの南北を結ぶ高規格道路網の一部となっている。これより、本調査では将来的な 4 車線高規格道路として概略設計を実施した。

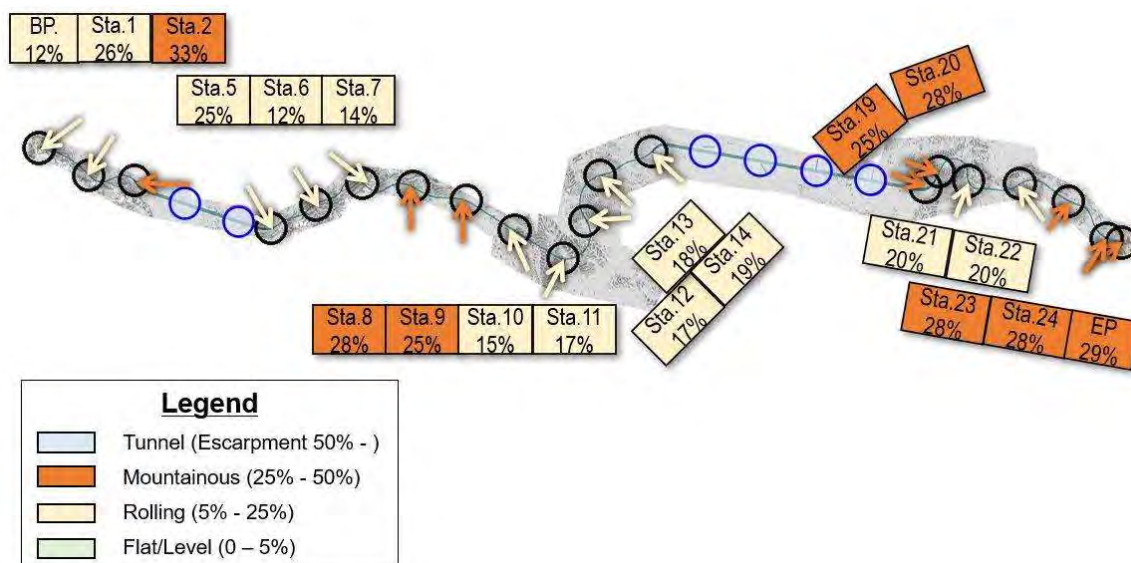


出典: Final Report, HSHMP2

図 8.4-1 高規格道路ネットワーク整備プラン

(2) 地形条件

4 車線高規格道路の幾何構造基準案 (Revision 2a) にてプロジェクト道路の地形条件を検討し、その結果を図 8.4-2 及び表 8.4-1 に示す。



出典: JICA 調査団

図 8.4-2 プロジェクト道路の地形状況

表 8.4-1 プロジェクト道路の地形状況 (@each km)

Sta.	Traverse Terrain Slope (%)	Sta.	Traverse Terrain Slope (%)
BP	12	13	18
1	26	14	19
2	33	15	(North Tunnel)
3	(South Tunnel)	16	
4		17	
5	25	18	
6	12	19	25
7	14	20	28
8	28	21	20
9	25	22	20
10	15	23	28
11	17	24	28
12	17	EP	29

出典: JICA 調査団

上記の地形検討結果に基づき、プロジェクト道路の設計に適用する地形タイプを「山岳地形」とした。

表 8.4-2 プロジェクト道路の地形状況 (@ 地形タイプ)

No.	地形タイプ	延長 (km)	比率 (%)
1	Flat/Level (0-5%)	0	0
2	Rolling (5%-25%)	11	48
3	Mountainous (25%-50%)	6	26
4	Tunnel	6	26
	Total	23	100

出典: JICA 調査団

(3) 幾何構造基準の採用値

本調査で採用された幾何構造の採用値は表 8.4-3 に示す。

表 8.4-3 幾何構造基準の採用値

Design Elements		Ultimate Stage	Reference
1	Highway Classification	Expressway	DGCS
2	Terrain Type	Mountainous	DGCS
3	Design Vehicles (L x W x H) (L x W x H) Live Loading	14 x 2.5 x 4.5 (WB-12 equivalent) HS20-44	DGCS Table 3.1-2 (HSH-MP)
4	Design Speed (km/h)	60	DGCS
5	Cross-Sectional Elements	Number of Traveled Way	4
		Formation Width (m)	
		Pavement (Travel Way) Width(m)	7.0 (2@3.5)
		Median Width (m)	4.0
		Median Strip (m)	2.0
		Inner Shoulder Paved Width (m)	1.0
		Outer Shoulder Paved Width (m)	2.5
		Outer Shoulder Earthen Width (m)	1.0
		Crossfall of Roadway (%)	2.0
		Slope of Earthworks	
	Sight Distance	Fill	V : H = 1:1.8
		Cut (Soil)	V : H = 1:1.0
		Cut (Soft-rock)	V : H = 1:0.7
		Cut (Hard-rock)	V : H = 1:0.5
7	Horizontal Alignment	Driver's Eye Height (m)	1.15
		Height of Object for Stopping Distance (m)	0.15
		Stopping Sight Distance (m)	160
		Passing Sight Distance (m)	490
		Horizontal Curve	
		Minimum Radii of Horizontal Curve (m)	100
		Desirable Radii of Horizontal Curve (m)	160
		Minimum Curve Length (m)	30
		Superelevation	
		Maximum Superelevation (%)	6.0
		Minimum Radii w/o Superelevation (m)	>1500
		Length of Tangent Runout (m)	30
8	Vertical Alignment	Length of Runoff (m)	Varies
		Maximum Slope of Superelevation	1/150
		Transition Curve	
		Spiral Type	Clothoid
		Desirable Length of Spiral Curve Transition (m)	33
		Minimum Radii w/o Transition (m)	>1500
		Desirable Max Grade (%)	5.0
		Critical Length of Grades	
		Less than 5.0% (m)	no limit
		For 6.0 % (m)	500
	Vertical Alignment	For 7.0 % (m)	400
		Vertical Curve	
		Minimum Length of Vertical Curve (m)	L=KA
		Minimum Radius of Vertical Curve	
	Vertical Alignment	Crest Curve (m)	1100
		Sag Curve (m)	1800
9	Vertical Alignment	Lateral Clearance (m)	all paved width
		Vertical Clearance (m)	5.30

出典: JICA 調査団

(4) 平面線形

1) 平面線形の概要

平面線形は、2車線時の最終線形に基づいて、4車線道路は基本的に両側拡幅するものとして、更新したコントロールポイントに基づいて、長大切土及び長大盛土をできるだけ回避して更新した。

プロジェクト道路は全長約 23km の山岳道路である。山岳道路の特徴として、地形に沿った曲線を配置した結果、約 35% が曲線区間となっている。曲線半径が 160m(望ましい最小値)以下のカーブは、北トンネルのアプローチ区間に 2 箇所（南向き：154m、北向き：160m）存在する。この 2 箇所以外は、曲線半径 220m 以上であり、設計速度 80km/hr の道路規格を満足している。

表 8.4-4 に平面曲線の概要を示す。

表 8.4-4 平面曲線の概要

Radius	Southbound		Northbound	
	Nos	Length (m)	Nos	Length (m)

出典: JICA 調査団

採用された平面線形要素を表 8.4-5 及び表 8.4-6 に示す。

表 8.4-5 平面線形要素表 (1/2)

Southbound							Northbound									
No.	Sta.		Radius R (m)	A	Length L (m)	e (%)	Superelevation	No.	Sta.		Radius R (m)	A	Length L (m)	Superelevation		
	BP	EP							BP	EP				e (%)	Runoff rate	

出典: JICA 調査団

表 8.4-6 平面線形要素表 (2/2)

Southbound							Northbound								
No.	Sta.		Radius R (m)	A	Length L (m)	e (%)	Superelevation	No.	Sta.		Radius R (m)	A	Length L (m)	Superelevation	
	BP	EP							BP	EP				e (%)	Runoff rate

(5) 縦断線形

縦断線形は 2 車線線形で多く採用されていた 5%縦断勾配長を減少させることを目標とし、現場踏査結果も反映して更新した。

設計速度 60km/hr であることから、5%勾配では制限長を設けない。結果として、5%勾配の坂路が全体の 28%となっている。

表 8.4-7 に勾配毎の縦断線形長を示す。

表 8.4-7 縦断勾配毎の縦断線形長

Grade (%)	Southbound			Northbound		
	Nos	Length	Ratio (%)	Nos	Length	Ratio (%)
0.0 < i ≤ 2.0	11	11,034.45	48.02%	11	11,056.71	48.06%
2.0 < i ≤ 3.0	4	3,065.68	13.34%	4	3,108.25	13.51%
3.0 < i ≤ 4.0	3	662.03	2.88%	3	636.33	2.77%
4.0 < i < 5.0	1	1,865.98	8.12%	1	1,865.98	8.11%
i=5.0	10	6,351.79	27.64%	10	6,340.28	27.56%
Total		22,979.93	100.00%		23,007.55	100.00%

出典： JICA 調査団

表 8.4-8 に縦断線形要素を示す。

表 8.4-8 縦断線形要素表

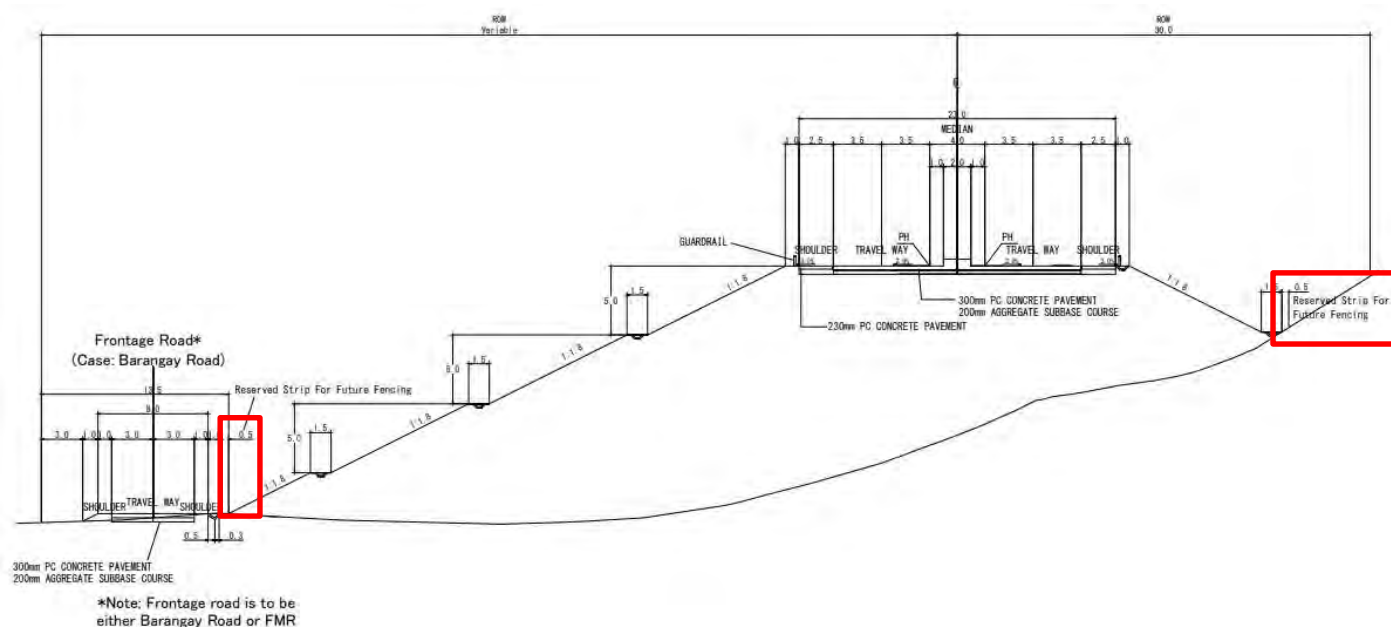
Southbound								Northbound						Remarks	
No.	PVI Sta.	PVI Elev.	Gradient	Gradient Length	V-curve K	V-curve Length (m)	R	No.	PVI Sta.	PVI Elev.	Gradient	Gradient Length	V-curve K		V-curve Length (m)

出典: JICA 調査団

8.4.2 標準横断面図

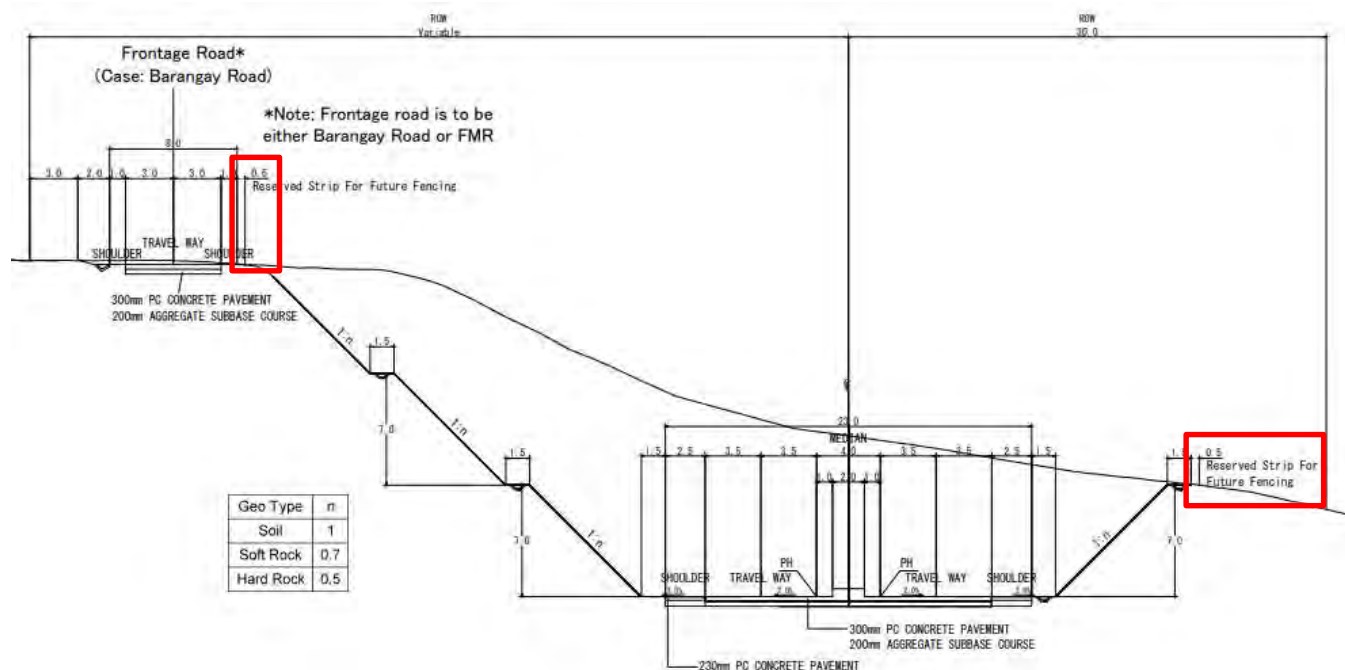
本調査で採用した標準横断面図を図 8.4-3～図 8.4-8 に示す。

各標準横断においては、将来コンセッション契約により本道路の運営・維持管理が実施されることを想定し、法尻部または側道付区間における本線と側道の境界部に立入防護柵を設置する用地（幅 50cm）を確保した（図 8.4-3～図 8.4-8 の赤枠）。



出典: JICA 調査団

図 8.4-3 標準横断面図（盛土区間、側道付）



出典: JICA 調査団

図 8.4-4 標準横断面図（切土区間、側道付）

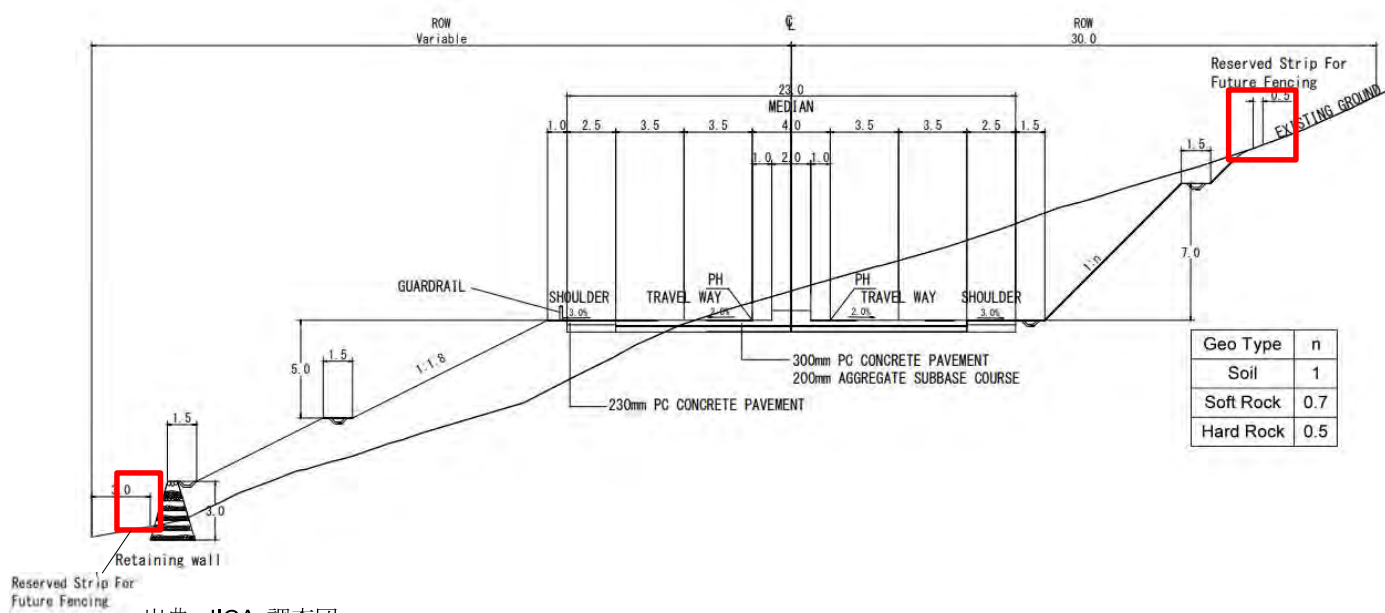


図 8.4-5 標準横断面図（片切片盛区間、側道無）

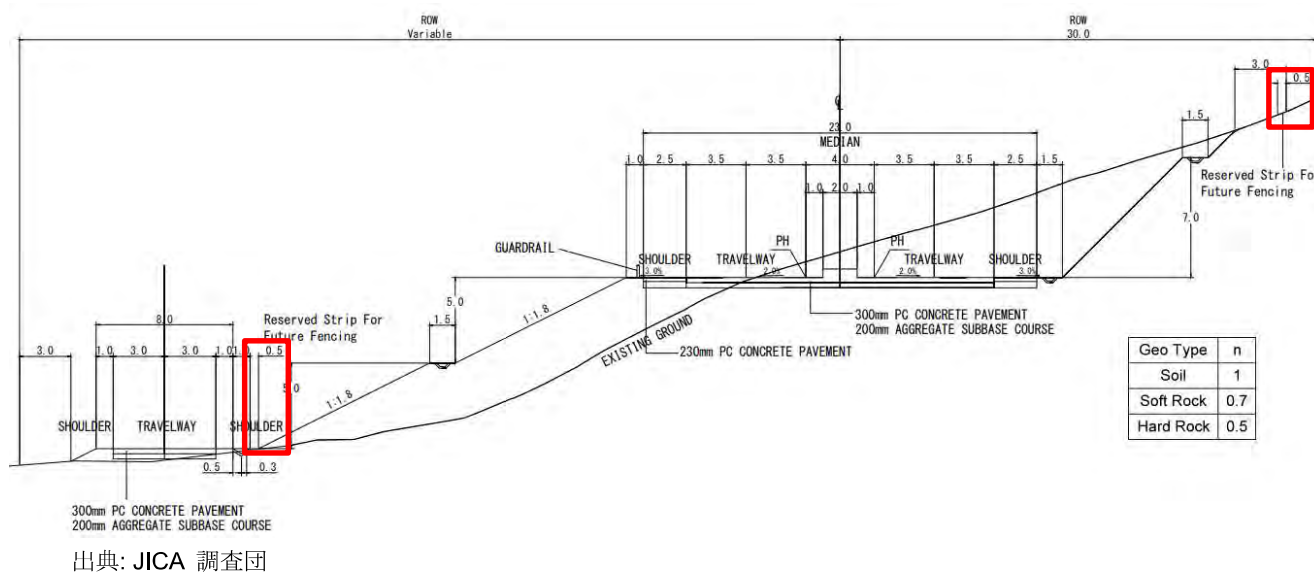
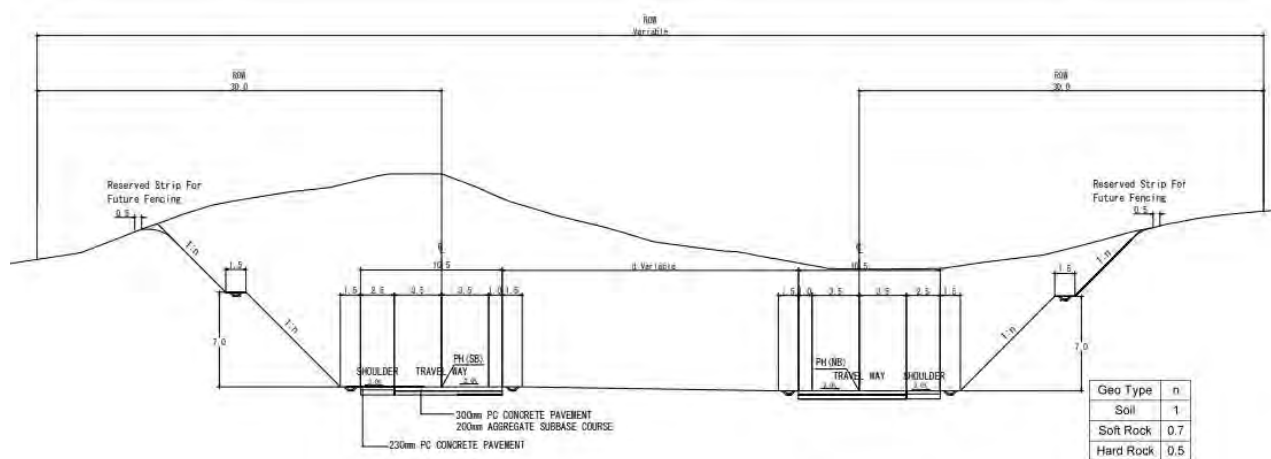
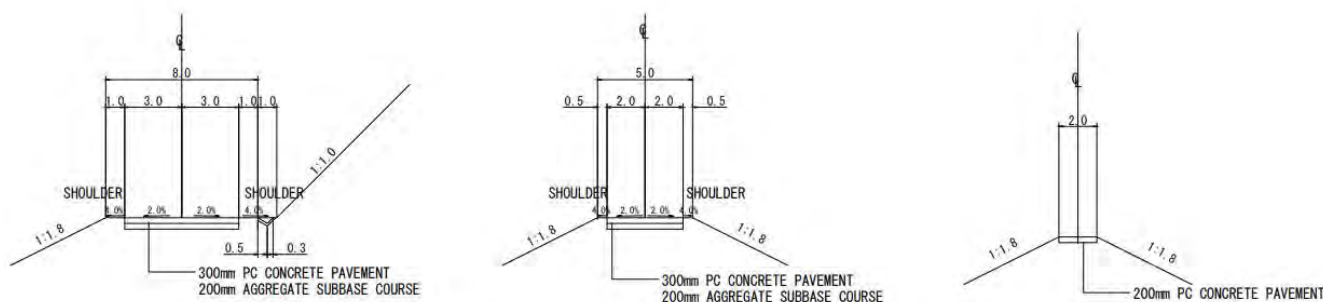


図 8.4-6 標準横断面図（片切片盛区間、側道付）



出典: JICA 調査団

図 8.4-7 標準横断面図（分離区間）



出典: JICA 調査団

図 8.4-8 標準横断面図（交差道路（左：バランガイ道路、中：FMR 道路、右：歩行者道））

8.4.3 交差構造物設計

(1) 概要

高規格道路は主に高速輸送と地域産業の発展が目的として整備されており、一般的に一般国道との平面交差は避けるように計画されることが多い。一方、結果として道路の計画位置と周辺地盤の高低差が大きくなり、地域のコミュニティや活動の分断を生じさせる。

本プロジェクト道路においては、道路建設による社会環境的な負の影響を防ぐため、跨道橋（オーバースパブリッジ）やアンダーパス等の横断構造物を適切な間隔で設置した。

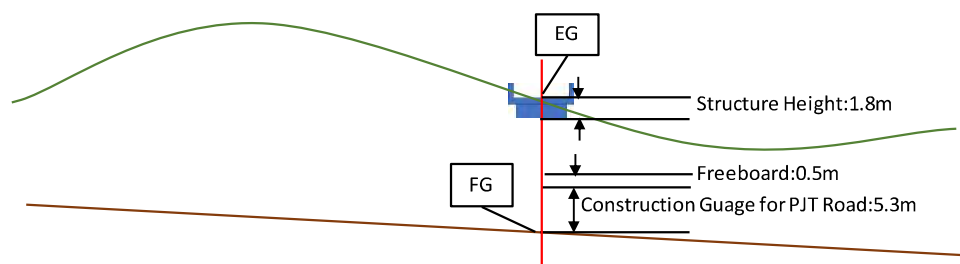
(2) 跨道橋（オーバースパブリッジ）

1) 2種類の跨道橋(OV)

本事業は、周辺地域の道路ネットワーク確保の観点から、長大切土区間に2種類の跨道橋（オーバースパブリッジ）が必要である。

2) 必要クリアランス

図 8.4-9 に各オーバーパスの必要クリアランスを示す。オーバーパスの設計では、構造高さ、建築限界及び余裕高を確保している。



EG: Existing Ground, FG: Finished Ground

出典: JICA 調査団

図 8.4-9 オーバーパスの必要クリアランス

3) 跨道橋の設置予定地

表 8.4-9 に、跨道橋（オーバーパス）の計画位置とサイズを示す。

表 8.4-9 高架橋の設置計画地

--

注釈: AG: At-Grade

出典: JICA 調査団

(3) 道路ボックス

1) 3種類の道路ボックス(CB-RD)

本事業は、周辺地域の道路ネットワーク確保の観点から、盛土区間に3種類の道路ボックス（アンダーパス）が必要である。

- i) バランガイ道路 (BR)
- ii) ファーム・トゥ・マーケット道路 (FMR)
- iii) 歩道 (PR)

2) 道路ボックスの必要クリアランス

表 8.4-10 に道路ボックスに必要なクリアランスを示す。必要クリアランスは、乗用車や軽量車両が主に利用されている既存道路の交通状況を維持するために設定した。バランガイ道路 (BR) については、緊急車両が通過できるよう考慮した。

	バランガイ道(BR)	ファーム・トゥ・マーケット道路 (FMR)	歩道 (PR)
必要クリアランス	H=4.0m W=8.0m	H=3.0m W=4.0m	H=2.5m W=2.0m

3) 道路ボックス計画

表 8.4-11 道路ボックス計画

Figure 1. The effect of the concentration of the inhibitor on the rate of polymerization of methyl methacrylate in benzene at 60°C. The concentration of the initiator was 0.001 mole/l. and the concentration of the monomer was 0.5 mole/l. The concentration of the inhibitor was 0.001 mole/l. (○), 0.002 mole/l. (●), 0.004 mole/l. (▲), 0.008 mole/l. (△), 0.016 mole/l. (□), 0.032 mole/l. (◇), 0.064 mole/l. (○), 0.128 mole/l. (●), 0.256 mole/l. (▲), 0.512 mole/l. (△), 1.024 mole/l. (□), 2.048 mole/l. (◇), 4.096 mole/l. (○), 8.192 mole/l. (●), 16.384 mole/l. (▲), 32.768 mole/l. (△), 65.536 mole/l. (□), 131.072 mole/l. (◇), 262.144 mole/l. (○), 524.288 mole/l. (●), 1048.576 mole/l. (▲), 2097.152 mole/l. (△), 4194.304 mole/l. (□), 8388.608 mole/l. (◇), 16777.216 mole/l. (○), 33554.432 mole/l. (●), 67108.864 mole/l. (▲), 134217.728 mole/l. (△), 268435.456 mole/l. (□), 536870.912 mole/l. (◇), 1073741.824 mole/l. (○), 2147483.648 mole/l. (●), 4294967.296 mole/l. (▲), 8589934.592 mole/l. (△), 17179869.184 mole/l. (□), 34359738.368 mole/l. (◇), 68719476.736 mole/l. (○), 137438953.472 mole/l. (●), 274877906.944 mole/l. (▲), 549755813.888 mole/l. (△), 1099511627.776 mole/l. (□), 2199023255.552 mole/l. (◇), 4398046511.104 mole/l. (○), 8796093022.208 mole/l. (●), 17592186044.416 mole/l. (▲), 35184372088.832 mole/l. (△), 70368744177.664 mole/l. (□), 140737488355.328 mole/l. (◇), 281474976710.656 mole/l. (○), 562949953421.312 mole/l. (●), 1125899906842.624 mole/l. (▲), 2251799813685.248 mole/l. (△), 4503599627370.496 mole/l. (□), 9007199254740.992 mole/l. (◇), 18014398509481.984 mole/l. (○), 36028797018963.968 mole/l. (●), 72057594037927.936 mole/l. (▲), 144115188075855.872 mole/l. (△), 288230376151711.744 mole/l. (□), 576460752303423.488 mole/l. (◇), 1152921504606846.976 mole/l. (○), 2305843009213693.952 mole/l. (●), 4611686018427387.904 mole/l. (▲), 9223372036854775.808 mole/l. (△), 18446744073709551.616 mole/l. (□), 36893488147419103.232 mole/l. (◇), 73786976294838206.464 mole/l. (○), 147573952589676412.928 mole/l. (●), 295147905179352825.856 mole/l. (▲), 590295810358705651.712 mole/l. (△), 1180591620717411303.424 mole/l. (□), 2361183241434822606.848 mole/l. (◇), 4722366482869645213.696 mole/l. (○), 9444732965739290427.392 mole/l. (●), 18889465931478580854.784 mole/l. (▲), 37778931862957161709.568 mole/l. (△), 75557863725914323419.136 mole/l. (□), 151115727451828646838.272 mole/l. (◇), 302231454903657293676.544 mole/l. (○), 604462909807314587353.088 mole/l. (●), 1208925819614629174706.176 mole/l. (▲), 2417851639229258349412.352 mole/l. (△), 4835703278458516698824.704 mole/l. (□), 9671406556917033397649.408 mole/l. (◇), 19342813113834066795298.816 mole/l. (○), 38685626227668133590597.632 mole/l. (●), 77371252455336267181195.264 mole/l. (▲), 154742504910672534362390.528 mole/l. (△), 309485009821345068724781.056 mole/l. (□), 618970019642690137449562.112 mole/l. (◇), 1237940039285380274899124.224 mole/l. (○), 2475880078570760549798248.448 mole/l. (●), 4951760157141521099596496.896 mole/l. (▲), 9903520314283042199192993.792 mole/l. (△), 19807040628566084398385987.584 mole/l. (□), 39614081257132168796771975.168 mole/l. (◇), 79228162514264337593543950.336 mole/l. (○), 158456325028528675187087900.672 mole/l. (●), 316912650057057350374175801.344 mole/l. (▲), 633825300114114700748351602.688 mole/l. (△), 1267650600228229401496703205.376 mole/l. (□), 2535301200456458802993406410.752 mole/l. (◇), 5070602400912917605986812821.504 mole/l. (○), 10141204801825835211973625643.008 mole/l. (●), 20282409603651670423947251286.016 mole/l. (▲), 40564819207303340847894502572.032 mole/l. (△), 81129638414606681695789005144.064 mole/l. (□), 162259276829213363391578010288.128 mole/l. (◇), 324518553658426726783156020576.256 mole/l. (○), 649037107316853453566312041152.512 mole/l. (●), 1298074214633706907132624082305.024 mole/l. (▲), 2596148429267413814265248164610.048 mole/l. (△), 5192296858534827628530496329220.096 mole/l. (□), 10384593717069655257060992658440.192 mole/l. (◇), 20769187434139310514121985316880.384 mole/l. (○), 41538374868278621028243970633760.768 mole/l. (●), 83076749736557242056487941267521.536 mole/l. (▲), 166153499473114484112975882535043.072 mole/l. (△), 332306998946228968225951765070086.144 mole/l. (□), 664613997892457936451903530140172.288 mole/l. (◇), 1329227995784915872903807060280344.576 mole/l. (○), 2658455991569831745807614120560689.152 mole/l. (●), 5316911983139663491615228241121378.304 mole/l. (▲), 10633823966279326983230456482242756.608 mole/l. (△), 21267647932558653966460912964485513.216 mole/l. (□), 42535295865117307932921825928971026.432 mole/l. (◇), 85070591730234615865843651857942052.864 mole/l. (○), 170141183460469231731687303715884105.728 mole/l. (●), 340282366920938463463374607431768211.456 mole/l. (▲), 680564733841876926926749214863536422.912 mole/l. (△), 1361129467683753853853498429727072845.824 mole/l. (□), 2722258935367507707706996859454145691.648 mole/l. (◇), 5444517870735015415413993718908291383.296 mole/l. (○), 10889035741470030830827987437816582766.592 mole/l. (●), 21778071482940061661655974875633165533.184 mole/l. (▲), 43556142965880123323311949751266331066.368 mole/l. (△), 87112285931760246646623899502532662132.736 mole/l. (□), 174224571863520493293247799005065

出典: JICA 調査団

(4) 交差構造物の間隔

1) 交差構造物一覧

表 8.4-12 に本調査で計画されたプロジェクト道路との交差構造物を示す。

表 8.4-12 交差構造物計画



出典: JICA 調査団

2) 交差構造物の間隔

車両及び歩行者がプロジェクト道路と交差できる間隔について、目標とした標準インターバルと実際の交差構造物の間隔を表 8.4-13 に示す。

表 8.4-13 車両と歩行者の交差間隔

(m)

	バランガイ道 (BR)	ファーム・トゥ・ マーケット道路 (FMR)	歩道 (PR)
想定車両	4トントラック	小型自動車 バイク	歩行者 バイク
標準インターバル (m)	2,000	1,000	500

出典: JICA 調査団

(5) 交差点

1) 概要

プロジェクト道路は全長 23km で建設後は北部ルソン地域の高規格道路網 (HSH) の一部となり、最終的には高速道路として供用される予定である。高規格道路マスタープラン (HSHMP) によれば、ダルトンパスバイパスの始点はサンホセ、終点はバンバンとなっており、これらの始終点にインターチェンジが計画されている。

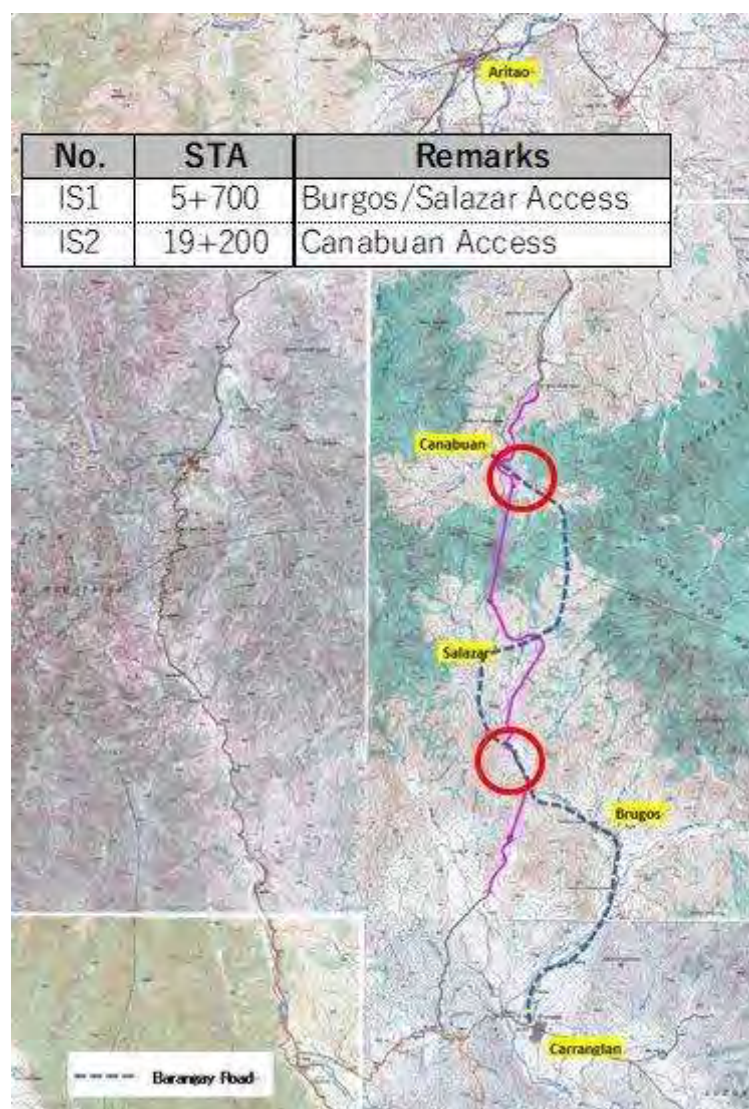
ダルトンパスバイパスの一部区間を構成する本プロジェクト道路は、前後区間の高速道路が整備されないまま供用されると予想され、前後区間の 2 車線一般道路との一体的な運用のために、HSHMP で計画されているインターチェンジよりは短い区間での平面交差点の設置が望ましいと判断した。交差点の計画位置は次のとおりである。

交差点 1 (IS-1) : ブルゴスとサラザールへのアクセス

交差点 2 (IS-2) : カナブアンへのアクセス

なお当該交差点は、全体的な高速道路が供用され、高速道路区間が O&M コンセッション事業となった場合、閉鎖される可能性がある。

図 8.4-10 に交差点の計画位置を示す。



出典: JICA 調査団

図 8.4-10 平面交差点の位置

2) 設計条件

i) 設計交通量

本調査においては、交差点設置個所の既存道路の交通量調査を実施していないため、方向別交通量のデータは入手できていない。しかし、沿線の住宅地の規模は小さく、交差する既存道路幅員も 4～5m 程度であることから、交通量は少ない。

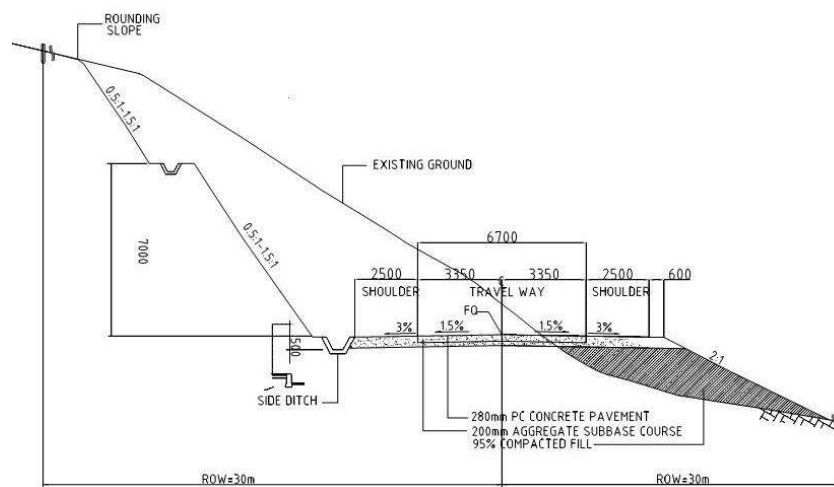
ii) プロジェクト道路の幾何構造基準

プロジェクト道路の円滑な交通を確保するため、本線には左折レーンを設置する。滞留長、テーパー長、シフト長については、標準的な幾何構造基準値を採用する。

iii) 接続道路の幾何構造基準

プロジェクト道路は、接続道路（既存道路）と平面交差する。

交差点に新規に建設する、もしくは改良する既存道路の標準横断面図を図 8.4-11 に、幾何構造基準を表 8.4-14 に示す。



出典: JICA 調査団

図 8.4-11 交差点への接続道路の標準断面図

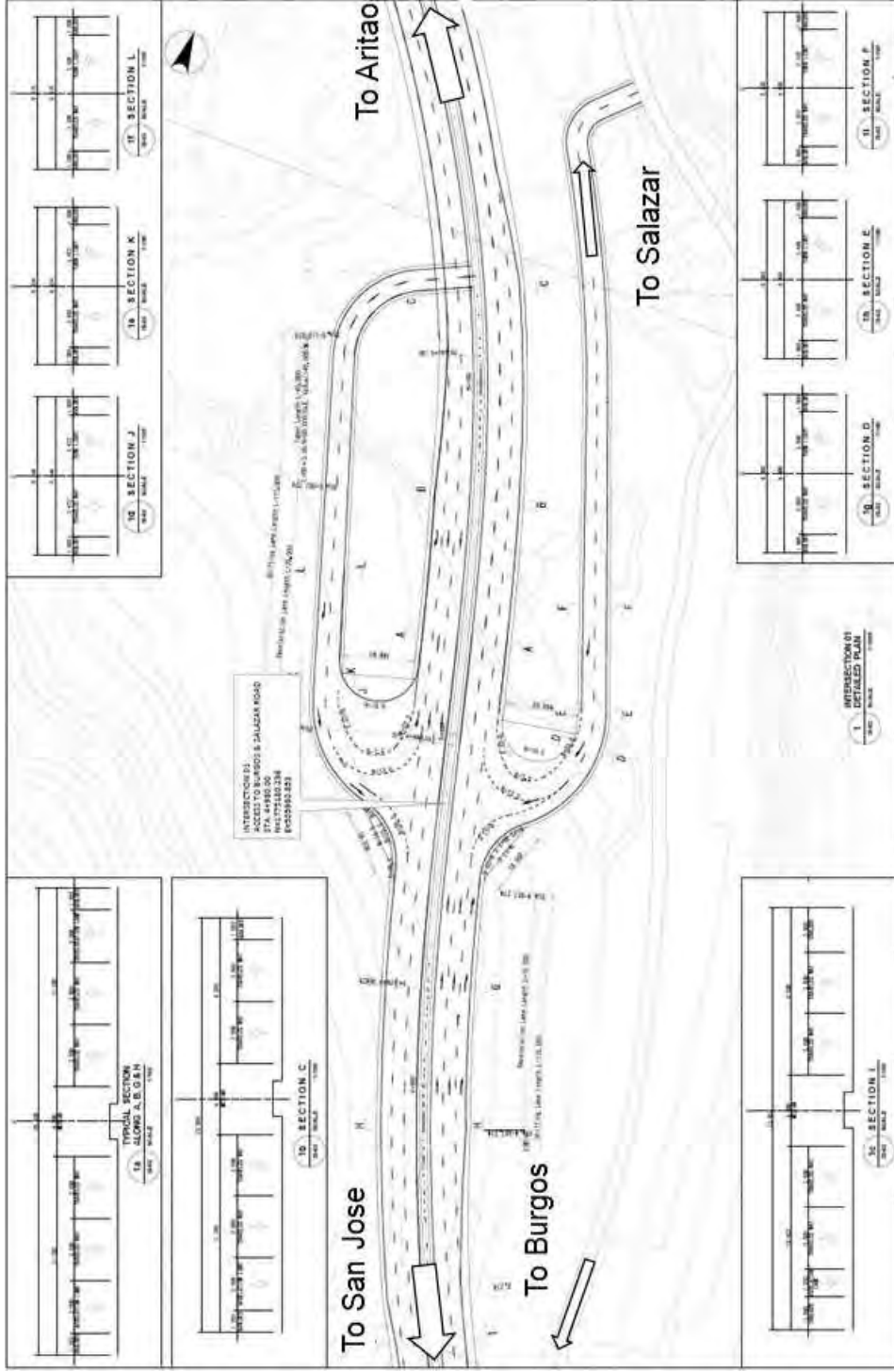
表 8.4-14 接続道路の幾何構造設計基準

分類		値
設計速度		30 km/hr
最急勾配		10 %
最小勾配		0.3 %
最小平面曲線半径	適切	30 m
道路幅員		6.00 m
拡幅時の道路幅員		8.00 m
路肩幅員		1.00 m

出典: JICA 調査団

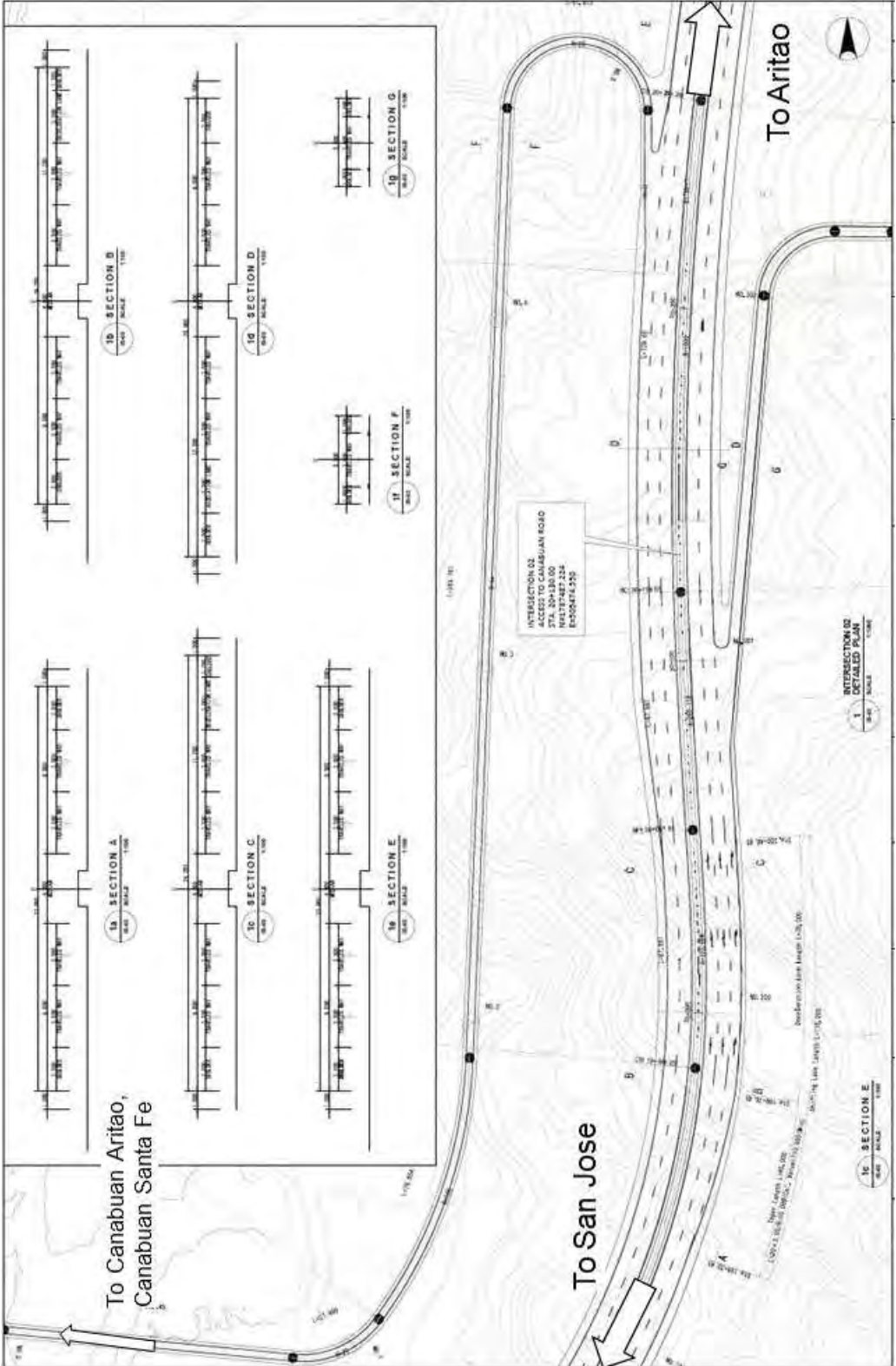
3) 交差点計画地点の図面

2つの交差点(IS-1 & IS-2)の平面図を図 8.4-12 と図 8.4-13 に示す。



出典: JICA 調査団

図 8.4-12 交差点 1 (IS-1) の平面図



出典: JICA 調査団

図 8.4-13 交差点 2 (IS-2) の平面図

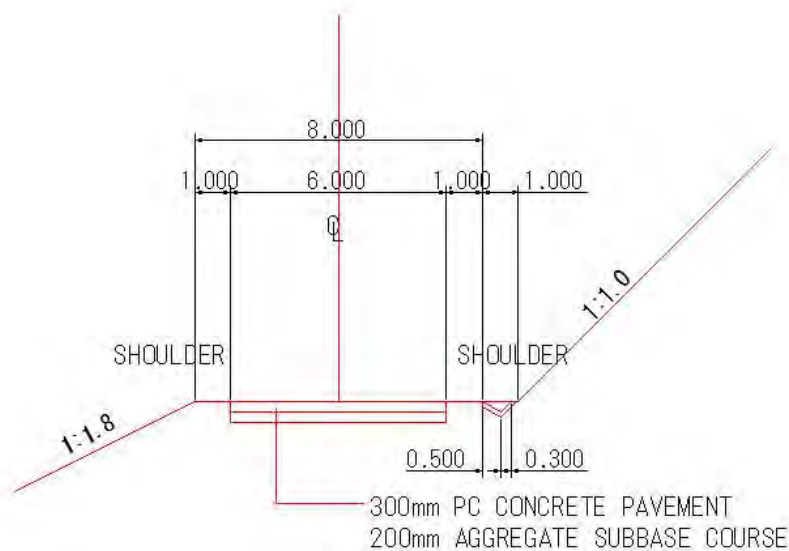
8.4.4 側道計画及び付替道路計画

(1) 既存の地方道路

1) 標準横断面図

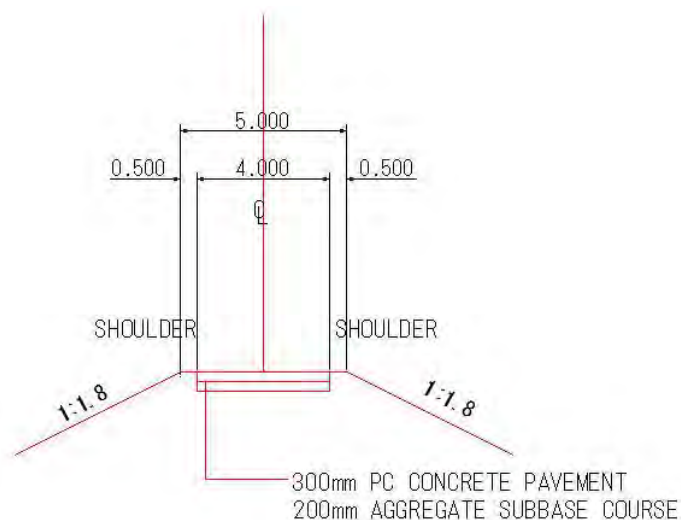
プロジェクト道路付近の既存の地方道路は、DGCS によれば、バランガイ道路 (BR)、ファーム・トゥ・マーケット道路 (FMR)、歩行者専用道路 (PP) の3つに分類される。

3種類の既存道路の標準横断面図を図 8.4-14 から図 8.4-16 に示す。



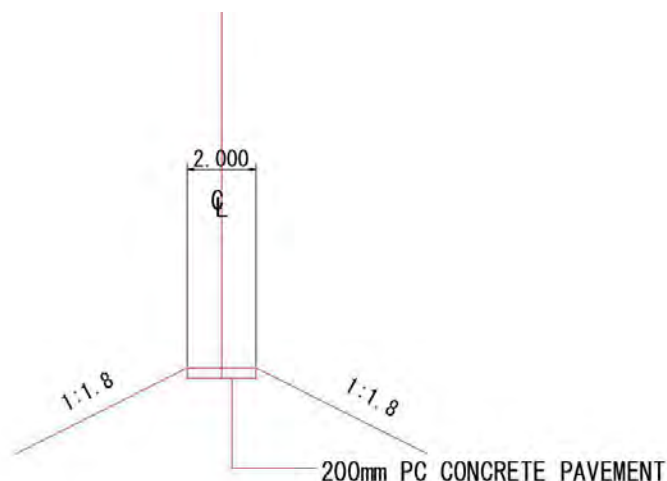
出典: JICA 調査団

図 8.4-14 バランガイ道路の標準横断面図



出典: JICA 調査団

図 8.4-15 ファーム・トゥ・マーケット道路の標準横断面図



出典: JICA 調査団

図 8.4-16 歩行者専用道路の標準横断面図

2) プロジェクト道路付近の既存道路ネットワーク

プロジェクト道路周辺の既存道路網は、図 8.4-17 に示すようにネットワークを構成している。北側のアリタオを起点とする既存州道（図右のピンク色線）は、プロジェクト道路の終点に接続している。

南側の現道ダルトンパス（AH26）上のディグディグからカラングランへ接続する州道（同緑線）と州道から延びるバラングイ道路（同左のピンク色線）が、プロジェクト道路の始点に接続している。これらの南北の2つの州道は、プロジェクト道路周辺のバラングイを結び、さらにバラングイ道路やファーム・トゥ・マーケット道路という形でネットワークを形成している。



出典: JICA 調査団 based on Google Earth

図 8.4-17 プロジェクト道路付近の既存道路ネットワーク

(2) 側道と付替道路

1) 側道 (FR)

側道は高速道路の維持管理と地域の交通支援のために設置する。側道は、切土法面の法肩か盛土法面の法尻のいずれかに計画する。側道の幅員は、周辺に位置する既存道路の道路規格に基づいて決定する。

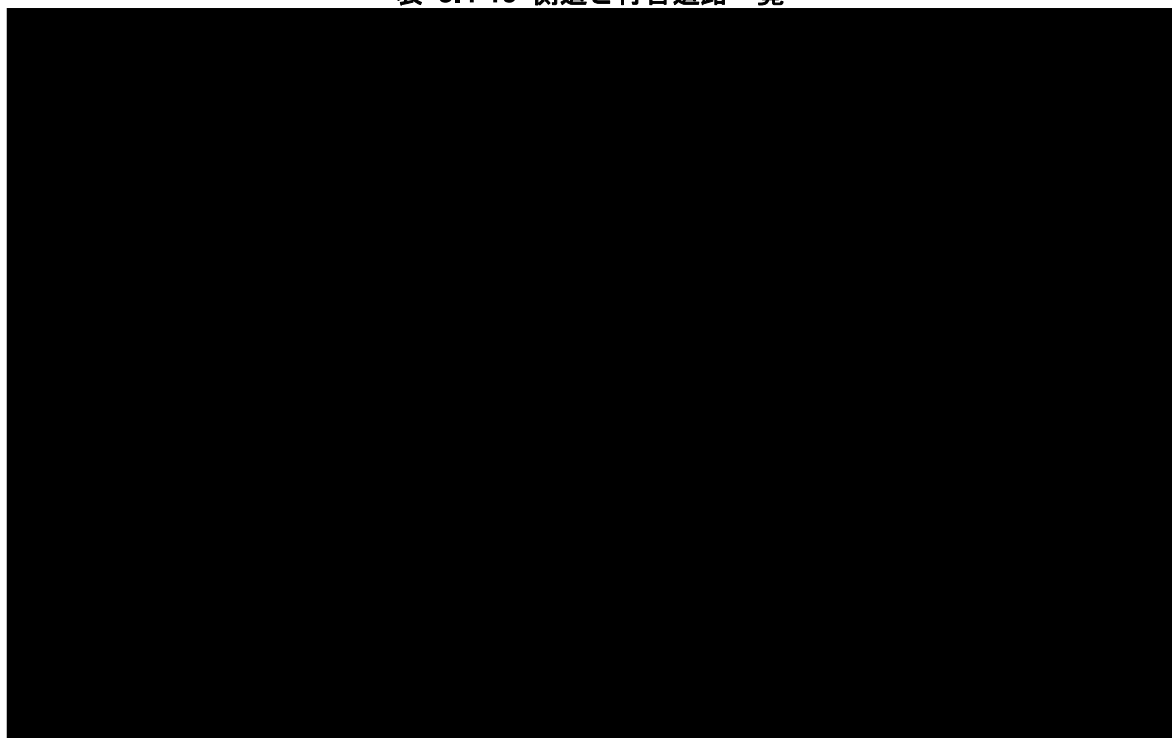
2) 付替道路 (RL-RD)

プロジェクト道路の建設に伴い既存道路が閉鎖される場合は、既存の交通機能を確保するために、これらの道路を付替えて道路ネットワークを保つ。

側道(FR)の総延長は 14.9km (BR7.9km、FMR7.0km)、付替道路 (RL-RD) の総延長は 2.1km (BR2.1km) である。

表 8.4-15 に、本事業の側道と付替道路の一覧を示す。

表 8.4-15 側道と付替道路一覧



出典: JICA 調査団

8.4.5 法面保護工

法面保護工は、盛土斜面及び切土斜面の構造的な安定性や斜面表面の風化防止のために設置する。また、法面保護工は周辺の自然環境と調和し、将来の道路周辺の開発と整合性を図る必要がある。そのため、表 8.4-16 に示すような植生や構造物による法面保護工など、斜面の地質区分に応じた複数タイプの法面保護工を計画した。

表 8.4-16 法面保護工の種類

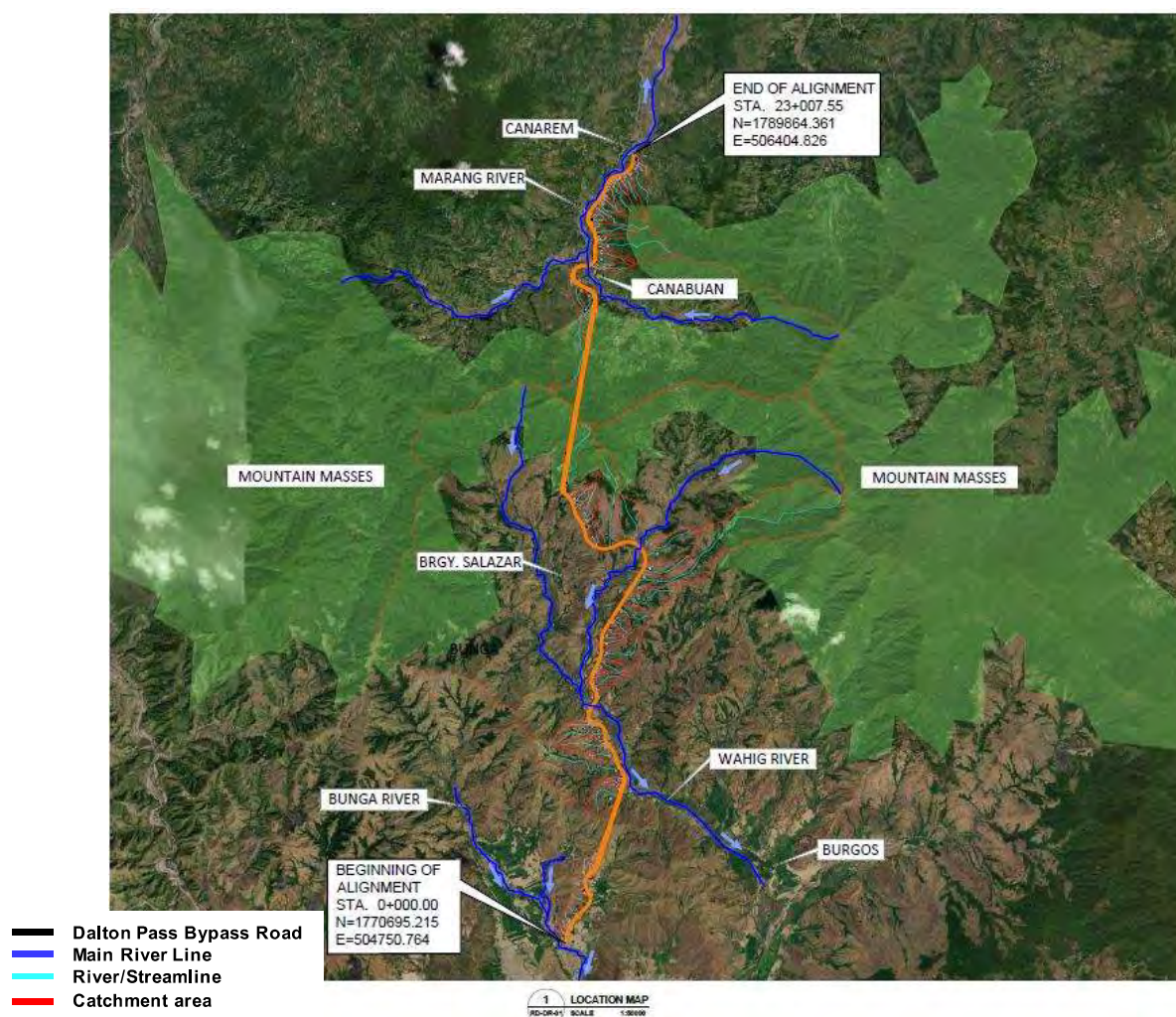
斜面の種類	法面保護工	
	地質	項目
盛土	共通	Hydroseeding
切土	土砂	Bioengineered Cut Slope
		Hydroseeding
	軟岩	Cribwork + Shotcrete + Ground Anchor
		Cribwork + Shotcrete
		Cribwork + Seed Packet Works
		Shotcrete
	硬岩	Net + Shotcrete

出典: JICA 調査団

8.4.6 排水設計

(1) プロジェクト地域周辺の集水域と排水系統

図 8.4-18 に調査地域の広域の排水系統を示す。プロジェクト道路に関連する集水域は、北トンネルが計画されている急峻な山塊の北側と南側に二分されている。これらの山塊から複数の河川（図 8.4-18 の青線）がプロジェクト道路の方向に流出している。また、地形図上では、これらの河川に加え、小規模な沢（図 8.4-18 の水色線）を 99 箇所（図 8.4-18 の赤色線）確認した。これらの既存の河川・沢筋からの水流や雨水排水を妨げないように、水路ボックスを 81 箇所、水路パイプを 21 箇所、そして橋梁を 10 箇所に計画した。



出典: JICA 調査団

図 8.4-18 調査地域の排水系統

(2) 排水施設

排水施設は、気象、地形、地質、水利、流域、経済性等の現地条件を考慮して設置する。本調査で計画した排水設備は、3種類である。

1) 横断排水設備

プロジェクト道路を横断する河川や沢の水を排水するための設備。

2) 路面排水設備

プロジェクト道路の路面に降った雨水を道路外に排出するための設備。

3) のり面排水設備

プロジェクト道路ののり面（盛土・切土）に降った雨水を道路外に排出するための設備。

(3) プロジェクト地域の地形の特徴

ダルトンパスバイパス建設予定地の地形は、標高 300m から 1,500m の急峻な山岳地形である。斜面勾配は 1/100 以上で沢筋を流れる溪流のほとんどは 1/10 程度以上の勾配を有している。プロジェクト道路沿いに 81 箇所の沢筋を確認した。

(4) 排水設計の基本方針

排水設計の基本方針として、各河川や沢を流れる水やプロジェクト道路の路面に降った雨水は、橋梁や水路カルバートなどの横断排水や側溝などの路側排水により、下流の水田や河川などへ導水することとする。

(5) 洪水流出量計算

1) 基本方針

洪水流出量は、流域面積が小さく、貯留施設がないこと、また河川は 1/100 以上の急勾配であることから、日本の砂防河川と同様な考え方を適用する。

設計流量は、フィリピンの基準に加えて、日本の砂防河川の施設計画における降雨量の年超過確率 1/100 の規模により計算した流量に土砂混入率を考慮し、さらに気候変動対応として 10% を増加した流量も検討し、地形地質条件、洪水特性、土石流発生の可能性等を総合的に判断し決定する。橋梁設計における水理検討としては、ピーク流量に基づく、設計洪水位と河川幅を設定することになる。以下に、日本の砂防基準での計画洪水流量の算定方法を示す。

$$Q=Q' \times (1+\alpha)$$

$$Q=1/3.6 \times f \times r \times A$$

Q: 設計洪水流(m³/s)

Q': ラショナル式によって求めるピーク流量(m³/s)

α: 土砂混入率 (10%)

f: 流出係数

r: 洪水到達時間内の平均降雨強度(mm/h)

A: 流域面積(km²)

2) フィリピンの計画確率年

橋梁及び道路横断カルバートの計画流量は、フィリピン国の公共事業省 (DPWH) の基準に準拠する。表 8.4-17 に橋梁の計画確率年を示す。また、表 8.4-18 に道路排水施設の計画確率年を示す。

DPWH が発行している Design Guidelines , Criteria & Standards Volume 4 HIGHWAY Design 2015 において、橋梁やカルバート設計における計画洪水規模が道路の規格に応じて設定されている。本調査の道路規格は高速道路(Expressway)であることから、橋梁設計における洪水規模は 100 年確率洪水とし、かつ満水流量で 200 年確率洪水が橋梁桁下を通過できる規模、カルバート設計においては、50 年確率洪水を設計洪水流量として、満杯で 100 年確率洪水が流下できる断面とされている。

表 8.4-17 橋梁の水利設計
計画確率年（最小値）橋梁（単位：年）

道路区分	河川				橋梁排水	
	構造物		洗掘			
	Design flood	Check flood	Design flood	Check flood	Design flood	Check flood
Expressway	100	200	100*	500*	25	50
National Roads	50	100	100*	500*	10	25
Other Roads	25	50	50	100	5	10

(*): or from an overtopping flood of lesser recurrence level, whichever is the more severe based on AASHTO LRFD 2012 Sec 2.6.4.4.2 Bridge Scour

出典: Design guideline, Criteria and Standard Volume 5 Bridge Design 3-6

表 8.4-18 道路の水利設計
計画確率年（最小値）道路（単位：年）

道路区分	カルバート		道路側溝		中央分離帯排水		縁石	
	Design flood	Check flood	Design flood	Check flood	Design flood	Check flood	Design flood	Check flood
Expressway	50	100	25	50	25	50	25	50
National Roads	25	50	10	25	10	25	10	25
Other roads	20	50	5	10	5	10	5	10

出典: Design Guidelines , Criteria & Standards Volume 4 Water Engineering 6-2

3) 流出係数

DPWH が発行している Design Guidelines , Criteria & Standards Volume 3 WATER Engineering Projects 2015 の表 3-1 に示されている値から、本河川流域は表 8.4-19 の Steep or Rolling Grassed Area/Steep gullies not heavily timbered に相当することから、流出係数 f は中間地の 0.6 を採用する。日本の標準的な流出係数は、山地河川において 0.7 と採用することから、おおむね妥当な値である。

表 8.4-19 流出係数

Table 3-1 Values of 'c' Recommended for Rational Formula		
Land Use	Minimum	Maximum
Residential Area - Densely built	0.50	0.75
Residential Area - Not densely built	0.30	0.55
City Business District	0.70	0.95
Light Industrial Areas	0.50	0.80
Heavy Industrial Areas	0.60	0.90
Parks, Playgrounds, Cemeteries, unpaved open spaces and vacant lots	0.20	0.30
Concrete or Asphalt Pavement	0.90	1.00
Gravel Surfaced Road and Shoulder	0.30	0.60
Rocky Surface	0.70	0.90
Bare Clay Surface (faces of slips, etc.)	0.70	0.90
Forested Land (sandy to clay)	0.30	0.50
Flattish Cultivated Areas (not flooded) / Farmland	0.30	0.50
Steep or Rolling Grassed Areas / Steep gullies not heavily timbered	0.50	0.70
Flooded or Wet Paddies	0.70	0.80

出典: Design Guidelines , Criteria & Standards Volume 4 Water Engineering

4) 洪水到達時間内の平均降雨強度

i) 降雨強度

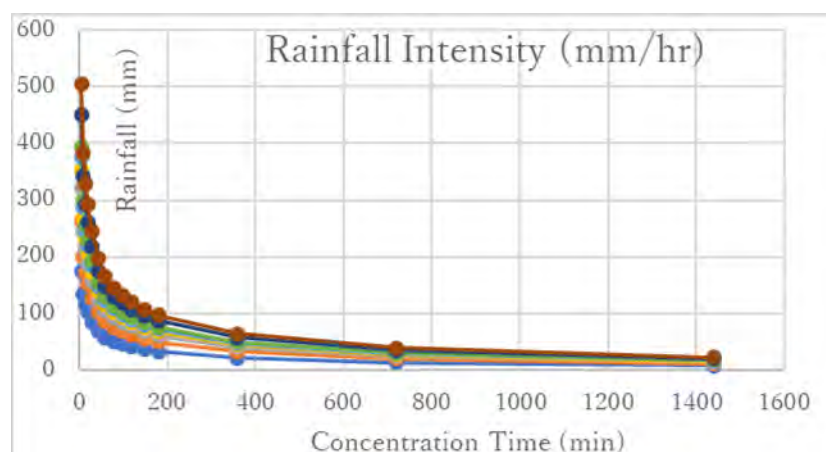
フィリピンの道路排水設計については、原則として Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration (PAGASA) が設定した降雨強度式を使って流量を算定することになっている。したがって、PAGASA が保有する近傍の Santa Fe 降雨観測所地点の降雨強度を流出量算定に利用する。表 8.4-20 に降雨強度を、出典: PAGASA (2005-2019)

図 8.4-19 に降雨強度曲線を示す。

表 8.4-20 降雨強度

Year	Concentration Time (min)															Remarks
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	150	180	360	720	1440	
2	174.0	133.8	114.8	101.7	84.8	67.6	56.3	49.5	44.8	40.8	36.2	32.7	21.4	13.1	7.4	
5	262.8	200.4	171.6	152.7	127.6	102.1	85.4	75.2	68.2	62.1	55.1	49.9	32.9	20.1	11.4	
10	321.6	244.2	209.6	186.6	155.8	125.1	104.6	92.1	83.6	76.2	67.7	61.3	40.5	24.7	14.1	
15	354.0	269.4	230.8	205.5	171.8	138.0	115.5	101.7	92.3	84.1	74.7	67.7	44.7	27.3	15.6	
20	376.8	286.8	245.6	219.0	183.0	147.1	123.1	108.4	98.5	89.7	79.7	72.2	47.7	29.1	16.6	
25	394.8	300.0	257.2	229.2	191.6	154.0	129.0	113.6	103.1	94.0	83.5	75.7	50.0	30.5	17.4	Culvert
50	450.0	341.4	292.4	260.7	218.2	175.5	147.0	129.5	117.7	107.2	95.3	86.4	57.2	34.8	19.9	Bridge
100	504.0	382.8	327.6	292.2	244.6	196.8	164.9	145.3	132.1	120.3	107.0	97.0	64.2	39.1	22.4	

出典: PAGASA (2005-2019)



出典: PAGASA (2005-2019)

図 8.4-19 降雨強度曲線

ii) 洪水到達時間

ラショナル式に用いられる洪水到達時間は、流域の最遠点に降った雨がその流域の出口に達するまでの所要時間として定義される。原則として「雨水が流域から河道に至る流入時間 t_1 」と「河道内の洪水伝搬時間（流下時間） t_2 」の和とする。

i) 流入時間 t_1

洪水流入時間(流域内での河道に到達する平均流下時間)は流域の状況によって異なるが、一般には次の値を標準として定められている。

山地河川	2km ²	30min
特に急傾斜面流域	2km ²	20min

ここでは、急傾斜面流域であることから流域面積が 2km² 以上であるときは 20min を採用する。

一方、流域面積 2km² 以下のときは、以下の式により算定する。

$$t_1 = 30 \sqrt{A} / \sqrt{2}$$

A: 流域面積 (km²)

ii) 流下時間 t2

洪水流下時間 t2

Kraven 式

$$t_2 = L/V$$

t2: 洪水流下時間

L: 流路長(m)

V: 洪水流下速度(m/s)

I: 流路勾配

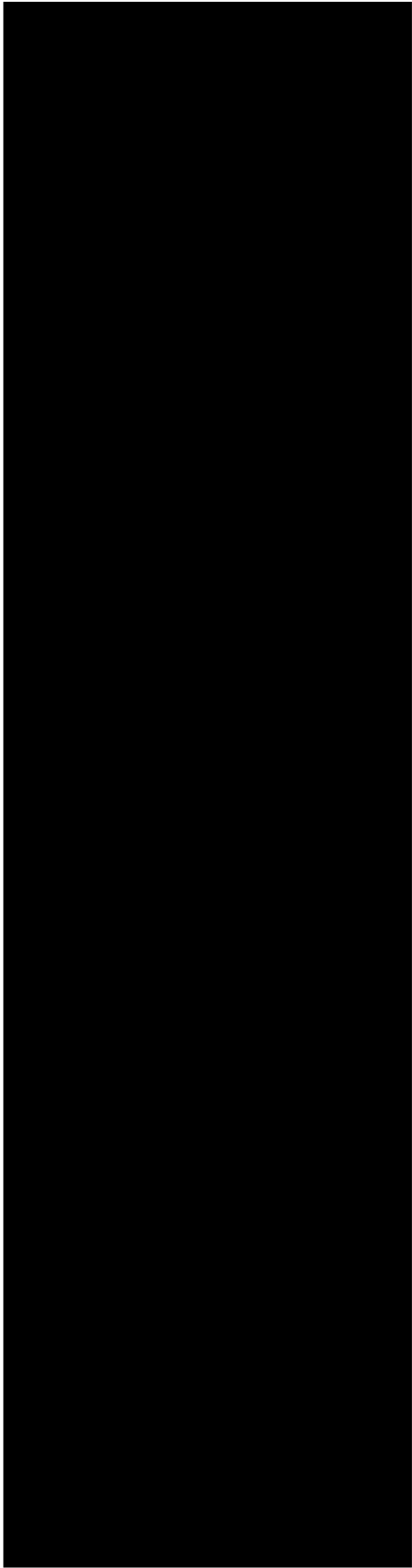
I	1/100 以上	1/100 ~ 1/200	1/200 以下
V	3.5m/s	3.0m/s	2.1m/s

プロジェクト区域は河床勾配が 1/100 以上であることから V=3.5m/s として、流下時間を算定する。

5) 算出結果

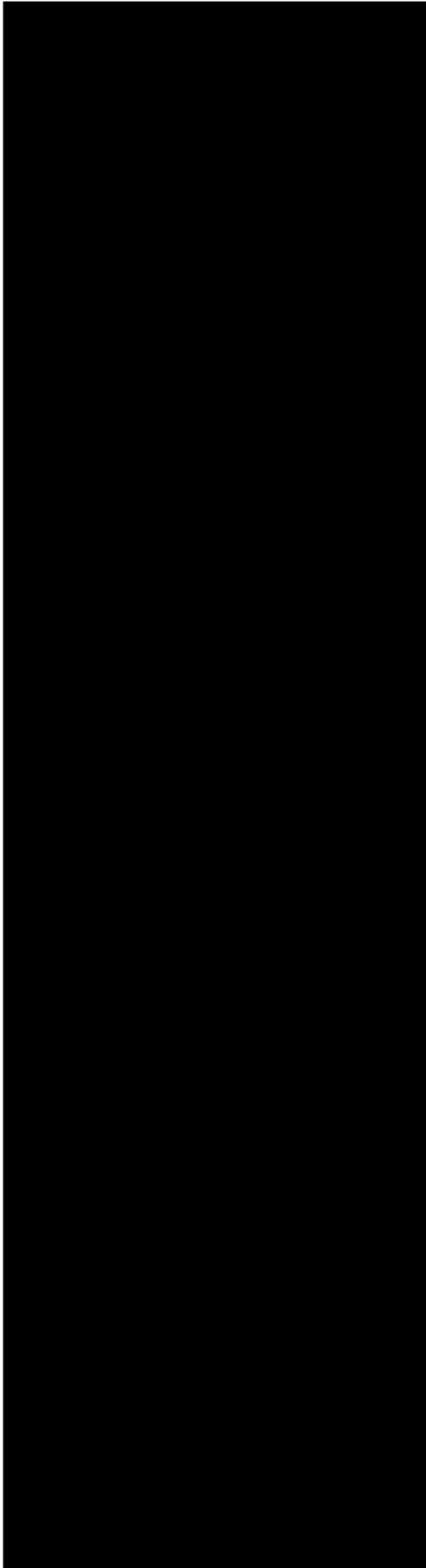
上記に基づき計算した各河川及び沢の洪水流出量を表 8.4-25 から表 8.4-25 に示す。

表 8.4-21 洪水流出量計算結果 (1/5)



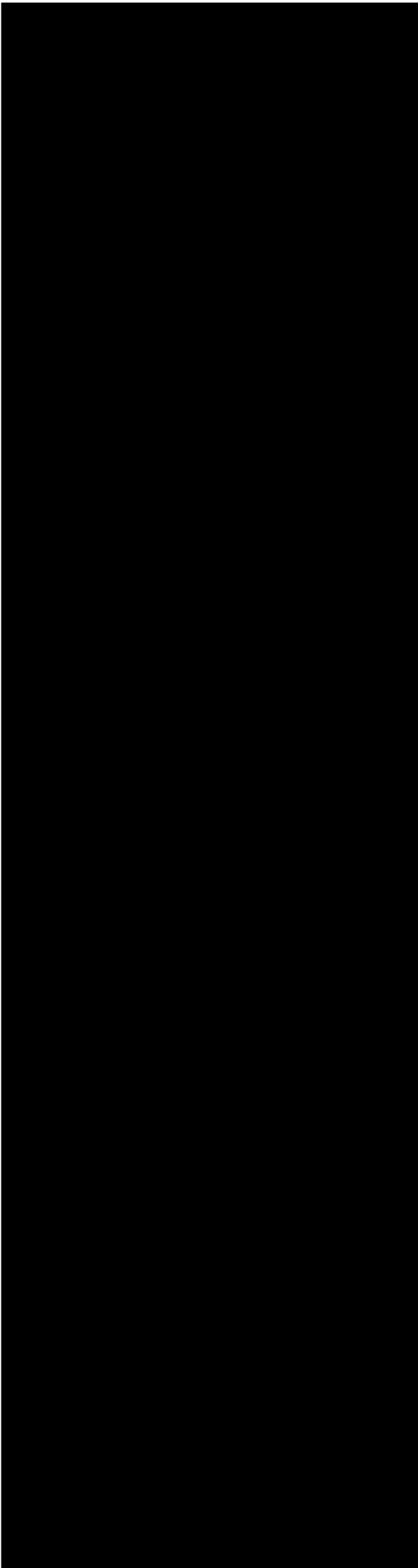
出典: JICA 調査団

表 8.4-22 洪水流出量計算結果 (2/5)



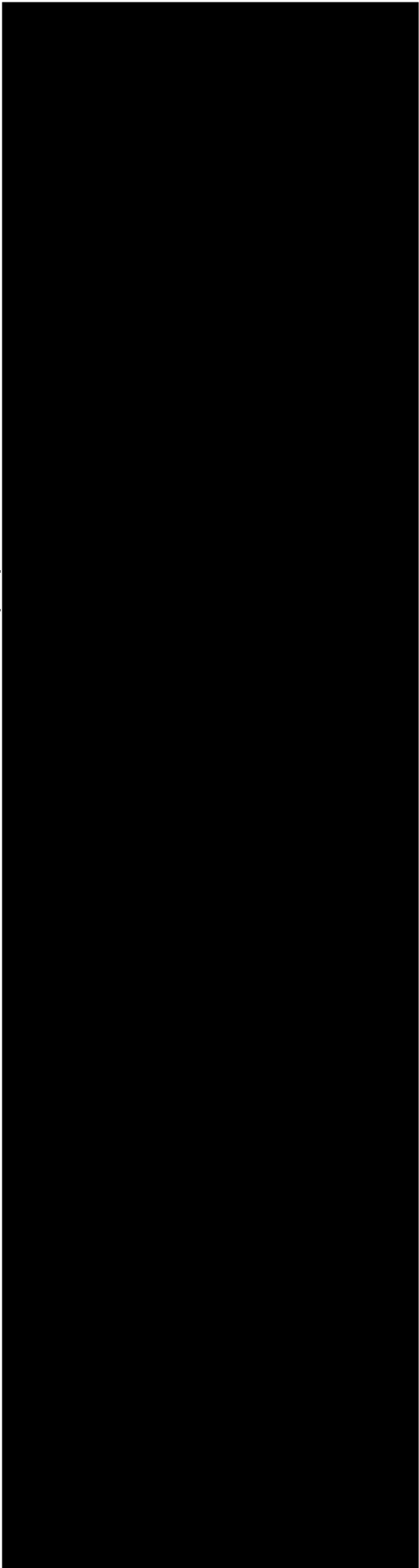
出典: JICA 調査団

表 8.4-23 洪水流出量計算結果 (3/5)

A large black rectangular box redacting the content of Table 8.4-23.

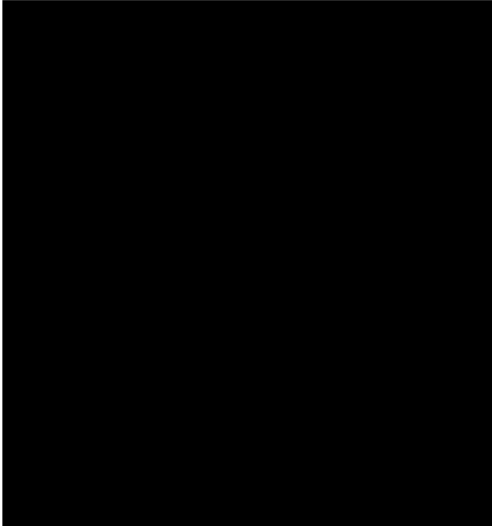
出典: JICA 調査団

表 8.4-24 洪水流出量計算結果 (4/5)

A large black rectangular box redacting the content of Table 8.4-24.

出典: JICA 調査団

表 8.4-25 洪水流出量計算結果 (5/5)

A large black rectangular box redacting the content of the table.

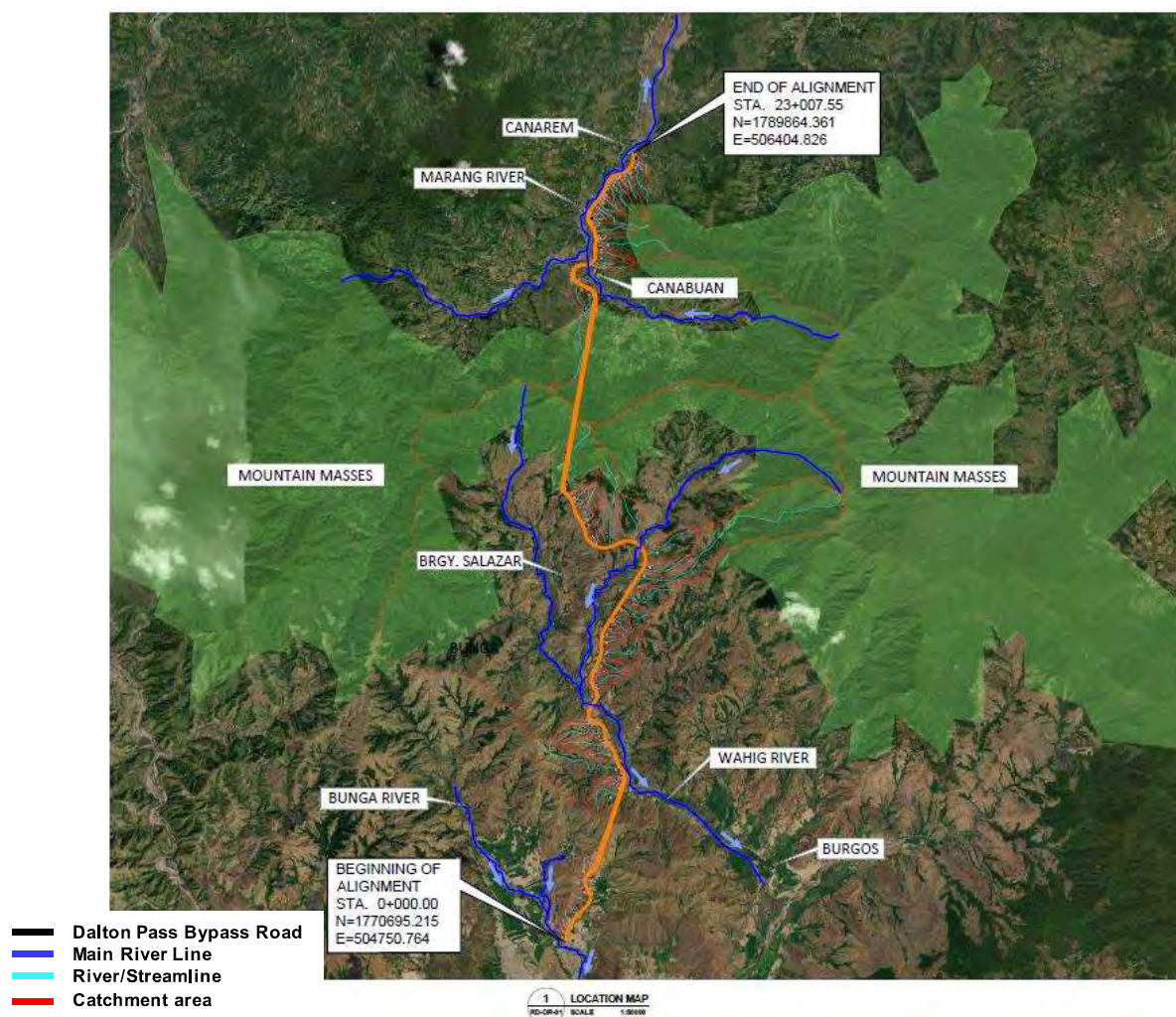
出典: JICA 調査団

(6) 水路用ボックスカルバート (CB-W)

上記の流量計算より、橋梁 10 箇所、水路用ボックスカルバート 80 箇所、砂防ダム（土石流対策工）12 箇所を計画した。橋梁設計は、「8.5 橋梁設計」に示す。砂防ダム（土石流対策工）設計は、「8.11 土石流対策工」に示す。

1) 断面設計

水路用カルバートボックス (CB-W) は、プロジェクト道路と交差するすべての集水域（参照）に計画する。



出典: JICA 調査団

図 8.4-20 調査地域の排水系統（再掲）

水路カルバートの設計においては、以下の項目を考慮した。

- ① 適切に設計流量を計算し、必要な内空断面を確保する。計画流量を安全に通水しうる断面であること。
- ② 内空高さは、所要の余裕高を確保すること。内空高さは、カルバート設置地点、種類、形状寸法および水路の性状などにより、必要な余裕高を確保するように決定する。

i) 内空高さ

- ① 砂防河川に設置するカルバートであることから、橋梁と同じく余裕高を 1.5m として設定する。
- ② 清掃その他の保守点検のため、人が入る必要のある場合は、1.8m 以上の内空高を確保する。
- ③ カルバート内の最低水位は、日本の河川基準を参考として 0.5m とする。

したがって、最小内空高さは最低水位 0.5m と余裕高 1.5m を合わせて 2.0m とする。

日本の基準の場合、最低水位 0.5m、余裕高 0.6m に、土石流発生が懸念される場合、さらに 0.5m の余裕高を追加することになっており、合計 1.6m が内空高さの最小となる。

ii) 内空幅

カルバート最小内空幅としては、維持管理等を考慮して、最小内空高さ 2.0m と同じく、2.0m と設定する。

iii) フィリピンの基準

フィリピンにおいては、道路横断するカルバートの最小内空断面の規模として、以下のように既定されている。プロジェクト道路は Expressway 規格であることから、最小断面は 1.0m×1.0m となる。

Minimum Sizing

For culverts crossing under local roads, a minimum internal width and clear depth of 910mm is required.

For culverts crossing under expressways, a minimum internal width and clear depth of 1m is required.

出典: Design guideline, Criteria and Standard Volume 4 Highway Design 5-16

iv) 土石流、流木が予想される場合

但し山地において土石流、流木等の流入が予想される場合には計算上必要断面の 3 倍を限度に断面を大きく設定した。また、土石流河川には、上流側に砂防ダムなどを設置した。

2) 計画位置

- i. カルバート入口はなるべく既存水路の底部と同一高さとし、勾配の急変を避け、斜流が発生するような限界勾配以上になる場合は、カルバート流出口に洗掘防止工を設置する。
- ii. カルバート下流の水路及びその周辺が浸食されるおそれがある場合には、既設水路の流れの状態に復するまでの区間、水路側面及び底面を護岸工及び護床工により保護する。
- iii. 既設水路が道路に対して斜交する場合には、交差角度を最大 70 度とする。
- iv. 設計流速は最低 0.8m/s、最大 5.0m/s とする。

3) 縦断勾配

既存水路の状況などにより、最小勾配を 0.1% まで許容してもよい。最大勾配は 10% を限度とし、地形上やむを得ず、縦断勾配が 10% をこえる場合は、滑り止、落差工、堰堤工などの対策を立てる。

通水量の計算は勾配の値に関係なく、流速を下表に示す最大値に抑える。

表 8.4-26 許容される平均流速の範囲

側溝材質	平均流速の範囲 (m/sec)
コンクリート	0.6～3.0
アスファルト	0.6～1.5
石張りまたはブロック	0.6～1.8

出典：道路土工要綱 P141

水路用ボックスカルバートの一覧表を表 8.4-27 及び表 8.4-28 に示す。

表 8.4-27 水路用ボックスカルバート一覧表 (1/2)

Unit:m



出典: JICA 調査団

表 8.4-28 水路用ボックスカルバート一覧表 (2/2)

Unit:m



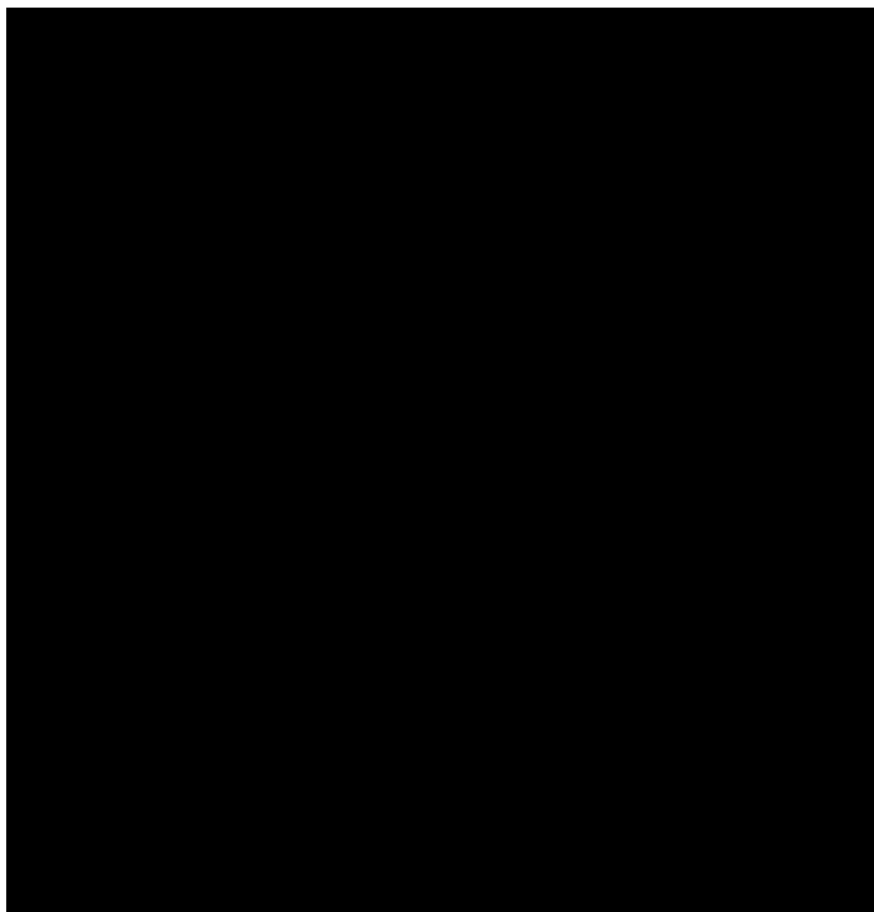
出典: JICA 調査団

(7) 水路用パイプカルバート (CP)

集水域 (1/10,000 地形図に基づき作成) ごとにプロジェクト道路が河川や沢を横断する箇所に橋梁または水路用カルバートボックス (CB-W) を配置する。加えて、LiDAR 測量から作成した 1/1,000 地形図から、1 つの集水域に 2 つ以上の沢筋が確認された場合には、水路用パイプカルバート (CP) を設置する。CP のサイズは、維持管理を考慮して $\phi 1.52\text{m}$ とした。

表 8.4-29 に水路用パイプカルバートの一覧表を示す。

表 8.4-29 カルバートパイプ一覧



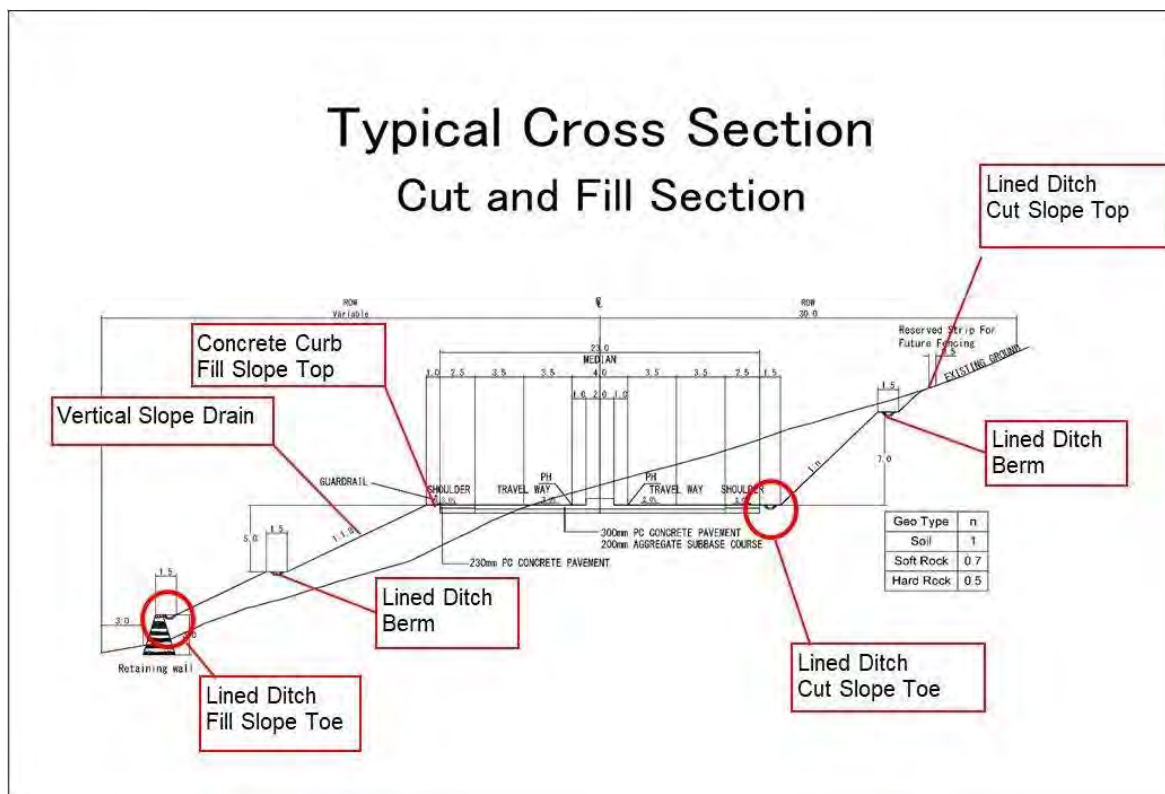
出典: JICA 調査団

(8) 路面排水設備

1) 標準横断面図

プロジェクト道路の路面および切土・盛土法面の排水を適切に行うため、排水設備を設置する。
図 8.4-21 に標準横断面図内での排水設備を示す。

1)切土法面の法肩、2)切土及び盛土法面の法尻、3)小段に側溝を設置し、盛土法面の法肩に L 型側溝（コンクリート縁石）を設置する。

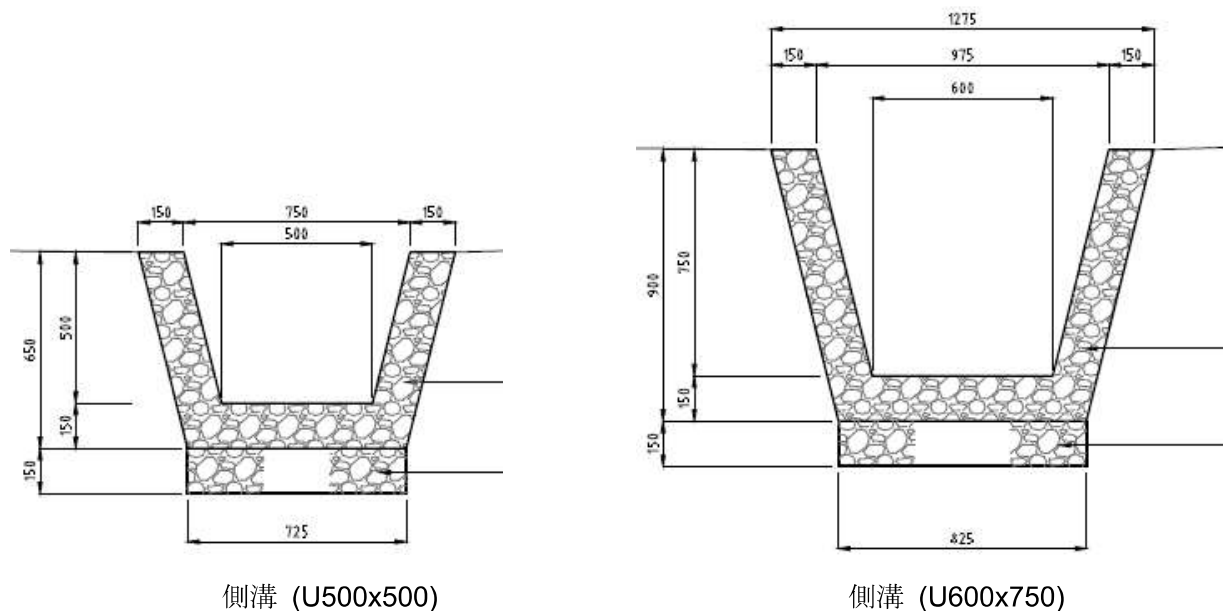


出典: JICA 調査団

図 8.4-21 側溝、縦排水、L 型側溝の計画位置

2) 路側の側溝

切土法面側の路側には側溝を設置する。側溝のサイズは集水面積（車道部及び法面面積）と洪水流出量を算出して決定した。計算の結果、U500x500 と U600x750 の 2 種類を採用した。側溝の詳細図を図 8.4-22 に示す。

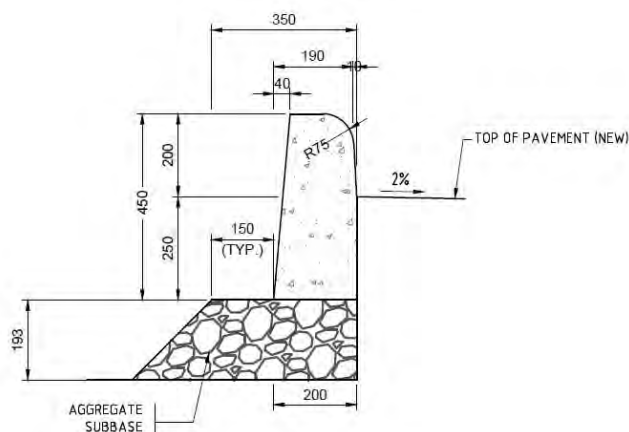


出典: JICA 調査団

図 8.4-22 路側の側溝の詳細

3) L 型側溝

盛土区間の法肩には縁石コンクリートから成る L 型側溝を設置する。L 型側溝の詳細図を図 8.4-23 に示す。



出典: JICA 調査団

図 8.4-23 縁石コンクリートの詳細

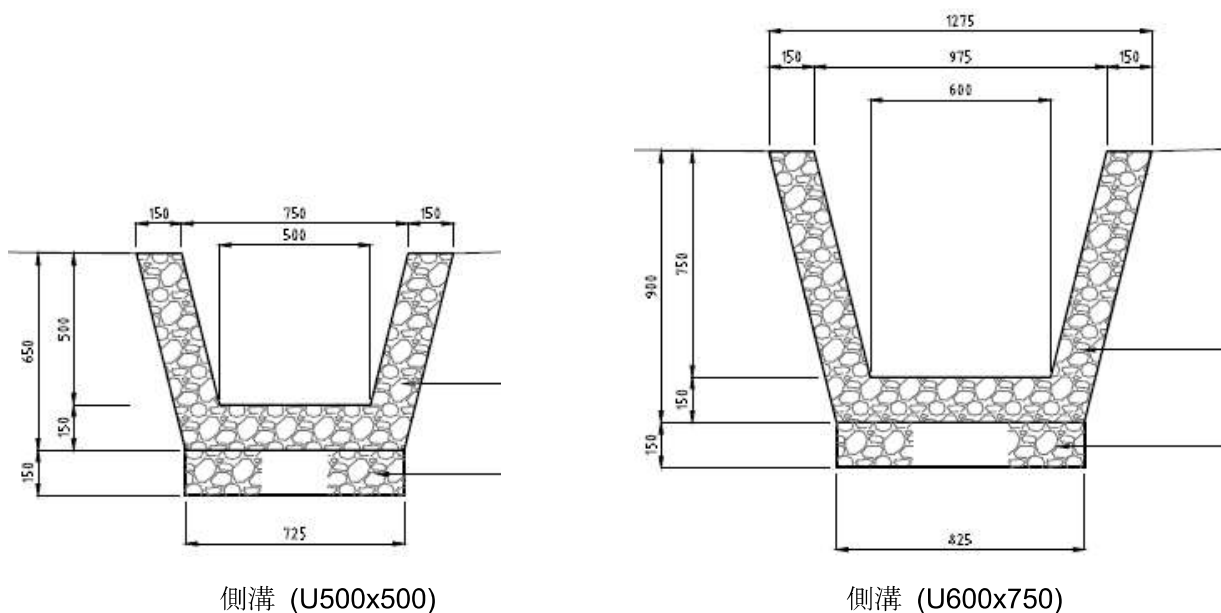
(9) 法面排水設備

1) 切土法面の法肩に設置する側溝

切土法面の法肩に設置する側溝は、斜面安定性を確保し、路外排水を CB-W、CP や縦排水に排水する目的で設置する。当該側溝のサイズは、U500x500 を提案する。

2) 切土法面及び盛土法面の法尻に設置する側溝

法尻に設置する側溝は、集水面積（車道部及び法面面積）と洪水流出量を算出し、側溝のサイズを決定した。計算の結果、U500x500 と U600x750（図 8.4-24）の 2 種類を採用する。



出典: JICA 調査団

図 8.4-24 法尻に設置する側溝の詳細

8.4.7 舗装設計

(1) 適用基準

舗装設計に用いる適用基準を以下に示す。

- 1) DPWH Design Guidelines, Criteria and Standards Volume 4, 2015 (DGCS)

(2) 舗装構成

舗装構成は、道路タイプや舗装の位置を考慮し決定した。表 2.1-1 より、リージョン II とリージョン III のコンクリート舗装割合はそれぞれ 73%, 49%であること、またダルトンパス現道とダルトンパスバイパスの前後道路がコンクリート舗装であるため、本道路もコンクリート舗装を想定する。表 8.4-30 に示すように、4 種類の舗装構成を採用した。

表 8.4-30 プロジェクトの舗装構成

道路の種類	位置	表層	路盤
プロジェクト道路	車道	300mm Concrete	200mm Aggregate Base Course
	路肩	230mm Concrete	270mm Aggregate Base Course
側道 (BR 規格)	車道	300mm Concrete	200mm Aggregate Base Course
側道 (FMR 規格)	車道	300mm Concrete	200mm Aggregate Base Course
側道 (PP 規格)	車道	300mm Concrete	200mm Aggregate Base Course

出典: JICA 調査団

8.4.8 付帯構造物

(1) 交通安全施設

危険な事故の発生を抑えるため、プロジェクト道路に交通安全施設を設置する。

i) 高盛土区間の保護路肩ヘガードレールの設置

盛土高が 5m 以上の区間には車両の路外逸脱防止のため安全柵を設置する。

ii) 切土法肩及び盛土法尻ヘフェンスの設置

路外からプロジェクト道路への侵入を防ぐため、切土法肩及び盛土法尻にフェンスを設置する。

(2) 交通管理施設

プロジェクト道路利用者に交通情報を与え、円滑な交通を確保するため、交通管理施設を設置する。

i) 路面標示

路面標示は、塗装、道路鋳や縁石などを用い交通に必要な情報、誘導、警告、規制、指示などを行うものである。

ii) 標識

道路利用者に必要な情報を提供するため道路の脇や上部に標識を設置する。標識は交通事故を防止するための規制や危険箇所の注意喚起、また交通の円滑化のために指示や誘導を行う。

(3) その他

道路用地境界に設置する立入防護柵などがある。

8.4.9 料金収受施設

(1) 概要

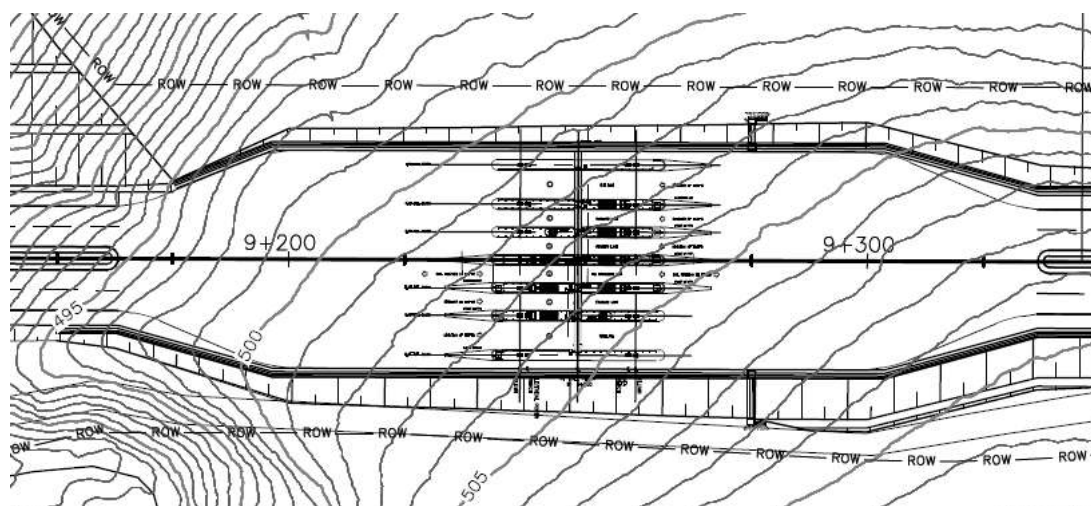
本節では本道路を有料道路として運営維持管理するための料金収受施設の計画について記載する。料金収受施設の計画を策定するためには、以下の事項について整理する必要がある。

- 前提となる隣接道路の整備計画
- 前提となるインターチェンジの位置
- 料金徴収方法
- 料金所のレイアウト
- 料金所の人員配置
- 有料道路化に伴う費用の算出

これらは、有料道路の運営維持管理の計画として 11 章に記載する。

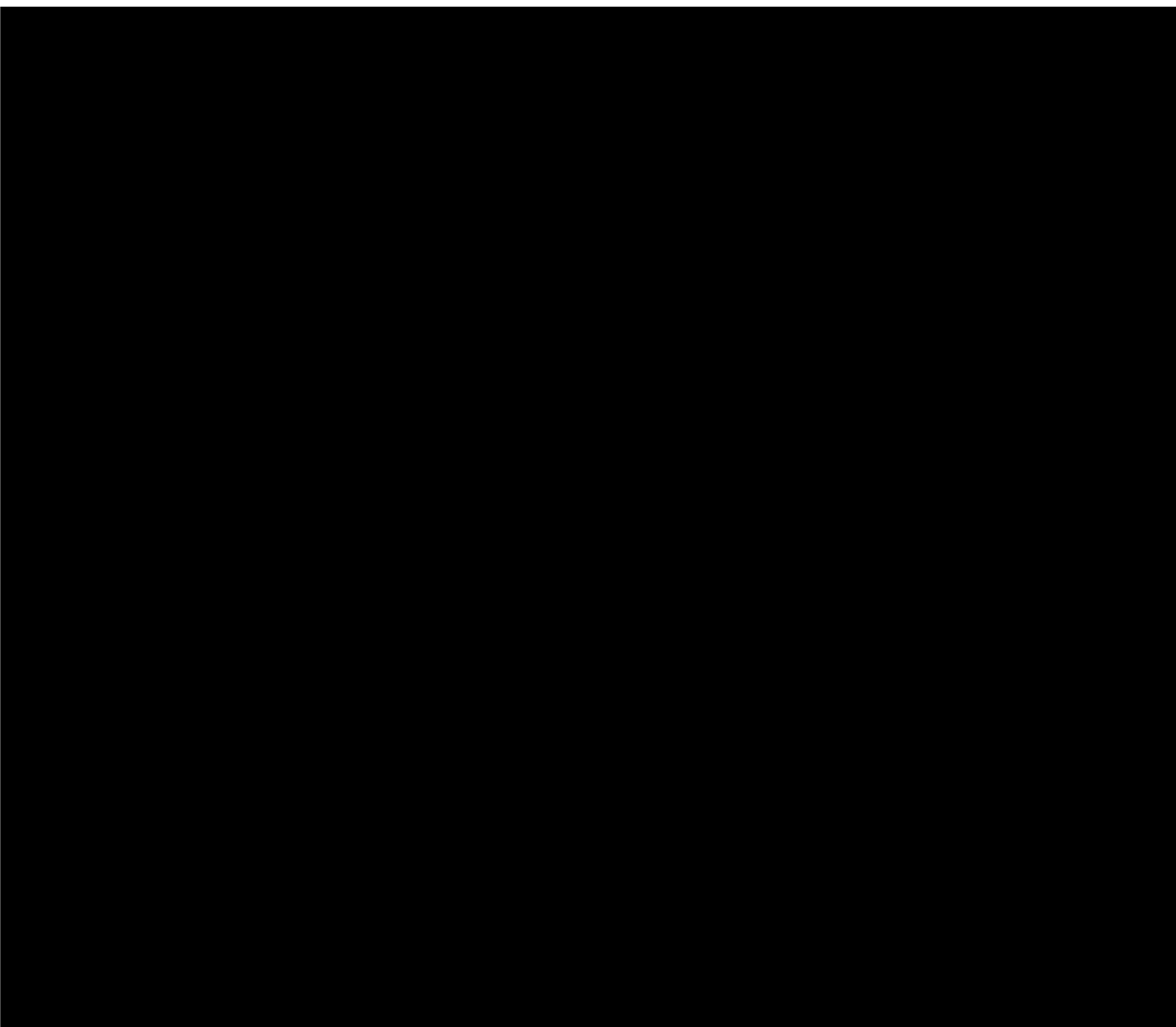
(2) 料金所のレイアウト

想定年平均日交通量 (AADT) から推定される設計時間交通量 (DHV)、ETC 利用率、NEXCO 設計基準による ETC/マニュアル料金収受の 1 車線あたりの処理台数をもとに必要車線数を推定した結果、想定される条件下では、両側で 6 車線 (片側で 3 車線ずつ) が必要である。各方向の 3 つの車線は、2 つの ETC 車線と 1 つのマニュアル料金収受車線で構成される。必要車線の推定に基づき、図 8.4-27 に 6 車線の本線料金所のレイアウトを示す。また、料金事務所や電気室などの関連施設は、料金所と併設または隣接して建設される。本計画は、詳細設計の際に最新の情報を確認する必要がある。



出典：JICA 調査団

図 8.4-27 計画中の本線料金所のレイアウト



出典: JICA 調査団

(3) 地質条件

6.5 地質調査参照のこと。

(4) 桁下余裕

DPWH Design Guidelines, Criteria and Standards Volume V, 2015（以下、DGCS）の規定に従い、土石流が発生する可能性のある河川・沢に置いては、1.5m とする。

(5) 交差道路

橋梁と交差する道路については、8.4 道路設計参照のこと

(6) 建築限界

1) 航路限界

船舶が航行可能な河川が存在しないため、設定しない。



TO SAN JOSE

TO ARITAO



SCHEDULE OF BRIDGES

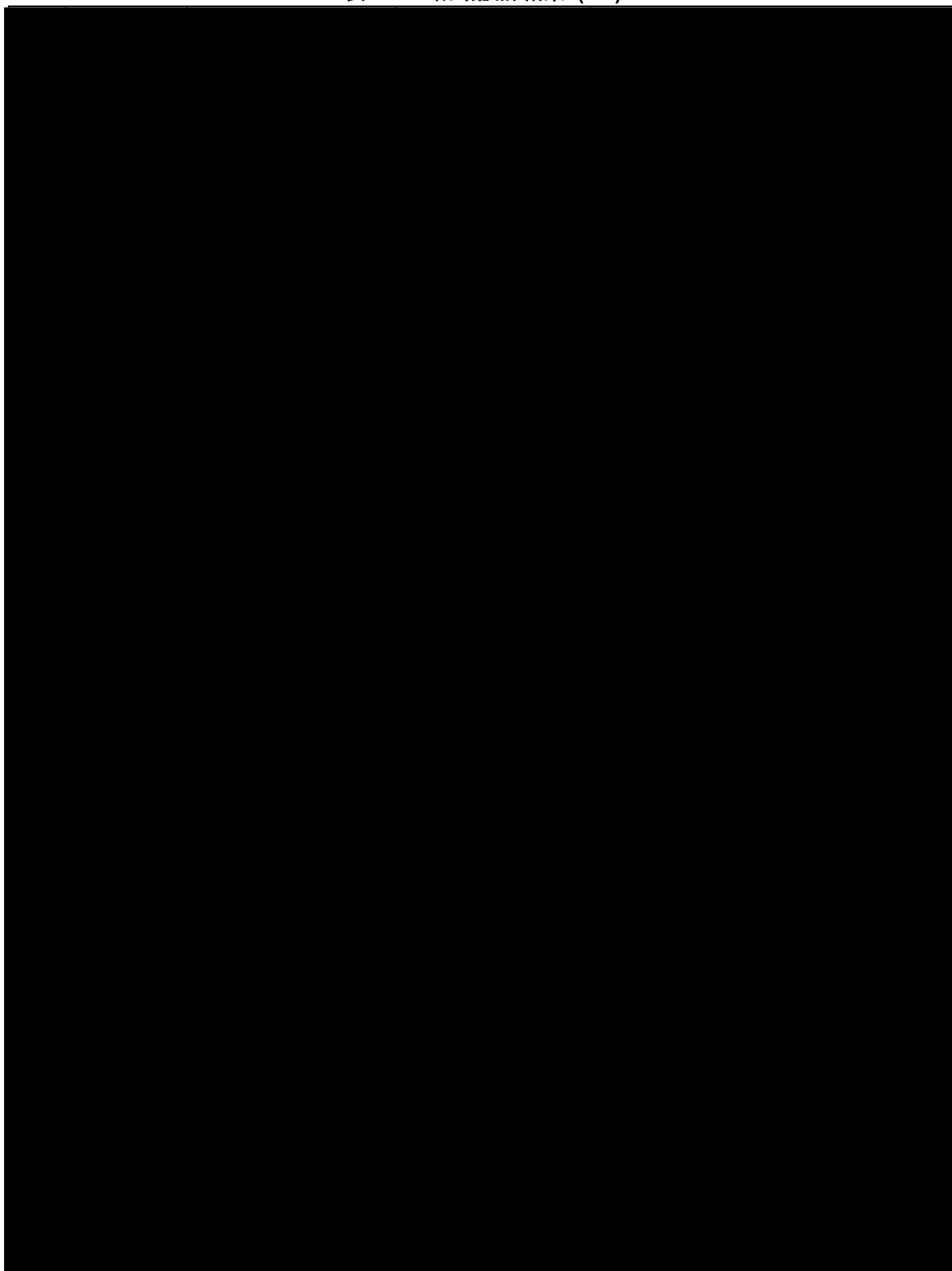


出典：JICA 調査団

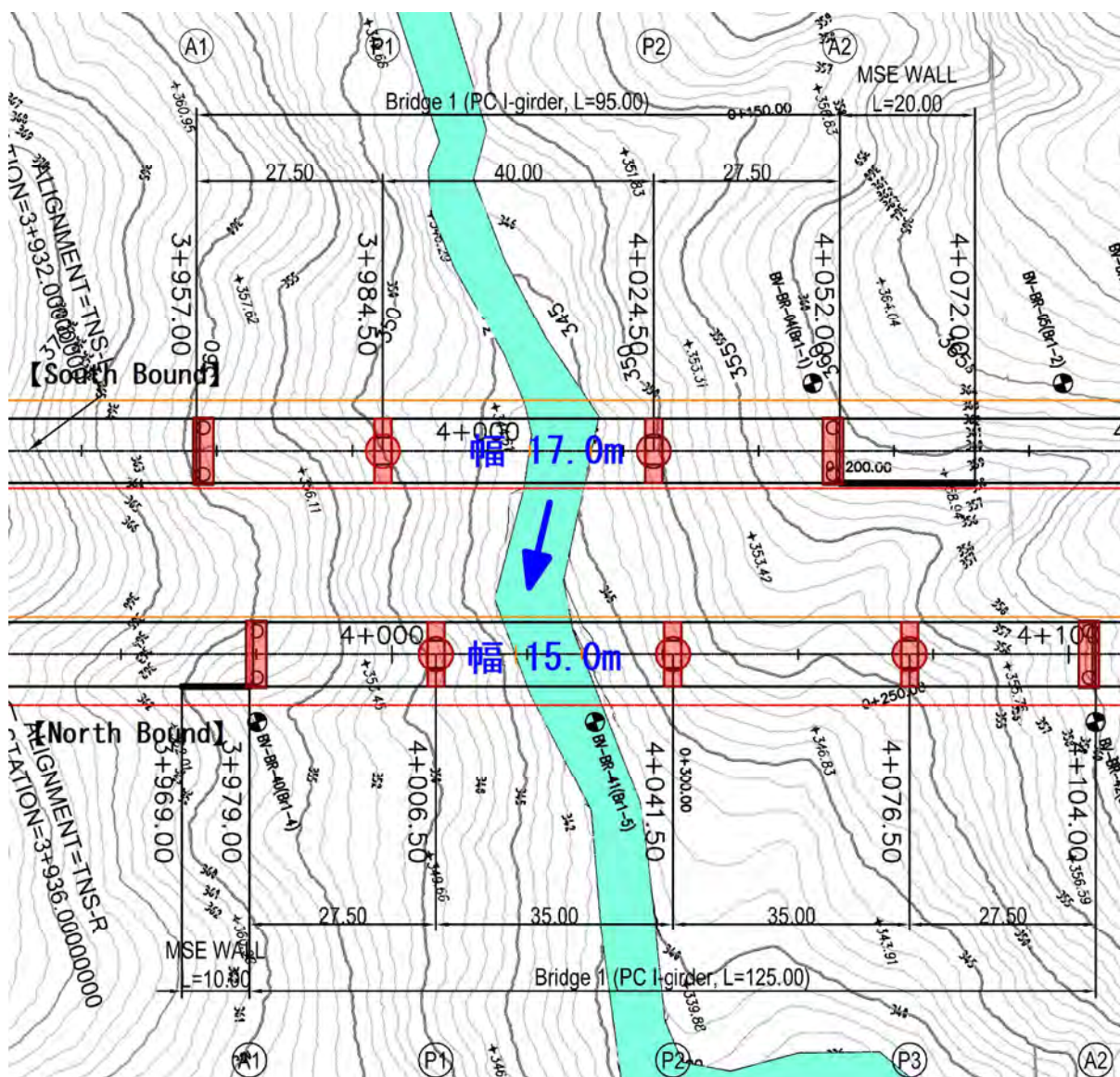
図 8.5-3 橋梁位置図

1) Bridge-1～Bridge-3

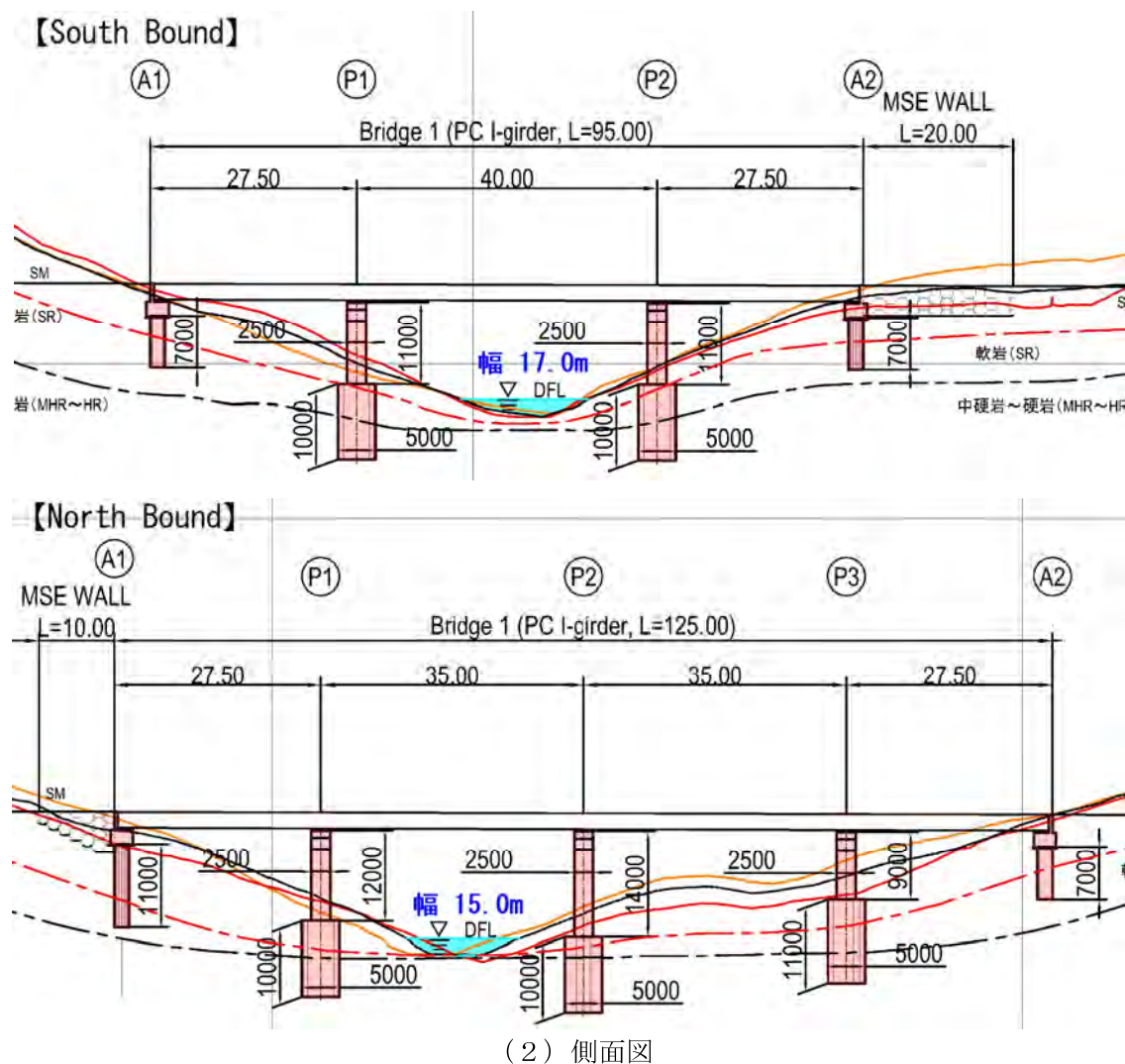
表 8.5-3 概略設計結果 (1/3)



出典: JICA 調査団

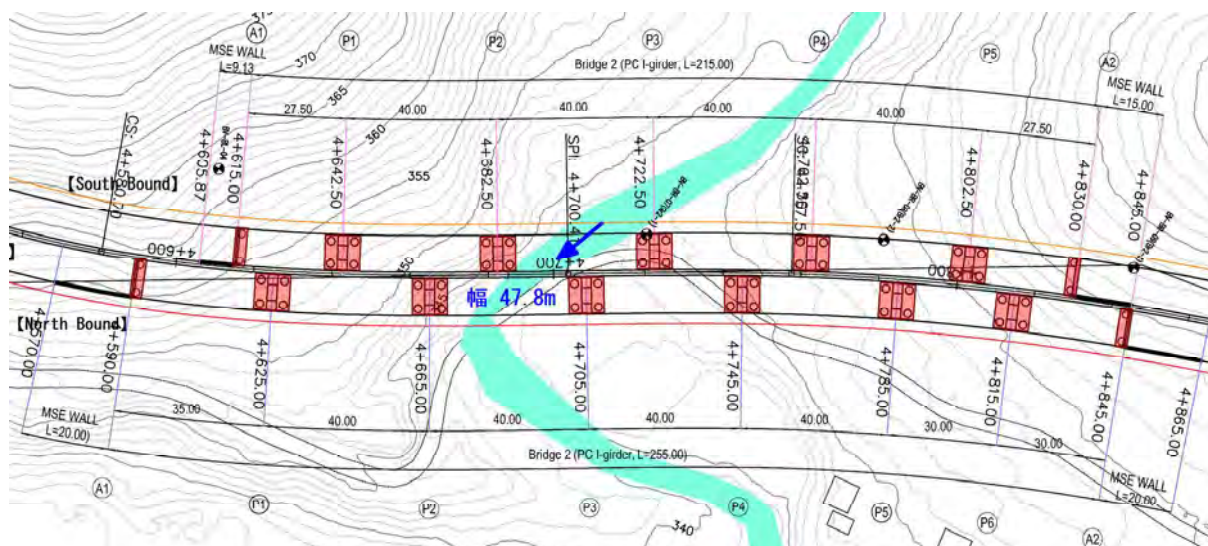


(1) 平面図

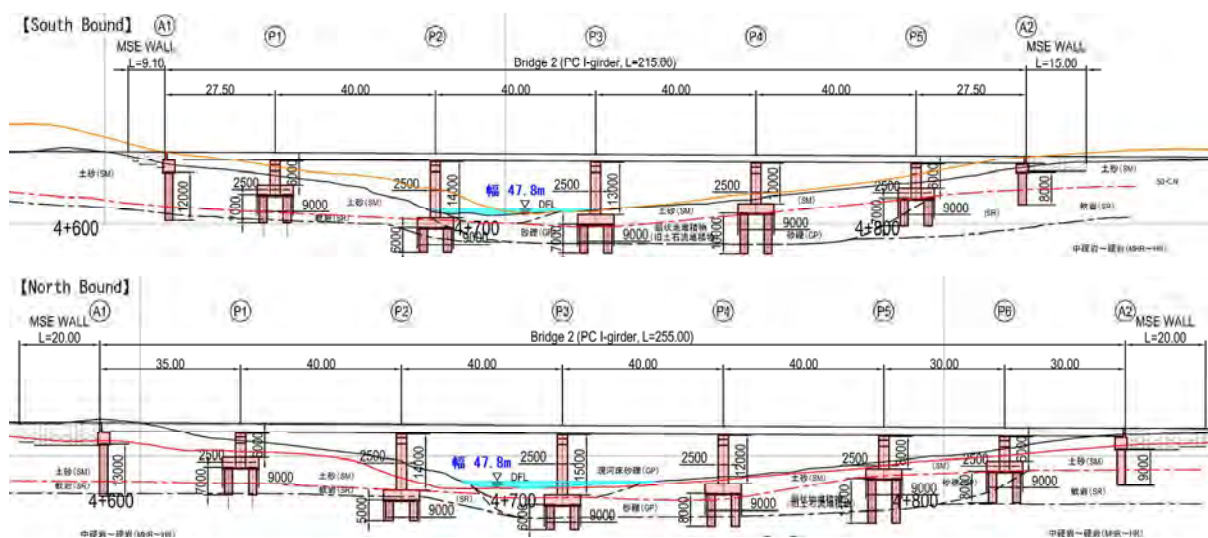


出典：JICA 調査団

図 8.5-4 Bridge-1 概要図



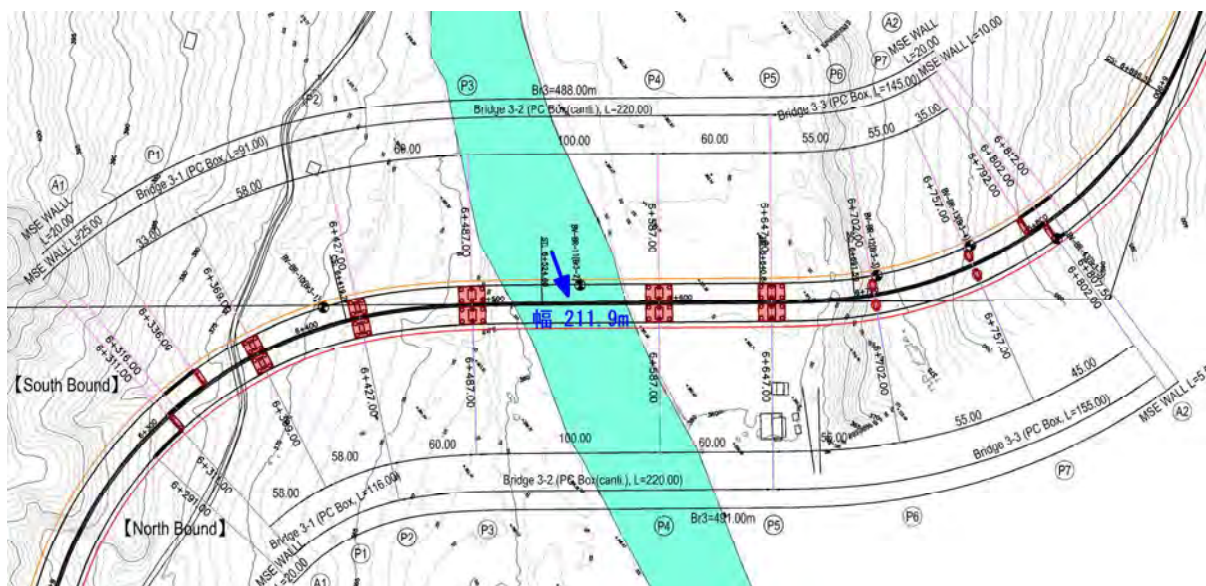
(1) 平面図



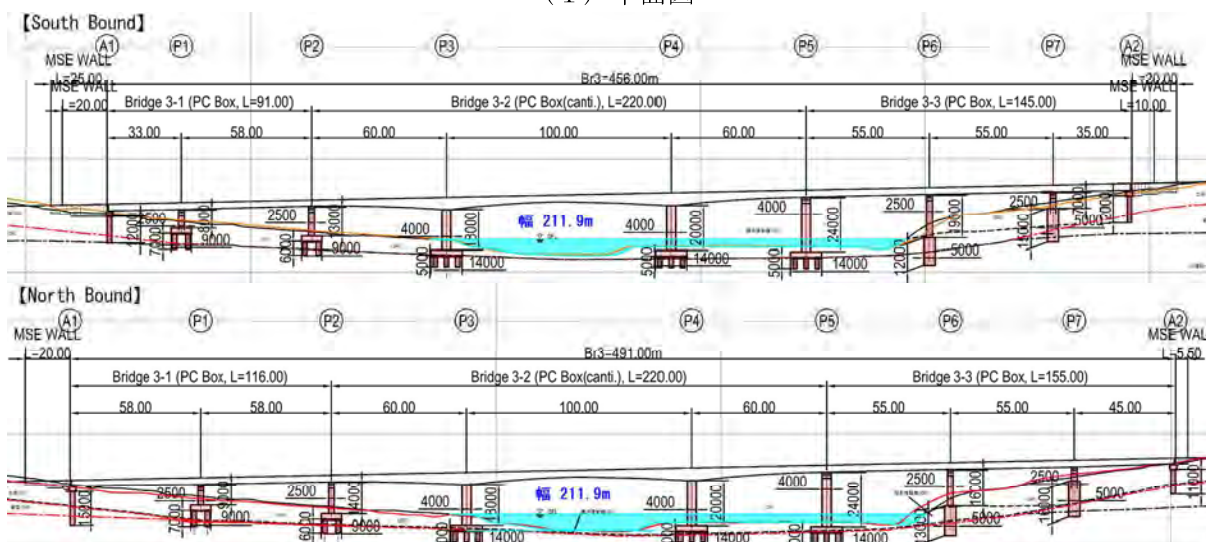
(2) 側面図

出典：JICA 調査団

図 8.5-5 Bridge-2 概要図



(1) 平面図



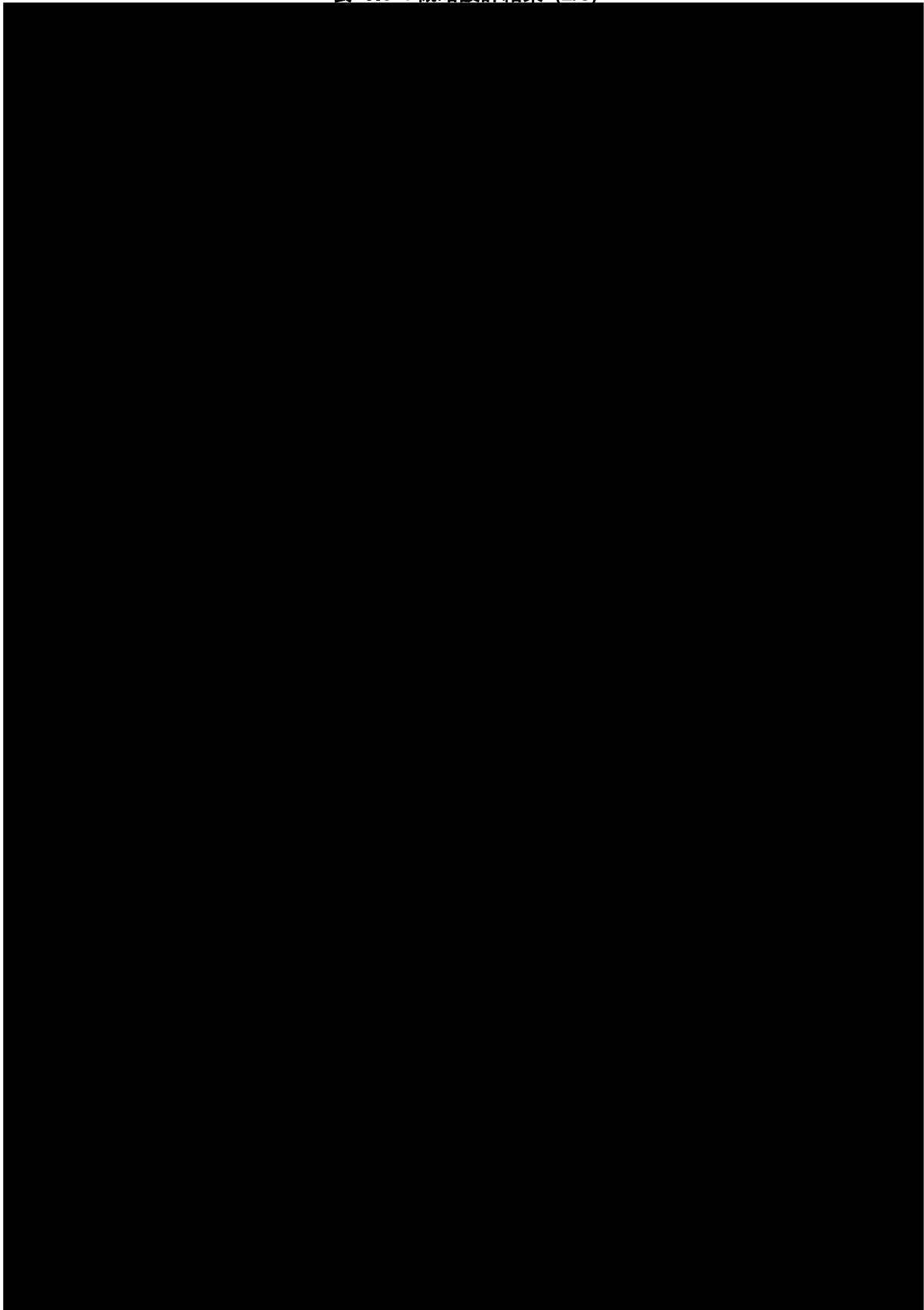
(2) 側面図

出典：JICA 調査団

図 8.5-6 Bridge-3 概要図

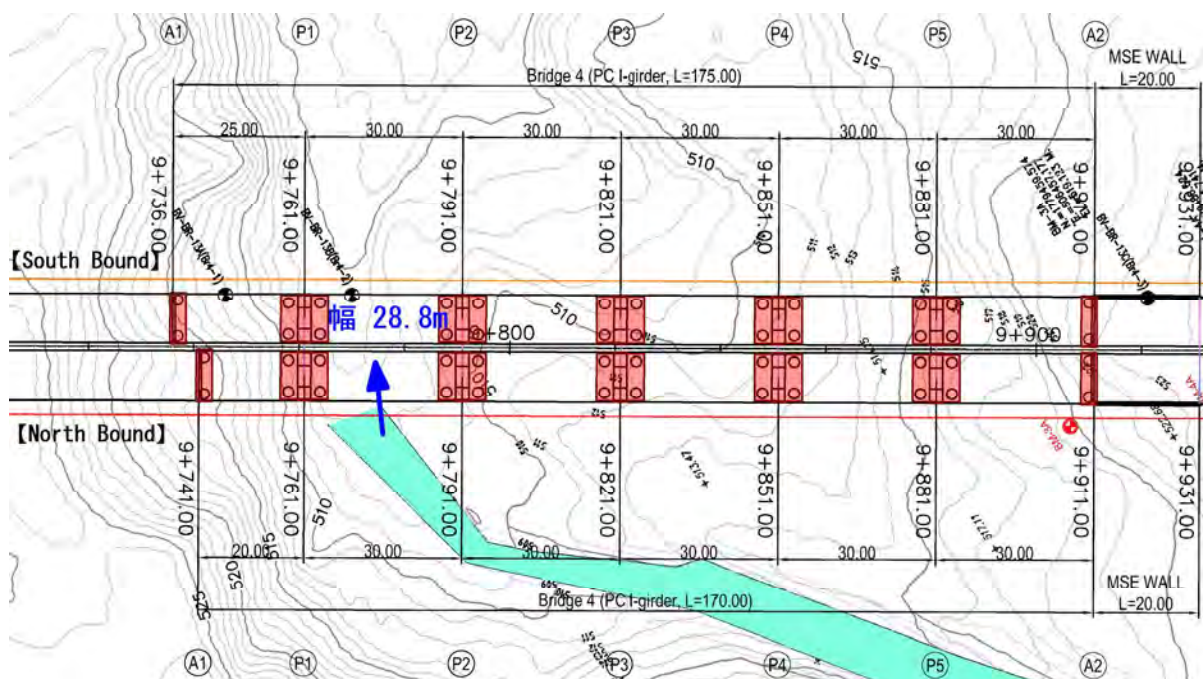
2) Bridge-4 ~ Bridge-7

表 8.5-4 概略設計結果 (2/3)

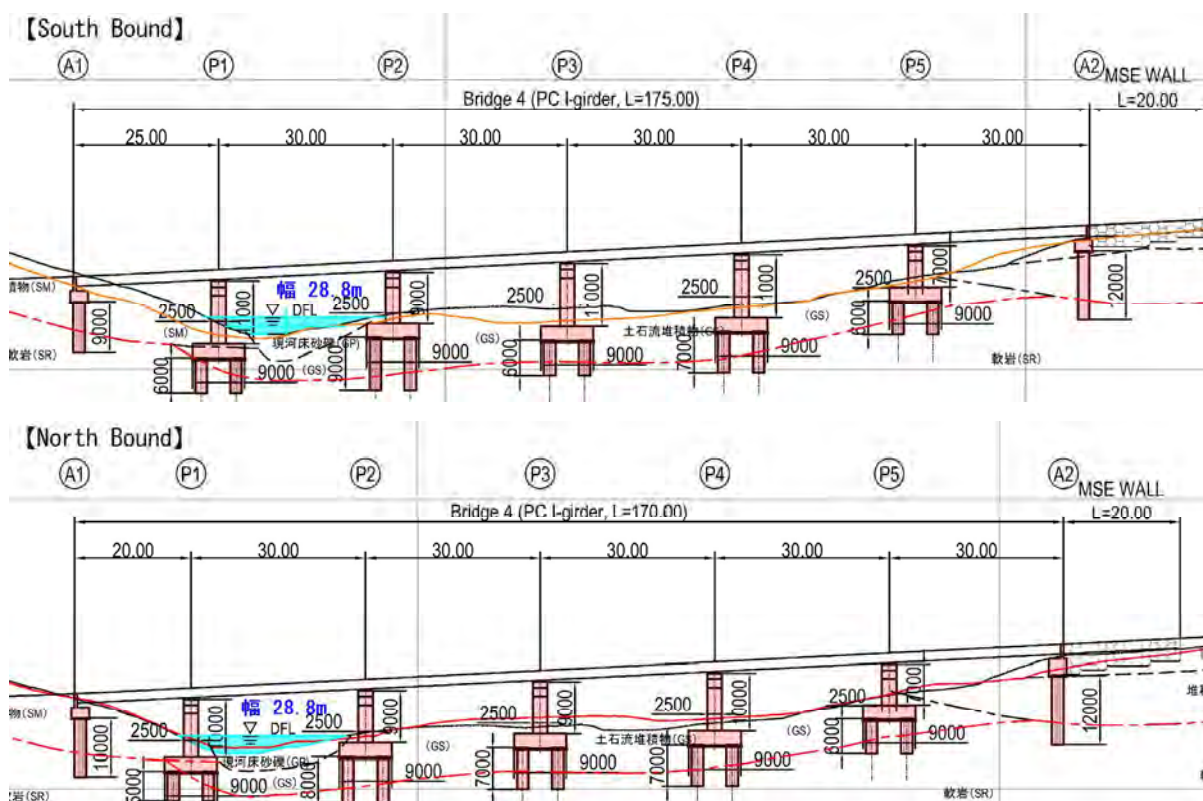


				深礎杭(φ 5000) [P1,P2]
--	--	--	--	---------------------

出典: JICA 調査団



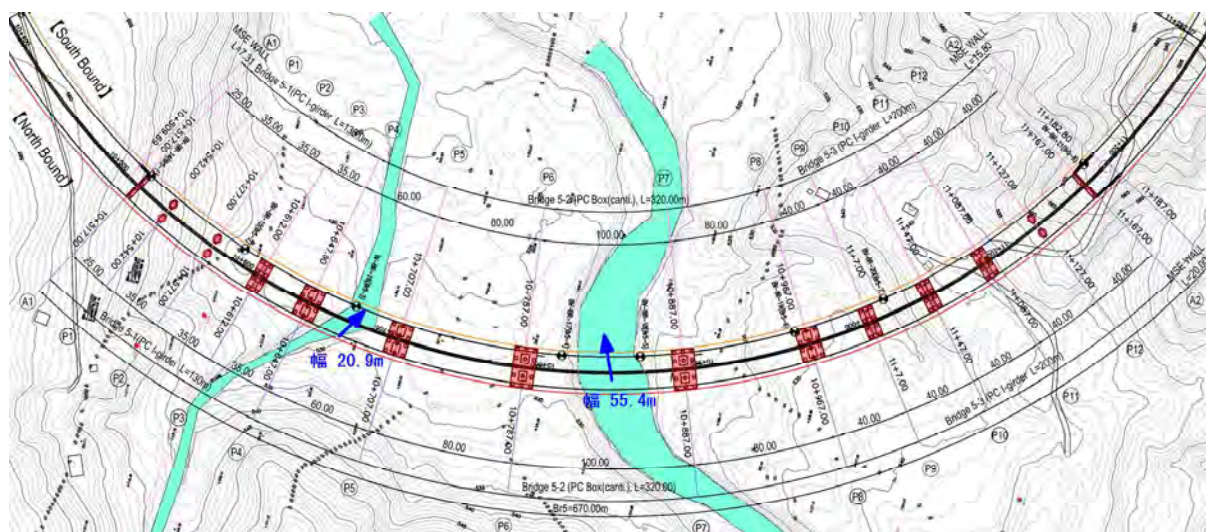
(1) 平面図



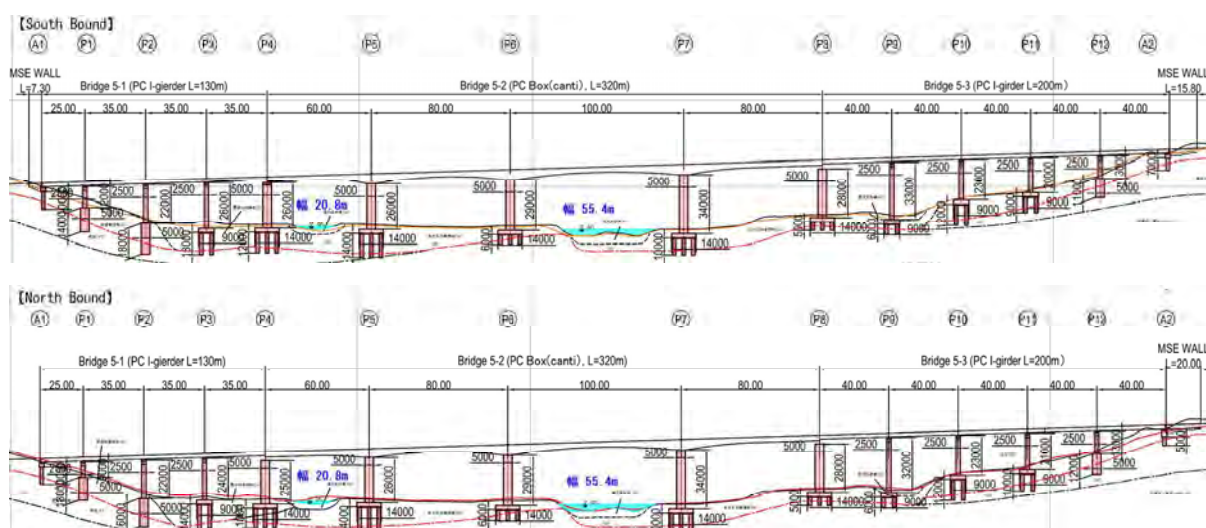
(2) 側面図

出典: JICA 調査団

図 8.5-7 Bridge-4 概要図



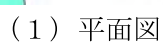
(1) 平面図

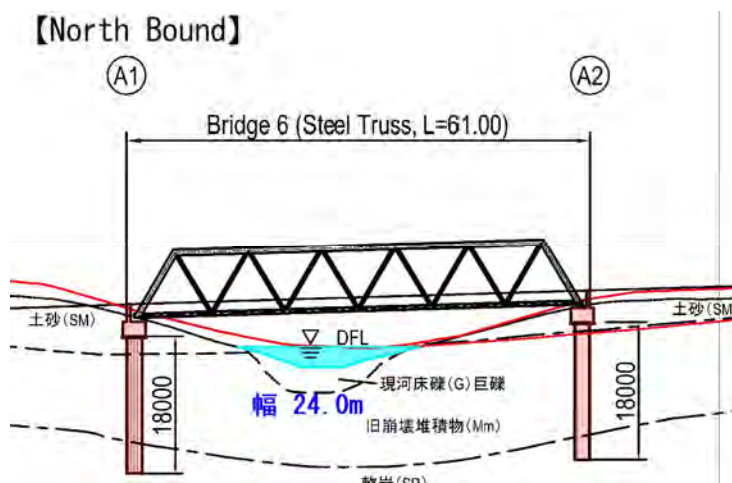


(2) 側面図

出典：JICA 調査団

図 8.5-8 Bridge-5 概要図

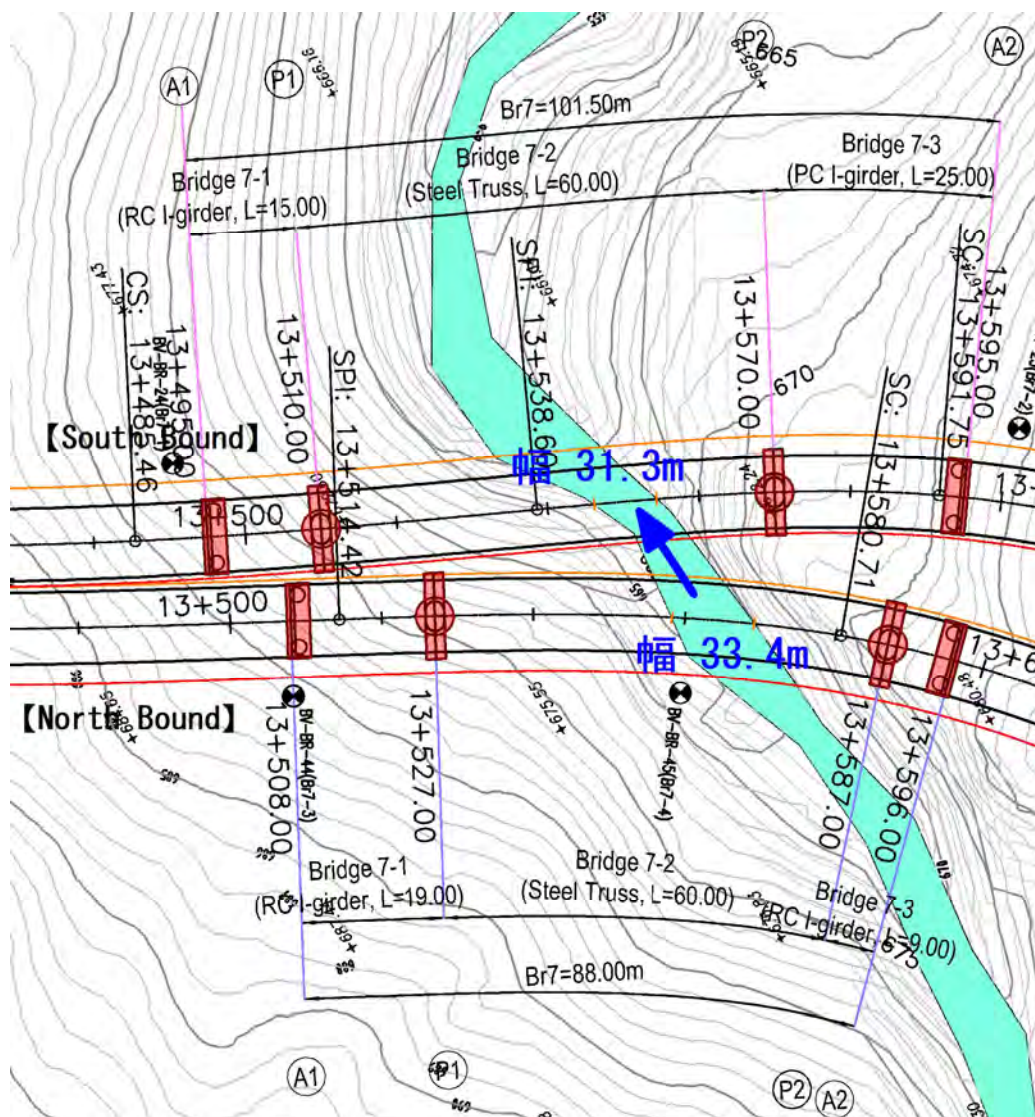




(2) 側面図

出典：JICA 調査団

図 8.5-9 Bridge-6 概要図



(1) 平面図

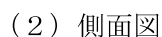
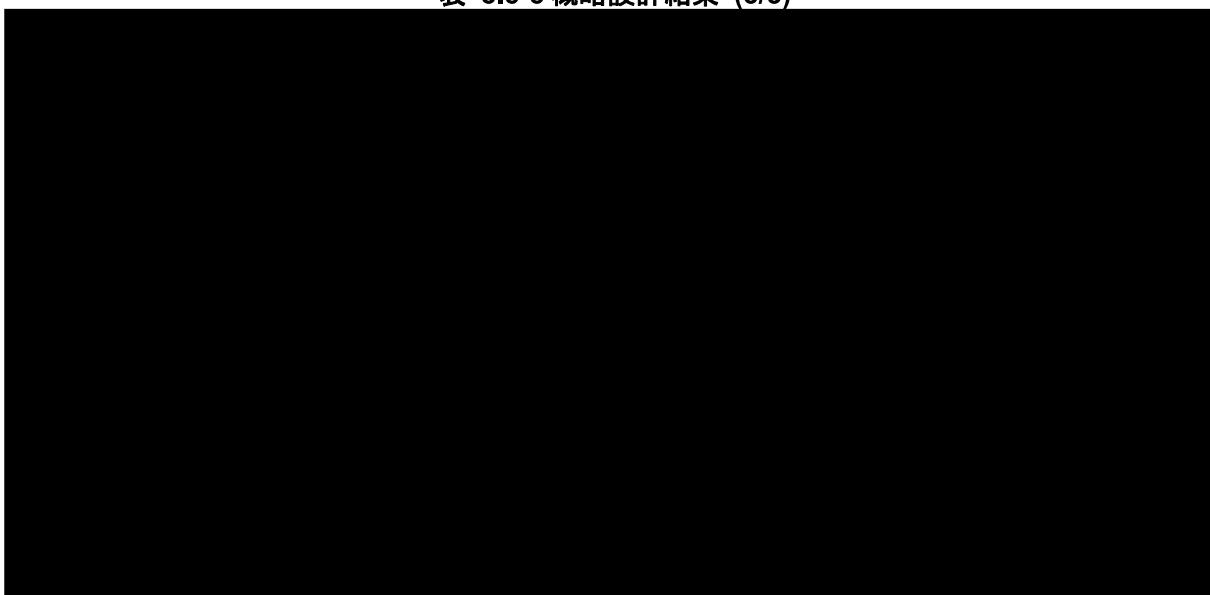
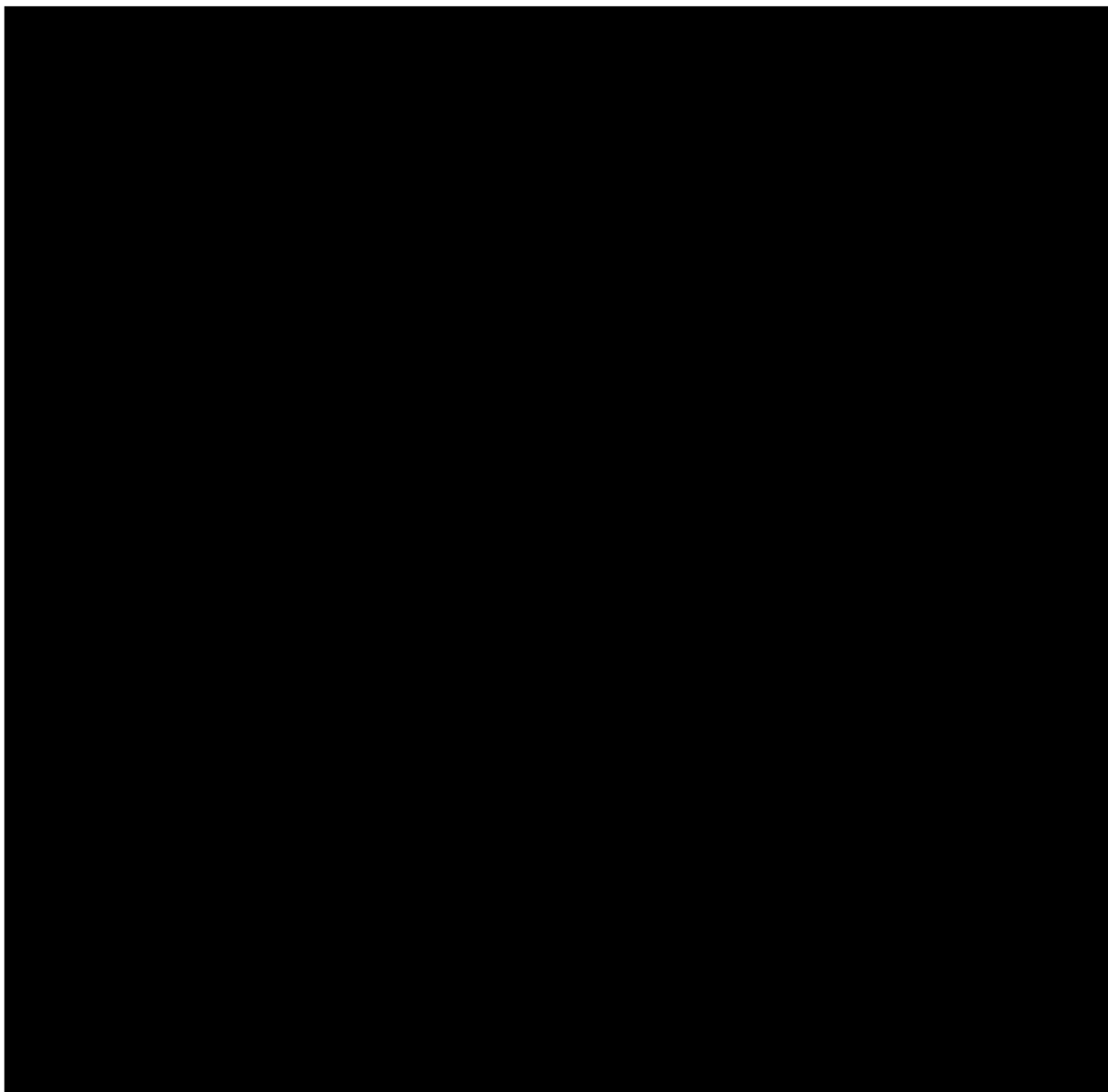


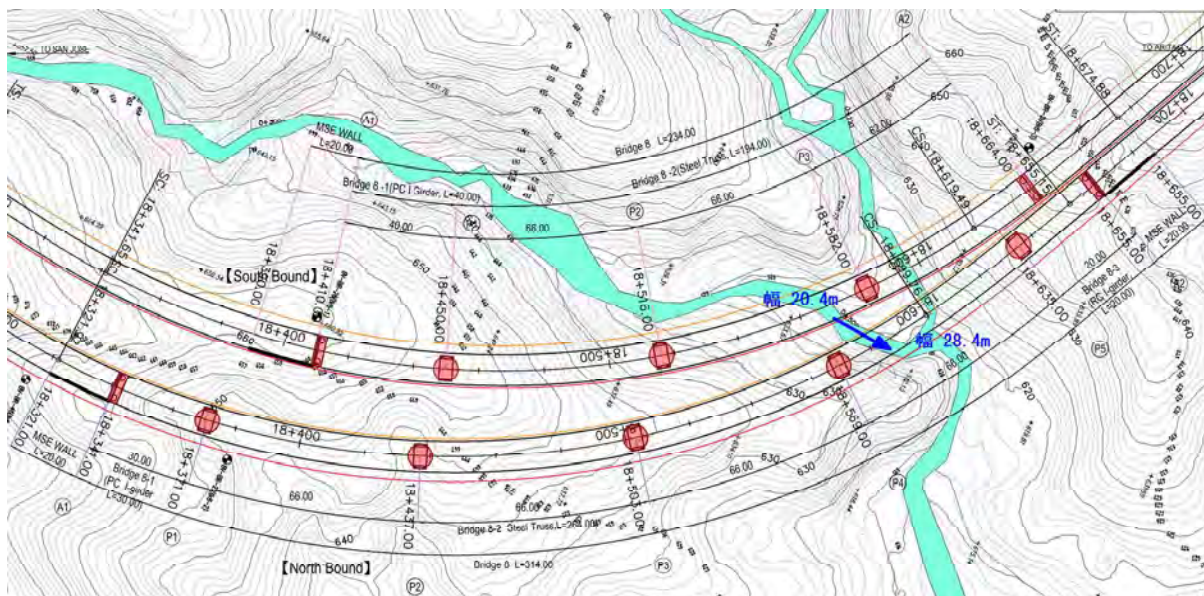
図 8.5-10 Bridge-7 概要図

表 8.5-5 概略設計結果 (3/3)

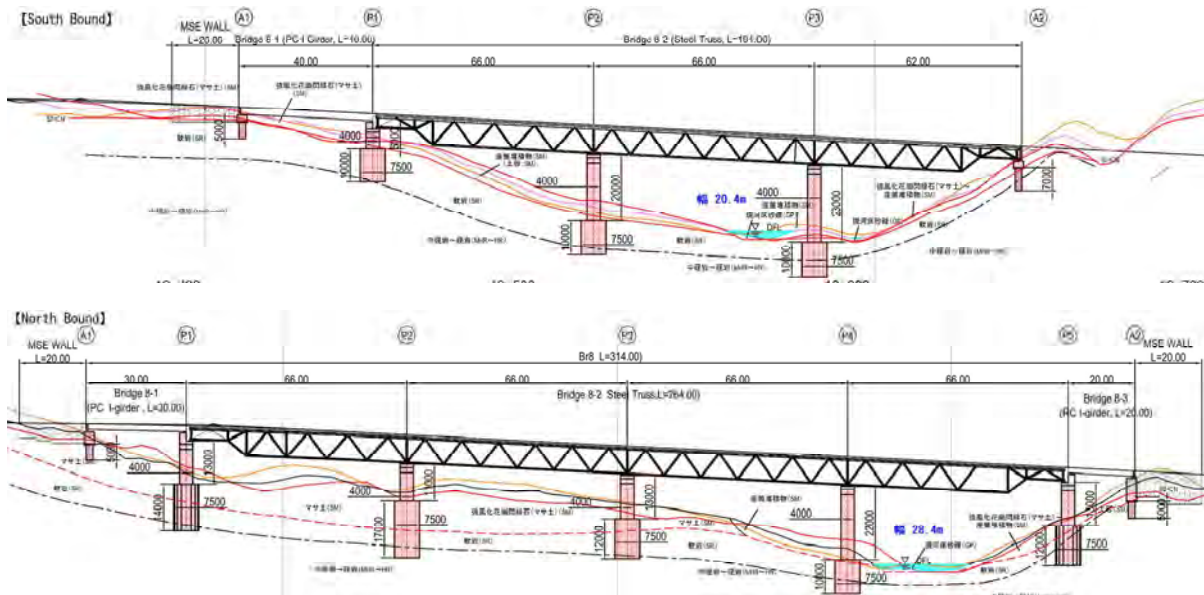




出典: JICA 調査団



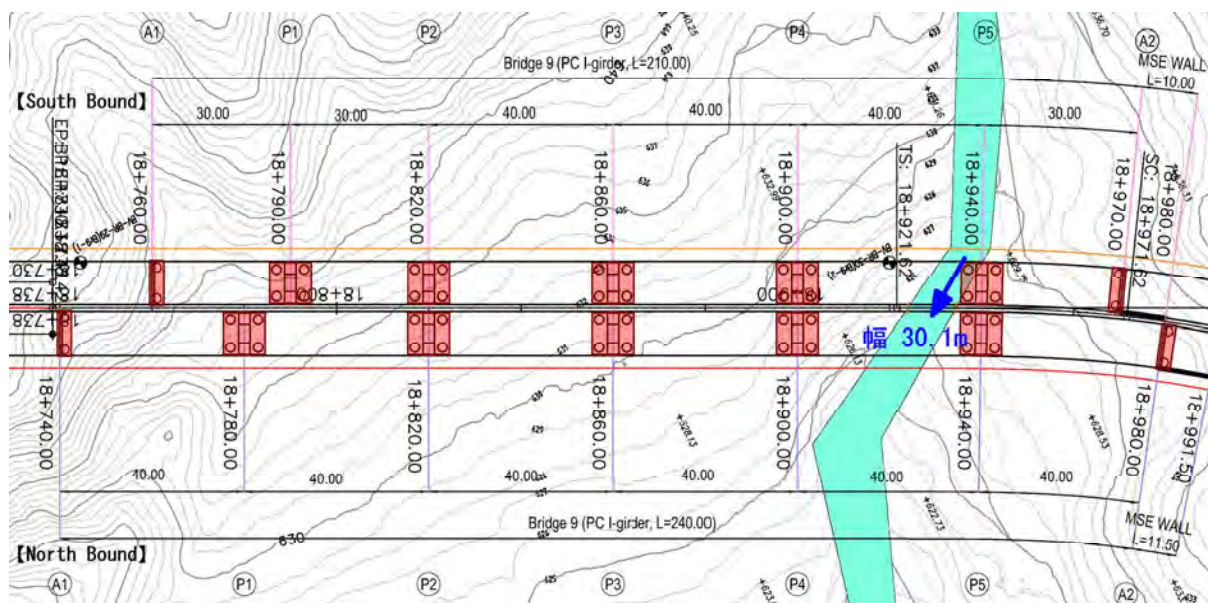
(1) 平面図



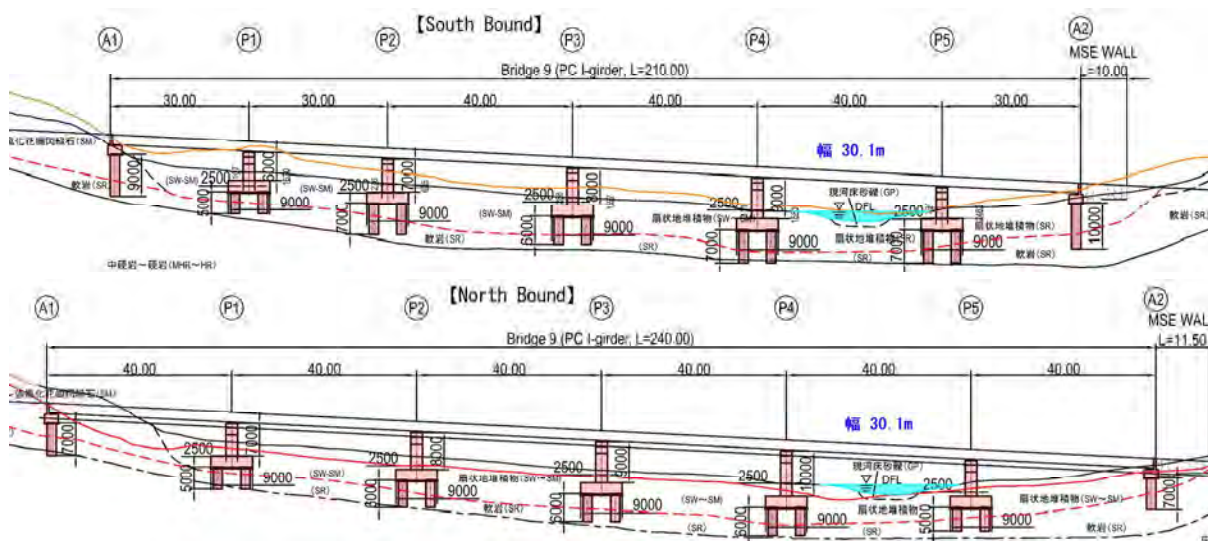
(2) 側面図

出典：JICA 調査団

図 8.5-11 Bridge-8 概要図



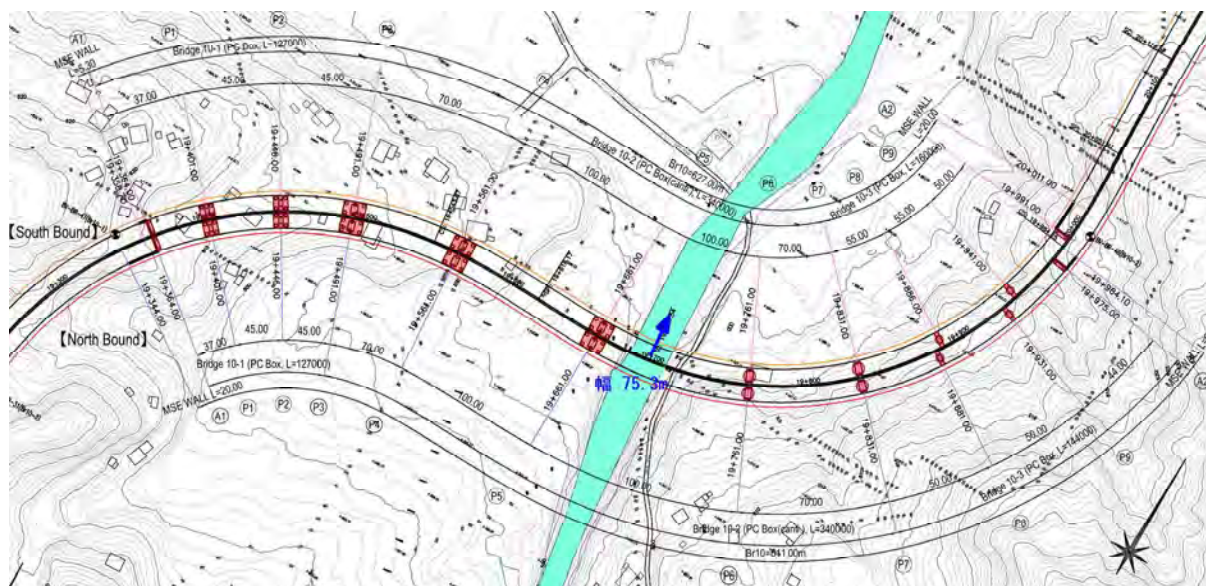
(1) 平面図



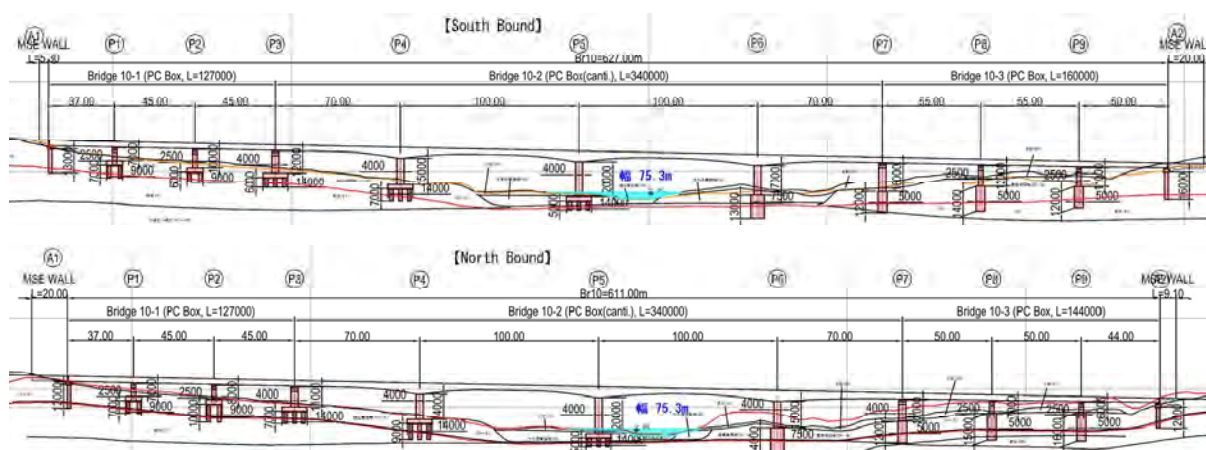
(2) 側面図

出典：JICA 調査団

図 8.5-12 Bridge-9 概要図



(1) 平面図



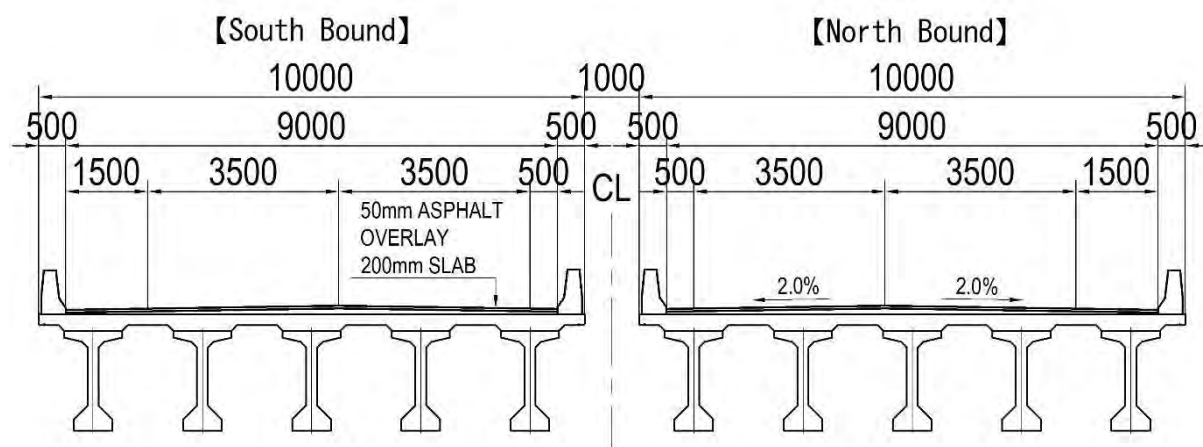
(2) 側面図

出典：JICA 調査団

図 8.5-13 Bridge-10 概要図

(2) 幅員構成

橋梁部における幅員構成を以下に示す。



出典: JICA 調査団

図 8.5-14 幅員構成

(3) 橋梁計画方針

橋梁概略設計の方針を以下に示す。

- 縮尺 1 : 1,000 で作成された地形図に基づいて計画を行う。
- 現地調査の結果、流域面積の小さい「沢」と流域面積の大きい「川」に分類し、それぞれに適切な橋を計画する。
- 洪水域および設計洪水位範囲内に橋脚は設置しない。
- b)および c) の条件に基づいて、DGCS によって指定された上部構造形式を選定する。
- 支間長は 1 m ピッチとする。
- 橋台は、標準形式を基本とする。橋台前の斜面保護の最大高さは約 8m とする。
- 橋脚は RC 形式とする。柱の形状は矩形または小判型とする。
- 河川の流水域に設置される橋脚は「小判型」とし、その他は「矩形」とする。
- 橋台と橋脚に使用される基礎形式について、急斜面に設置する場合は「深礎杭」を、それ以外の場合は「場所打ち杭」を適用する。

(4) 下部構造の設置における留意点

1) 基礎の根入れおよび土被り

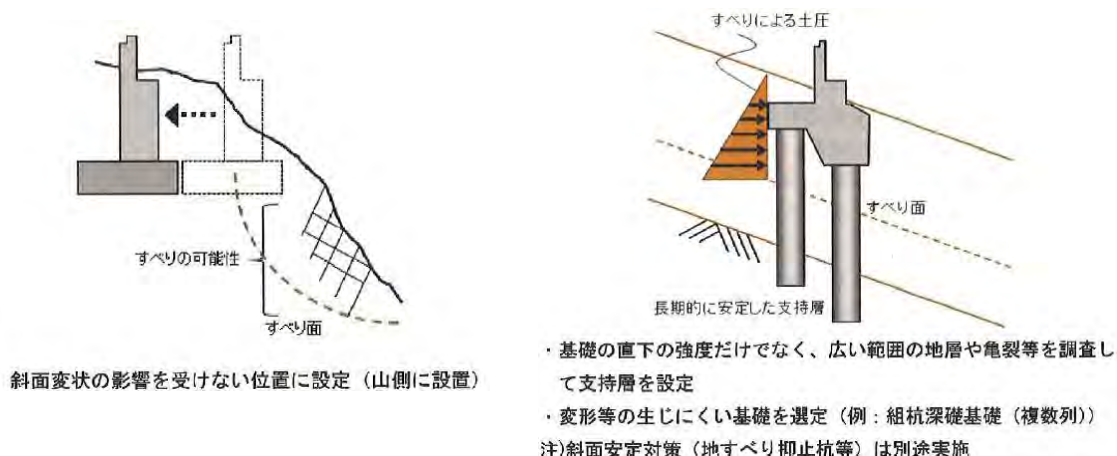
- 基礎の根入れは、杭基礎は支持層から杭径の 1 D 以上、直接基礎は支持層以下の深さまで根入れする。
- 土被りは現地盤および現況／将来河床の内、最も深いところから 1 m 確保する。

2) 斜面上の橋台位置

- 斜面変状が生じると考えられる個所には下部構造の設置を避ける。
- やむを得ず斜面変状が生じると考えられる個所に下部構造を設置せざるを得ない場合には、

- 1) 通常橋を支持するには十分な強度を有していても、地震時に斜面変状が生じると考えられる層に基礎を支持させない
- 2) 斜面変状に伴う作用に対し変形が生じにくいなど抵抗特性の優れた基礎形式・形状を選定する。

なお、斜面変状が生じると考えられる個所に下部構造を設置する場合、斜面安定対策を別途実施する。



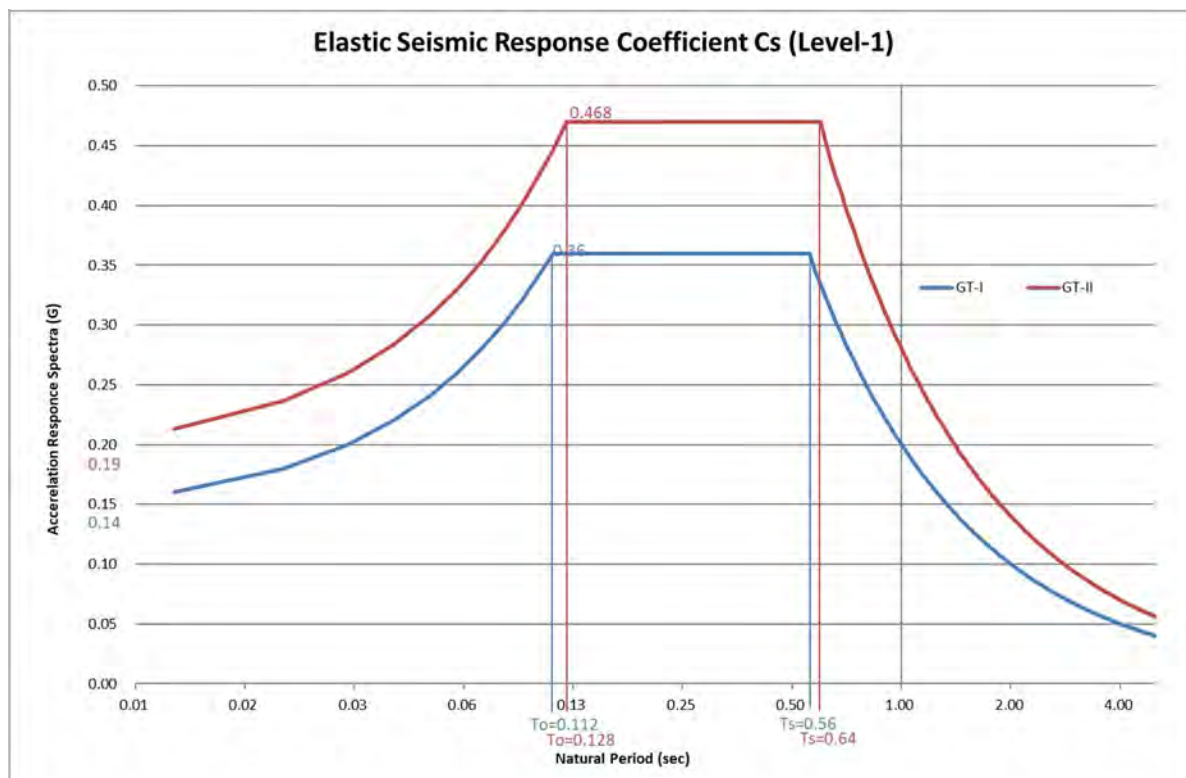
出典：国土交通省北陸地方整備局

図 8.5-15 下部構造の設置に対する留意点

(5) 耐震設計

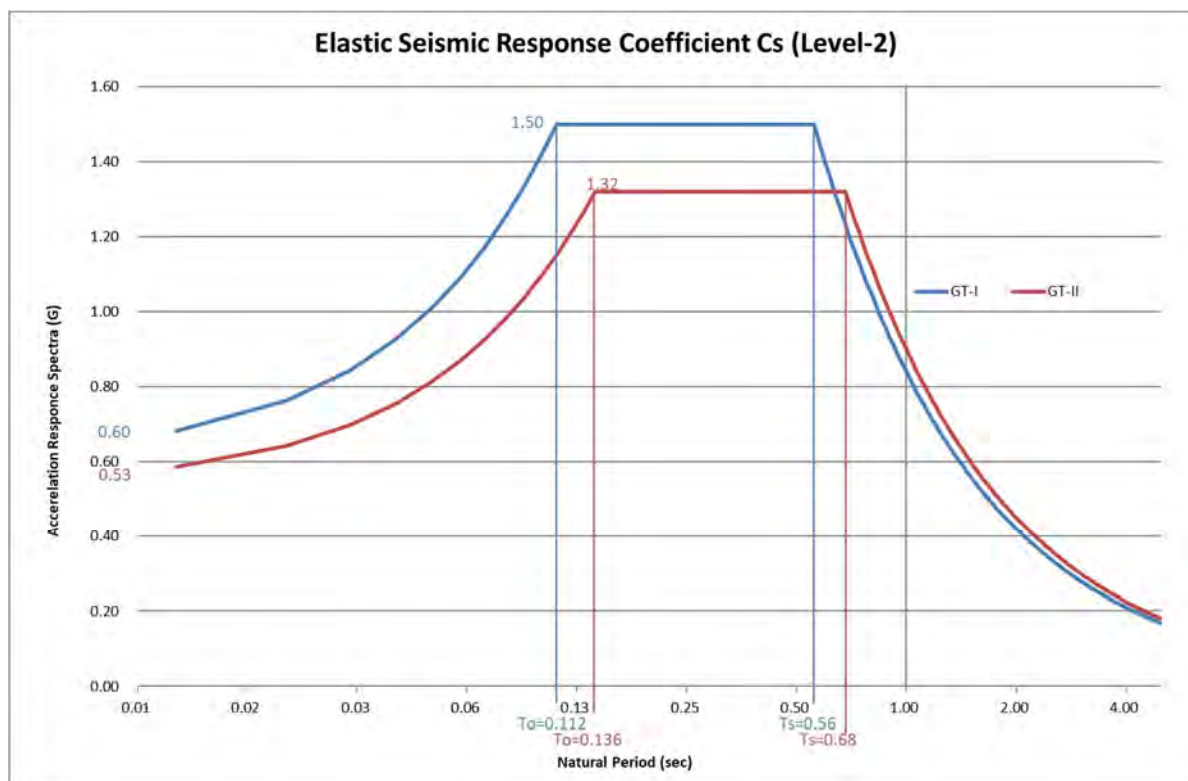
耐震設計は、DPWH LRFD Bridge Seismic Design Specifications, 1st Edition, 2013 & Interim Revision 2019 (BSDS)に従う。

- ・ 橋梁の耐震クラス：OC-I（Critical Bridges）
- ・ レベルⅠ地震に対して、弾性設計、レベルⅡ地震に対して、限界状態設計（補修可能な損傷にとどめる）
- ・ BDS に基づき設定される応答スペクトルを以下に示す。（GT-1：1種地盤、GT-2：2種地盤）



出典: JICA 調査団

図 8.5-16 レベルⅠ地震動に対する応答スペクトル



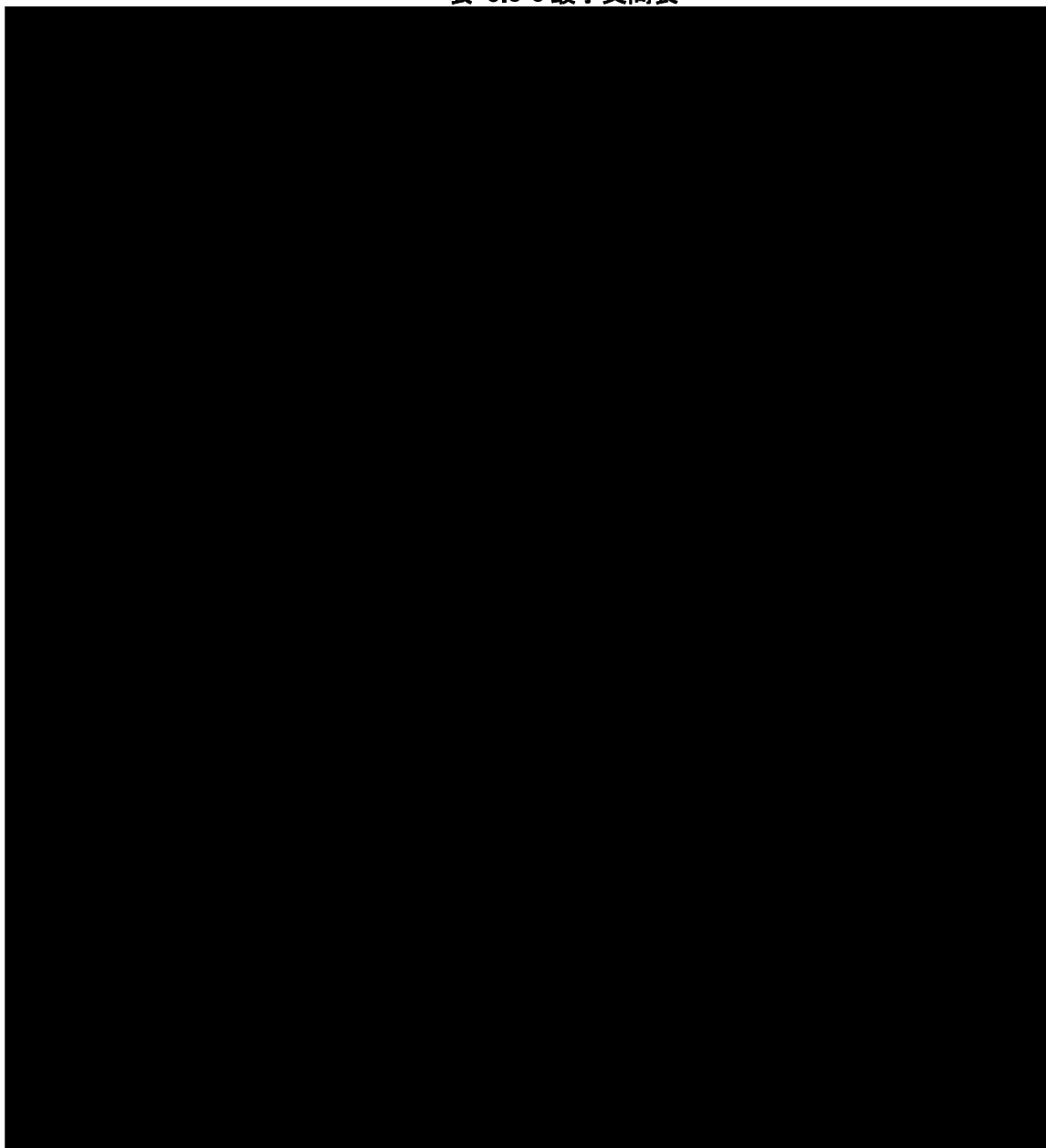
出典: JICA 調査団

図 8.5-17 レベルⅡ地震動に対する応答スペクトル

(6) 最小支間長

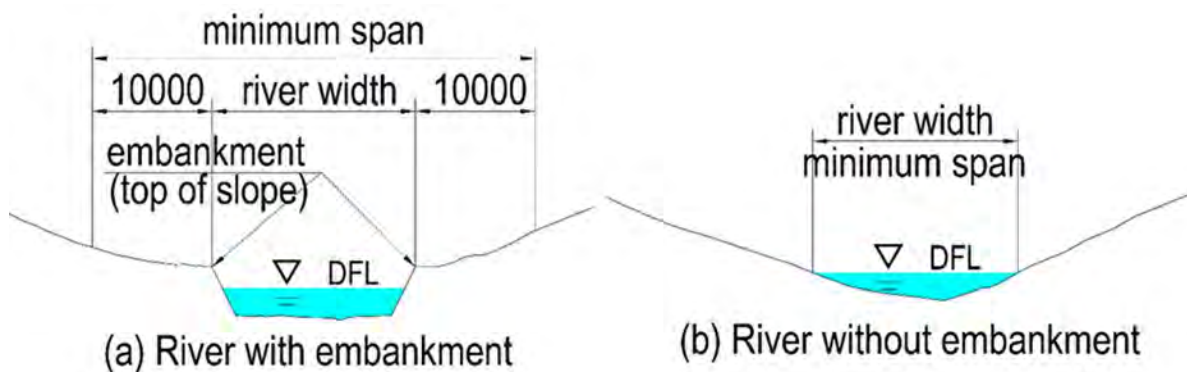
各橋梁の最小支間長は交差する河川条件により決定する。各橋梁の最小支間長を以下に示す。

表 8.5-6 最小支間長



出典: JICA 調査団

- 河川勾配が厳しく、土砂の流出により、土砂災害が発生すると想定される河川を「砂防河川」と定義する。(表 8.5-6 にて砂防河川を「○」にて明示する)
- 砂防河川でない河川については、基準径間長 ($L=20+0.05Q$ 、 Q :流量 m^3/s) を最小支間長とする。
- 砂防河川内には橋脚は設置しないことを基本とし、堤防がある河川の最小支間長は、「河川幅+20m (法肩から片側 10m)」とし、堤防のない河川の最小支間長は、「河川幅」とする。

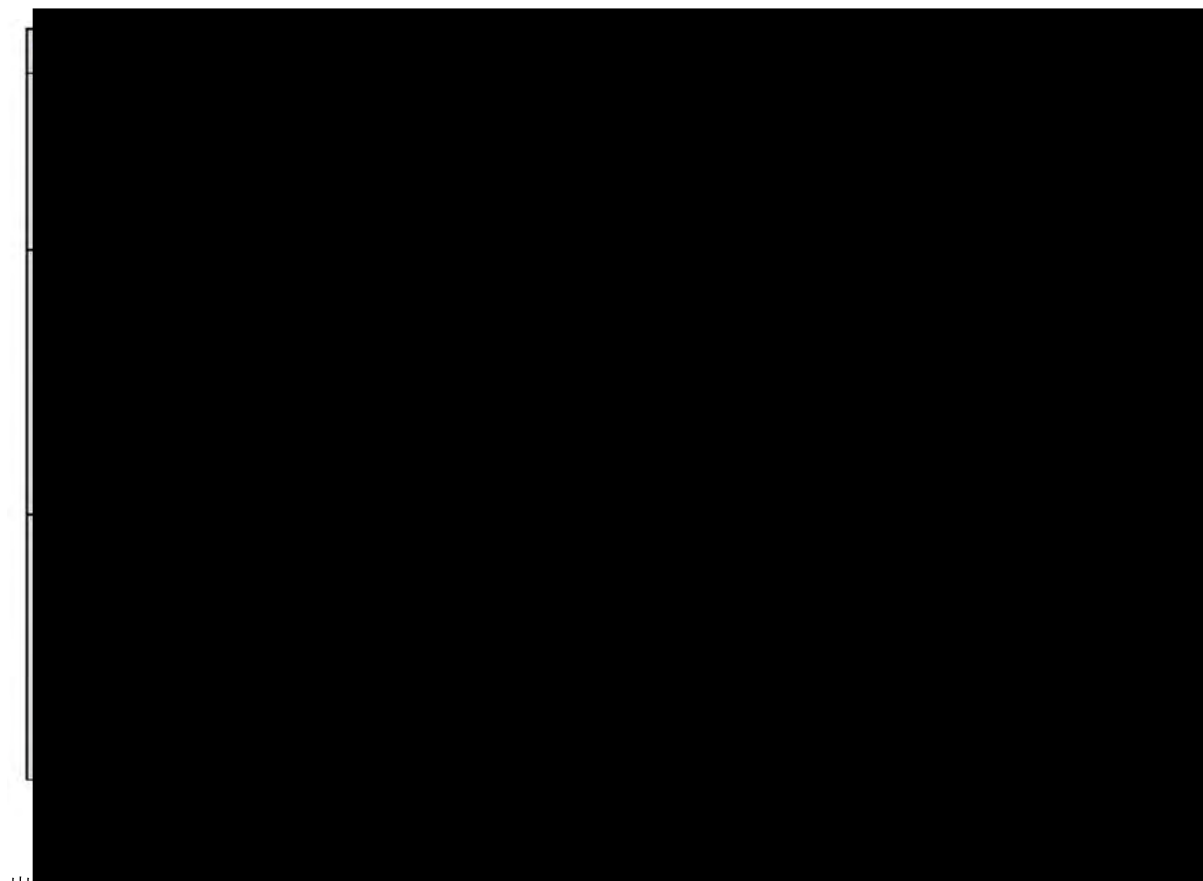


出典: JICA 調査団

図 8.5-18 砂防河川の最小支間長

(7) 上部工形式

上部工形式は、DGCS の規定に従い、適切な橋梁形式を選定する。橋梁形式の適用支間長を図に示す。このうち、フィリピンで標準的に使用されている支間と橋種は以下の通りである。



出典: JICA 調査団

図 8.5-19 上部工形式の適用支間

各橋梁の最小支間長は、ほぼ 20m 以上であることから、PSCG を基本として設定する。

≤12m : プレキャストスラブ、フラットスラブ

12-20m : RCDG

20-40m : PSCG

最大スパン長が 40m を超える場合、PC 箱桁、鋼トラス橋、鋼アーチ橋を代替案として選択する。代替案は次の条件が満たされると選定される。

- 最大スパン長が 140m を超える場合：鋼製アーチ橋
- 谷が深く、橋脚の設置が難しく、最大スパン長が 140m 以下の場合：鋼トラス橋
- それ以外：PC 箱桁
- また、支間長が 40m 以下であっても曲線半径が 250m よりも小さい場合、PC 箱桁が選定される。

1) Bridge-1

南トンネル北抗口付近に位置し、小河川を有する谷を跨ぐ橋梁。砂防河川のため土石流域を避けた位置に橋脚を配置する（必要最小支間 14.6m）。計画線形は谷地形に対し斜めに交差するため、南行きと北行きでは橋長が異なる。南行き・北行きともに、上部工および下部工の施工に工事用車両の進入に問題がないことから、経済的な「PSCG（PC I 桁）」を採用する（図 8.5-4 参照）。

2) Bridge-2

計画線形が山裾の斜面に沿った形で計画されており、南行きおよび北行きで橋長が異なる。また、小河川と大きな交差角をもって交差しているため、南行きおよび北行きの橋脚配置も異なる。河川幅は小さいが交差角を考慮し、支間長 40m とし、経済的な「PSCG（PC I 桁）」を採用する（図 8.5-5 参照）

3) Bridge-3

計画線形は、最小曲線半径 220m となる S 字曲線を描いており、河川に対しては緩い交差角をもって直線で交差している。このため、R220m 曲線部と直線河川部および R220m の曲線部と 3 種類の橋梁で計画する。また南行きと北行きで山の斜面に位置することから橋台位置は異なる平面位置に計画する。架橋位置は比較的開けた位置にあることから周辺に多数の視点場があるだけでなく、計画線形が S 字を有しており、路線を走行する車両からも眺望可能であることから景観性を考慮し、極力橋脚位置は南行き・北行きで同一平面位置となるように配慮する（図 8.5-6 参照）。主橋梁となる直線河川部は河川幅が大きいことから流線内に橋脚を配置することを避け、最大支間長 100m となる 3 径間 PC ラーメン橋を採用する。前後の R220m 区間は曲線半径が小さいことから I 桁の適用範囲外となり、PC 箱桁を採用する。

4) Bridge-4

標準的な支間割で渡河するため、説明を省略する。

5) Bridge-5

交差する河川が 3 つ存在する。中央部の河川幅は広いが、最小支間長は 22.3m である。しかし、兩岸に堤防が存在していることから最小支間は堤防間以上とすることとし、最大支間 100m の PC ラーメン箱桁橋を選定する。またその他の河川の最小支間長も 20m 程度であるが、平面曲線半径が R=220m と小さく、土石流の影響を考慮して最小支間は 40m とする。このことから、アプローチ部についても平面曲線に対応可能な PC 箱桁を採用する。また、架橋位置は計画線形が R220m でほぼ半円を描く線形を有しており、路線を走行する車両からも眺望可能であることから景観性

を考慮し、極力橋脚位置は南行き・北行きで同一平面位置となるように配慮する(図 8.5-8 参照)。

6) Bridge-6

小さな 2 つの沢が合流する付近に位置している。この沢は土石流が発生しており、付近には巨石が点在していることが確認されている。土石流発生時の水位は、2.64m に達し、その際の河川幅は 30m 程度となる。これに桁下余裕(1.5m)を考慮すると必要最小支間は 41m となる。また、桁下余裕が小さいため支間 40m 以上の下路橋を必要とすることから、単純鋼トラス橋 (L=60m) を採用する (図 8.5-9 参照)。

7) Bridge-7

Bridge-6 同様に、小さな沢ではあるが土石流が発生している。土石流発生時の水位は、土石流発生時の水位は、2.03m に達し、その際の河川幅は 35m 程度となる。これに桁下余裕(1.5m)を考慮すると必要最小支間は 46m となる。また、桁下余裕が小さいため支間 40m 以上の下路橋を必要とすることから、谷部は単純鋼トラス橋を採用(L=60m)する。トラス橋の前後は支間長が短いため、RC 桁橋を採用する (図 8.5-10 参照)。

8) Bridge-8

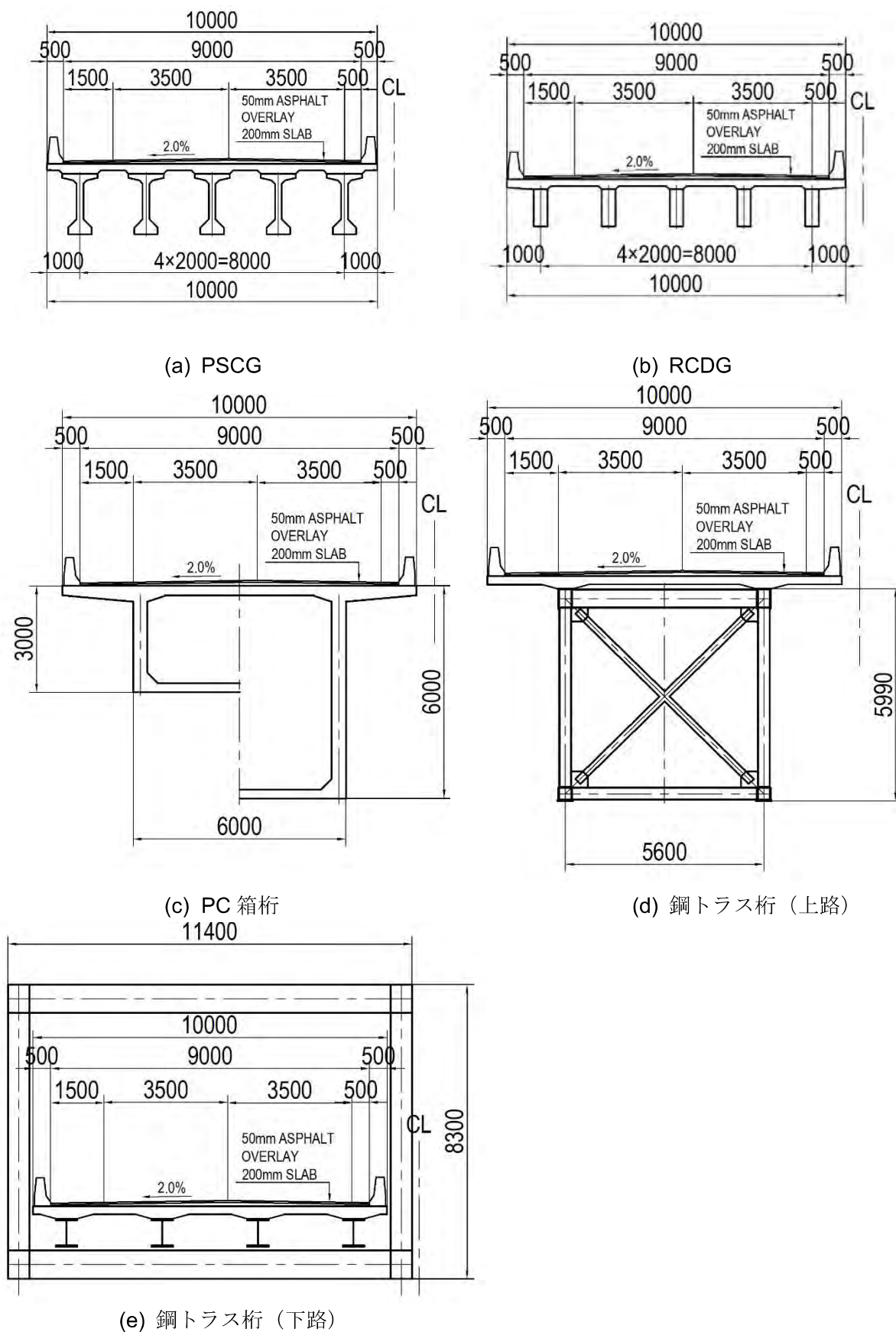
河川条件上は、最小支間長 10.9m と短い、架橋位置は 2 つの沢が合流する付近に位置しており、複雑な谷形状となっている。また、谷が深く谷部に橋脚を設置することが困難である。また、谷部は重機の進入が非常に困難であり、上部工施工を行うヤードは、本線を利用した背面からの施工となることから、背面からの架設が可能な鋼橋を採用し、支間を長くすることで橋脚の設置数を減らすこととする。この結果、連続トラス橋を採用する。また、谷形状が複雑なことから、南行きと北行きでは大きく橋長が異なる (図 8.5-11 参照)。背面からの架設は、斜材併用ケーブルクレーンを用いた架設、もしくは A2 橋台背面側の支間に中間ベントを設けトラベラークレーンで随時張り出し架設を計画している。

9) Bridge-9

標準的な支間割で渡河するため、説明を省略する。

10) Bridge-10

Bridge-3 と同様に計画線形は S 字を描いているが、河川部も曲線の影響が入っている。ただし河川に対しては直交している。架橋位置は比較的開けた位置にあることから周辺に多数の視点場があるだけでなく、計画線形が S 字を有しており、路線を走行する車両からも眺望可能であることから景観性を考慮し、極力橋脚位置は南行き・北行きで同一平面位置となるように配慮する。主橋梁となる河川部は河川幅が大きいことから流線内に橋脚を配置することを避け、最大支間長 100m となる 4 径間 PC ラーメン橋を採用する。前後の R220m 区間は曲線半径が小さいことから I 桁の適用範囲外となり、PC 箱桁を採用する (図 8.5-13 参照)。



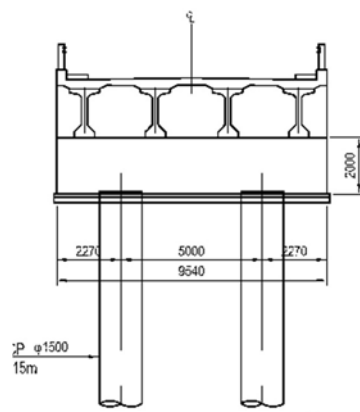
出典: JICA 調査団

図 8.5-20 上部工断面

(8) 下部工形式

1) 橋台

橋台は、フィリピンで標準的に用いられている。「シートタイプ」を選定する。

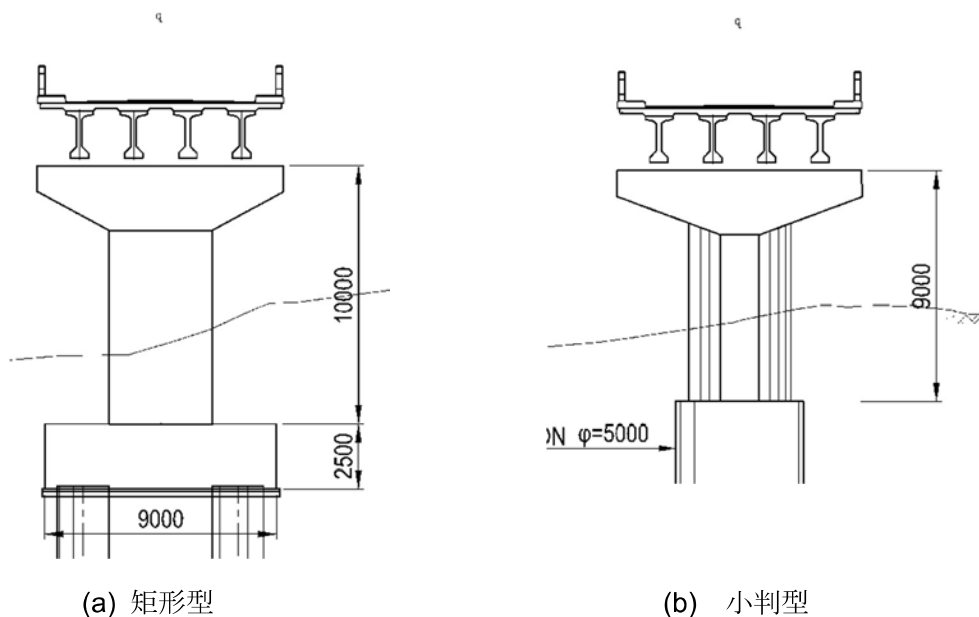


出典: JICA 調査団

図 8.5-21 橋台断面

2) 橋脚

張出式橋脚を基本とし、設置個所の条件および上部工形式に応じて、壁式橋脚を採用する。河川の流水部に設置される橋脚は小判型とし、その他の橋脚は矩形とする。



(a) 矩形型

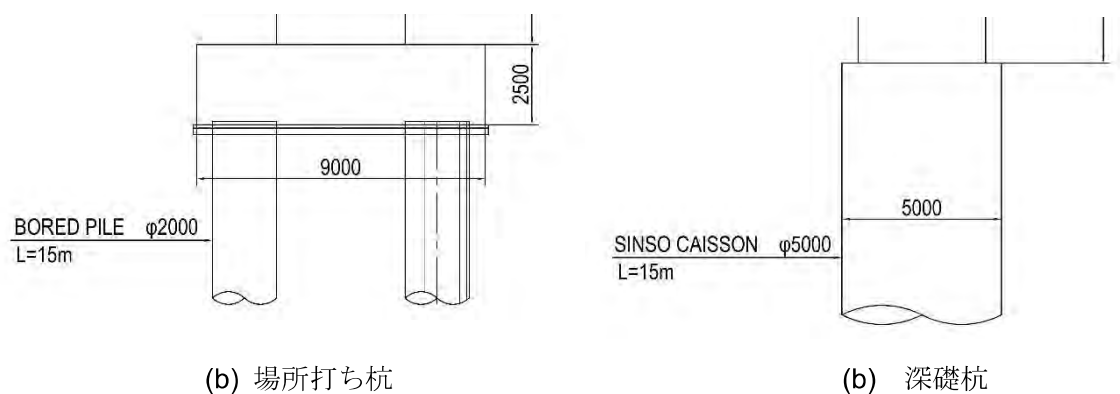
(b) 小判型

出典: JICA 調査団

図 8.5-22 橋脚断面

(9) 基礎工形式

基礎形式について、施工用機械の進入が困難な急斜面に設置する場合は「深礎杭」を、それ以外の場合は「場所打ち杭」を適用する。概略設計結果は、表 8.5-7 に示す。



出典: JICA 調査団

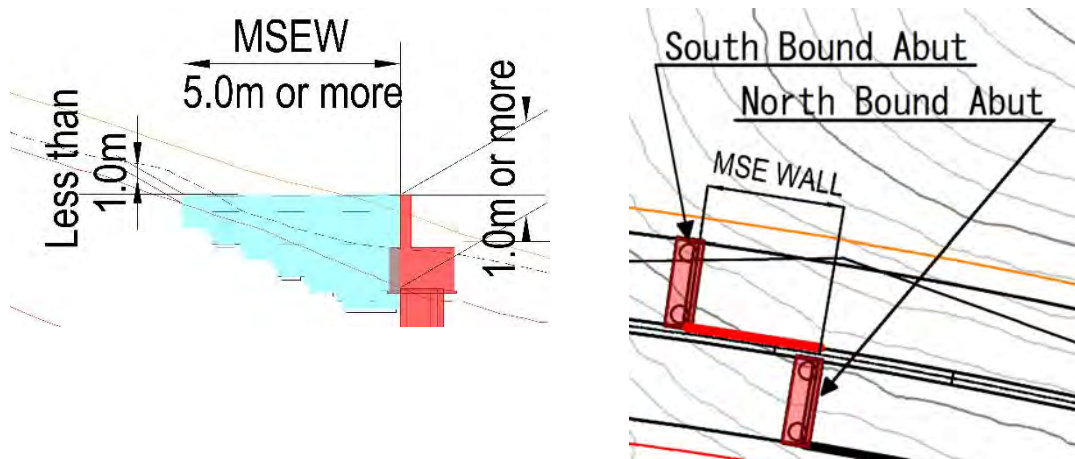
図 8.5-23 基礎工形式

河川に近接する深礎杭を適用する地盤は、土砂・崩壊堆積土・軟岩・中硬岩となっている。土質は粘土・シルト等の細粒分が多い土質であり湧水量は少ない。また湧水による孔壁崩壊等の問題も無いと判断される。

(10) 橋台取り付け擁壁

橋台背面に接続される擁壁は以下の方針で補強土壁擁壁 (Mechanical Stabilized Earth Wall : MSEW) を計画する。

- ・橋台背面における現地盤高と計画路面高の高低差が 1.0m 以上となる場合で、その道路方向延長が 5.0m 以上となる箇所 (延長が 5.0m 未満の場合は橋台ウイングとする)
- ・擁壁延長は、現地盤高と計画路面高の高低差が 1.0m 未満となるまでとする。
- ・South Bound と North Bound の橋台位置が道路方向に離れている場合は、橋台間に MSEW を配置する。



出典: JICA 調査団

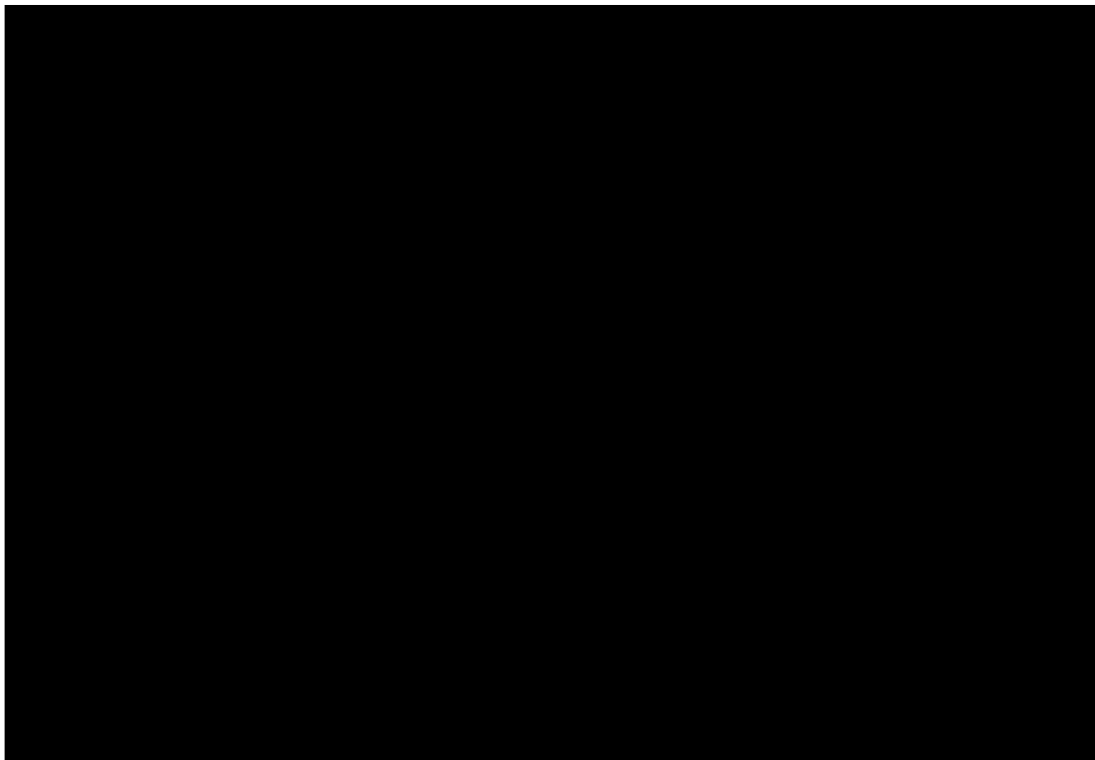
図 8.5-24 MSEW 配置計画

8.5.4 概略設計結果

荷重の規模、橋脚高さ、河川条件を考慮した各橋梁の下部工検討結果を以下に示す。

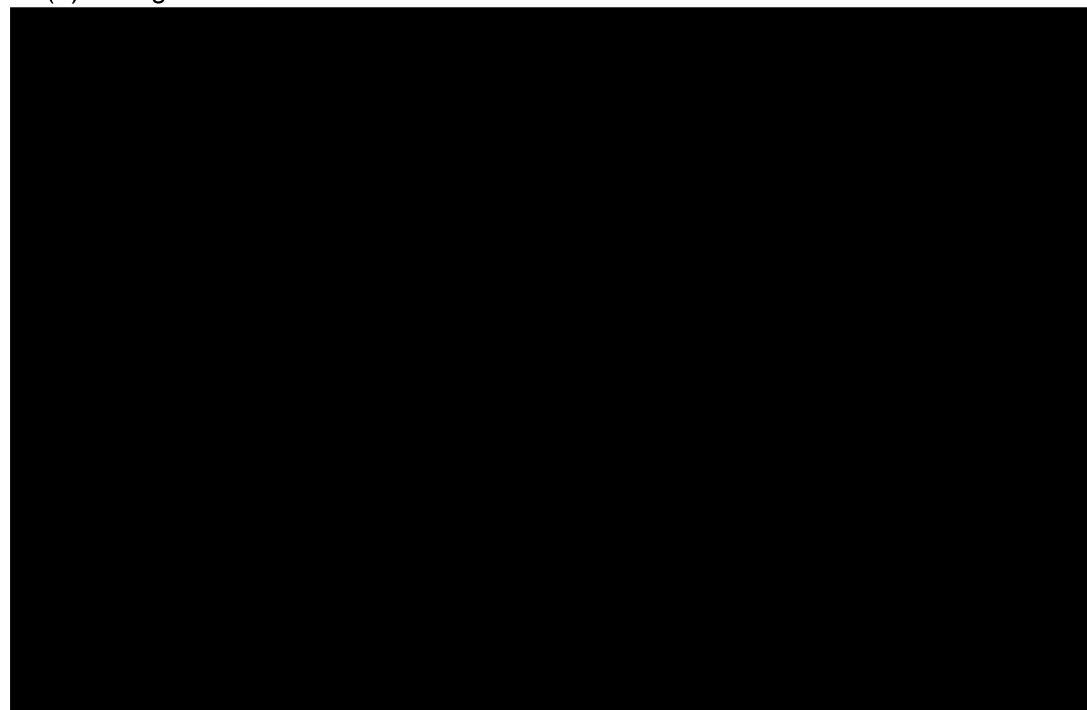
表 8.5-7 橋脚・基礎工概略設計結果一覧

(a) Bridge 1

A large rectangular area that has been completely redacted with a solid black fill, obscuring the table content for Bridge 1.

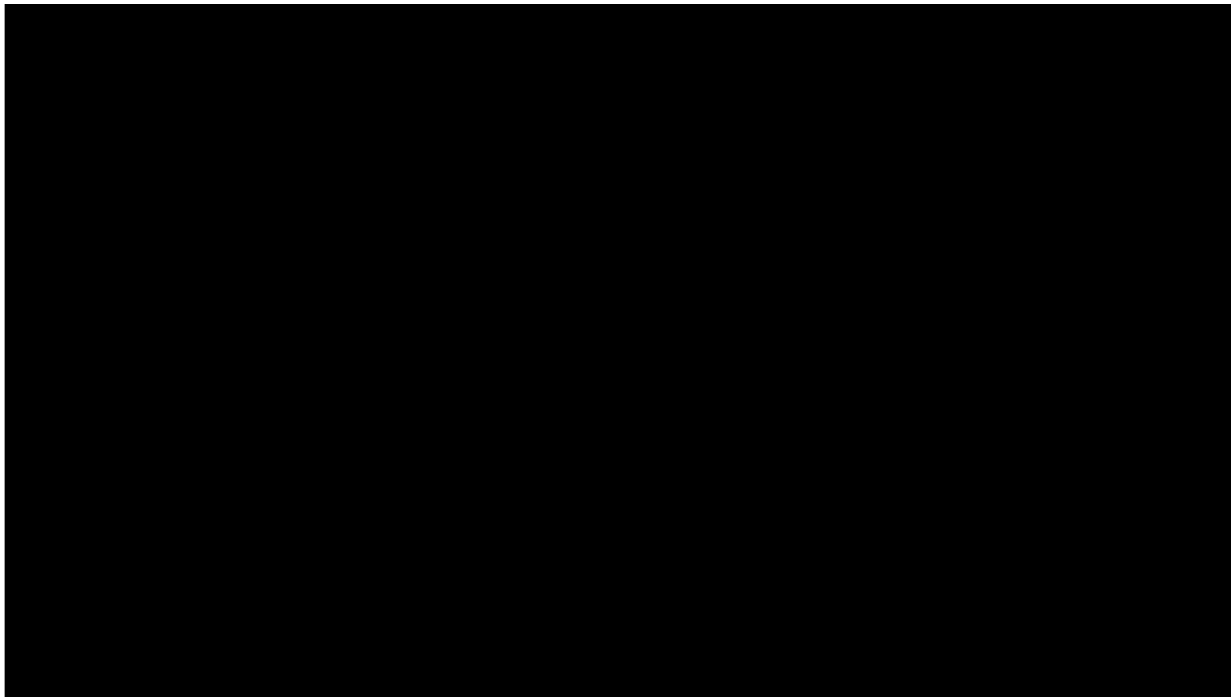
出典: JICA 調査団

(b) Bridge 2 (South Bound)

A large rectangular area that has been completely redacted with a solid black fill, obscuring the table content for Bridge 2.

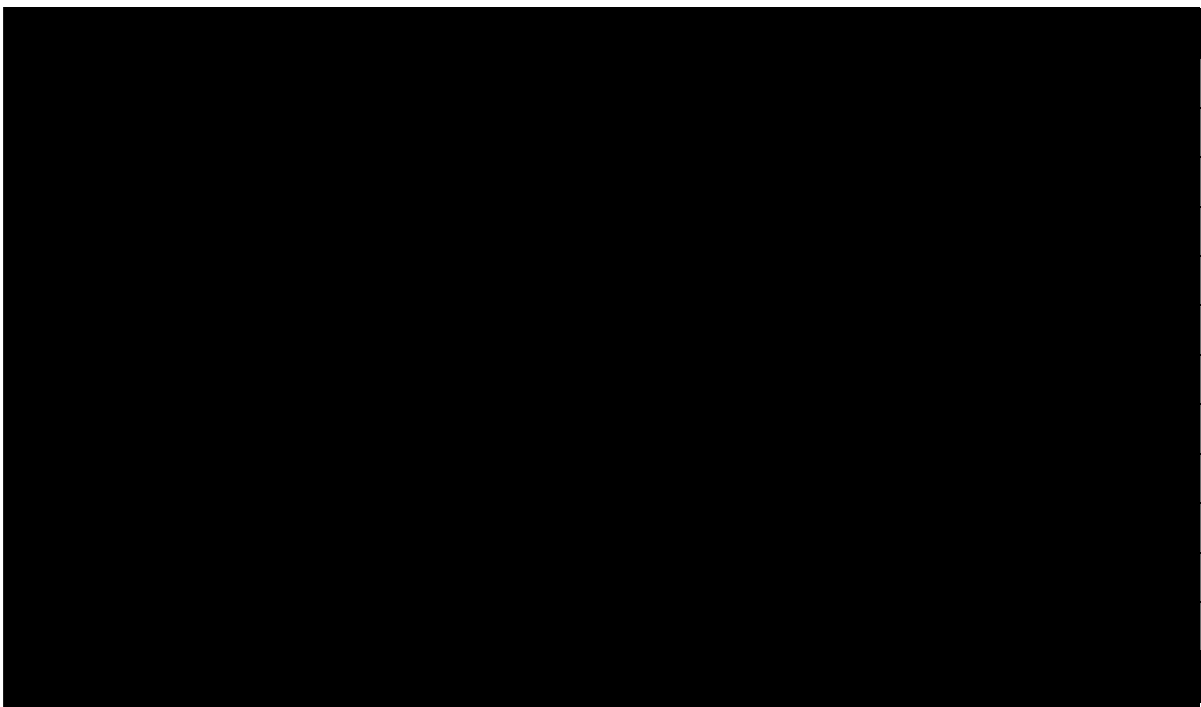
出典: JICA 調査団

(c) Bridge 2 (North Bound)



出典: JICA 調査団

(d) Bridge 3 (South Bound)



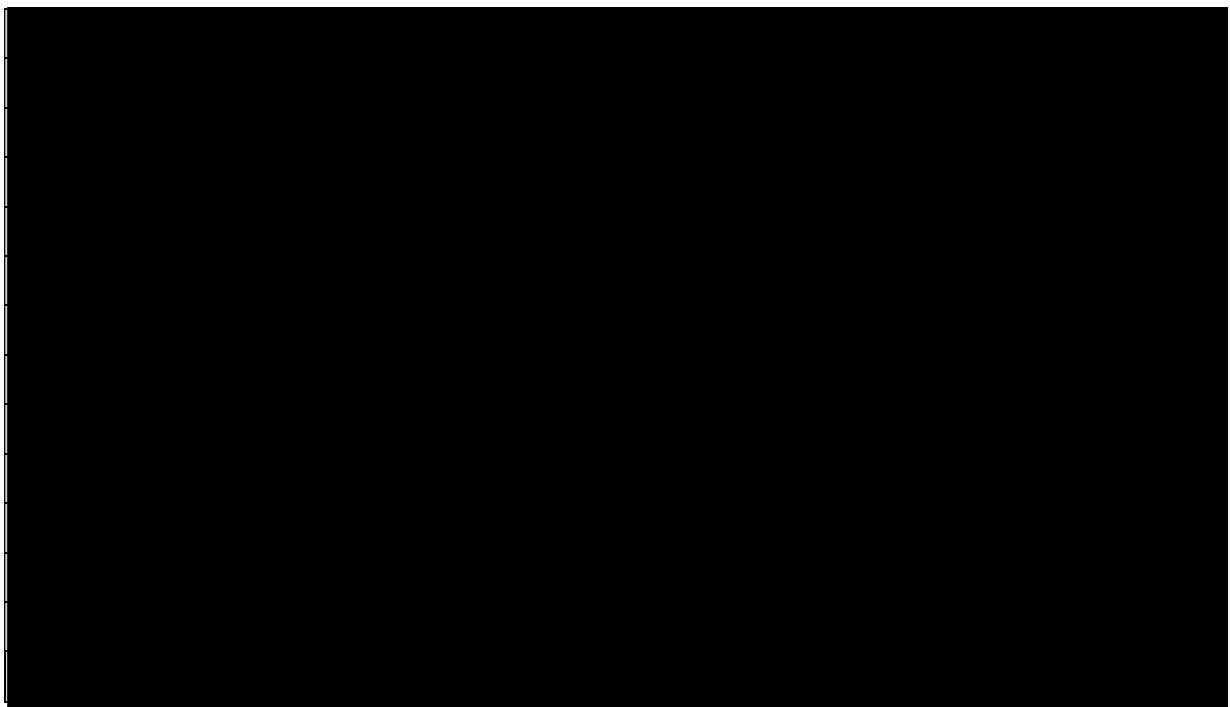
出典: JICA 調査団

(e) Bridge 3 (North Bound)



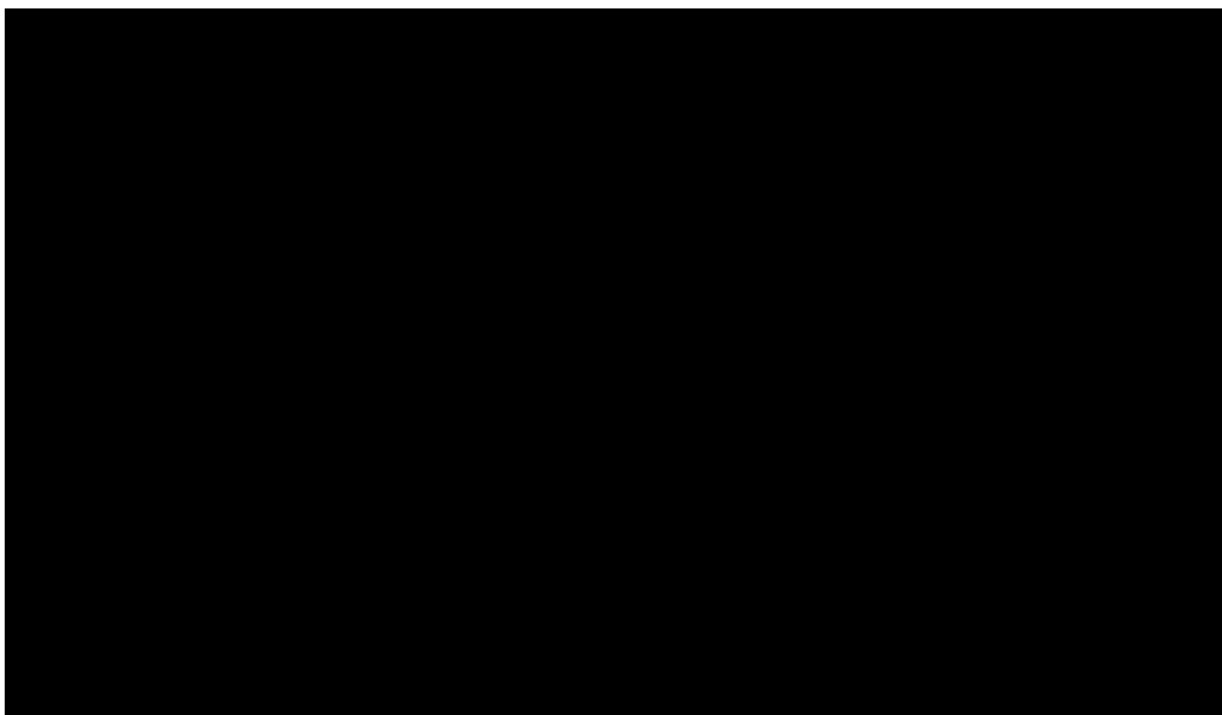
出典: JICA 調査団

(f) Bridge 4 (South Bound)



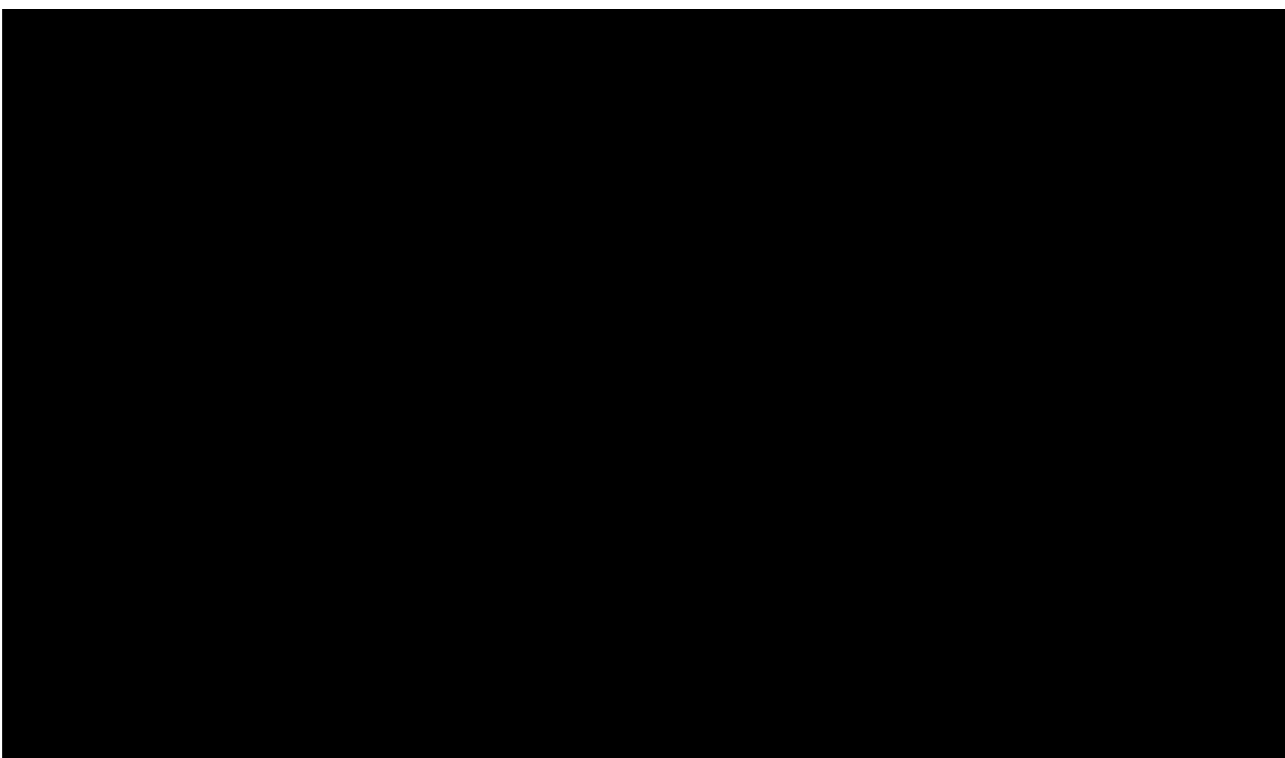
出典: JICA 調査団

(g) Bridge 4 (North Bound)



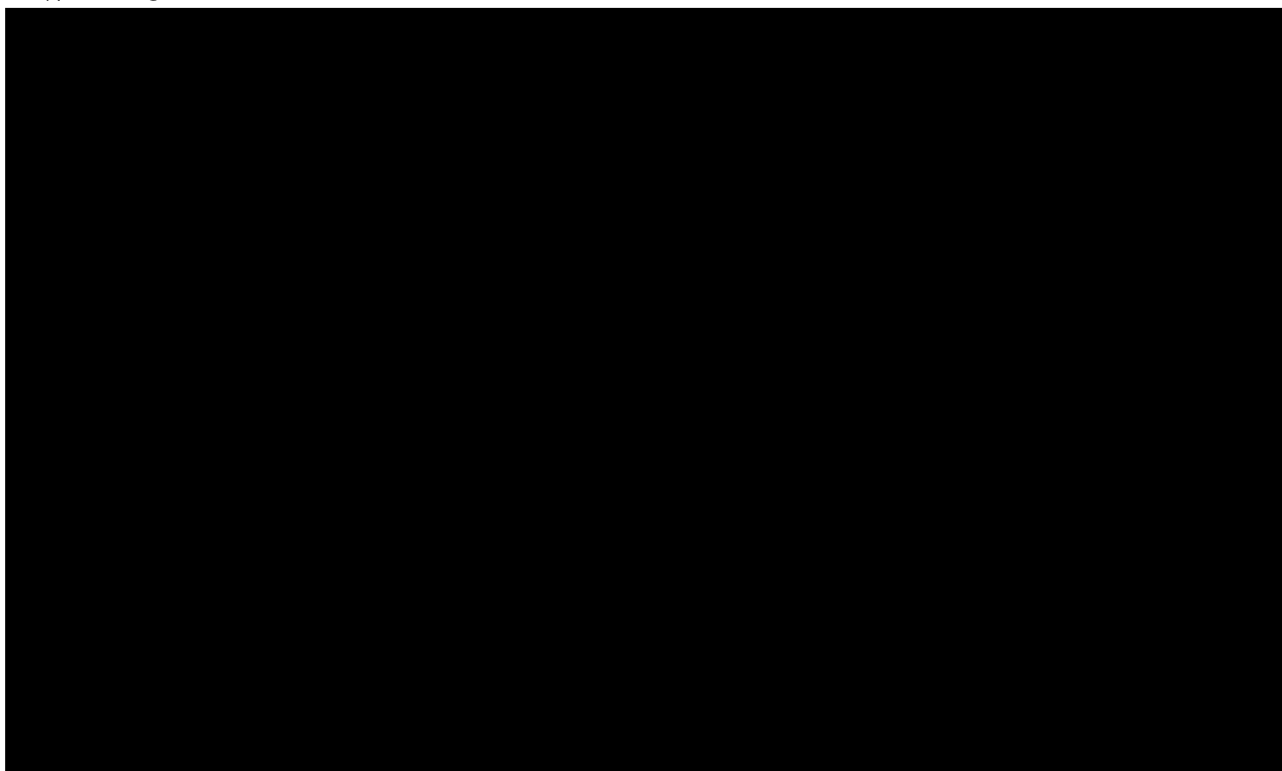
出典: JICA 調査団

(h) Bridge 5 (South Bound)



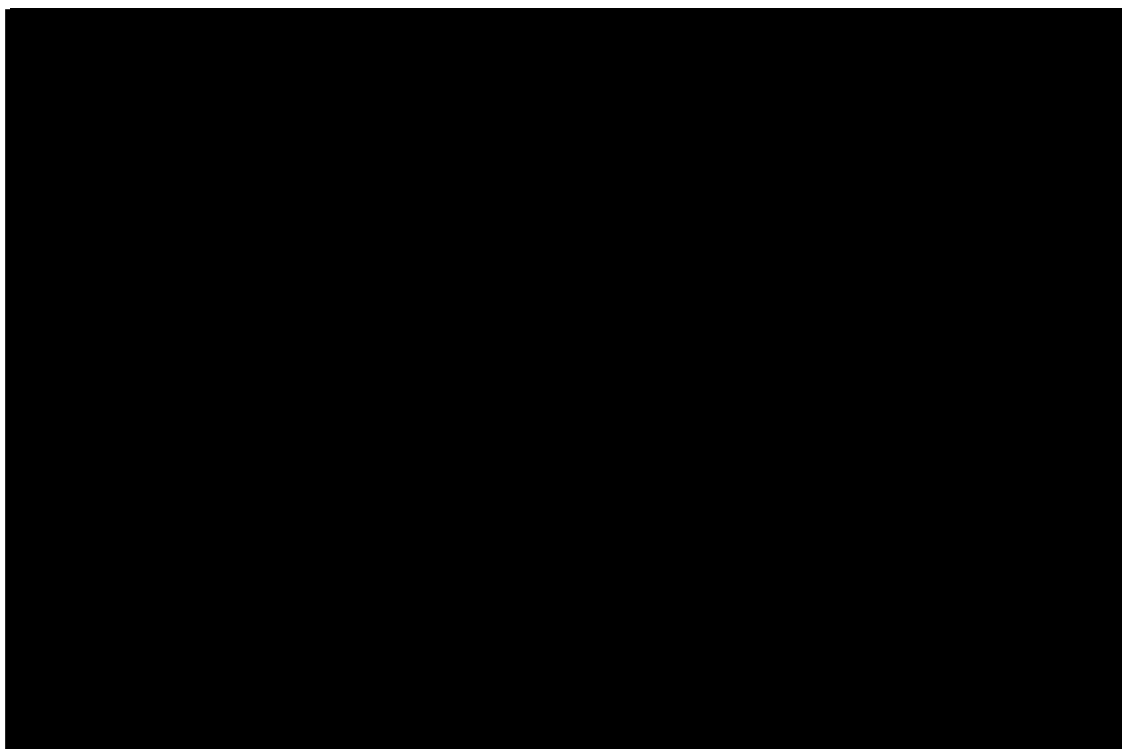
出典: JICA 調査団

(i) Bridge 5 (North Bound)



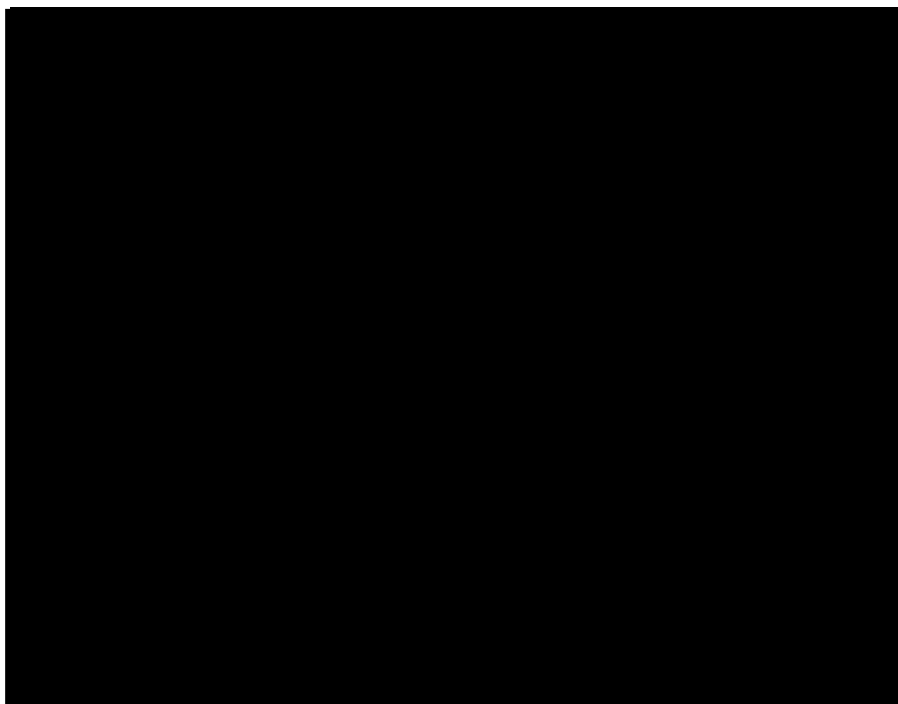
出典: JICA 調査団

(j) Bridge 7



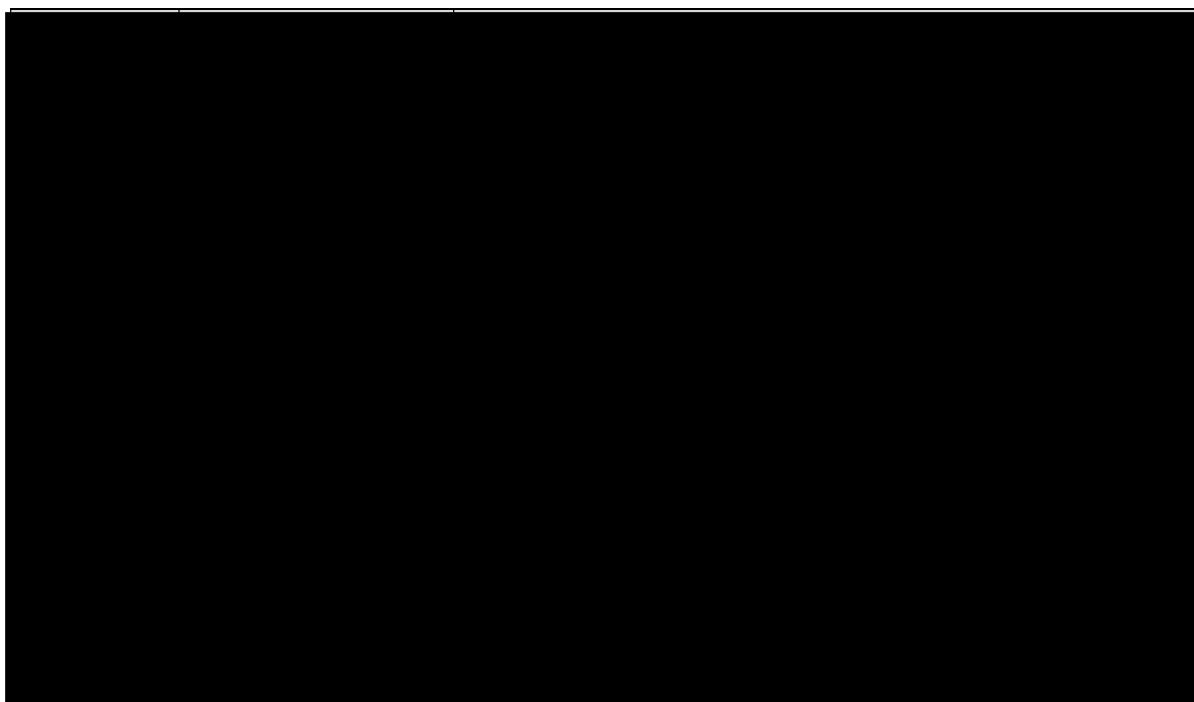
出典: JICA 調査団

(k) Bridge 8 (South Bound)



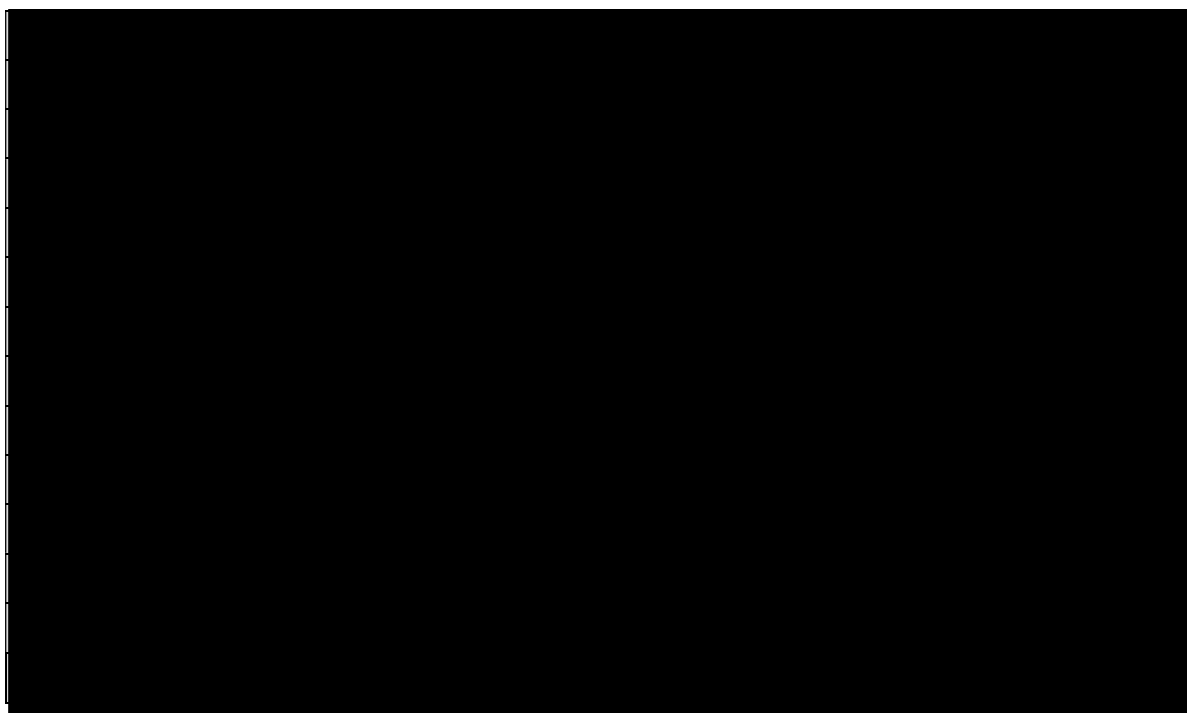
出典: JICA 調査団

(l) Bridge 8 (North Bound)



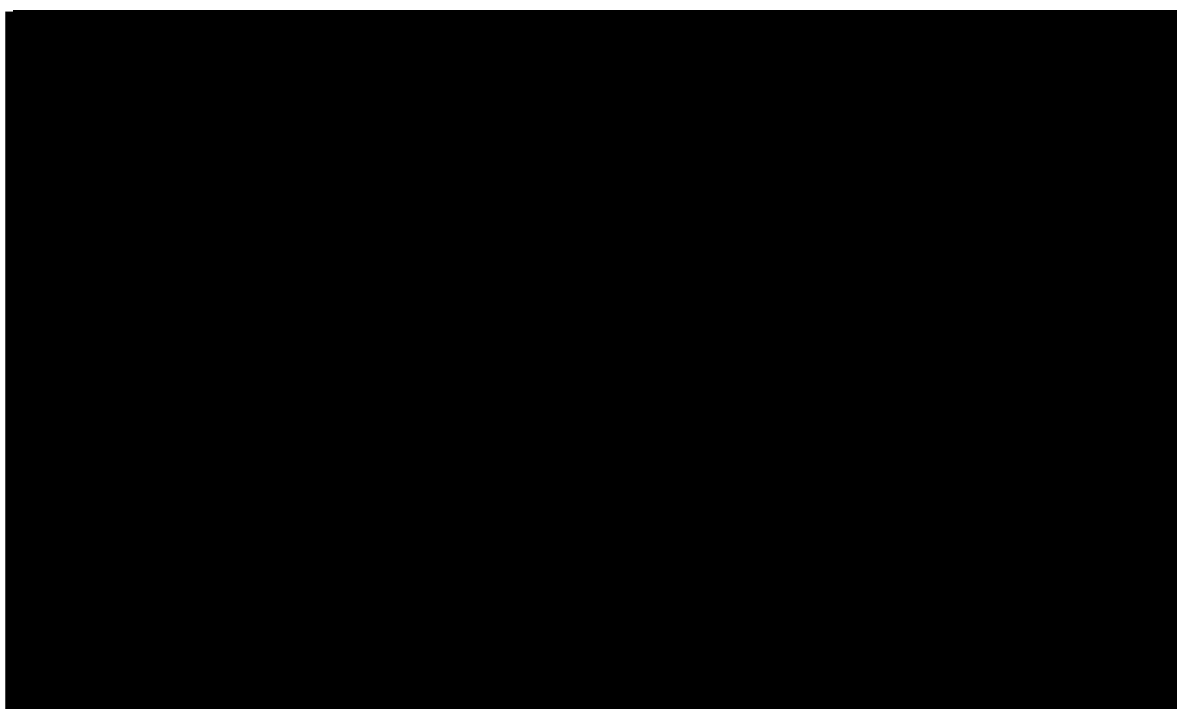
出典: JICA 調査団

(m) Bridge 9 (South Bound)



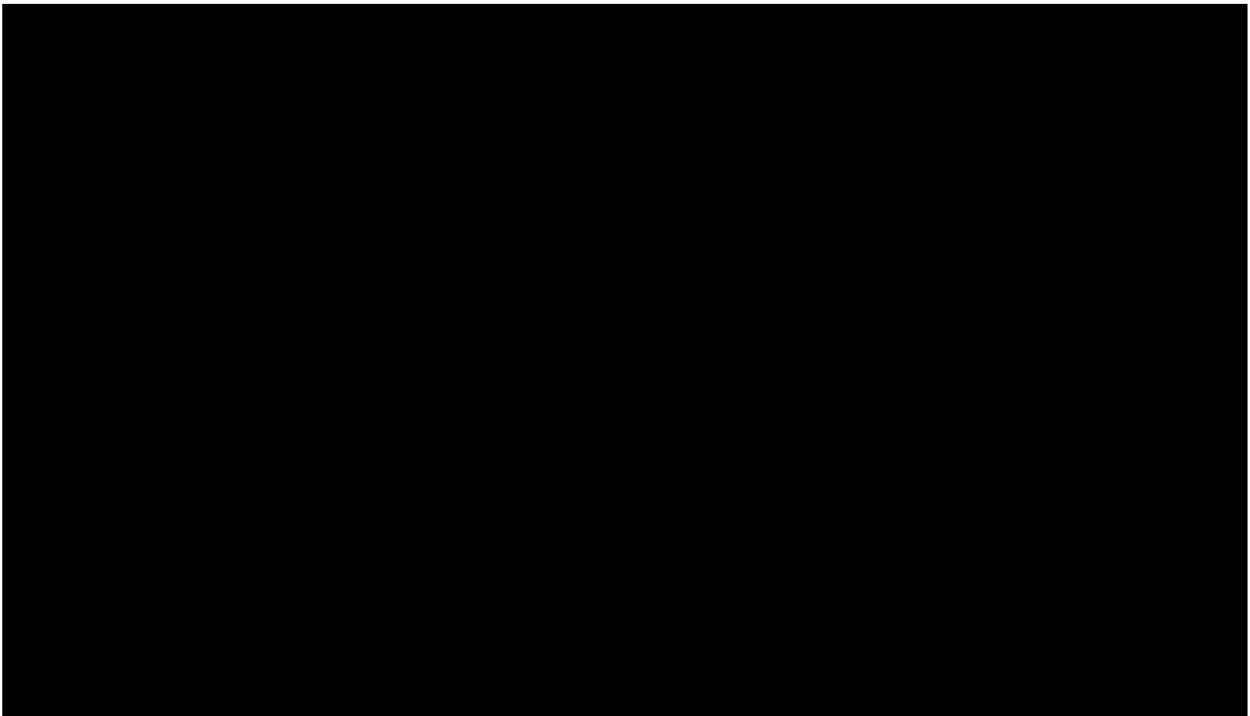
出典: JICA 調査団

(n) Bridge 9 (North Bound)



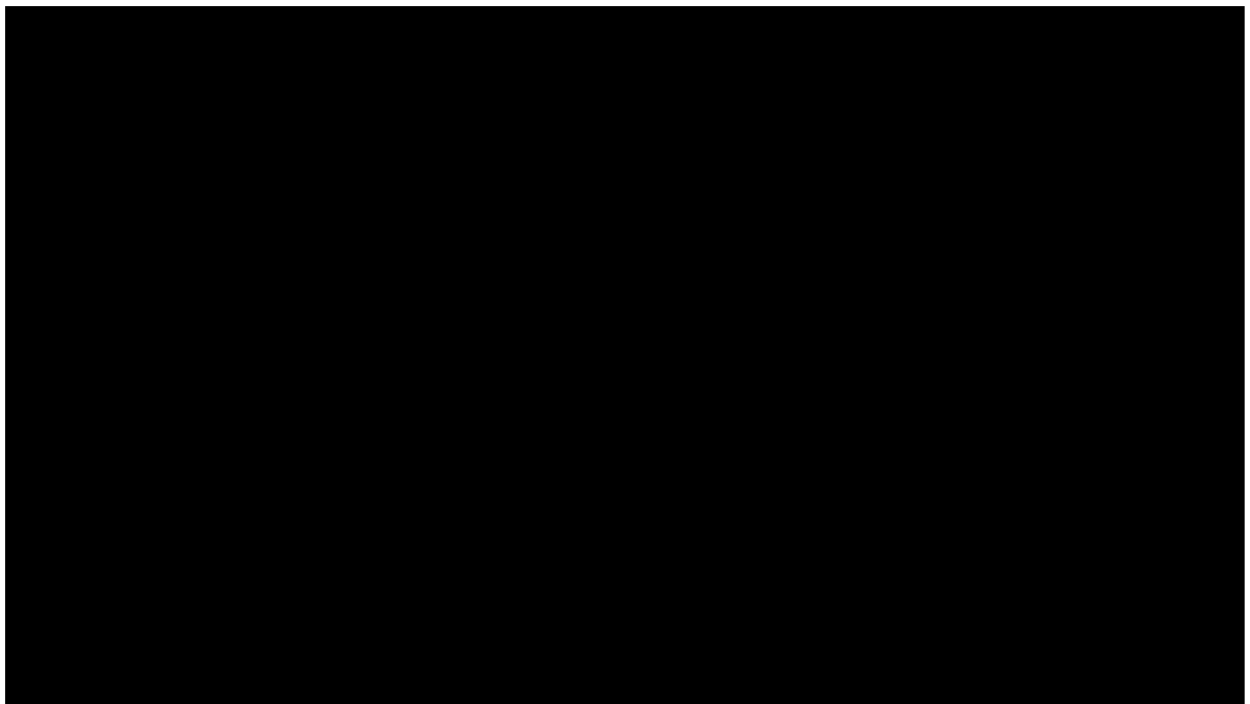
出典: JICA 調査団

(o) Bridge 10 (South Bound)



出典: JICA 調査団

(p) Bridge 10 (North Bound)



出典: JICA 調査団

8.6 トンネル設計

8.6.1 適用基準

トンネルの設計基準については、道路幅やトンネル内空の建築限界はフィリピンの道路局の基準を適用し、トンネル構造物の設計は日本の基準を適用する。本トンネル概略設計に適用する基準を下表に示す。

表 8.6-1 トンネル設計適用基準

No.	設計基準	発行年
1	Design Guidelines, Criteria & Standards Volume 4, HIGHWAY DESIGN	2015
2	Design Guidelines, Criteria & Standards Volume 5, BRIDGE DESIGN	2015
3	トンネル標準示方書山岳工法編（土木学会）	2016
4	設計要領第三集 トンネル保全編・トンネル建設編 (NEXCO)	2019
5	道路トンネル技術基準(構造編)・同解説（日本道路協会）	2003

出典: JICA 調査団

8.6.2 設計条件

本事業のトンネルにおける設計条件は、次に示す通りである。

(1) 道路規格および設計速度

- 道路規格 EXPRESSWAY, MOUNTAINOUS (DPWH 基準)
- 設計速度 $V = 60\text{km/h}$
- 一方通行、片側 2 車線 x 上下線 = 4 車線

(2) 計画交通量

- 計画交通量 11,614 台/日（2040 年）、大型車混入率 35.8 %
- 計画交通量 14,404 台/日（2050 年）、大型車混入率 28.0 %

(3) トンネル位置、平面線形、縦断線形およびトンネル内の横断勾配

本事業では、南トンネルと北トンネルの 2 箇所トンネルが計画される。

- 平面線形: $R = \infty$
- 横断勾配: +2.0%（監視員通路（右）下がり片勾配）
- トンネル位置、縦断勾配、トンネル延長

下表に南トンネルと北トンネルの諸元を示した。

出典: JICA 調査団

出典: JICA 調査団

※平面、縦断および横断勾配は起点側からみた場合を示す。

(4) 幅員構成および建築限界

本事業のトンネルにおける幅員構成および非常用施設配置について、下表に示した。

The image consists of a single, uniform black rectangle that fills the entire frame. There are no discernible features, patterns, or variations in color or texture.

出典: JICA 調査団

Technical drawing of a bridge cross-section. The drawing shows a central span of 7000 units, flanked by two side spans of 3500 units each. The total width of the bridge deck is 14000 units. The bridge has a 2.0% slope. The central span is supported by a pier with a width of 110 units. The side spans are supported by abutments with a width of 750 units each. The bridge deck is composed of concrete pavement and aggregate subbase. The drawing also shows the bridge's elevation, with a total height of 5000 units. The bridge is labeled "TUNNEL C C ROAD" at the top.

図 8.6-1 トンネル内の幅員構成および建築限界

- トンネル内総幅員 $W=0.75+3.50+3.50+0.75=8.50\text{m}$

(1) トンネル間の距離

- トンネル線形は直線で計画する。併設する 2 本のトンネル間の距離は $1.5D$ ($D=11.4\text{m}$ ；計画中のトンネルの外径) とし、これにより、トンネル中心線間の距離は $2.5 \times 11.4 = 28.5 \approx 30\text{m}$ とした。

- 地盤を完全な弾性体とみなした場合、2つの中心間の距離がトンネル外幅の2倍以上であれ

ば、トンネルは互いに影響を及ぼさない。

- 軟弱地盤の場合は、トンネル外幅の 5 倍以上とする。
- 一般的な地盤の場合は、トンネル外幅の 3 倍以上となる。

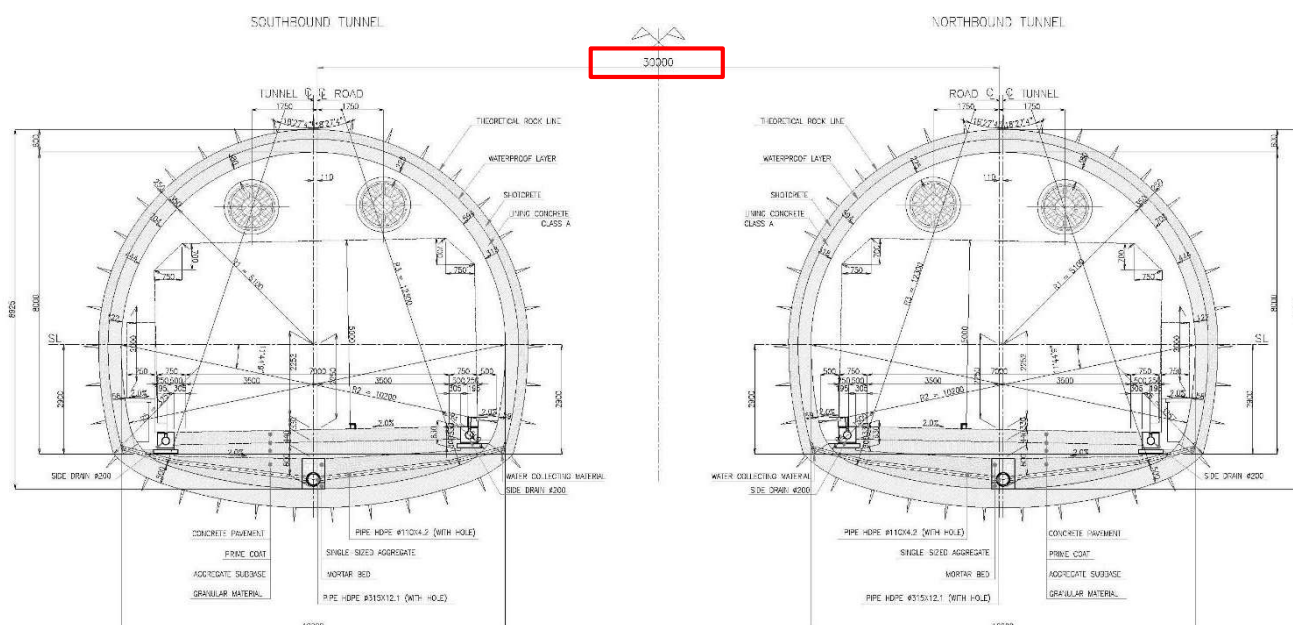
また、近接影響領域を図 8.6-2 示す。

当トンネル区間の地質は岩盤であり、完全な弾性体ではないため、2 つのトンネル間の距離を 1.5D とし、2 つのトンネル中心線間の距離は 2.5D とした。



出典: トンネル標準示方書山岳工法編

図 8.6-2 トンネルの近接度の区分例

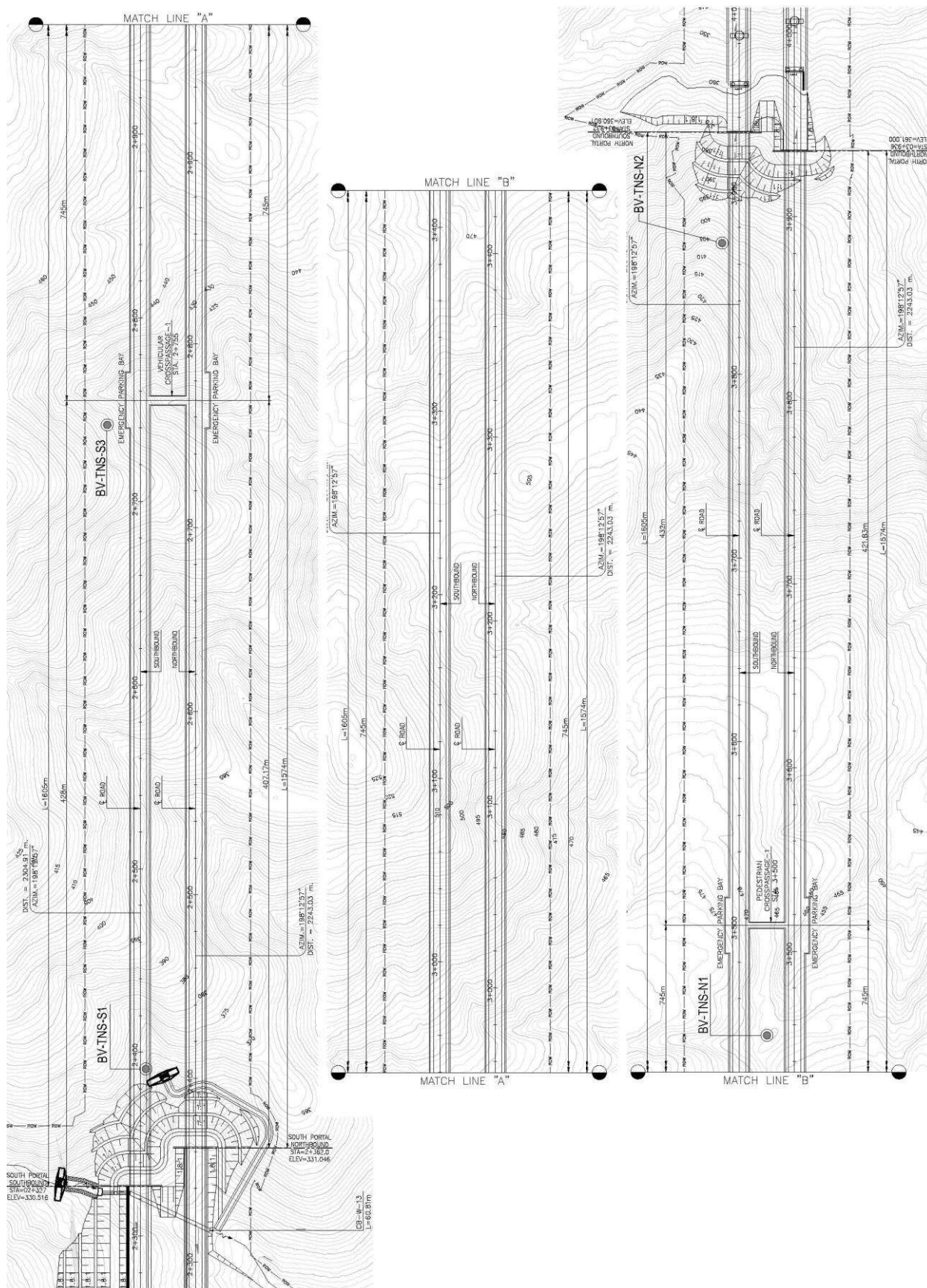


出典: JICA 調査団

図 8.6-3 トンネル中心間の距離

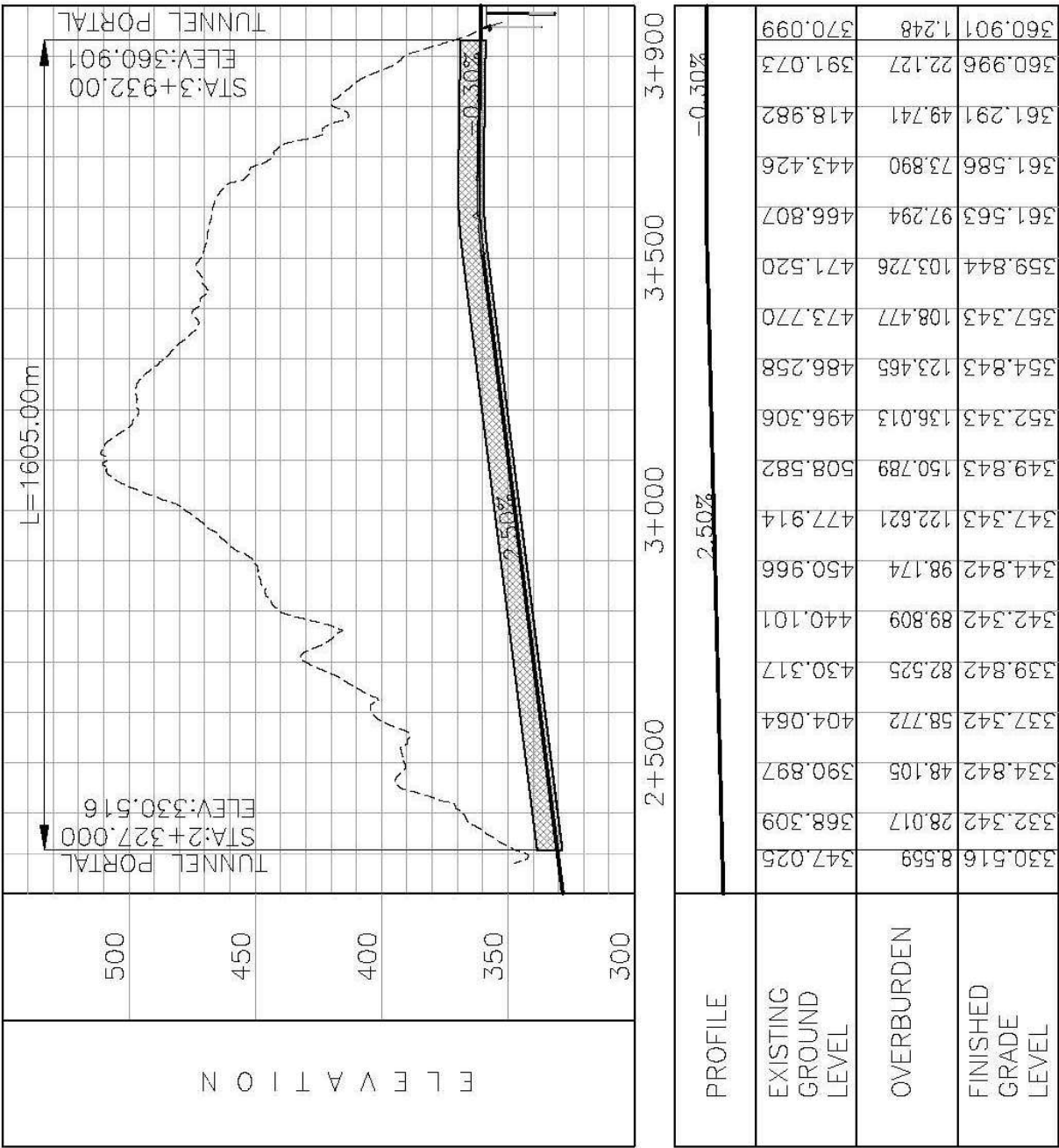
(2) トンネル平面図・縦断図

本事業のトンネルの平面計画・縦断計画を次頁以降に示した。



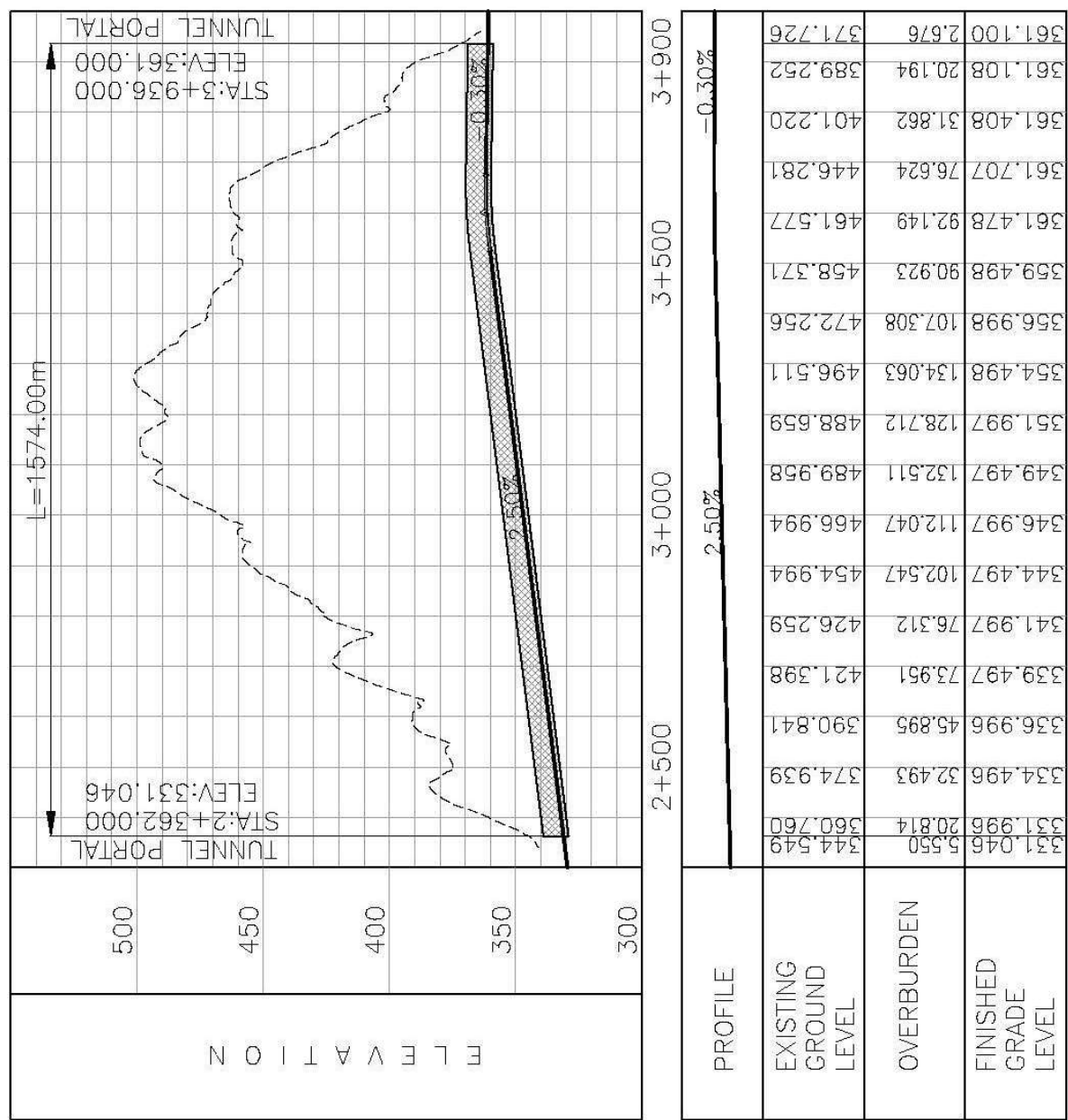
出典: JICA 調査団

図 8.6-4 南トンネルの平面計画



出典: JICA 調査団

図 8.6-5 南トンネル（南行き）の縦断計画

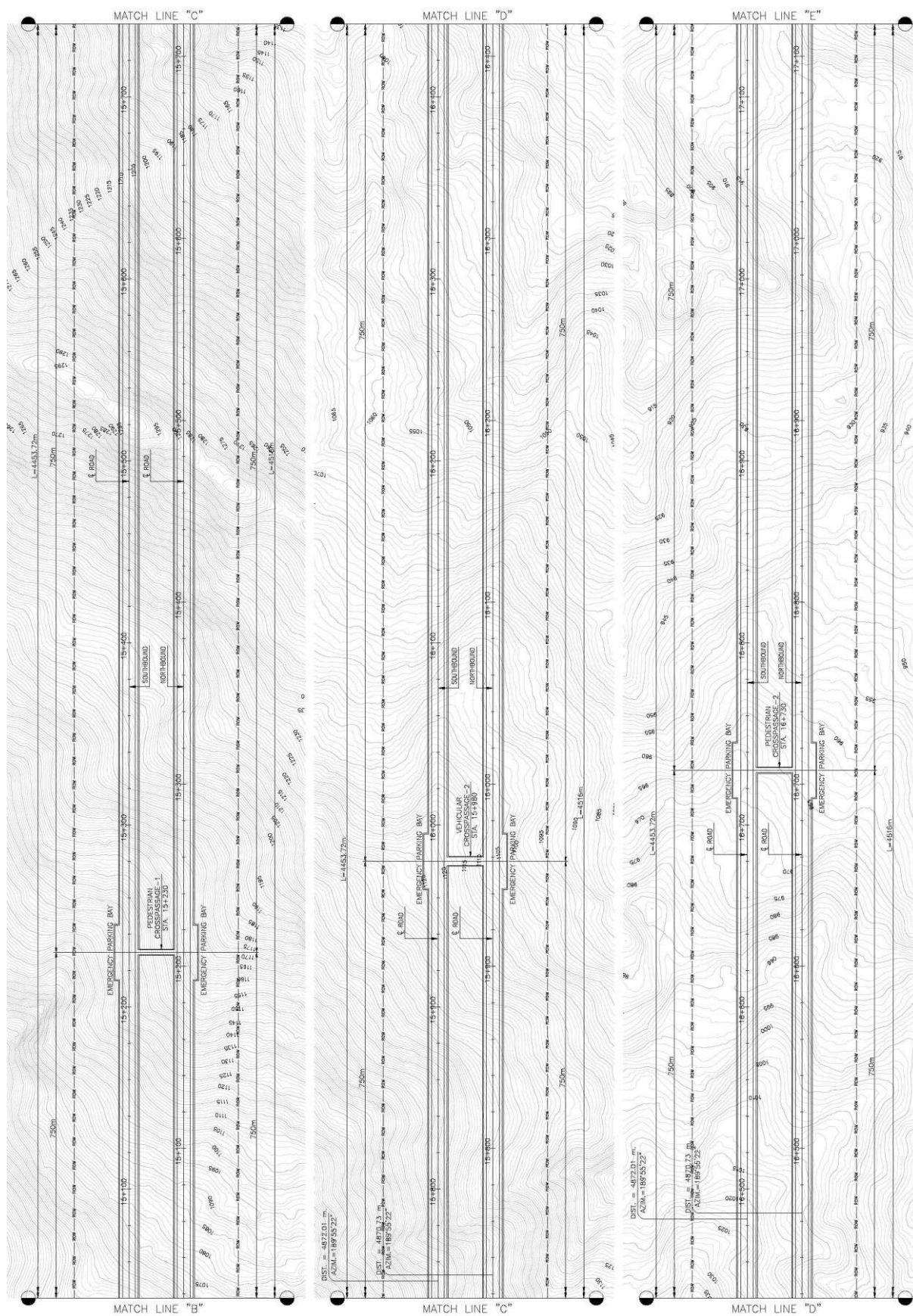


出典: JICA 調査団

図 8.6-6 南トンネル（北行き）の縦断計画

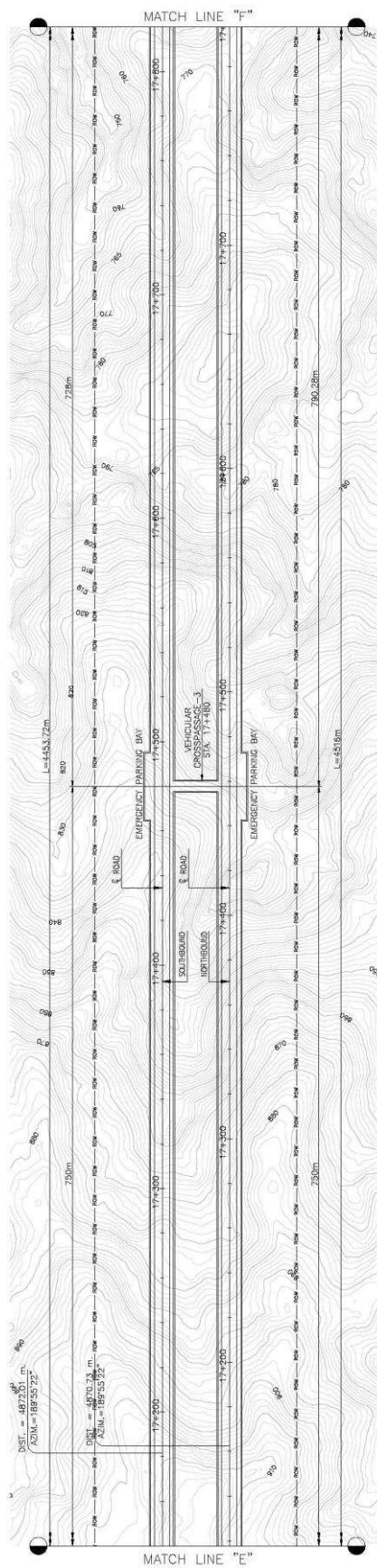


図 8.6-7 北トンネルの平面計画-1



出典: JICA 調査団

図 8.6-8 北トンネルの平面計画-2



出典: JICA 調査団

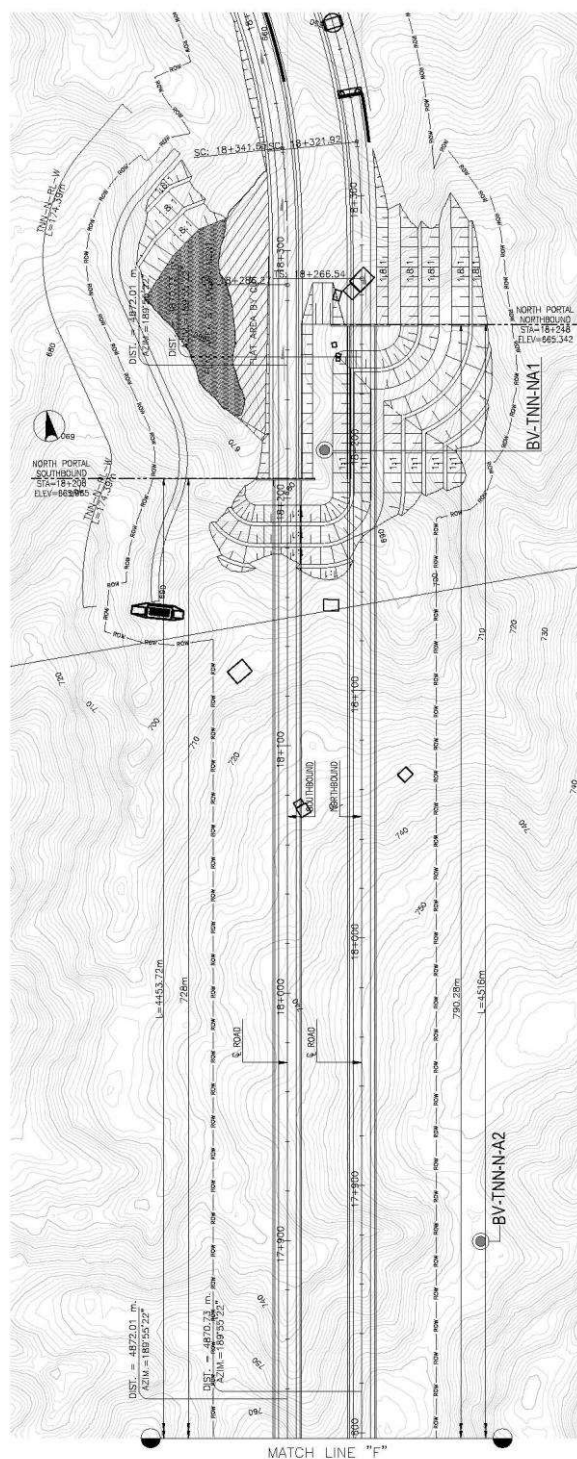
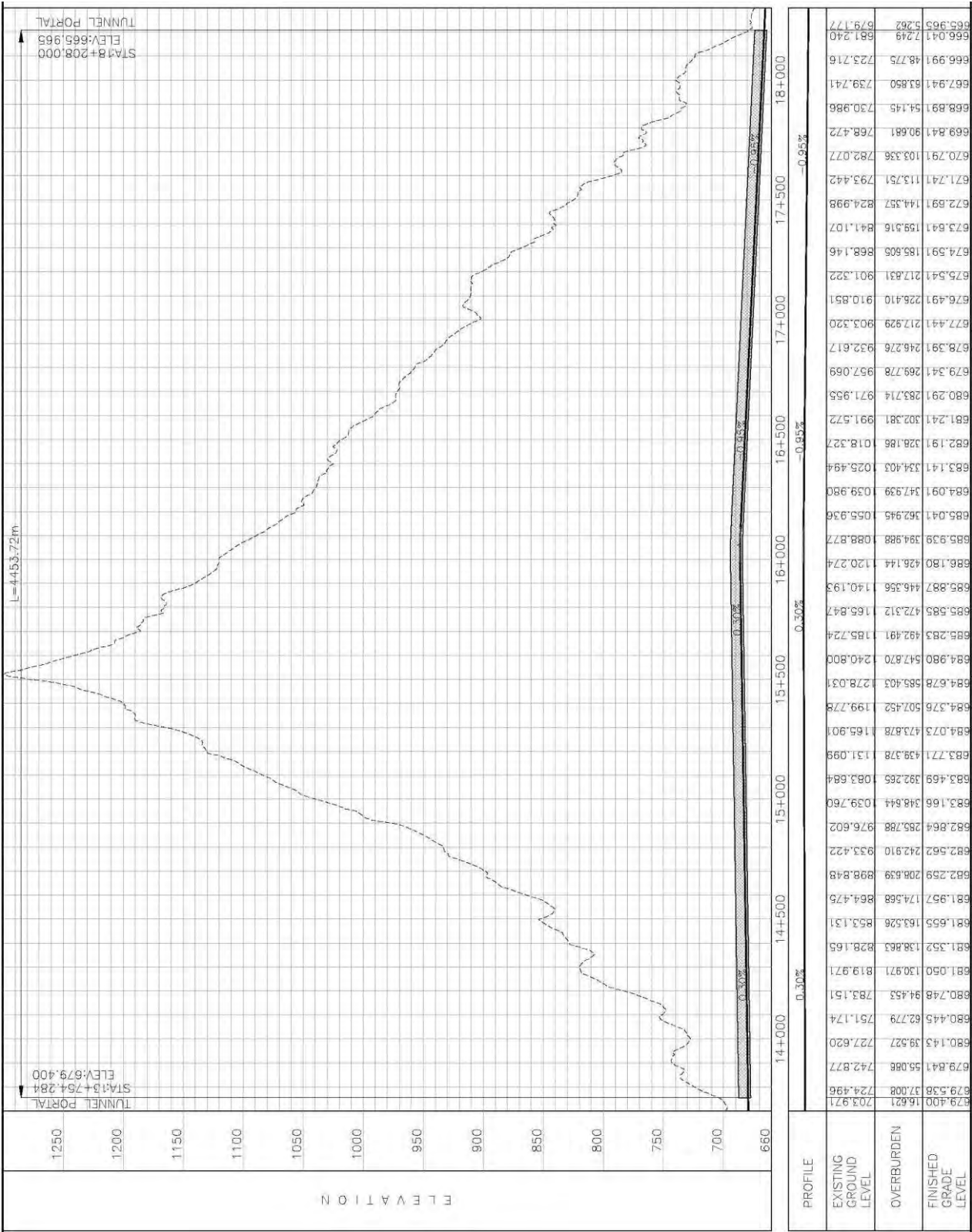
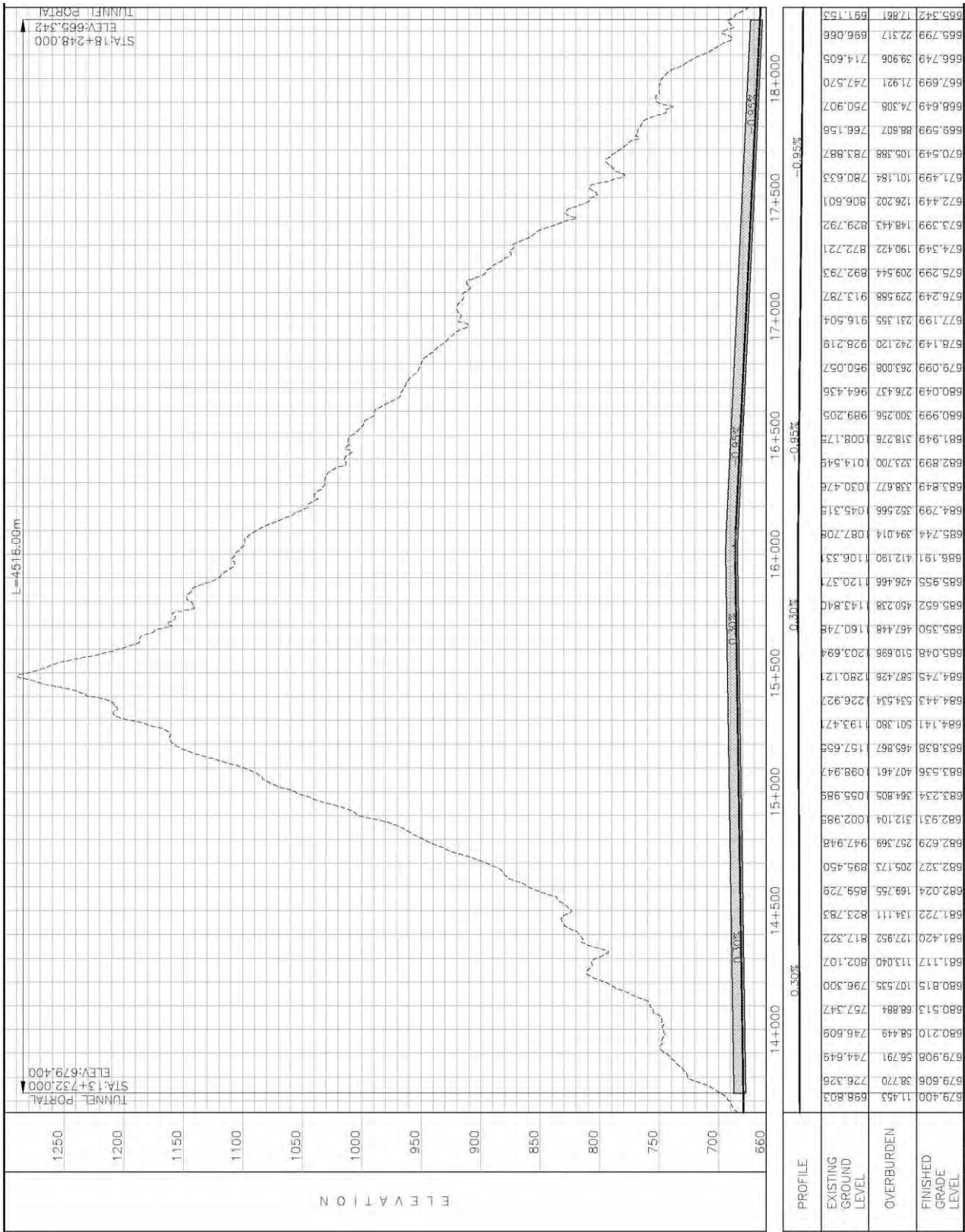


図 8.6-9 北トンネルの平面計画-3



出典: JICA 調査団

図 8.6-10 北トンネル（南行き）の縦断計画



出典: JICA 調査団

図 8.6-11 北トンネル（北行き）の縦断計画

8.6.4 トンネル内空の検討

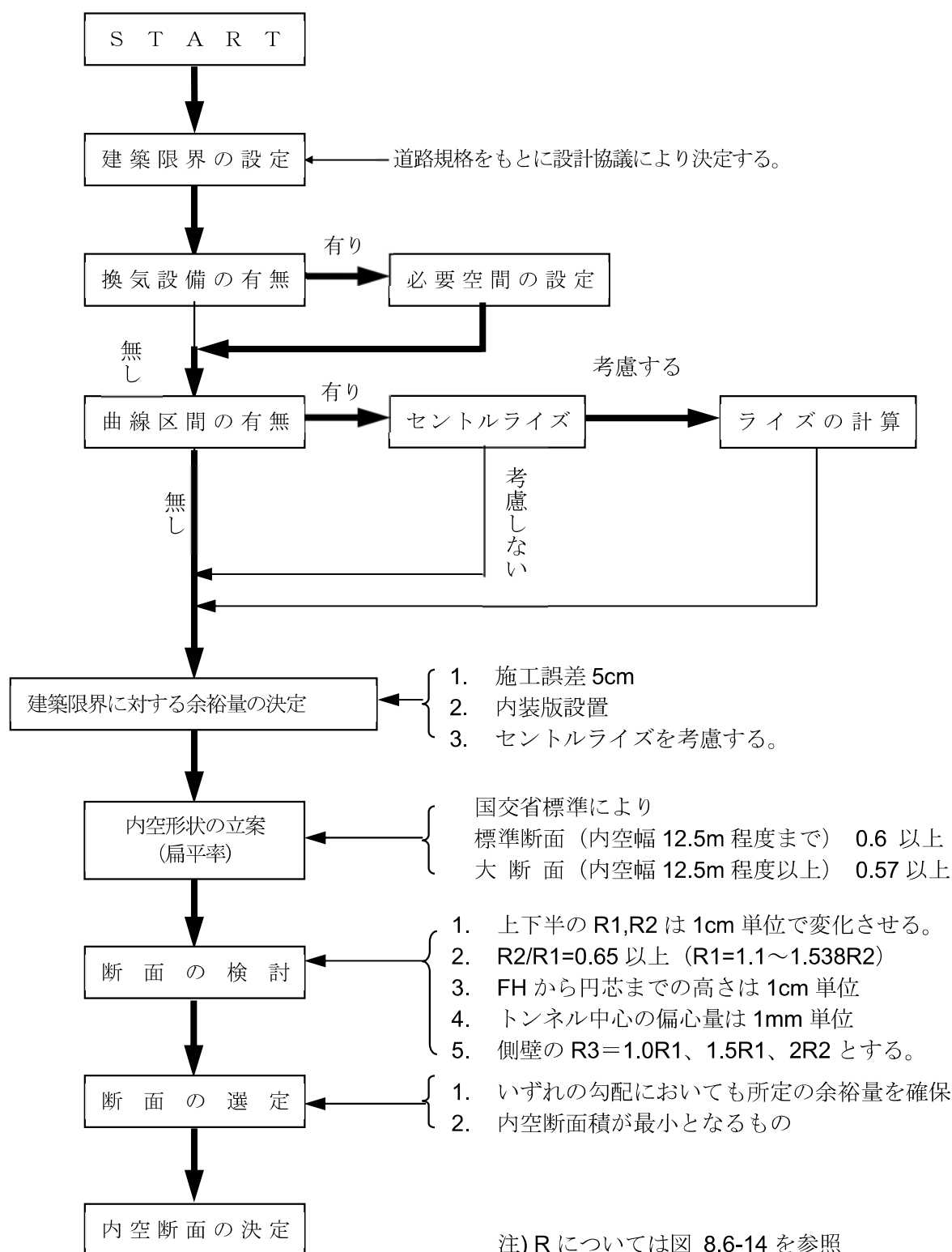
(1) 内空断面一般

トンネルの内空断面は、道路規格により定まる道路幅員並びに建築限界の他に、トンネルの所要附属施設の設置空間も考慮して定めなければならない。

一般の道路トンネルの場合、内空断面を定めるに当たっての検討項目は次のとおりである。

- 1) 道路規格および建築限界(ISO 規格背高海上コンテナの考慮)
- 2) 将来の舗装のオーバーレイ等に対する余裕のとり方
- 3) 換気設備の有無
- 4) 照明、防災等の諸機器の設置に必要な空間
- 5) 内装工設置の有無
- 6) トンネル内の路面の横断勾配
 - ・ 建築限界は路面勾配に支配されるので、内空断面を定める場合には重要な要素となる。
- 7) 施工誤差等に対する余裕のとり方
 - ・ 施工誤差に対する余裕は通常 **5cm** が見込まれている。
 - ・ 平面線形に曲線区間がある場合には、セントルを使用して覆工コンクリートを施工する際の移程量としての余裕も考慮する。
- 8) その他
 - ・ 水道管、電話線等の埋設物の計画がある場合には、これらの設置空間を確保する。

トンネル内空断面の決定手順を次ページに示した。



出典: JICA 調査団

図 8.6-12 内空断面決定フロー

(2) 内空断面の設計条件

1) トンネル幅員構成および建築限界

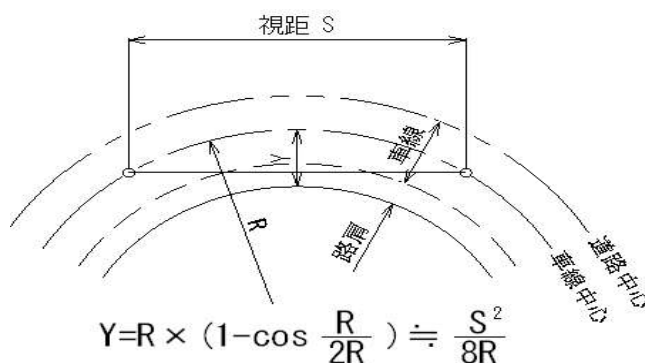
トンネルの幅員構成および建築限界は、図 8.6-1 を参照。

- a) トンネル内の舗装は、全面的な打替えが困難な為、舗装オーバーレイの為の余裕として建築限界の高さに車道で 200mm、路肩端で 50mm を余裕として見込む。
- b) 監視員通路（右側 W=0.75m,H=0.90m）、監査廊（左側 W=0.50,H=0.25m）
- c) 標準横断勾配

車 道	±2.0% 片勾配
監視員通路	2.0% 片勾配
- d) ISO 規格背高海上コンテナ通行のための余裕
ISO 規格背高海上コンテナの通行を考慮し、縁石前面の路面から壁面までの垂直高さ 5.0m 以上、監視員通路側はその前面で確保する。

2) 内空断面計画で考慮すべき項目

- a) 施工誤差
設計内空断面内には施工上の誤差を見込み、車道部および歩道部の建築限界に 5cm の余裕を確保するものとする。
- b) 視距確保のための拡幅
曲線区間を有するトンネルにおいては、道路構造令に従い、以下により算出した視距確保のための拡幅幅が、車道幅員の 1/2 に路肩幅を加算した値より大きな場合には、その差を拡幅幅として車線内側に確保するものとする。



ここに、
 Y : 視距確保のための拡幅幅 (m)
 R : 車線中心半径 (m)
 S : 視距 (m)

- c) 内装工
本トンネルにおいては、視認性向上のため内装工（側壁への塗装またはタイル貼り）を設置することとし、内装工の設置に対する余裕量を 30mm 確保する。
- d) 舗装工
本トンネルの舗装はコンクリート舗装とし、ダバオバイパスを参照し、コンクリート厚 33cm、路盤厚 30cm とする。
- e) 換気ファンに対する余裕
本トンネルでは換気検討の結果、ジェットファンが必要となったことから、ジェット

ファンへの余裕量を 250mm 確保する。

3) 占用物件を収容するための余裕

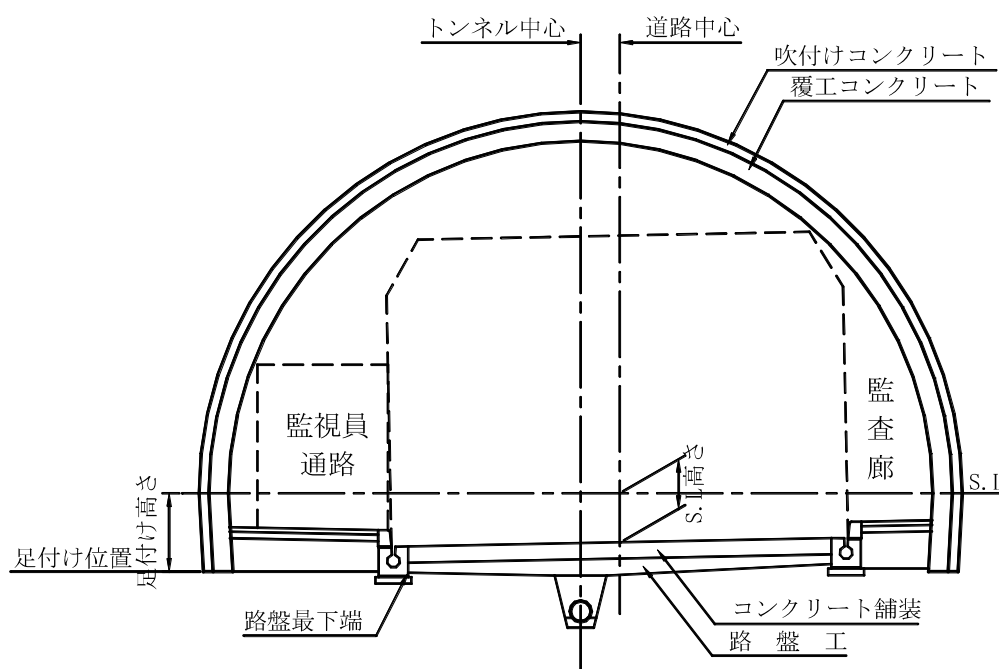
トンネル機能に直接関係しない占用物件をトンネル内に収容するための余裕は、通常、監視員通路、あるいは歩道の下に設けることが一般的であるが、止むを得ずトンネル内空断面内に収容する場合は、必要な余裕を見込むものとする。

当トンネルにおいては、今後、内空断面内に収容する必要のある特別な占用物件が明らかになった場合は、建築限界の外側に配置するよう検討することとする。

4) 覆工コンクリートの足付け位置

覆工コンクリートの足付け位置は、拌み勾配、片勾配にかかわらず、車道端部における左又は右の最小路盤厚を確保した路盤の最下端を水平に結んだ位置とする。

尚、S.L から足付け位置までの高さは、50mm 単位に切り捨て丸めるものとし、この高さはトンネル全区間に対し変えないものとする。



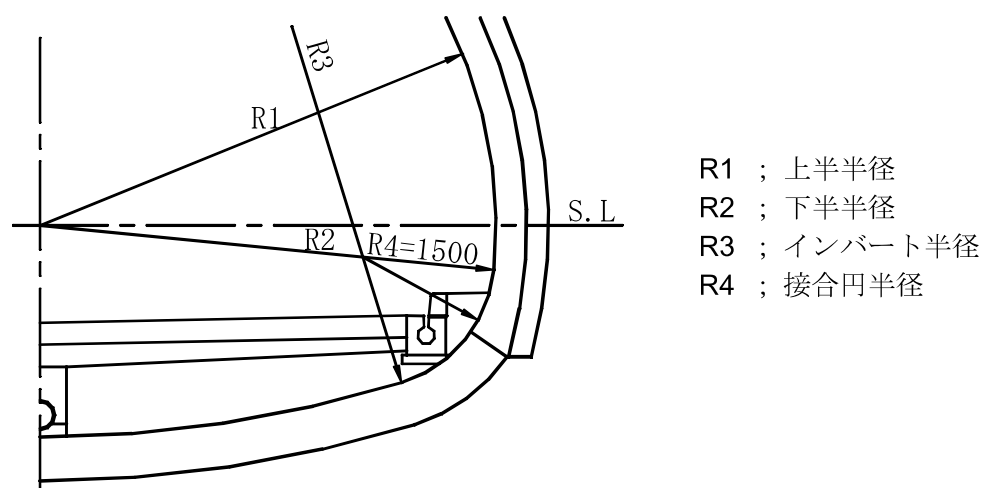
出典: JICA 調査団

図 8.6-13 覆工コンクリートの足付け位置

5) インバート

インバート半径は、中央排水工と側壁下端を通る円弧として設置し、1cm 単位に切り捨て丸める。ただし、路側排水工の設置に支障をきたす場合には、側壁下端に変えて路側排水工の端部を通る弧として設定する。

尚、インバートと側壁との接合円の半径 R4 は 1.5m を標準とし、最小でも 1.0m とする

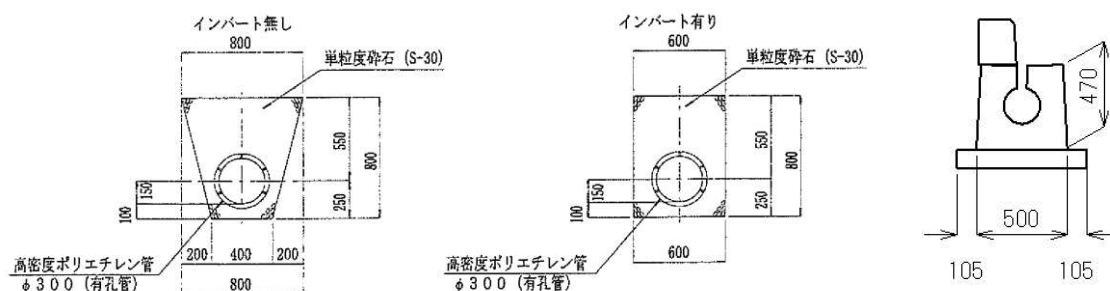


出典: JICA 調査団

図 8.6-14 インバートの設計（単芯円）

6) トンネル排水

各トンネル排水の形状を以下に示す。



中央排水工

路肩排水工

出典: JICA 調査団

(3) 内空断面の設計

上記の条件を基にトンネル内空断面を設計した。

内空断面は、図 8.6-15 に示すように、最低扁平率を維持しつつ、ケーススタディーの中から最小断面積になる内空寸法を決定した。

一般部と非常駐車帯部の内空断面をそれぞれインバート有と無しに区別して、図 8.6-16~図 8.6-18 のとおり設計した。

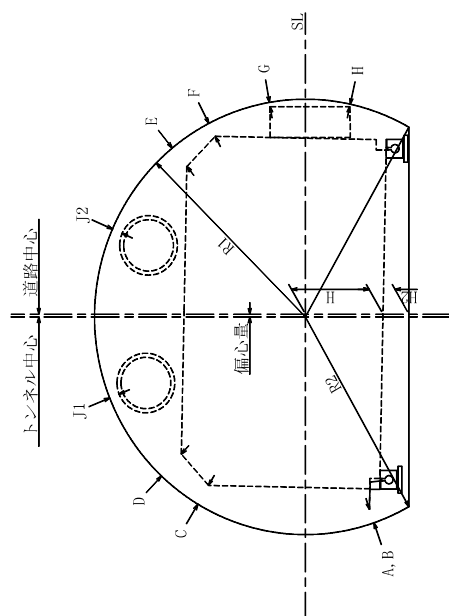
トンネル名称： ダルトンパスバイパストンネル

検討ケース： Case-1

建築限界座標 (計画高基準)

	片勾配-2.000%	
	X	Y
A	-4.7500	0.3400
B	-4.7500	0.3400
C	-4.1690	4.3840
D	-3.4050	5.0690
J1	-1.6750	5.9600
J2	1.6750	5.9600
E	3.5950	4.9290
F	4.3310	4.2140
G	5.0530	2.8360
H	5.0530	0.8360

余裕量 I 片勾配-2.000%



出典: JICA 調査団

図 8.6-15 最小トンネル内空断面の決定

最低偏平率を満たす最低断面積 (下半半径比率単位)

N0	R1 (m)	R2 (m)	H (m)	H2 (m)	偏心量 (m)	断面積 (㎡)	偏平率 (%)	R2/R1 比率	断面幅 (m)	余裕量 (m)	A	B	C	D	J1	J2	E	F	G	H
1	5.300	5.300	1.950	0.650	-0.066	70.534	74.528	1.000	10.600	I	0.347	0.347	0.529	0.731	0.254	0.265	0.580	0.354	0.105	0.061
2	5.300	5.300	2.000	0.600	-0.001	70.534	74.528	1.000	10.600	I	0.269	0.269	0.498	0.717	0.276	0.337	0.662	0.435	0.177	0.114
3	5.300	5.300	2.050	0.650	0.060	71.452	75.471	1.000	10.600	I	0.195	0.195	0.470	0.704	0.297	0.406	0.741	0.512	0.246	0.162
4	5.300	5.300	2.100	0.600	0.077	71.452	75.471	1.000	10.600	I	0.162	0.162	0.479	0.724	0.336	0.459	0.786	0.550	0.270	0.166
5	5.400	5.400	1.850	0.650	-0.079	71.806	73.148	1.000	10.800	I	0.491	0.491	0.589	0.771	0.266	0.268	0.606	0.396	0.174	0.169
6	5.200	7.800	2.100	0.600	0.025	69.697	75.961	1.500	10.400	I	0.218	0.218	0.424	0.664	0.257	0.339	0.645	0.403	0.118	0.068
7	5.200	7.800	2.150	0.650	0.083	70.637	76.923	1.500	10.400	I	0.150	0.150	0.397	0.652	0.279	0.408	0.722	0.477	0.183	0.117
8	5.200	7.800	2.200	0.600	0.099	70.637	76.923	1.500	10.400	I	0.122	0.122	0.406	0.671	0.318	0.460	0.765	0.513	0.205	0.124
9	5.300	8.000	1.950	0.650	-0.078	70.939	74.528	1.509	10.600	I	0.454	0.454	0.540	0.740	0.259	0.260	0.571	0.344	0.093	0.090
10	5.300	8.000	2.000	0.600	-0.024	70.939	74.528	1.509	10.600	I	0.391	0.391	0.518	0.734	0.285	0.327	0.644	0.415	0.155	0.136
11	5.100	10.200	2.250	0.650	0.110	69.629	78.431	2.000	10.200	I	0.059	0.059	0.318	0.594	0.258	0.410	0.704	0.445	0.122	0.058
12	5.200	10.400	2.100	0.600	0.012	69.917	75.961	2.000	10.400	I	0.284	0.284	0.436	0.673	0.263	0.334	0.635	0.391	0.106	0.081
13	5.200	10.400	2.150	0.650	0.069	70.883	76.923	2.000	10.400	I	0.219	0.219	0.409	0.663	0.285	0.402	0.711	0.465	0.169	0.132
14	5.200	10.400	2.200	0.600	0.112	70.883	76.923	2.000	10.400	I	0.168	0.168	0.394	0.661	0.312	0.465	0.775	0.525	0.218	0.168
15	5.300	10.600	1.950	0.650	-0.078	71.126	74.528	2.000	10.600	I	0.499	0.499	0.540	0.740	0.259	0.260	0.571	0.344	0.093	0.110

を採用

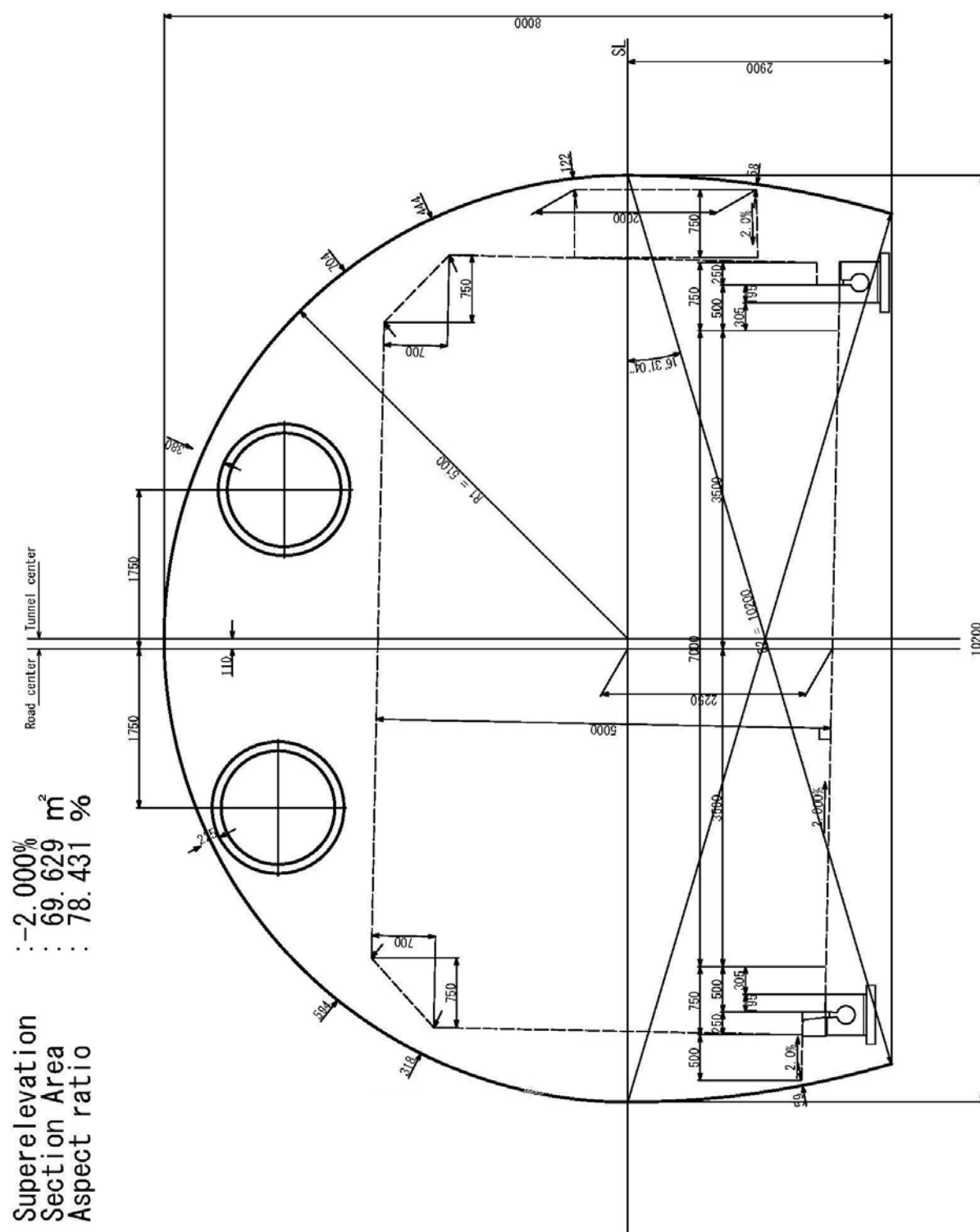
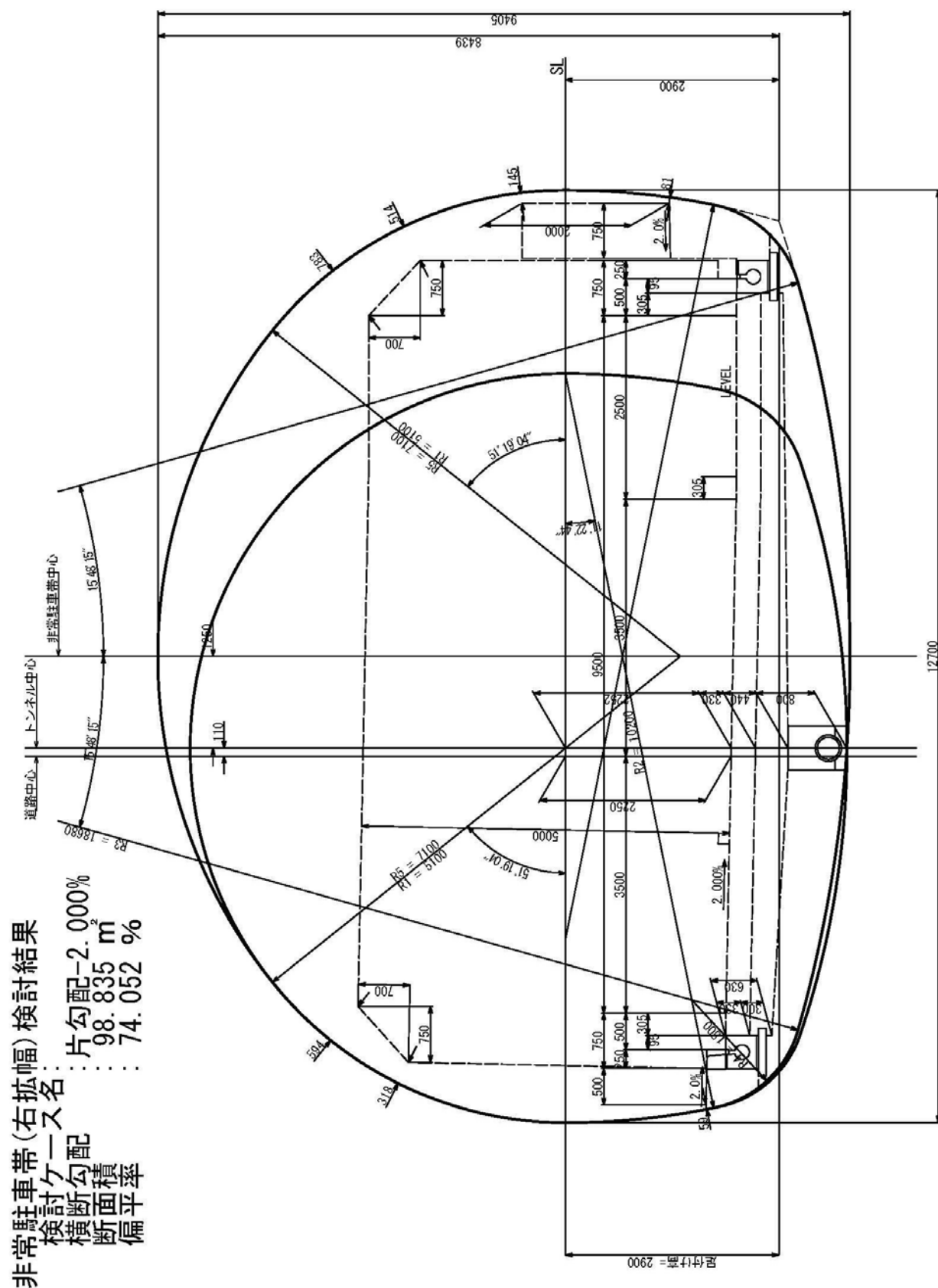


図 8.6-16 一般部インバート無しトンネル内空断面



図 8.6-17 一般部インバート有トンネル内空断面



8.6.5 地山分類

(1) 地山分類の基本

トンネル施工にあたっては、地山（岩盤）の工学的性質が大きな影響を与えることはいうまでもない。この地山の工学的性質については、生成の時代、地質構造、風化・変質の状態、地下水の影響等によって異なるものである。このような地山の諸性質を工学的に評価することは極めて困難であるが、トンネルの設計・施工を効率よく合理的に行うためには、設計・施工と対応した地山評価基準（地山分類基準）が必要となる。

地山評価基準は、類似した地山をトンネル施工時の挙動の特徴によって、大まかに4つの岩石グループ（硬質塊状岩盤、中硬質軟質塊状岩盤、中硬質層状岩盤、軟質層状岩盤）区分し（表 8.6-5 参照）、さらに岩石グループそれぞれにおいて、トンネル施工時の挙動の程度に応じた地山等級に分類し、それと標準支保パターンとの対応を付けることで当初設計の効率化や合理化を図ることとしている。当トンネル現場の岩石グループは、花崗閃緑岩と玄武岩に分類される。

表 8.6-5 岩石グループ

		H（硬質岩）	M（中硬質岩）	L（軟質岩）
劣化のしかたによる区分	塊状岩盤	斑レイ岩 花崗岩 花崗閃緑岩 石英斑岩 ホルンフェルス 角閃石岩	安山岩 玄武岩 石英安山岩 流紋岩 ひん岩	蛇紋岩 凝灰岩 凝灰角礫岩
	層状岩盤	砂岩、礫岩（中古生層） 石英岩、チャート 片麻岩	砂岩、礫岩（第三紀層） 粘板岩 頁岩（中古生層）	千枚岩 黒色片岩 緑色片岩 泥岩、頁岩（第三期層）

トンネル区間の地質調査は北トンネル、南トンネル共に全て終了している。

塊状岩盤：節理面が支配的な不連続面となるような岩盤

層状岩盤：層理面あるいは片理面が支配的な不連続面となるような岩盤

一軸圧縮強度：(H)80N/mm²以上，(M)20～80N/mm²，(L)20N/mm²未満

注）点線は弾性波速度による区分を示す

出典: JICA 調査団

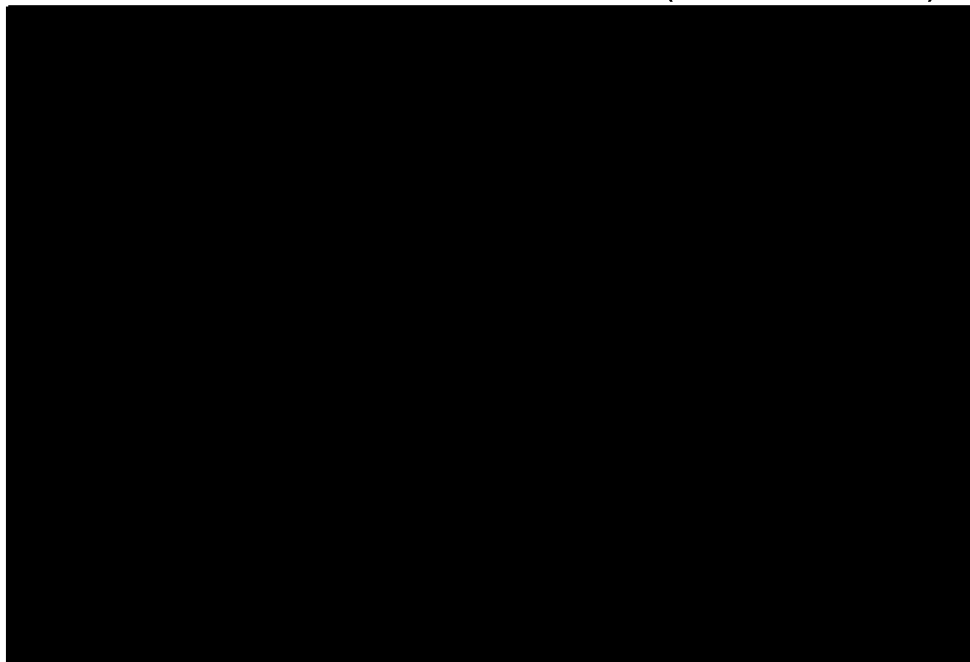
各岩石の地山条件（弾性波速度、ボーリングコアの状態、RQD及び亀裂間隔等）による地山評価基準を表 8.6-6「地山分類表」に示す。

また、各地山等級に対応する「標準支保パターン」を表 8.6-17 に示す。

(2) 弾性波探査および電気探査の結果からの地質推定

南トンネルならびに北トンネル沿線で実施した弾性波探査・PS 検層および電気検層結果をもとに、各トンネル経過区間における P 波・S 波速度層区分および比抵抗値を表 8.6-7～表 8.6-10 のように推定した。PS 検層実施したボーリング周辺の地山に付いては、検層結果を反映させた。表 8.6-11 と表 8.6-12 は、これらの表を総括したものである。

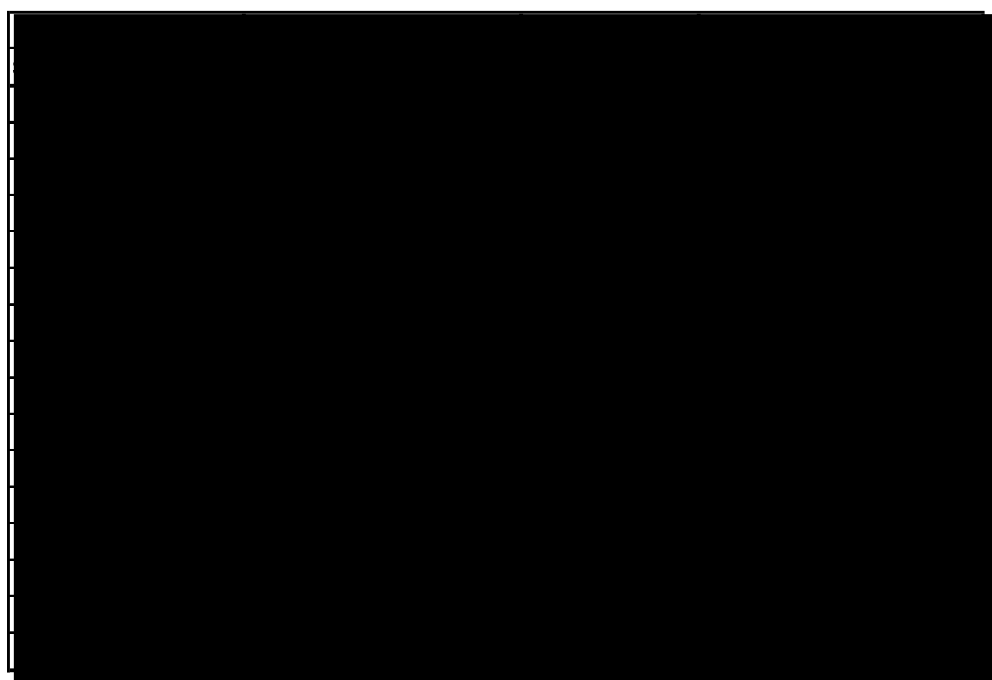
表 8.6-7 P 波・S 波速度層区分および比抵抗値(南トンネル・南行き)



()内は推定値

出典: JICA 調査団

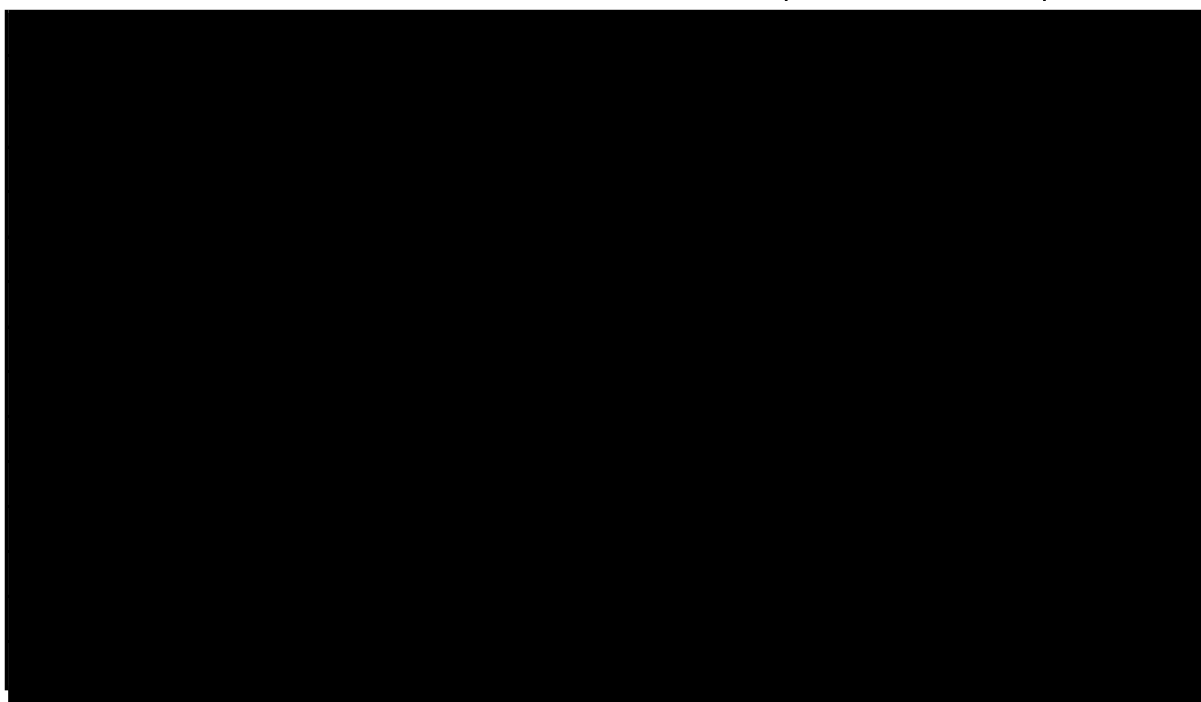
表 8.6-8 P 波・S 波速度層区分および比抵抗値(南トンネル・北行き)



()内は推定値

出典: JICA 調査団

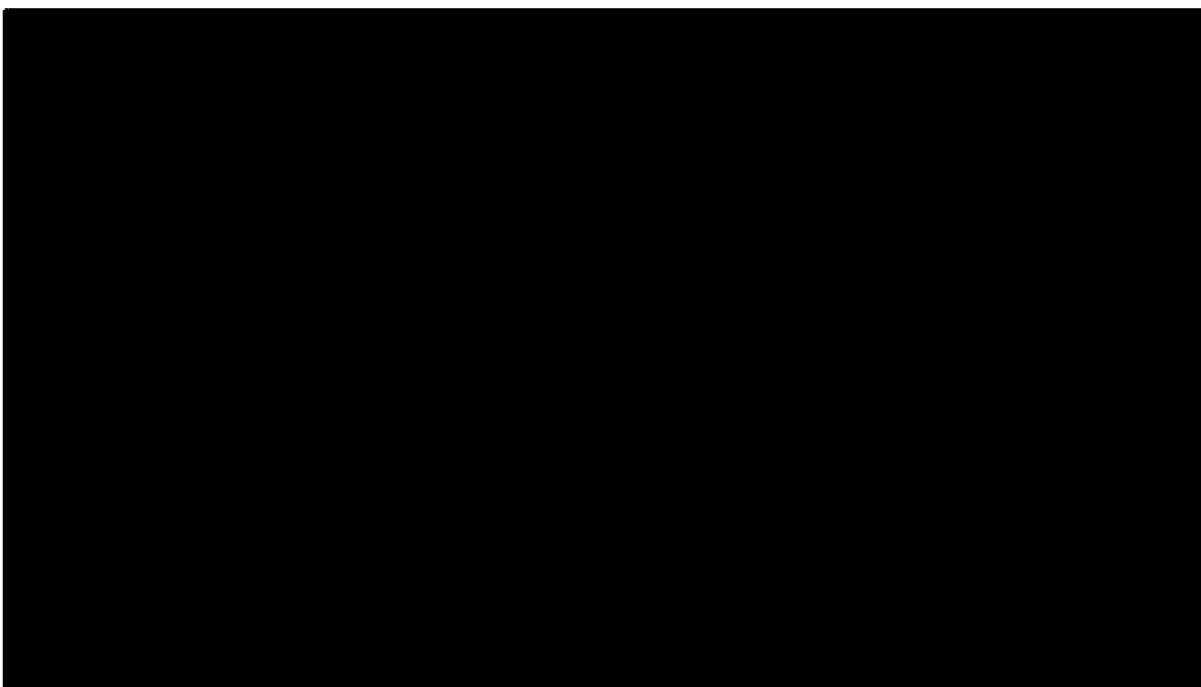
表 8.6-9 P 波・S 波速度層区分および比抵抗値(北トンネル・南行き)



()内は推定値

出典: JICA 調査団

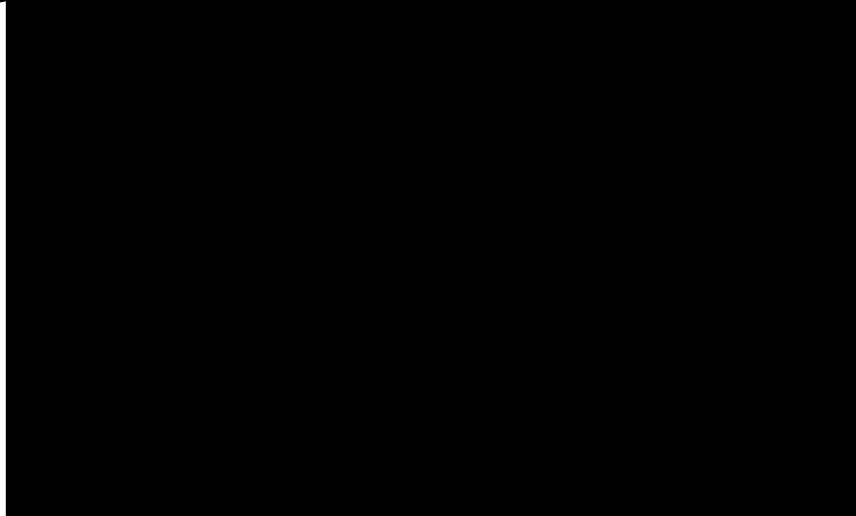
表 8.6-10 P 波・S 波速度層区分および比抵抗値(北トンネル・北行き)



()内は推定値

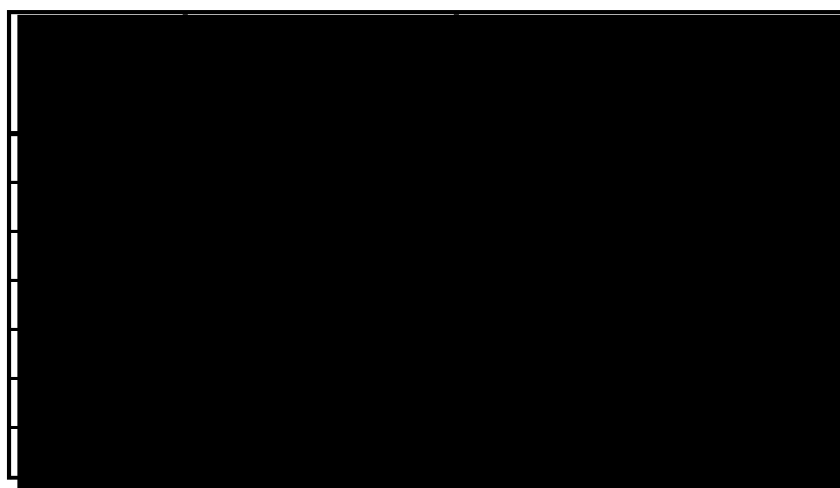
出典: JICA 調査団

表 8.6-11 P 波速度層区分・比抵抗値・岩盤状況の総括(南トンネル)



出典: JICA 調査団

表 8.6-12 P 波速度層区分・比抵抗値・岩盤状況の総括(北トンネル)



出典: JICA 調査団

表 8.6-11 および表 8.6-12 によれば、P 波速度層区分と比抵抗値は概ね良好な相関関係が認められ、P 波速度が大きくなるにつれて比抵抗値も大きくなる傾向がある。比抵抗値はトンネル地山区分を行う際の「指標」ではないが、P 波速度層区分と併用することで地山を評価する補助データになると考える。

(3) ダルトントンネルの地山分類

トンネルの地山分類は、地質調査、弾性波探査及びボーリング調査により得られたコア状況、R Q D並びに地山物性値等を総合的に判断して行うものとする。

1) 地質概要

トンネル地質調査にて確認された地層・地質は、基盤岩の花崗閃緑岩、ドレライト、被覆層の崖錐堆積物である。本計画路線周辺における地質構成を以下に示す。

表 8.6-13 本計画路線周辺における地質構成

地質時代			地質名	地質記号	分布・層相・岩相の特徴	確認できるボーリング孔	
新生代	第四紀	完新世	河床堆積物	Rd	調査地域内の本流河川(Barak川・Matang川)沿いに分布する。河道に沿って平坦面ないし緩斜面を形成する。巨礫を伴う円礫～垂円礫を主体とする砂礫で構成される。		
			沖積低地堆積物	Ad	調査地域内の本流河川下流部に広がる水田地域に広く分布する(Bonga 支流)。シルト・粘土を主体とする軟弱層で構成されており、平坦面～緩斜面を形成する。	SG-01,SG-02	
			崖錐堆積物	Td	調査地域内の山腹斜面下方部に広く分布する。山腹斜面上部から供給された砂質土・粘性土混じり角礫で構成される。角礫の大きさは数10cm大を主体とする。終点付近の山腹斜面に広がる緩斜面では、最大数mのものを介在する。	BR-10,	
			土石流堆積物	Df	調査地域南側の本流河川(Barak川・Matang川)上流部に広く分布する。巨礫を伴う垂円礫～垂角礫を主体とする砂礫で構成される。本地域の地形は、河床堆積物分布地域より急勾配である。	BR-12,	
			扇状地堆積物	Fd	山腹斜面の支流や枝沢から押し出された土砂が、本流河川に合流する地点で扇状に広がりながら分布する。山腹斜面上部から供給された砂質土ないし粘性土混じり垂円礫～垂角礫で構成される。		
			段丘堆積物	Tr	本流河川(Barak川・Matang川)の左右岸において、河床より高い位置に平坦面を形成して分布する。古い時期の河床堆積物であり、砂質土ないし粘性土混じり垂円礫～垂角礫で構成される。	BR-11,BR-13,	
	第三紀／古第三紀	更新世	初期中新世～前期漸新世	旧崩壊堆積物	Mm	主として北側トンネル経過地の山稜南側に広く分布する。古い時代(おそらく更新世)に発生した山体崩壊の堆積物で、強風化花崗岩類を不整合に被覆する。いわゆる“マスマーブメント”の産物で、山腹斜面上部から供給された砂質土・粘性土混じり角礫で構成される。	BR-22,BR-23
				ドレライト	Dol	北トンネル経過地の山稜(標高1360m)および終点東側の山稜(標高1190m)周辺に広く分布する。暗緑色～黒灰色を呈する細粒～中粒鉱物で構成される火成岩である。新鮮岩は塊状・堅硬であり、風化を受けにくい。流離構造が認められ、一部の岩体は溶岩の可能性がある。	
				花崗閃緑岩 -閃緑岩複合岩体	Gd-Di	南トンネル北坑口付近周辺から終点にかけて、本計画路線沿いに広く分布する。岩相は、主として完晶質の中粒～細粒花崗閃緑岩ないし角閃石等の有色鉱物を含む閃緑岩で構成される。両岩相は不規則・漸移的に変化しており、明瞭な岩相境界は認められない。塩基性岩の捕獲岩を介在する。かつて“Dupax Batholith”と呼ばれており、本調査地域に広く分布する。表層付近は強風化作用を受けており、“砂質土”の様相を呈する。本岩相の強風化部が厚く分布する斜面では、至る所に崩壊地形が認められる。また“花崗岩類”特有の玉ねぎ状風化が見られ、強風化部に硬質の“コアストーン”を介在する。	BR-10,BR-11,BR-12,BR-13,BR-43,SL-07,SL-08,BR-13A,BR-13B,BR-13C,BR-14,BR-15,BR-16,BR-17,BR-18,BR-19,BR-20,BR-21,SL-08B,SL-11,BR-24,BR-25,BR-44,BR-45,TNN-S-1,TNN-S-2,TNN-N-1,TNN-N-2,TNN-N-A1,TNN-N-A2,BR-26,BR-27,BR-28,BR-29,
				花崗閃緑岩 -閃緑岩複合岩体 (塩基性岩の貫入岩を伴う)	Gd-Di (m.d)	主として道路起点側から南トンネル北坑口付近周辺に分布する。岩相は主として完晶質の中粒～細粒花崗閃緑岩ないし角閃石等の有色鉱物を含む閃緑岩で構成される。本岩相には、ドレライト等塩基性岩の貫入岩体および閃緑岩や斑レイ岩などの捕獲岩を介在する。表層付近は強風化作用を受けており、“砂質土”の様相を呈する。本岩相が分布する山腹斜面は急勾配をなしており、“Gd-Di”と較べると風化深度が小さい。強風化部には、硬質の“コアストーン”を介在する。	SL-02,TNS-S-1,TNS-S-3,TNS-N-1,TNS-N-2,BR-04,BR-05,BR-06,BR-40,BR-41,BR-42,SL-04,BR-07,BR-08,BR-09

出典: JICA 調査団

2) トンネルの地層別岩石グループ

当該箇所を確認される岩石ごとに、表 8.6-5（岩石グループ）および地質調査資料を基に岩石グループを判定し、それぞれの地山分類基準を設定する。

本トンネル区間の地山を構成する地質は、主として花崗閃緑岩-閃緑岩複合岩体(Gd-Di)、および基盤岩貫入岩を介在する花崗閃緑岩-閃緑岩複合岩体(Gd-Di(m.d))である。北側トンネルの中央部区間には、ドレライト(Dol：粗粒玄武岩)の分布が想定される。

本地域における岩石グループは、花崗閃緑岩-閃緑岩複合岩体については「花崗閃緑岩」に、ドレライトについては「玄武岩」にそれぞれ分類する。以上より、ダルトントンネルの岩石グループは、表 8.6-5 に記載されているグループから分別し、岩石別にグループを整理すると下表(表 8.6-14)となる。

表 8.6-14 ダルトントンネルの岩石グループ

地質時代	地層区分	記号		岩石グループ
新第三紀／古第三紀	開口亀裂の発達した花崗閃緑岩-閃緑岩複合岩体	H-Gd-Di (L)	H-Gd-Di	H塊状
	風化花崗閃緑岩-閃緑岩複合岩体	H-Gd-Di (W)		
	花崗閃緑岩-閃緑岩複合岩体	H-Gd-Di		
	ドレライト(粗粒玄武岩)	M-Do1		M塊状

出典: JICA 調査団

3) 地山分類基準

表 8.6-6 の地山分類表から、本トンネルに対応する岩種の弾性波速度、RQD等による地山の分類基準を抽出すると、以下のとおりである。

表 8.6-15 地山分類判定基準による整理

地山等級	弾性波速度(km/s)		RQD (%)	地山強度比
	H 塊状	M 塊状		
B	4.3～5<(5.5)	4.3～5<(5.5)	70～	—
C I	4.7～3.3	4.8～3.7	40～70	—
C II	3.7～2.3	4.0～2.8	10～40	4 以上
D I	2.5～1.5	3.2～1.5	10 程度以下	4～2
D II	<1.5	1.0～2.7	10 程度以下	2～1

出典: JICA 調査団

4) トンネル区間の地層想定縦断

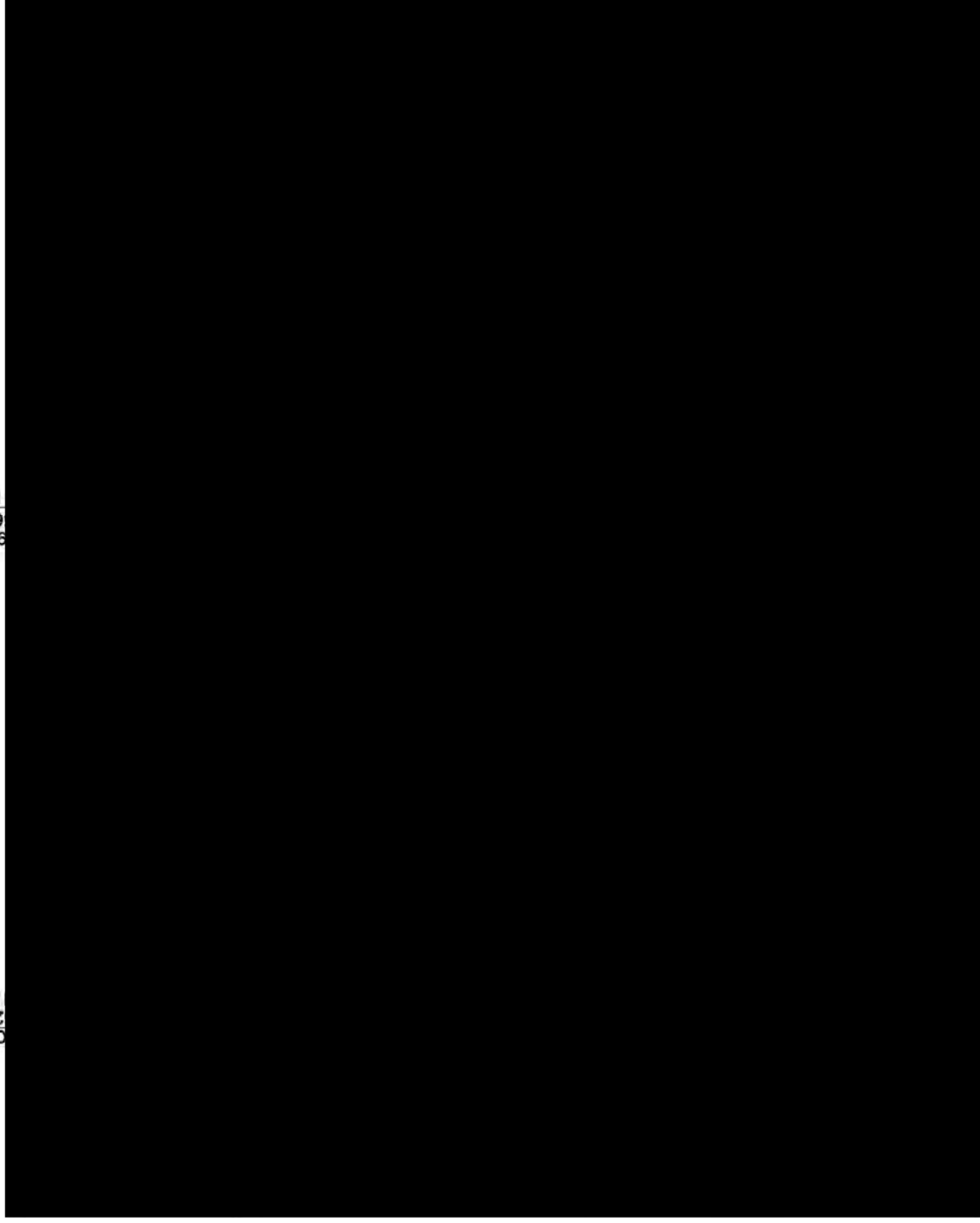
本調査による地質調査の結果および地山分類基準により、トンネル区間の地層想定縦断図を作成し、以下図 8.6-19～図 8.6-22 に示した。ここで、南トンネルには 4 箇所の亀裂帯、北トンネルには 1 箇所の断層破碎帯と 2 箇所岩相境界が推定された。これらの箇所は低速度帯となり、強度の高いトンネル構造が必要となり、トンネル掘削に対する補助工法の必要性が考えられるため、次項以降に述べる。



出典: JICA 調査団

図 8.6-19 南トンネル（南行き）の地質想定縦断面図

PORTAL 2,000 1,046
L=1574.00m
936,000 61,000
PORTAL

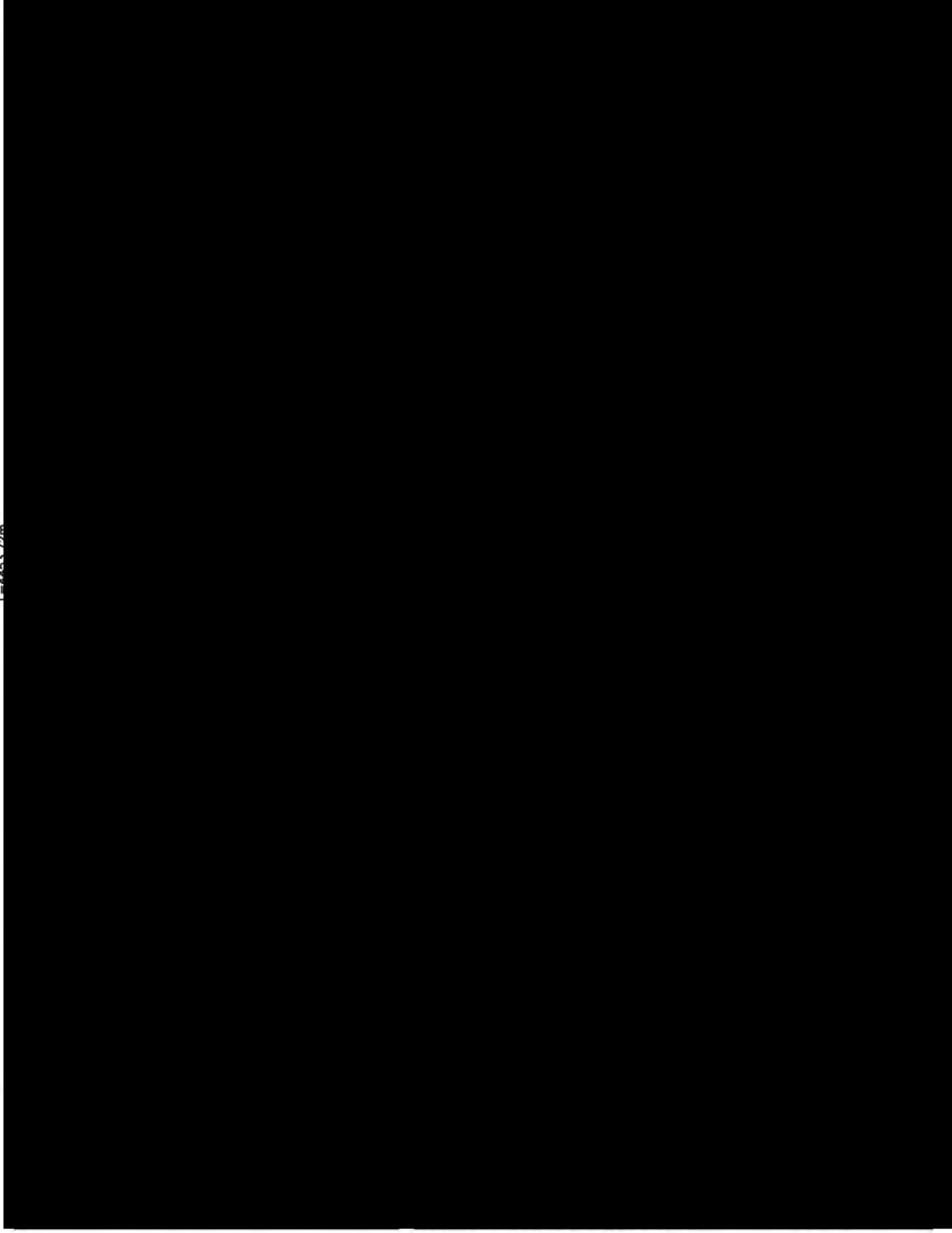


values in parentheses are estimates

出典: JICA 調査団

図 8.6-20 南トンネル（北行き）の地質想定縦断面図

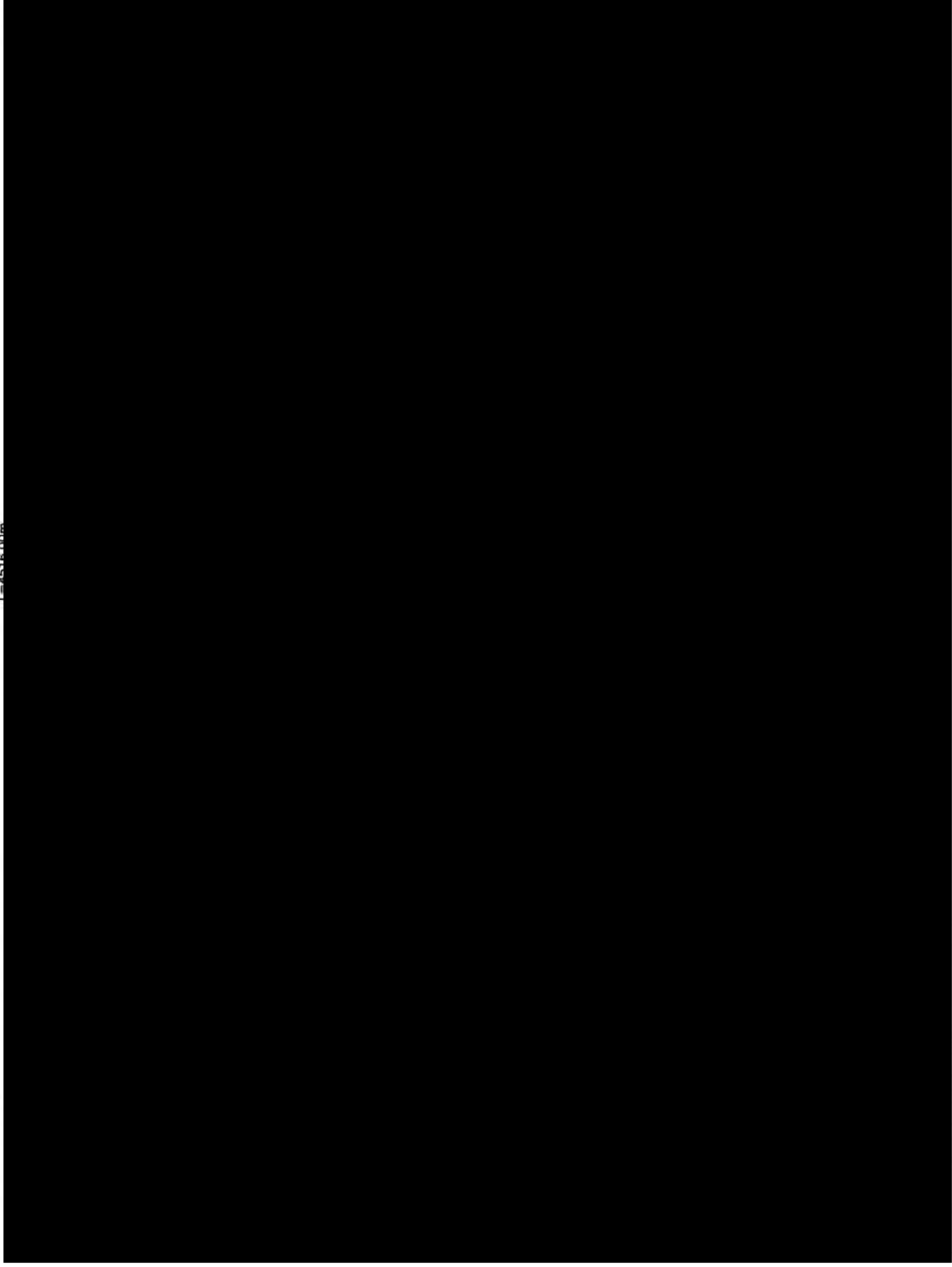
1-4453-225



出典: JICA 調査団

図 8.6-21 北トンネル（南行き）の地質想定縦断面図

L=1518.00m



Values in parentheses are estimates

出典: JICA 調査団

図 8.6-22 北トンネル（北行き）の地質想定縦断面図

8.6.6 支保工の設計

(1) 概要

トンネル支保構造の目的は、掘削に伴って不安定となるトンネル周辺の地山を、施工中および完成後にわたって安定を保ち、トンネル工事の安全性と完成後のトンネルの安全な供用を確保することである。

トンネルを掘削した場合の周辺地山の安定性は、岩石の強度、地山の節理等の不連続性、初期地山応力、地下水等の地山条件に支配され、それに応じた施工法の選定と支保構造の設計が必要である。地山の不安定性は、切羽の自立性の欠如、過大な変位膨張性、崩落などの現象となって現れる。

施工実績から未固結地山、膨張性地山および多量の湧水の出る地山等の特殊な地山を除いて、大部分のトンネルの掘削時の挙動を概略分類すると、

- 1) 弾性変位で収束する良好な地山
- 2) 肌落ちや少しの緩みが生じる地山
- 3) 大きな緩みや一部塑性化する地山および
- 4) 地山の強度が不足することによる塑性変形が生じ真の土圧（緩み土圧や全土被り土圧）の生じる地山のいずれかに分けられる。

現在、一般に使用されている支保構造の構成要素は、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼アーチ支保工および覆工があるが、これらはそれぞれの作用機構に特徴を有しており、各施工段階に最も適合したものとするとともに、全体として合理的なものでなければならない。

（社）日本道路協会；「道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 平成 15 年 11 月」によれば、支保構造物の適用の考え方は表 8.6-16 に示すとおりである。

表 8.6-16 支保構造物の適用の考え方

No	適用条件と特性	支保構造部材			
		吹付けコンクリート	ロックボルト	鋼アーチ支保工	インバート
1	地山の自立性が比較的良好的な地山	○	○	△	
2	掘削時の変位は小さいが、長期的安定が損なわれる恐れがある地山	○	○	△	○
3	地山の自立性が悪く、掘削により緩み荷重が想定されるような地山	○	○	○	△
4	掘削時の変位が大きい地山	○	○	○	○

注) ○：一般に必要なもの △：必要に応じ適用されるもの

出典: JICA 調査団

(2) 支保パターン

支保パターンは、「道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 平成 15 年 11 月 (社)日本道路協会」に示される支保パターンを適用する。標準部、非常駐車帯部、坑口部の支保パターンを表 8.6-17、表 8.6-18、表 8.6-19 に示す。

表 8.6-17 標準的な支保構造の組み合わせの目安（標準断面；内空幅 8.5～12.5m程度）

地山等級	支保パターン	標準 1 掘削 進長 (m)	ロックボルト					吹付コン クリート	鋼アーチ支保工		覆工厚 (cm)		変形 余裕 (cm)
			長さ (m)	耐力 (t)	施工間隔		施工 範囲		上 半 サイズ	下 半 サイズ	アーチ 側壁	インバート	
B	B	2.0	3.0	12	1.5	2.0	上半 120°	5	-	-	30	0	0
C I	C I	1.5	3.0	12	1.5	1.5	上半	10	-	-	30	(40)	0
C II	C II-a	1.2	3.0	18	1.5	1.2	上下半	10	-	-	30	(40)	0
	C II-b								H125	-			0
D I	D I-a	1.0	3.0	18	1.2	1.0	上下半	15	H125	H125	30	45	0
	D I-b		4.0										0
D II	D II	1.0 以下	4.0	18	1.2	1.0 以下	上下半	20	H150	H150	30	50	10

出典：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説

注 1) 支保パターンの a、b 区分は、地山等級が C II、D I の場合は b を基本とし、トンネル掘削に伴う変位が小さく、切羽が安定すると予想される場合は a の適用を検討する。

注 2) インバートについて

- ① () 内に示した地山等級範囲において、第三紀層泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘性土岩や風化結晶岩、温泉余土などの場合は () の厚さを有するインバートを設置する。
- ② 早期の断面閉合が必要な場合は、吹付コンクリートにてインバート閉合を行うものとするが、その厚さについては上・下半部の吹付厚さを参考にして個々に決定するものとする。また、吹付コンクリートによるインバートはインバート厚さを含めることができるが、現場打ちコンクリートによるインバート部分の厚さがアーチ・側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。
- ③ 地山等級が D I であっても、下半部に堅岩が現れるなど岩の長期支持力が十分であり、側圧による押し出しなどもないと考えられる場合はインバートを省略できる。

注 3) 金網について

- ① 地山等級が D I においては、一般に上半部に設置する。なお、D II においては、上・下半部に設置するのが通例である。
- ② 鋼繊維補強吹付けコンクリート(SFRC)などを用いる場合は、金網を省略できる。

注 4) 変形余裕量について

地山等級が D II においては、上部半断面工法の場合は上半部に補助ベンチ付全断面工法は掘削に時間差が無いため上・下半部に変形余裕量として 10cm 程度見込んで設計するのが通例である。なお、変形余裕量は実際の施工中の計測により適宜変更していく必要がある。

注 5) 地山等級 A、E については、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。

注 6) 通常断面の適用範囲にあっても、大断面との境界付近で上半三心円などの偏平な断面を採用する場合には、大断面の支保パターンの適用を検討する。

本トンネルにおける非常駐車帯部（大断面トンネル）の標準的な支保構造の組み合わせを以下に示す。

表 8.6-18 標準的な支保構造の組み合わせの目安（大断面；内空幅 12.5～14.0m程度）

地山 等級	支保パ ターン	標準 1 掘削 進長 (m)	ロックボルト				吹付コン クリート	鋼アーチ支保工		覆工厚 (cm)		変形 余裕 (cm)
			長さ (m)	施工間隔		施工 範囲	厚さ (cm)	上 半 サイズ	下 半 サイズ	アーチ 側壁	インバート	
				周 方向	延長 方向							
B	B	2.0	4.0	1.5	2.0	上半	10	-	-	40	0	0
C I	C I	1.5	4.0	1.2	1.5	上下半	15	-	-	40	(45)	0
C II	C II	1.2	4.0	1.2	1.2	上下半	15	H150	-	40	(45)	0
D I	D I	1.0	6.0	1.0	1.0	上下半	20	H150	H150	40	50	0
D II	D II	1.0 以下	6.0	1.0	1.0 以下	上下半	25	H200	H200	40	50	10

出典：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説

注 1) インバートについて

- ① () 内に示した地山等級範囲において、第三紀層泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘性土岩や風化結晶岩、温泉余土などの場合は () の厚さを有するインバートを設置する。
- ②脚部では、吹付けコンクリートと覆工の厚さの合計がインバート厚さになるようにインバート厚さのすり付けを行う。
- ③早期の断面閉合が必要な場合は、吹付コンクリートにてインバート閉合を行うものとするが、その厚さについては上・下半部の吹付厚さを参考にして個々に決定するものとする。また、吹付コンクリートによるインバートはインバート厚さに含めることができるが、現場打ちコンクリートによるインバート部分の厚さがアーチ・側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。
- ④地山等級がD Iであっても、下半部に堅岩が現れるなど岩の長期支持力が十分であり、側圧による押し出しなどもないと考えられる場合はインバートを省略できる。

注 2) 金網について

- ①地山等級がD Iにおいては、一般に上半部に設置する。なお、D IIにおいては、上・下半部に設置するのが通例である。
- ②鋼繊維補強吹付けコンクリート(SFRC)などを用いる場合は、金網を省略できる。

注 3) 変形余裕量について

地山等級が D II においては、上部判断面工法の場合は上半部に補助ベンチ付全断面工法は掘削に時間差が無いため上・下半部に変形余裕量として 10cm 程度見込んで設計するのが通例である。なお、変形余裕量は実際の施工中の計測により適宜変更していく必要がある。

注 4) 掘削工法について

- ①中壁分割工法を採用する場合、本坑には上記の支保の組み合わせを適用することとするが、中壁の支保構造の組み合わせは、現場条件を考慮し決定するものとする。また、中壁分割工法は後進トンネル掘削時に頂部での先進トンネルとの支保工の接合部が弱点になることから、接合部の処理に関して慎重に検討を行う必要がある。さらに、爆破方式では発破の衝撃により中壁が掘削と同時に破損し、本来の中壁の果たすべき役割が発揮できないことから、発破との併用は好ましくない。
- ②中壁分割工法の中壁頂部の先受けの施工が難しいことなどの理由から、中央導坑（頂設導坑）先進工法を採用する場合は、本坑には上記の支保の組み合わせを適用することとするが、中央導坑の支保構造の組み合わせは、現地条件を考慮し決定するものとする。
- ③加背の高さを決定するに当たっては、支保の規模、大きさを十分勘案したうえで、安全で効率的な施工が行える高さを決定しなければならない。

注 5) 地山等級 A、E については、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。
本トンネルにおける坑口部の標準的な支保構造の組み合わせを以下に示す。

表 8.6-19 坑口部の標準的な支保構造の組み合わせの目安
(標準断面；内空幅 8.5～12.5m 程度)

掘削工法		標準 1 掘削 進長 (m)	ロックボルト (フッアポーリング)			吹付コン クリート	鋼アーチ支保工		覆工厚 (cm)	
			長さ (m)	施工間隔		厚さ (cm)	上 半 サイズ	下 半 サイズ	アーチ 側壁	インバート
				周 方向	延長 方向					
上部半断面工法 補助ベンチ付 全断面工法		1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	25	H200	H200	35	50
側壁導 坑先進 工法	本坑	1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	25	H200	-	35	50 以上
	導坑	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	10	H125		—	—

出典: 道路トンネル技術基準(構造編)・同解説

() 内はフォアポーリングを示す。

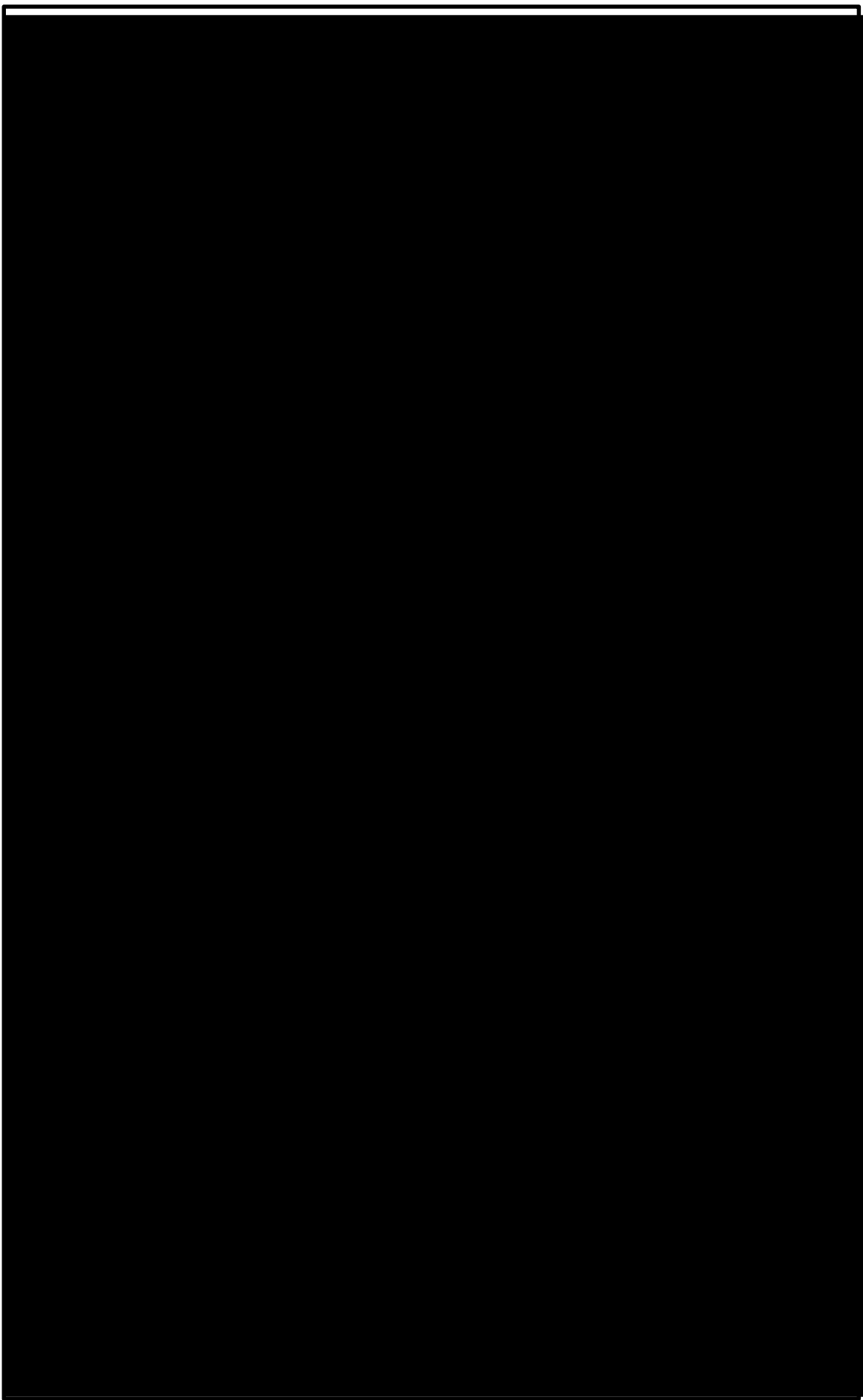
注 1) ロックボルトは側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。ただし、ロックボルトの長さは 4m を標準とする。

注 2) フォアポーリングは、天端 120° の範囲に切羽天端の安定化のため必要に応じて設置するものとし、その材質および工法などの選定にあたっては、現地条件を考慮して決定するものとする。

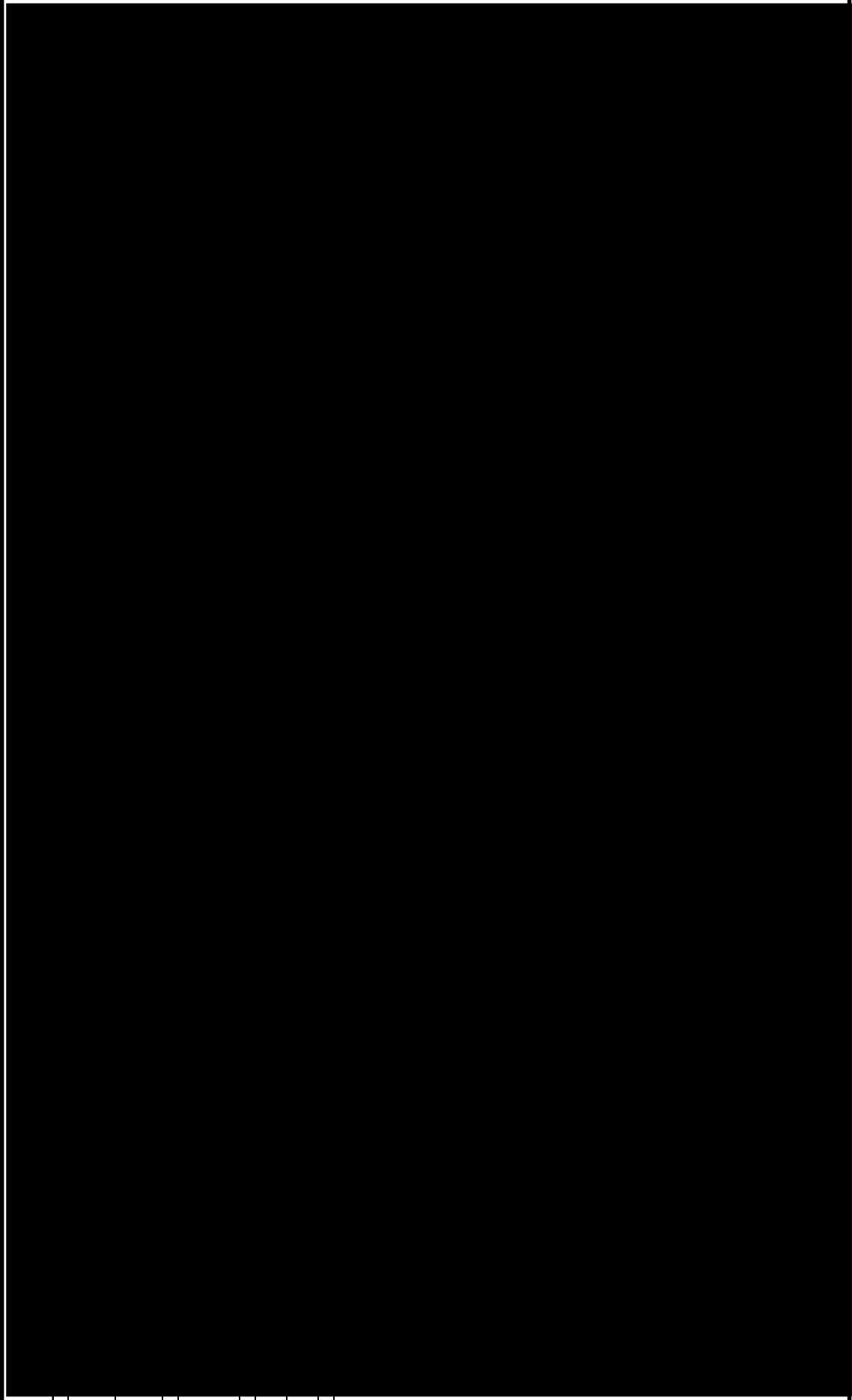
注 3) 金網は上部半断面工法、補助ベンチ付全断面工法の場合は上・下半部に、側壁導坑先進工法の場合は上半部に設置するのを標準とする。なお、鋼繊維補強吹付けコンクリート (SFRC) などの場合はこの限りではない。

(3) 支保工の設計数量

前述したトンネル区間の地質想定縦断図のとおり、トンネル区間の地質区分を推定し、各地質に対する支保パターンを割付けた。亀裂帯、断層破碎帯、岩相境界は低速度帯となっており、地山状況が前後区間より不安定になるため、強度の高い支保工を設定した。次頁よりトンネル地質区分と支保工の割付け、延長および支保工パターン毎の総設置延長とトンネル掘削数量を示した。



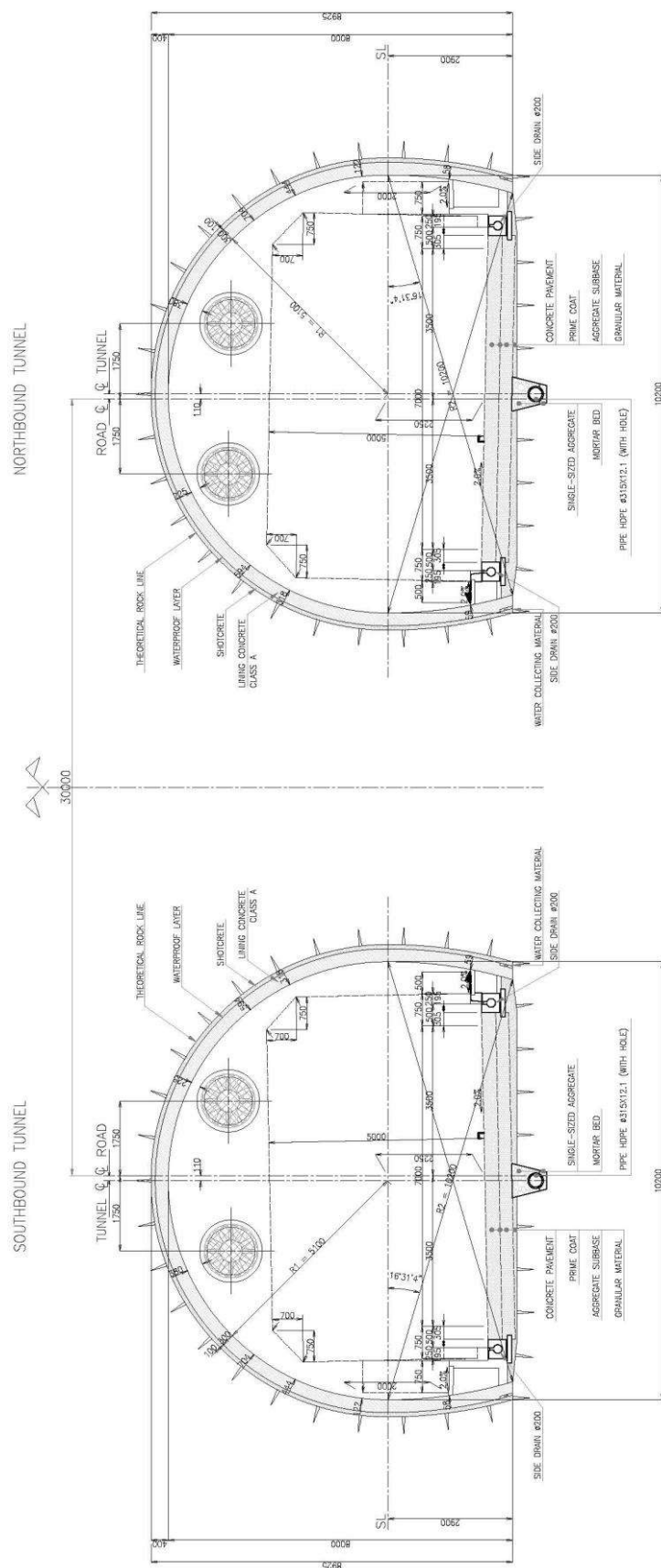
出典: JICA 調査団



出典: JICA 調査団

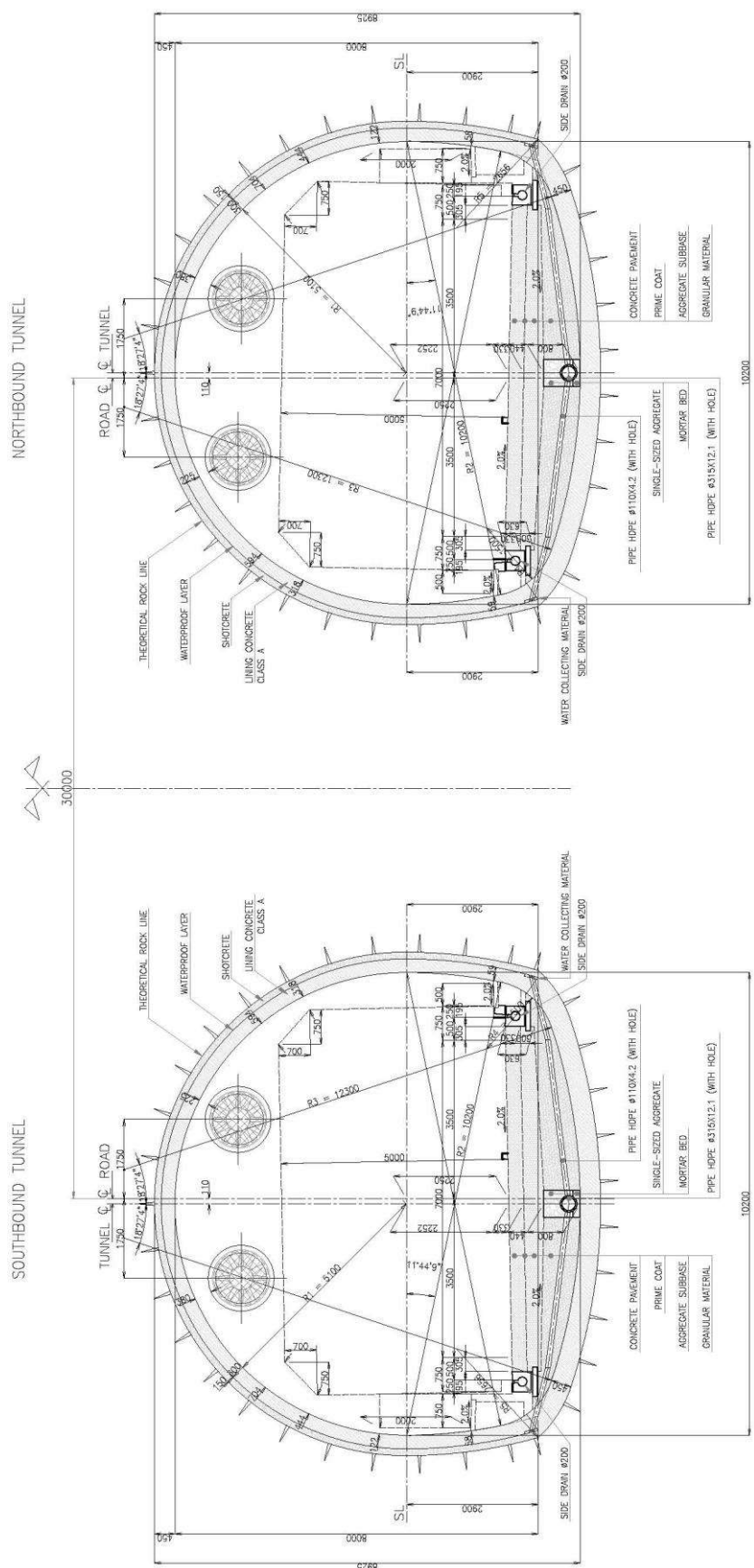
8.6.7 トンネル標準断面

上記で設定したトンネル内空断面に対し、それぞれの地質区分に対する吹付厚や覆工厚などを考慮し設定したトンネル標準断面図を下図の図 8.6-23~図 8.6-28 に示す。



出典: JICA 調査団

図 8.6-23 一般部トンネル標準断面 CI & CII



出典: JICA 調査団

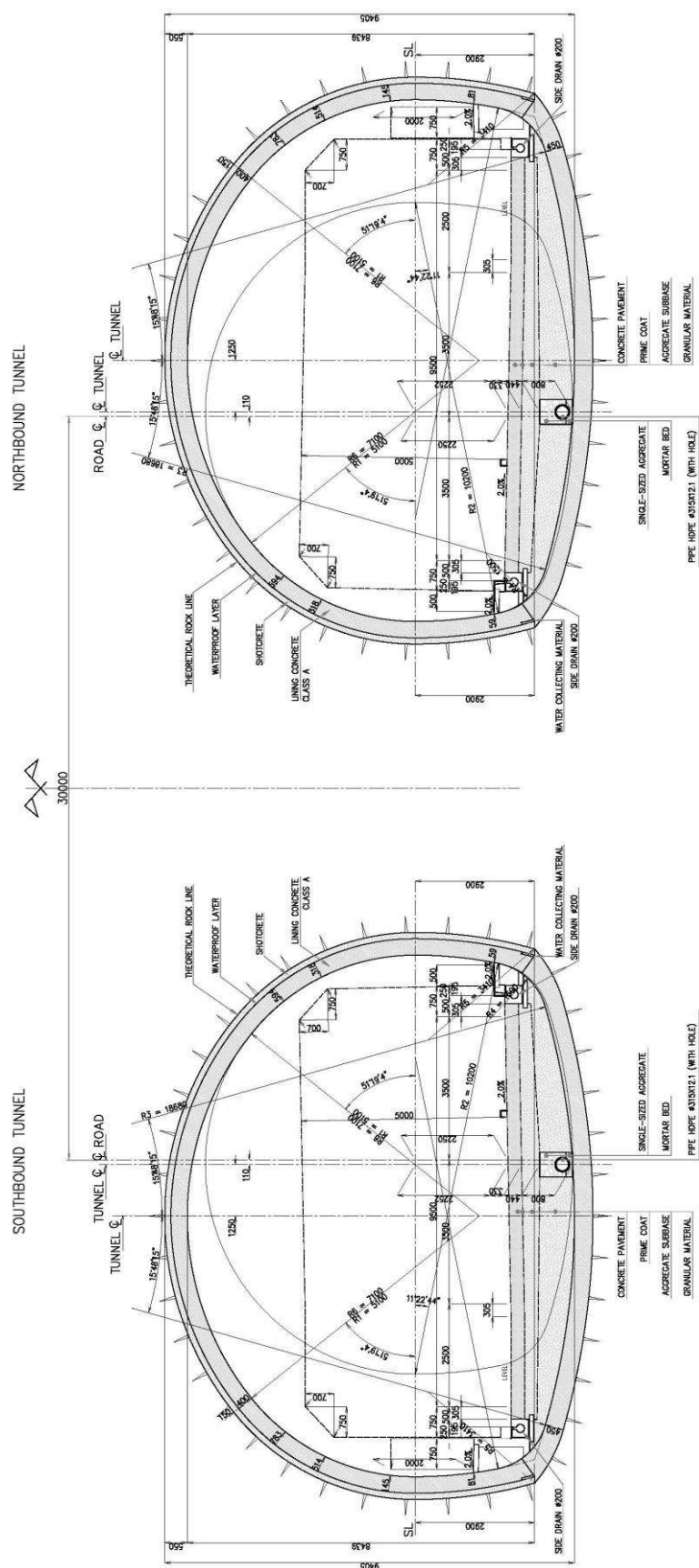
図 8.6-24 一般部トンネル標準断面 DI



図 8.6-25 一般部トンネル標準断面 DII

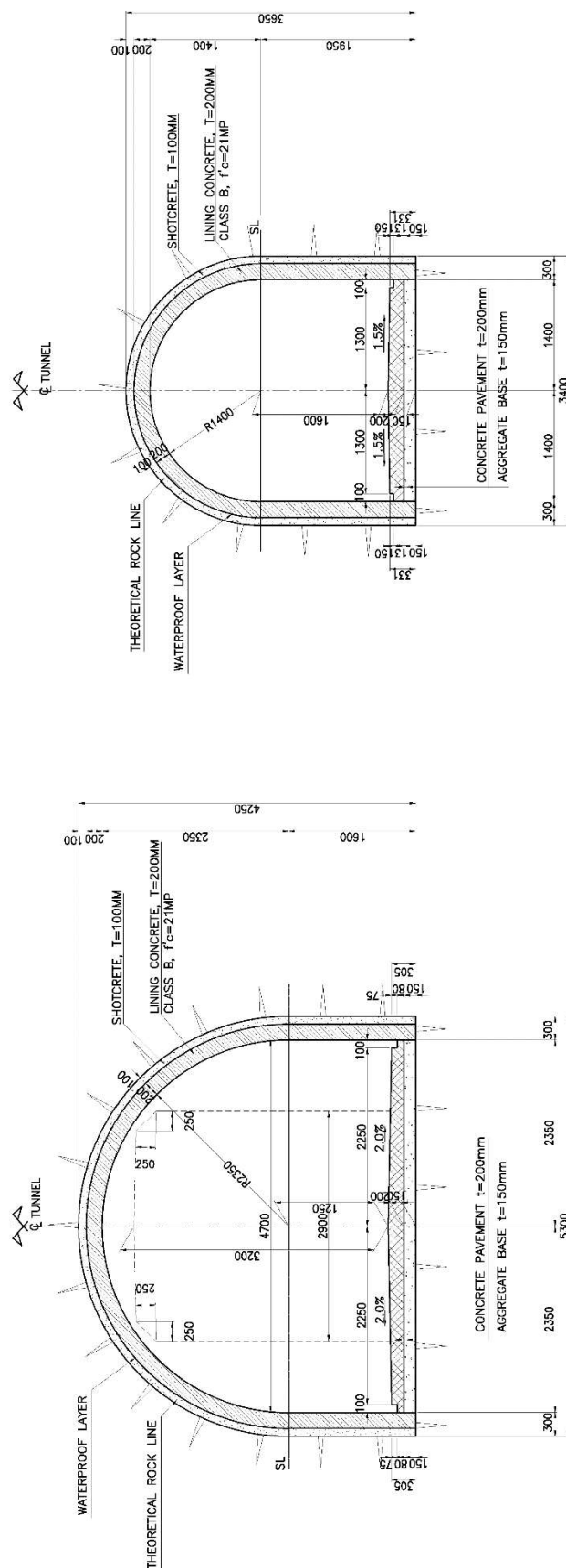


図 8.6-26 坑口区間トンネル標準断面 DIII



出典: JICA 調査団

図 8.6-27 非常駐車帯部トンネル標準断面 CI & CII



出典: JICA 調査団

図 8.6-28 連絡横坑トンネル標準断面

8.6.8 非常駐車帯及び避難連絡坑

(1) 非常駐車帯の設置

トンネル内で発生した故障車・事故車が、二次的な事故発生の誘因とならないように、一時的に避難できるスペースとして非常駐車帯を計画する。

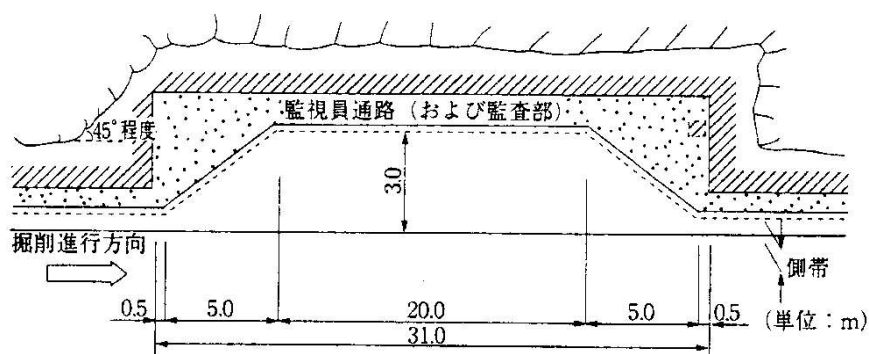
非常駐車帯の形状及び駐車帯幅員については、「道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 平成15年11月(社)日本道路協会」に以下のように示されている。

トンネル内に非常駐車帯等の拡幅部を設ける場合には、設置間隔等を考慮し、できるだけ地山条件の良好な位置を選定するとともに、合理的な支保構造、断面形状および寸法としなければならない。

「道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 平成15年11月(社)日本道路協会 P157」

また、非常駐車帯の設置・形状等については、以下のように示されている。

- トンネルは路肩が狭いため、延長の長いトンネルでは故障車などの駐車ができる非常駐車帯を設け、トンネル内の安全かつ円滑な交通流の確保を図ることが多い。
- 非常駐車帯の配置は、通常500～1500mの間隔で設けるのが一般的であるが、概ね750mピッチに設けるものとする。また、対向車線側の非常駐車帯との位置関係は、同一断面に集中しないよう、端部間距離として50m程度以上確保する。
- 非常駐車帯を設ける場合は、出来るだけ地山条件の良好な箇所に設定する。
- 非常駐車帯の型式は、下記に示す形状を標準とする。

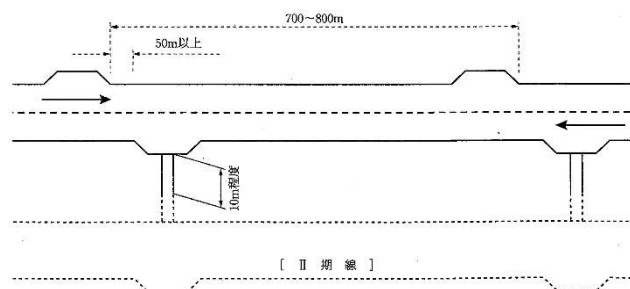


出典: 道路トンネル技術基準(構造編)・同解説

図 8.6-29 非常駐車帯概念

注1) 進入部の取付角度は、45°程度とする。

注2) 妻壁部の設計は拡大断面部に準ずるものとするが、ロックボルトは必要に応じて設けるものとする。



出典: JICA 調査団

図 8.6-30 対面交通における非常駐車帯の設置位置

(2) 非常駐車帯の配置

非常駐車帯は、750m 毎に設置することとした。

南トンネルは延長約 1.6 Km であることから、非常駐車帯を上下線トンネルに各 2 箇所計画する。北トンネルは延長約 4.6 Km であることから、非常駐車帯を上下線トンネルに各 5 箇所計画する。また、一方通行であることから、走行車線側に非常駐車帯を設置する。

(3) 連絡横坑の設置と配置

本トンネルは次章の トンネル設備設計で述べられているように防災等級は南トンネル A 等級、北トンネル AA 等級となるため、避難連絡坑を設置するものとする。

また、「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説 平成 13 年 10 月 (社)日本道路協会」には以下のように示されている。

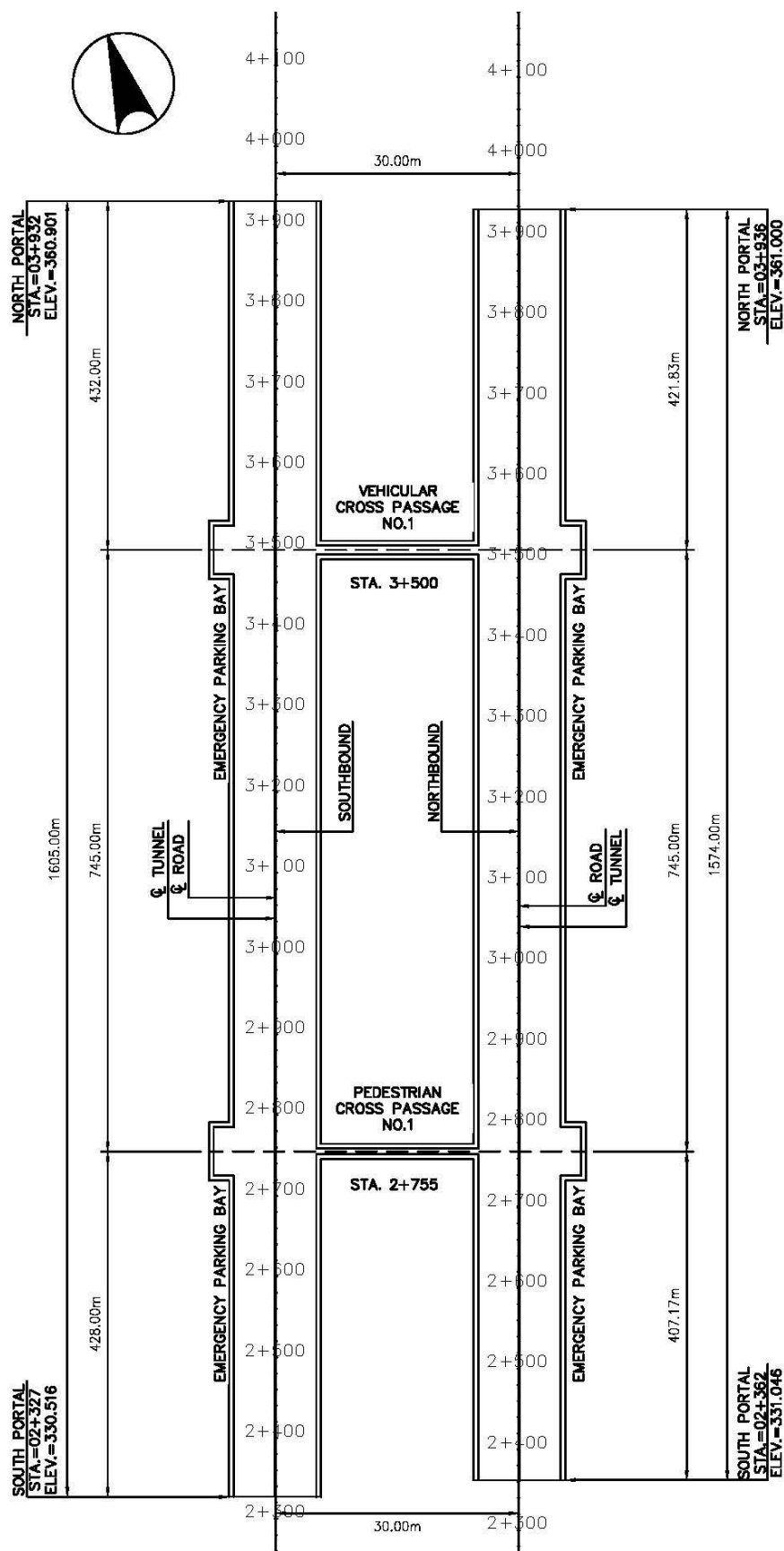
避難連絡坑は、一方通行トンネルで並行する上下線トンネル相互間あるいは本体トンネルと避難坑の連絡坑であり、その設置間隔は、上下線トンネル間の連絡坑の場合は 700m~800m 程度、対面通行トンネルにおける本坑と避難坑間の連絡坑の場合は 300m~400m 程度の間隔で設けられる例が多い。

「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説 平成 13 年 10 月 (社)日本道路協会 P50」

上記より、本トンネルにおける避難連絡坑の設置間隔は非常駐車帯と同様の 750m とし、各非常駐車帯の中央に配置することとした。また、1,500m 毎には車両が通行可能な避難連絡坑を設置することとした。

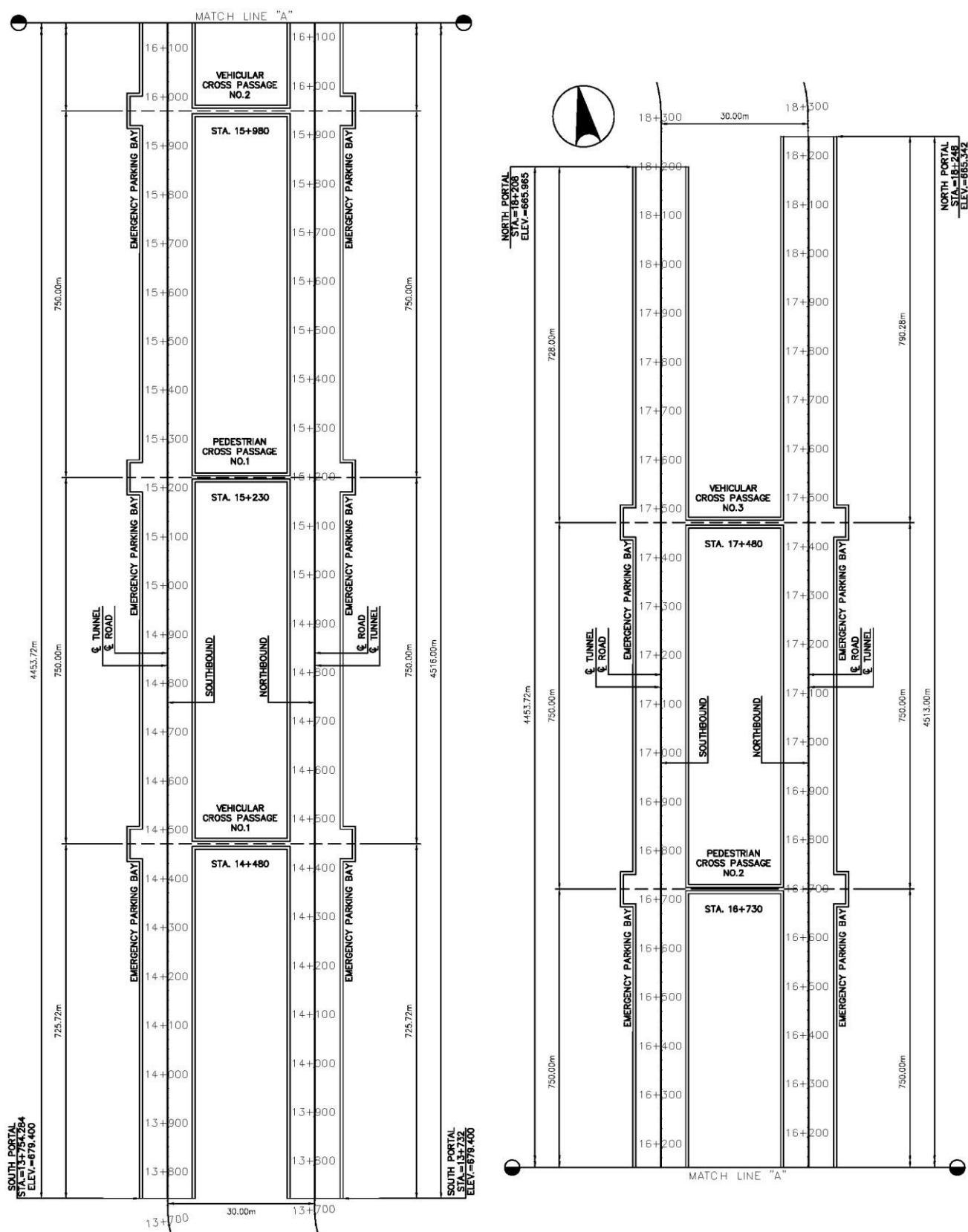
南トンネルは延長約 1.6 Km であることから、避難用連絡坑を 2 箇所計画し、1 箇所は車両通行可能とした。北トンネルは延長約 4.6 Km であることから、避難連絡坑を各 5 箇所計画し、3 箇所は車両通行可能とした。

下図に南トンネルと北トンネルにおける非常駐車帯及び避難連絡坑の設置計画を示す。



出典: JICA 調査団

図 8.6-31 南トンネルにおける非常駐車帯及び避難連絡坑設置計画 (案)



出典: JICA 調査団

図 8.6-32 北トンネルにおける非常駐車帯及び避難連絡坑設置計画 (案)

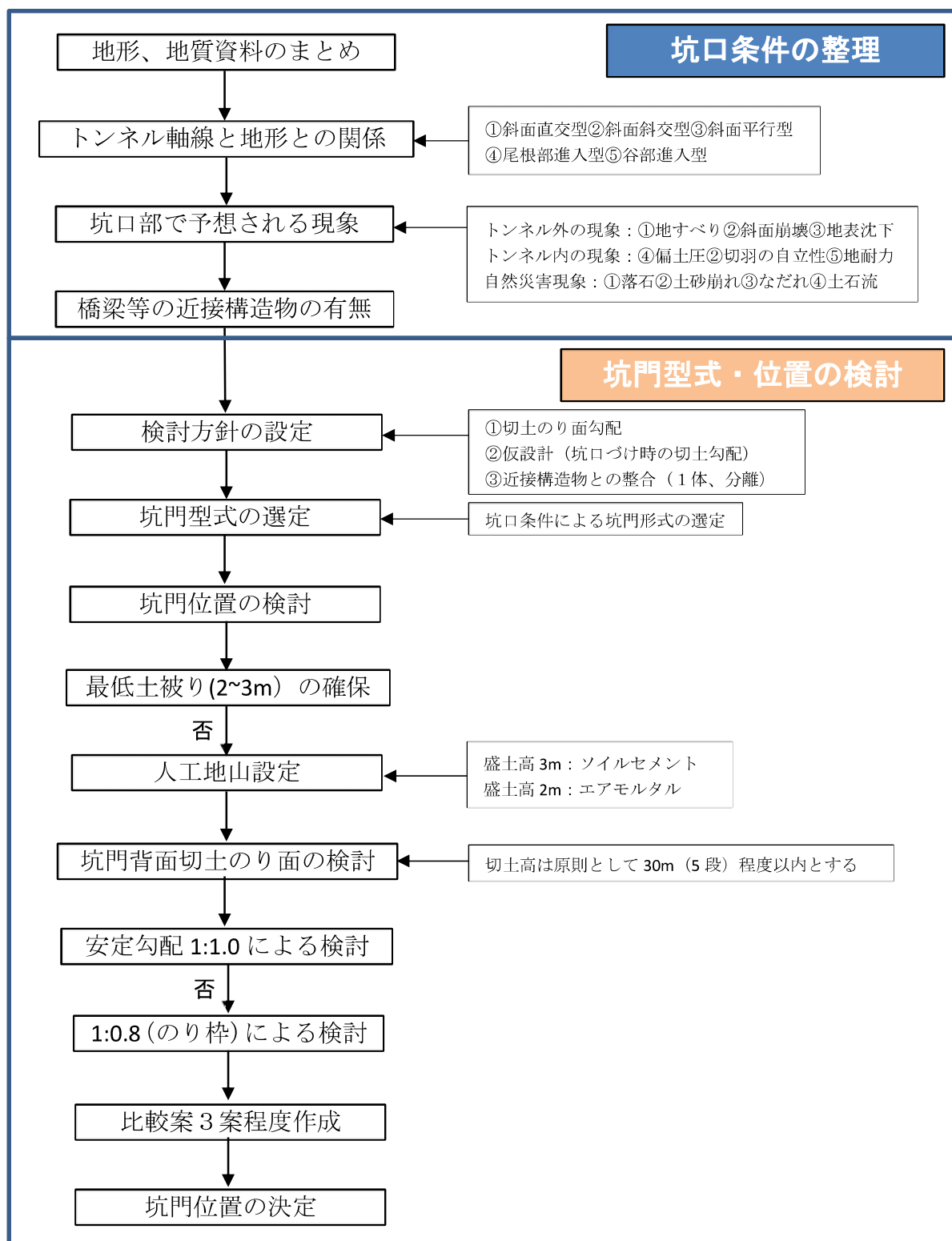
8.6.9 坑口部および坑門の検討

(1) 設計手順

坑門は、坑口部の斜面の安定化を図るとともに、供用後の落石、雪崩、土石流等の自然災害からトンネルを守るためのものである。従って、坑門の位置、型式は種々観点から総合的に判断して定めることになる。本設計手順を図 8.6-33 に示す。

なお、各トンネルについて坑口条件から坑門形式を選定し、その後坑口位置について検討を行うものとする。

それぞれの坑口について比較案を作成し、その中から機能性、景観性、経済性から総合的に判断して推奨案を抽出し、坑門一般図を作成する。



出典: JICA 調査団

図 8.6-33 坑門工設計手順

(2) 一般的な留意事項

1) 坑門の位置

坑門の位置は、坑口部の施工に密接に関連するものであり、坑口付けの位置および坑口付け方法により決定される。

坑門位置の選定に当たっての一般的な留意事項は次のとおりである。

《一般的な留意事項》

坑口周辺の地山の安定を損なうことがないような位置とする。また、予想される自然災害に対する安全性の確保に留意する。

偏土圧を受けないような位置とする。

地形の横断面がトンネル軸線に対しできるだけ左右対称になるような位置とし、トンネルが偏土圧を受けないようにする。

偏土圧を避けられない場合は抱き擁壁や押さえ盛土等の対策を用いる。

基礎の支持力が十分に期待できる位置とする。

避けられない場合は、抱き擁壁、地盤置き換え、支持杭等の対策を用いる。

坑口に近接して橋台等の構造物の計画がある場合は、その計画と矛盾しない位置、構造とする。

坑門工基礎の地盤反力の分布域と橋台の掘削線との関連を十分検討し、双方に悪影響を及ぼさないようにする。

坑口付近に計画される将来の維持管理施設等の配置についても考慮する。

トンネルを2本以上併設して掘削する場合には、双方の切取面の影響範囲またそれに伴う偏土圧等に十分注意して、坑門位置を決定する必要がある。

2) 坑門の型式

一般のトンネルにおける坑門の型式は、次の2つに大別される。

【面壁式】

最も一般的なもので坑門背面の土圧を受け止める壁構造としたものであり、自立型擁壁（重力式）とトンネル本体に固定し片持梁としたウイング式がある。

自立型擁壁の重力式タイプは、トンネル本体に土圧力の伝達がないので坑門壁の総巾が大きい場合に採用される。

トンネル本体を固定端としたウイング式は、トンネル巻厚とのバランスからあまり大きくすることはできないが、坑門施工時の地山の掘削が少なくすむので、地山が急斜面でかつ地質が悪い場合には有効である。

【突出型】

従来の面壁は作らないでトンネル断面を地山からそのまま突き出させた型式であり、その形状には竹割式、ベルマウス等がある。周辺景観との調和を図るため緑化する場合にはこの型式を採用することになる。一般に坑口付近の地形地質が良好な個所に採用するが多い。

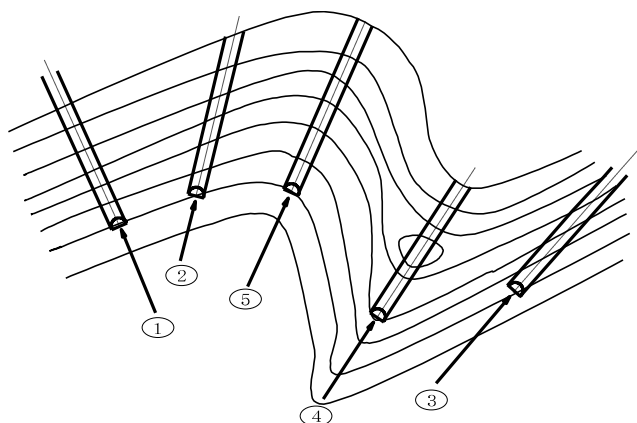
上記の坑門型式は、その構造及び形状からさらに細かく分けられる。その形状と特徴および適応性については後の表 8.6-29 に示す。

坑門型式の選定に当たっての一般的な留意事項は次のとおりである。

- 1) 自然災害に対する防護（雪崩、落石等）
- 2) 周辺景観との調和
- 3) ドライバーに与える圧迫感の緩和、車両の走向性
- 4) 施工性および経済性
- 5) 維持管理

3) トンネル軸線と地形との関係

坑口部でトンネルが斜面と交差する形は、下図のように示される。



名 称		断 面 概 要 図
①	斜面直交型	
②	斜面斜交型	
③	斜面平行型	
④	尾根部進入型	
⑤	谷部進入型	

図 8.6-34 坑門工設計手順トンネル軸線と地形の関係

トンネル軸線と地形との関係による一般的な特徴は、次のとおりである。

1) 斜面直交型

地すべり地形などのような地質上の問題がなければ、最も理想的な位置関係である。崖錐や表土がうすく地山が安定している場合は、坑口部の施工延長は一般に短くなる。しかし、斜面中腹に坑口が計画される場合は、工事用道路の確保や取付部の道路構造との関連などの施工上の特別な配慮が必要となる場合がある。

2) 斜面斜交型

坑口付近の横断地形は傾斜地形を示し、地層の走向傾斜が斜面と同一方向（流れ盤）の場合は強い偏土圧が予想される。坑口部は非対象の切取り斜面や坑門となる。

3) 斜面平行型

地山斜面へのトンネル進入角度は最も悪く、一般に土被りのうすい区間が長くなり、補助工法を必要とする場合が多い。また偏土圧の問題を生じる場合が多く、坑口部の延長も長くなるので、できるだけ避けるべき位置関係である。

4) 尾根部進入型

このような地形では、風化層や崖錐などの軟弱層がうすく地山が比較的安定している場合と、崩積土が厚く左右の地山が沢水の影響により谷となり、凸形状を呈している場合の2種類があるので、ボーリング等による十分な調査が必要である。

5) 谷部進入型

一般的に崖錐などの未固結堆積層が厚く分布し、地下水位が高い場合が多い。また、土石流、雪崩等の「自然災害」が発生しやすい位置関係である。

(3) 坑門形式、位置の検討

1) 検討方針

i. 坑門の形式

本トンネルの坑口の地形が急峻で、坑口に橋台が近接することになるため坑門形式も制約されることになる。坑門形式は経済性、施工性から一般的なウイング式を採用することとする。

ii. 坑門位置の検討

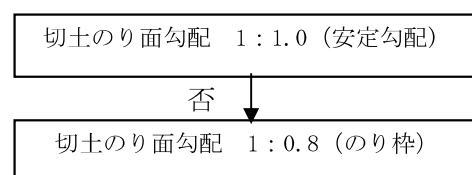
1) 坑口は橋台の掘削線を避けた位置を原則とする。

地形が険しい場合、橋台と坑門を1体構造にすることも考えられるが、本設計においては施工性から出来る限り分離構造とする。

2) 坑門位置検討の基本的な考え方

a) 坑口付けに必要な土被り（2m以上）がとれる位置。

b) 坑門背面の永久切土のり面が**5段程度**で収まる位置。



坑門位置の検討は上記を基本とし行うものとする。

iii. 永久切土のり面勾配

坑口背面の永久切土の面勾配は「道路土工、のり面工・斜面安定工指針 平成 11 年 3 月（社）日本道路協会」に示されている標準勾配（下表）を参考にする。

表 8.6-28 地山の土質に対する標準のり面勾配の範囲

地 山 の 土 質		切土高	勾 配
硬 岩			1 : 0.3 ~ 1 : 0.8
軟 岩			1 : 0.5 ~ 1 : 1.2
砂	密実でない粒度分布の悪いもの		1 : 1.5 ~
砂 質 土	密実なもの	5m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
		5 ~ 10m	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
	密実でないもの	5m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		5 ~ 10m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5
砂利または岩塊ま じり砂質土	密実なもの、または粒度分布のよいもの	10m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
		10 ~ 15m	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
	密実でないもの、または粒度分布の悪いもの	10m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		10 ~ 15m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5
粘 性 土		0 ~ 10m	1 : 0.8 ~ 1 : 1.2
岩塊または玉石ま じりの粘性土		5m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		5 ~ 10m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5

出典：道路土工、のり面工・斜面安定工指針 平成 11 年 3 月（社）日本道路協会

坑口部の地質状況はトンネルによって多少異なるが、各坑口とも表層を対象にして切土のり面勾配は **1 : 1.0** を採用する。

なお、切土のり面高 **H=7m** 毎に幅 **1.5m** の小段を設ける。

iv. 坑口付け時の切土勾配

坑口付け時の切り取り勾配については、次のような考え方がとられている。

切り取り勾配は、坑口付け部の施工性を考慮すると、地山条件にもよるが急勾配とすることが望ましい。そのためには必要に応じて、のり面コンクリート吹付けやロックボルト等によるのり面補強も考慮し、積極的に斜面の安定を図らなければならない。一般的には、トンネルの掘削などの施工性から要求される勾配は **1 : 0.3 ~ 0.5** といわれている。

坑口部の地質は、各トンネルによって多少異なるが、坑口付けの施工性（H支保工の建て込み等）から切土勾配は一般に採用されている **1 : 0.5** とする。小段は設けない。この勾配で斜面の安定が保持されない場合は、モルタル吹付け等で補強を行うものとする。

2) 坑門形式の検討

i) 坑門形式について

一般に採用されている坑門の形式は下図に示すようなものがある。

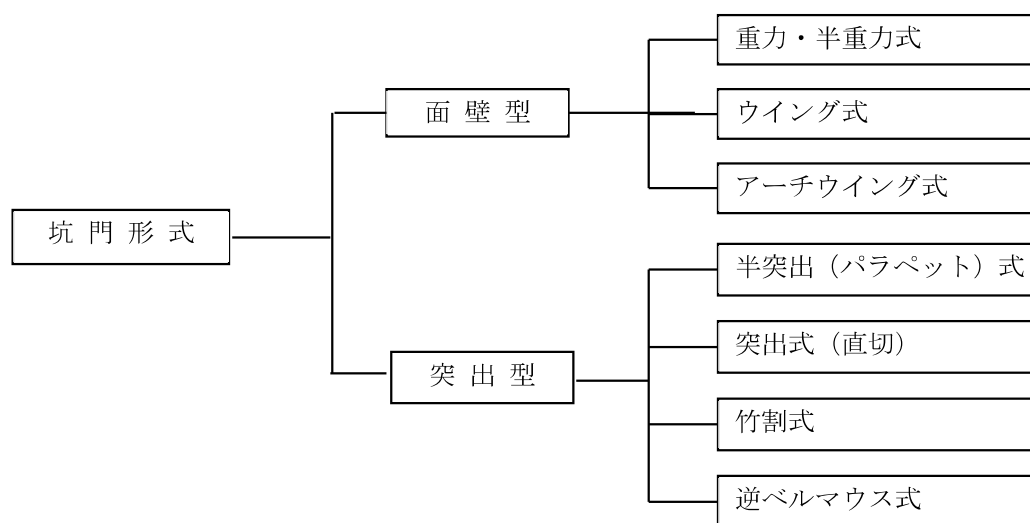


図 8.6-35 坑門の形式

坑門形式のそれぞれの一般的な特徴および適応性について表 8.6-29 に示す。

ii) 坑門形式の選定

坑門形式の選定は、主に以下の事項を総合的に判断して決定される。

- 自然・気象条件（落石、崩壊、雪崩、土石流等）
- 地形条件および周辺景観との調和
- 施工性および経済性

坑門形式は、自然保護等の社会情勢から景観が重要視されるケースが多くなってきている。

坑口周辺景観との調和を図るためには、緑化対策を踏まえた坑門形式を選定することが重要であり、この場合突出型坑門が有利となる。突出型坑門は面壁型に比べ景観性はもとより、車の走向上は輝度バランスの面でも優れた形式である。

以上から坑門形式は経済性、景観性から次の3案が考えられる。

- ウイング式
- 半突出式
- 突出式

経済性では突出式が最も高価となり、半突出式に比べると一般に 1.5 倍程度高い。景観性の面では突出式と半突出式の大差はない。

本トンネルは、トンネルと橋梁が連続するような急峻な山岳地帯にあり、走行性の問題はあるものの周辺環境から景観を重視するような地域ではない。

坑口が急斜面の場合、坑口に橋台が近接することになるため坑門形式は制約される。

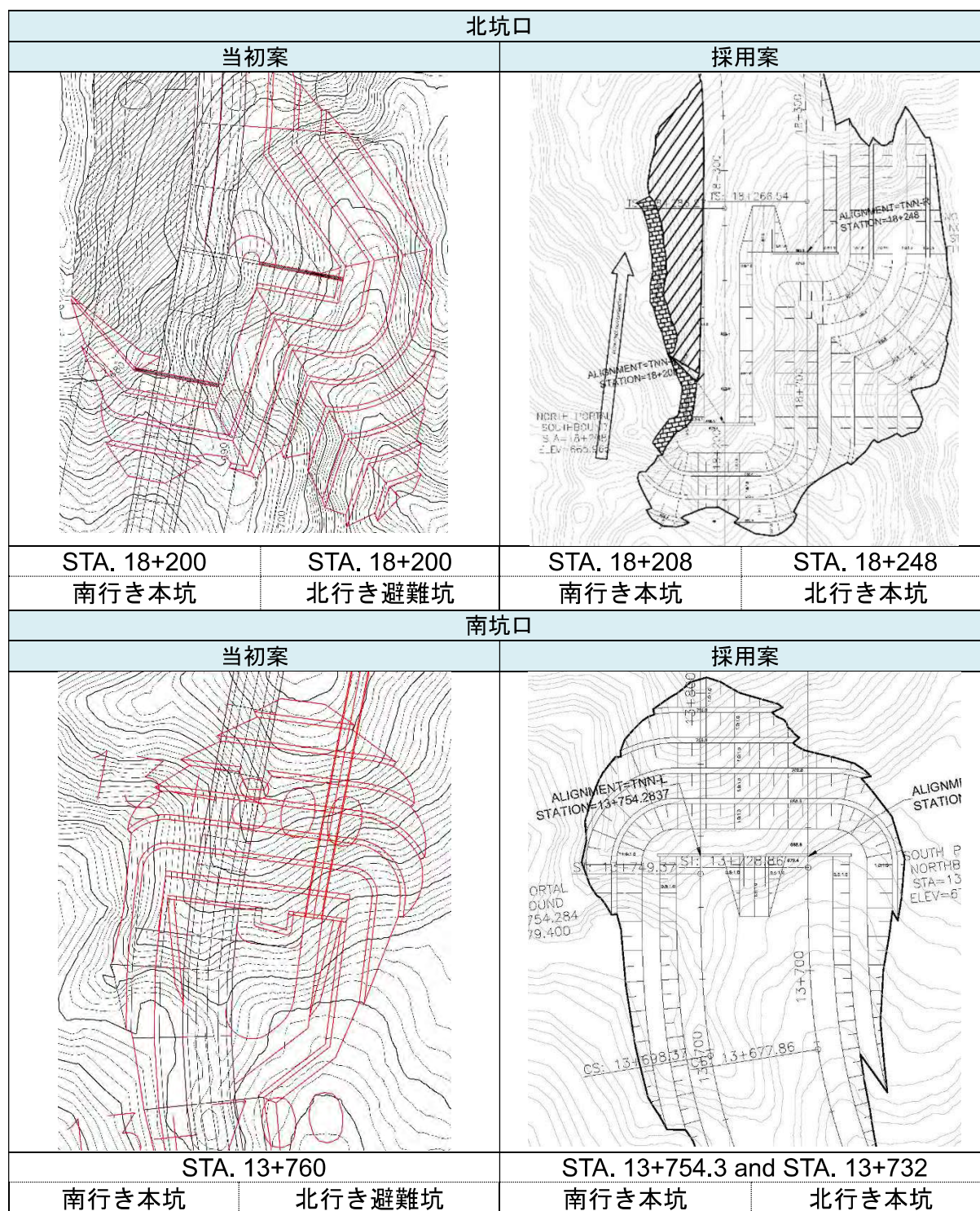
各坑口について、坑門形式の適用性について検討すると各坑口は斜面の途中に位置し、斜面を切り込んでの設置となるため突出型坑門の採用は適当で無い。

また、突出型の場合地形条件が悪いと工費も割高となる。

以上により、本設計における坑門型式は経済性の面から一般的な**ウイング式坑門**を採用する。

表 8.6-29 トンネル坑門の型式と特徴（トンネル標準示方書山岳工法編（土木学会））

項目	面壁型			突出型			形式
	重力式、半重力式	ウイング式	アーチウイング式	半突出式 パラペット式	突出式	竹割式 ベルマウス式	逆竹割り式 逆ベルマウス式
概念図							
概要	坑口付け位置より10m程度前方に重力式擁壁を設ける。最近ではウイング式で代用され、ほとんどの採用されていない。 ・比較的地形急峻の場合や土留擁壁の構造を必要とする場合 ・落石が懸念される場合	地山を切り込み、土留め壁として計画する。トンネル延長を短くでき経済的である。鉄道トンネルの大部分で採用される。 ・比較的地形急峻な地形で切り込んで坑口を設ける場合 ・斜交型斜面の場合には側方に土留め壁や抱き擁壁を設ける	ウイング式に対してトンネル延長を長くし、丸みをもたせることにより圧迫感を軽減する形式である。 ・比較的地形がなだらかな場合 ・左右の切土工が比較的小さい場合	アーチ部を突出式とし、盛りこぼしに対する土留め壁を設ける。坑門としては合理的な構造である。 ・尾根状地形や左右に他の構造物との取合いが少ない場合	おもに景観を向上するため、トンネル本体と同一の中空断面を突出させて、明り巻を設ける形式である。 ・周辺の地形が比較的なだらかな場合 ・斜交型斜面には適応しにくい ・斜面対策の押え盛土を施工する場合 ・落石が懸念される場合	突出式のコンクリート露出部分をなくした形式であり、ラッパ状に開いたものがベルマウス式である。 ・周辺の地形がなだらかな場合 ・坑口周辺が開けた場合 ・直交型斜面の場合 ・坑門周辺の造成を伴う場合	左記とは逆に頂部のコンクリート露出を多くした形式であり、坑門を大きく見せることができる。 ・急斜面で地山の切込みができない場合 ・落石が多い場合
地形条件による適用性	・積雪地でも問題は少ない	・積雪地でも問題は少ない	・積雪地でも問題は少ない	・積雪地でも問題は少ない	・積雪地でも問題は少ない	・積雪地では吹込み、雪庇が発生しやすい	・積雪地では吹込み、雪庇の防止効果が期待できる
気象条件による適用性	・地質条件によっては杭や大規模な置換え基礎が必要になる	・トンネル本体との一体化が必要になる	・地形によっては、一部明かり巻(とくにアーチ部)が必要である ・多少の保護盛土を必要とする	・数mの本体工の明かり巻を必要とし、かつ盛りこぼしに対し多少の土留壁が生じる	・トンネル延長が長くなる ・一般に保護盛土が必要となる	・型枠、配筋等にやや手間がかかる ・一般に保護盛土が必要となる	・重心位置の関係から基礎の支持力の十分な検討を要する ・型枠、配筋等に手間がかかる
設計、施工上の留意点	・壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のはつり等)が必要となる ・重量感はあるが、圧迫感を感じやすい	・壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のはつり等)が必要となる ・重量感はあるが、圧迫感を感じやすい	・アーチ部の曲線により圧迫感を緩和できる ・周辺地形と違和感がないような配慮が必要	・壁面積が少なくなるため、圧迫感が比較的小さい ・坑口周辺地形と調和しやすい	・壁面積が少なくなるため、圧迫感が小さい ・坑口周辺地形と調和しやすい	・入口を広げたベルマウス式は進入しやすい ・周辺地形を修景することにより坑門との調和が図れる	・車道の走行に与える影響は少なくなる ・坑口周辺地形と調和しやすい
景観							



出典: JICA 調査団

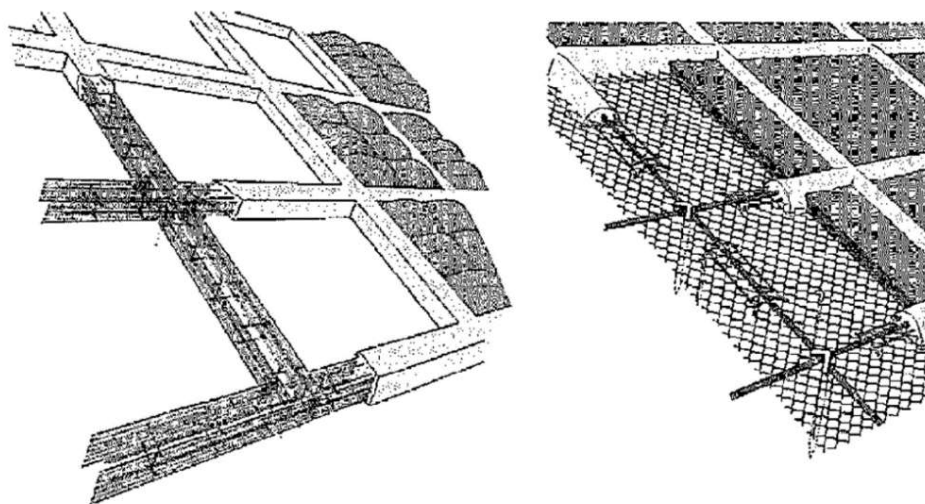
図 8.6-37 北トンネル坑口位置検討

4) 坑口斜面の防護

先に述べたように、坑口斜面や道路切土の急斜面部には、詳細設計において斜面防護工を検討する必要があるが、下記に参考例を示す。

(a) 法枠工

- 法枠工は、一般的には表土や岩盤の侵食防止や滑落防止を目的として選定されるが、法面アンカー工（ロックボルト式アンカーやグラウンドアンカー）の頭部との連結板として利用する例もある。
- 法枠工は、枠の形状や大きさ、枠の間隔が様々なタイプがあるため、斜面勾配や使用目的に応じて最適なタイプを選択する必要がある。

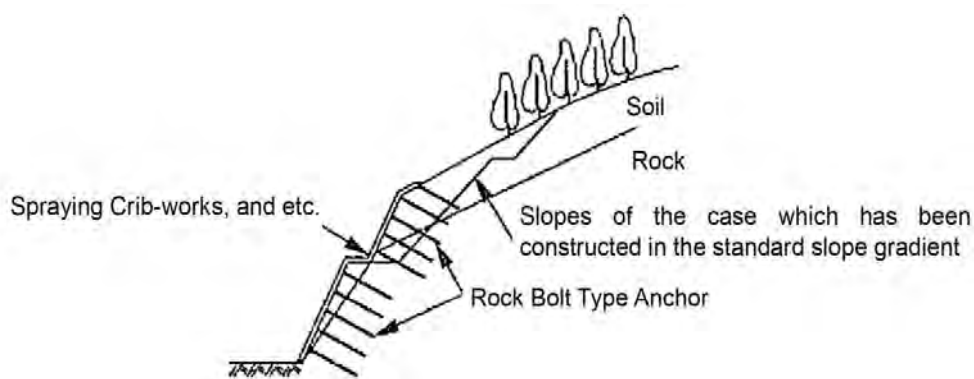


出典: JICA 調査団

図 8.6-38 法枠工の例

(b) 法面アンカー工

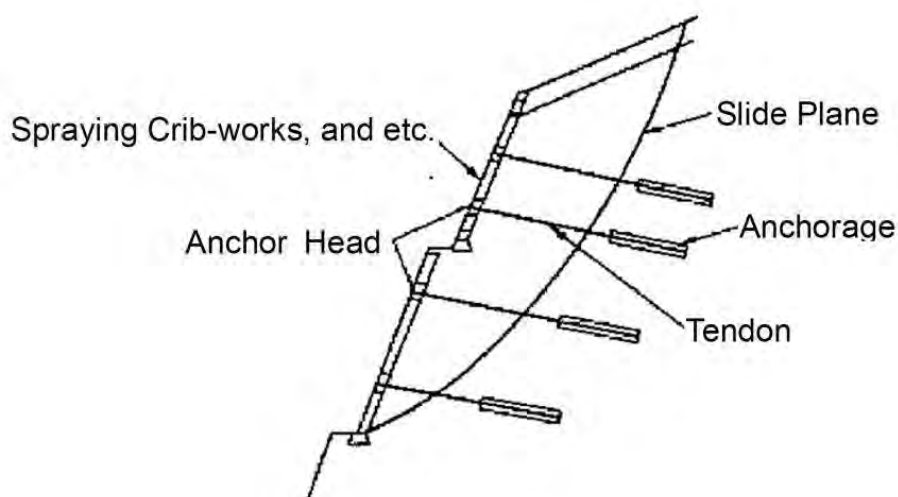
- 法面アンカー工は、ロックボルト式アンカーとグラウンドアンカーに大別される。
- ロックボルト式アンカーは、ボーリングマシンで掘削した穴に鉄筋やセメントミルクを挿入し、斜面を補強する工法である。そして、「標準斜面勾配」よりも急勾配の斜面で掘削量を減らしたい場合によく使われる工法である。



出典: JICA 調査団

図 8.6-39 ロックボルトタイプのアンカー工

- グラウンドアンカーは、原則として斜面の崩壊や地すべりを防止する目的で選定される。グラウンドアンカーは、「テンドンとアンカレッジ」からなるアンカーテンドン（プレストレス鋼線）のプレストレスにより斜面を押さえつける工法で、セメントミルクとともにボーリングマシンで掘削した穴に挿入して使用する。



出典: JICA 調査団

図 8.6-40 グランドアンカータイプのアンカー工



出典: JICA 調査団

図 8.6-41 グランドアンカー工と法枠工の例

(c) 石積みブロック壁

- 石積みブロック壁は、厳密には擁壁であるが、斜面保護としての機能も併せ持つ構造物である。
- 石積みブロック壁は、原則として表土や岩盤の侵食防止や滑落防止を目的として選定される。このタイプは、土や岩の斜面の下に使用される。
- この種の構造物としては、石積み壁が一般的であるが、経済性を考慮してブロック（ラブル・コンクリート）積みの石積み壁に置き換える場合もある。



出典: JICA 調査団

図 8.6-42 石積みブロック壁の例

(d) MSE 擁壁（補強土壁）

- MSE 擁壁 (Mechanically-stabilized earth retaining walls) は、厳密には擁壁として分類されるが斜面の保護としても機能する構造である。
- 土やコンクリートは引張に非常に弱いことが知られているが、主ひずみ方向と同じ方向に鉄筋を配置することで、引張抵抗力を高めることができる。MSE の補強土システムのコンセプトは、基本的にこの補強材による引張抵抗の増加に着目している。
- MSE の補強土システムは、基本的に 3 つの構成要素（裏込め、補強、面材）で構成される。
- 裏込め補強土システムは、そのほとんどが土と補強材の間の摩擦に依存する。そのため、土と補強材の相互作用が良好であることが必要である。
- 補強材には、伸縮しないもの（鋼鉄）と伸縮するもの（ジオシンセティックス）がある。



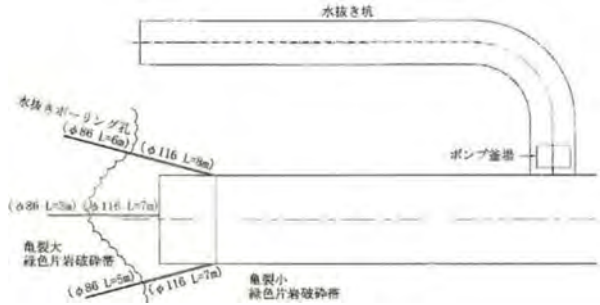
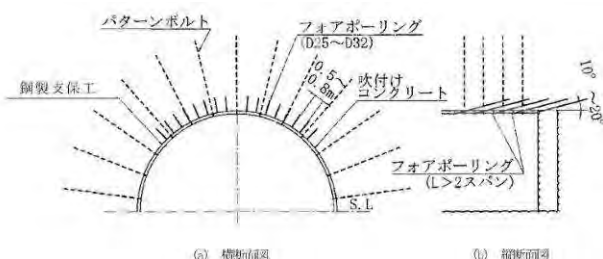
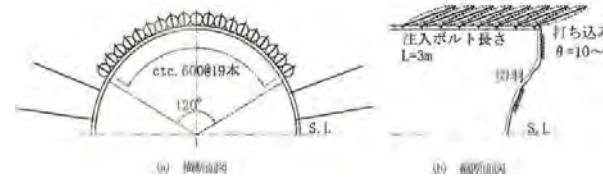
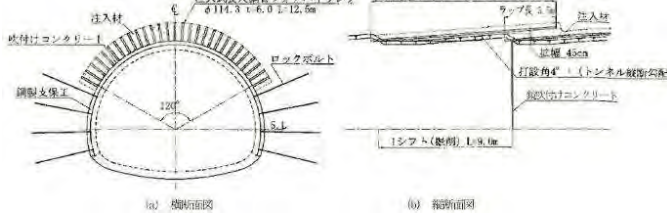
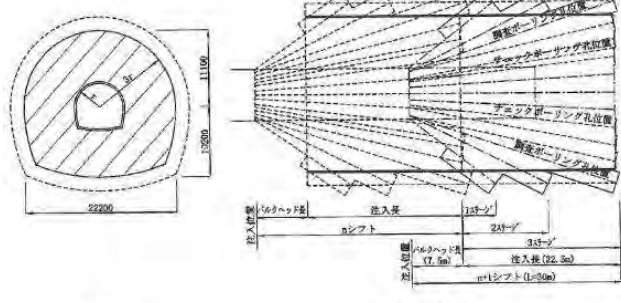
出典: JICA 調査団

図 8.6-43 MSE 擁壁の例

8.6.10 補助工法

8.6.5 で述べたように、トンネル計画区間の地山には、亀裂帯、断層破碎帯、岩相境界の存在が推定される。これらの箇所や坑口区間の低土被り部においては、トンネルの周辺地山が不安定で、掘削の際には坑内への地山の崩落や湧水の発生が懸念される。ここで、トンネル工事を安全に実施するために考えられる補助工法を下表にまとめた。また、水抜きボーリングと水抜き坑以外の工法は、トンネル工事による水源への影響や地盤沈下等の環境影響へ対策としても適用される。

表 8.6-30 本トンネル工事で考えられる補助工法

補助工法	説明	解説図／施工例
水抜きボーリング	ボーリング機またはドリルジャンボにより穿孔された孔を利用して水を抜き、水圧、地下水位を下げる工法。	 水抜き機 水抜きボーリング孔 (φ86 L=6m) (φ116 L=9m) ポンプ装置 亀裂大 緑色片岩破砕帯 (φ86 L=5m) (φ116 L=7m) 亀裂小 緑色片岩破砕帯 水抜きボーリングと水抜き坑の併用例
水抜き坑	特に地下水位が多い場合に、小断面導坑を先進させて水を抜く工法。	
充填式フォアポーリング	切羽面から上半アーチ外周に 5m 程度以下のボルト、鉄筋、パイプ等を施工することにより、天端の見かけのせん断強度の増大、崩落防止等を期待する工法。一般に鉄筋を使用してセメントミルクやモルタル等で充填を行うが、切羽の状態によっては充填しない場合もある。	 バターンボルト 鋼製支保工 フォアポーリング (D.5~D.32) 吹付け ジェットリット フォアポーリング (L>2スパン) S.L. (a) 横断面図 (b) 縦断面図
注入式フォアポーリング	切羽より斜め前方の地山に 5m 程度以下のボルトやパイプ等を打設すると同時に超急結性のセメントミルクや薬液等を圧力注入し、切羽前方のアーチ部の安定性を高める工法。	 etc. 600φ19本 吹付け ジェットリット 注入ボルト長さ L=3m 打ち込み角度 $\theta=10\sim30^\circ$ S.L. (a) 横断面図 (b) 縦断面図
長尺フォアパイリング	崖錐、断層破砕帯、未固結地山等のアーチ作用が期待できない不安定な地山を補強し、先行変位を抑制するとともに切羽の安定化を図る工法で、一般に先受け材としては鋼管が用いられ、その長さは 5m 程度以上である。鋼管と地山との空隙にセメントミルク等を充填する充填式と鋼管の周囲の地山にセメントミルクや薬液等を圧力注入し、鋼管と注入材が一体となった改良帯を造成することにより地山の補強を図る注入式がある。	 注入材 吹付け ジェットリット 鋼製支保工 ロックボルト 長尺鋼管フォアパイリング L=12.5m クラップ長 3.5m 法入坑 法入坑 45cm 打ち込み角度 $\theta=10\sim30^\circ$ (トンネル掘削方向) 吹付け ジェットリット 1シフト (掘削) L=9.0m S.L. (a) 横断面図 (b) 縦断面図
止水注入工法	切羽前方や周辺の地山中にセメントミルク等の非薬液系材料や水ガラス系の薬液等を注入し、地山の亀裂や空隙等の水みちを閉塞することにより地山の透水性を低下させ、止水性を図る工法。	 注入材 吹付け ジェットリット 鋼製支保工 ロックボルト 長尺鋼管フォアパイリング L=12.5m クラップ長 3.5m 法入坑 法入坑 45cm 打ち込み角度 $\theta=10\sim30^\circ$ (トンネル掘削方向) 吹付け ジェットリット 1シフト (掘削) L=9.0m S.L. (a) 横断面図 (b) 縦断面図

出典：トンネル標準示方書山岳工法編・同解説（2016 年制定）

8.7 トンネル設備設計(1) (電気・通信)

8.7.1 概要

本事業の道路では、2 箇所 of トンネル（南トンネル、北トンネル）について、一方通行、片側 2 車線 x 上下線 = 4 車線で計画している。ここでは、これらのトンネルに設置するトンネル設備（電気・通信）の設計について述べる。

8.7.2 トンネル諸元

トンネル設備の設置対象となる各トンネルの諸元は、下表の通りである。

表 8.7-1 トンネル諸元

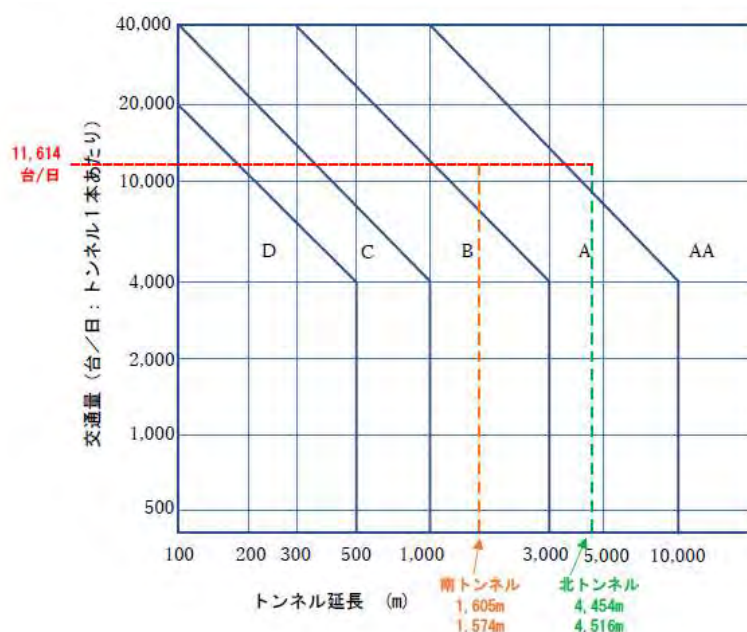
項目	南トンネル	北トンネル
設計速度	60 km/h	
計画交通量（2040 年）	11,614 台/日	
トンネル延長	南行き 1,605m 北行き 1,574m	南行き 4,454m 北行き 4,516m
勾配(南行き・北行き共に)	+2.5%, -0.3%	+0.3%, -0.95%
通行方式	一方通行 2 車線	
避難坑	連絡横坑により隣トンネルに 避難	連絡横坑により隣トンネル に避難

出典：JICA 調査団

8.7.3 設置対象設備の検討

(1) トンネル等級

設置対象設備をトンネル等級より定める。トンネル等級は、「国土交通省 道路トンネル非常用施設設置基準（平成 31 年 3 月）」にもとづき、トンネル延長および交通量から下図を用いて読み取る。その結果は、南トンネルは A 等級、北トンネルは AA 等級となる。



出典：道路トンネル非常用施設設置基準

図 8.7-1 トンネル等級区分

上図のトンネルの等級区分はトンネル内における事故発生率から定められている。一方、一定の条件においては上図で定まる等級より一階級上位の等級とすることが望ましいとされており、例えば標準よりも事故率が高いことが予想される場合として、NEXCO 設計要領 第三集 トンネル 保全編 (5)トンネル非常用施設に具体的に以下（以下のいずれか）のような目安が挙げられている。

- 平面曲線半径 500m 以下のトンネル
- 3%を超える長い下り勾配のトンネル

本プロジェクトの南トンネル、北トンネルにおいては、その勾配は南トンネルが+2.5%, -0.3%、北トンネルが+0.3%, -0.95%となっており、いずれも 3%未満の下り勾配となっている。また、平面曲線半径は 500m 以上である。

この条件下において、両トンネルにおいて一階級上位の等級とする措置は必要ないものと考えらる。

以上により、南トンネル、北トンネルのトンネル等級は以下とする。

表 8.7-2 トンネル等級区分

項目	南トンネル	北トンネル
トンネル等級	A 等級	AA 等級

出典：JICA 調査団

(2) 設置対象設備の選定

設置対象設備は、以下の基準を基本として選定する。

- DPWH DGCS Volume 5 Chapter 21 Tunnels
- NEXCO 設計要領 第三集 トンネル 保全編 (5)トンネル非常用施設

NEXCO 設計要領 第三集 トンネル 保全編 (5)トンネル非常用施設においては上記にて定めたトンネル等級に応じて設置対象設備が定められており、これを基本として設置対象設備を選定する。

また、上記基準のほか、トンネル O&M 計画を考慮し、O&M 計画にて設置が必要となる設備は設置対象として選定する。

以上より、南トンネル、北トンネルのそれぞれについて、選定した設置対象設備を下表に示す。

表 8.7-3 設置対象設備（電気・通信）

No.	区分	設備	南トンネル (A等級) 延長<3km	北トンネル (AA等級) 延長≧3km	設置基準
電気設備					
1	電源設備	受変電設備	○	○	各設備への電源供給のため設置
2		無停電電源装置(UPS)	○	○	各設備への電源供給のため設置
3		予備発電設備	○	○	各設備への電源供給のため設置
4	照明設備	トンネル照明	○	○	DGCS
通信設備					
5	トンネル非常用設備	非常電話	○	○	NEXCO設計要領(A等級は設置)
6		押ボタン通報装置	○	○	NEXCO設計要領(A等級は設置)
7		火災検知器	○	○	NEXCO設計要領(A等級は設置)
8		道路情報板(トンネル入口)	○	○	DGCS、NEXCO設計要領(A等級は設置)
9		トンネル内信号機(非常駐車帯)	—	○	NEXCO設計要領(A等級は3km以上のトンネルで設置)
10		誘導表示板	○	○	NEXCO設計要領(A等級は設置)
11	無線通信設備	ラジオ再放送	○	○	DGCS
12		拡声放送	○	○	NEXCO設計要領(ラジオ再放送を備えるトンネルで設置)
13		無線通信補助	漏洩同軸ケーブル	○	DGCS
14			坑口電話	○	NEXCO設計要領(A等級は設置)
15		業務用無線	○	○	携帯電話不感地帯があるため設置する
16	CCTVカメラ	CCTV(トンネル内、トンネル坑口)	○	○	DGCS
17	トンネルコントロールセンター	遠方監視制御装置	○	○	OCCにて両トンネルを監視するため設置する

出典：JICA 調査団

8.7.4 適用基準

各設備に適用する設計基準を下表に示す。

表 8.7-4 適用基準

No.	区分	設備	設置基準	
電気設備				
1	電源設備	受変電設備	International Electrotechnical Commission (IEC)	
2		無停電電源装置(UPS)	International Electrotechnical Commission (IEC)	
3		予備発電設備	International Electrotechnical Commission (IEC)	
4	照明設備	トンネル照明	DGCS、Illuminating Engineering Society (IES)	
通信設備				
5	トンネル非常用設備	非常電話	国土交通省電気通信施設設計要領	
6		押ボタン通報装置	NEXCO設計要領	
7		火災検知器	NEXCO設計要領	
8		道路情報板(トンネル入口)	DGCS、NEXCO設計要領	
9		トンネル内信号機(非常駐車帯)	NEXCO設計要領	
10		誘導表示板	NEXCO設計要領	
11	無線通信設備	ラジオ再放送	DGCS、NEXCO設計要領	
12		拡声放送	NEXCO設計要領	
13		無線通信補助	漏洩同軸ケーブル	DGCS、NEXCO設計要領
14			坑口電話	NEXCO設計要領
15			業務用無線	国土交通省電気通信施設設計要領
16	CCTVカメラ	CCTV(トンネル内、トンネル坑口)	DGCS、NEXCO設計要領	
17	トンネルコントロールセンター	遠方監視制御装置	NEXCO設計要領	

出典：JICA 調査団

8.7.5 電気設備 (1) 受変電設備

(1) 概要

受変電設備は電力会社から高圧で電力を受電し、中圧および低圧に電圧変換してトンネル設備へ電力供給する設備である。

受変電設備は、遮断器、断路器、母線、電力会社からの受電フィーダ、各負荷設備への配電フィーダ、電圧・潮流・周波数・力率の計測装置、遮断器等の機器の監視制御装置、保護リレーなどを装備したスイッチギア（受電盤）と、変圧器で構成される。

これらの設備は、各トンネルの坑口付近に設けられる電気室に設置する。

(2) 電気室の設置箇所

電気室の設置箇所は、電力会社からの受電ルートや受電電圧を決定後に検討することとなる。ただし、南トンネルが 1.59km、北トンネルが 4.49km とともにトンネル延長が長く、電力負荷の大きいジェットファンへの電源ケーブルを考慮した場合、片坑口からの電力供給とすると電源ケーブル長が長くなり電圧降下が許容値に収まらなくなるため、両トンネルとも両坑口からの電源供給とする。

このことから、電気室は両トンネルとも、両坑口に設置するものとする。

電気室の設置計画箇所を下図に示す。



A, B, C, D:
電気室計画箇所
<電気室名>

A : SN2 (Substation for NorthTunnel 2)
B : SN1 (Substation for NorthTunnel 1)
C : SS2 (Substation for SouthTunnel 2)
D : SS1 (Substation for SouthTunnel 1)

*距離標に従い南→北の順に番号付け

出典: JICA 調査団

図 8.7-2 電気室の配置計画箇所

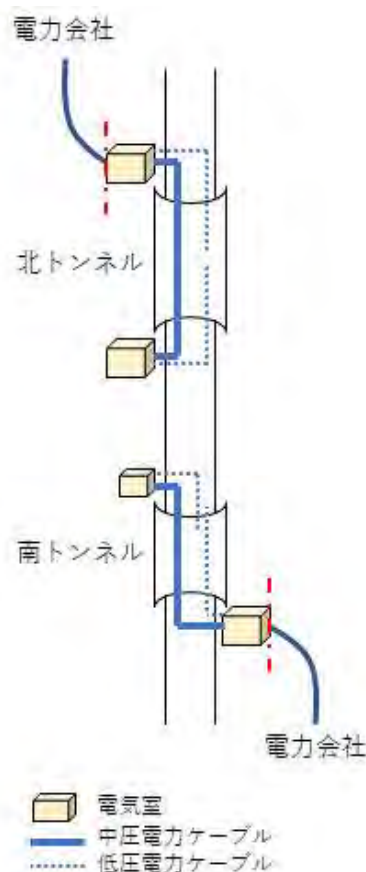
(3) トンネル設備への配電線構成

上述の通り、どの電気室で電力会社より受電するかについては別途の検討を待つこととなるが、仮に南トンネル南坑口の電気室、および北トンネル北坑口の電気室にてそれぞれのトンネルエリアを管轄する電力会社から受電とした場合、電気室からトンネル設備への配電線の構成は概ね下図の通りである。

トンネル設備へは、両坑口の電気室から低圧配電線にて電力供給する。電力会社からの受電点

とはならない電気室への電力供給は、電力会社からの受電電気室から電気室間の中圧配電線を通して供給する。

両トンネル間の中圧配電線の敷設要否については、電力会社からの受電ルートの調査・計画結果を踏まえた検討が必要である。例えば、南または北いずれか一方の電力会社のみから両トンネル向けに受電する場合は、両トンネル間の中圧配電線は敷設が必要となる。



出典: JICA 調査団

図 8.7-3 電気室の配置とトンネル設備への配電線の計画概要

(4) 電気室内の受変電設備の構成

電力会社からの受電ルートの調査・計画結果も踏まえた検討が必要であるが、現時点（2022 年 7 月）では決まっていない。

8.7.6 電気設備 (2) 無停電電源装置(UPS)

電力会社からの商用電源停電時は、本トンネルに設置する非常用発電機より電力供給を行うが、非常用発電機が作動するまでの間、無停電電源装置（UPS）から電源を供給する。

UPS システムは、インバーター停止/スタンバイシステム、インバーター標準電源システム、およびインタラクティブコンバーターシステムの 3 種類がある。

(1) インバーター停止/スタンバイシステム

UPS はインバーターの制御回路だけを駆動し、バッテリーは通常通りバッテリー充電器によって充電する。平常時は商用電源からスイッチャーを介して負荷側へ電力供給される。

商用電源停電時には、スイッチャーがインバーター側に切り替わり、バッテリー放電によりイ

ンバーターが自動的に起動し、交流電力が負荷側に供給される。

(2) インバーター通常電力供給システム

平常時は、充電器からインバーターを介して負荷側へ電力を供給する。バッテリーへは浮動充電が定期的に行われる。停電時には、バッテリーからインバーターを介して電力が供給されるので、負荷側への電力は一切遮断されない。

(3) インタラクティブコンバーターシステム

充電器とインバーターの双方の機能を備えている。平常時は充電器としてバッテリーを充電し、負荷側への直接電力供給は商用電源から行う。停電時には、インバーターとして機能し、バッテリーから負荷側に電力が供給する。このとき、AC スイッチは OFF 状態になり、交流入力側への逆流が防止される。

本事業では、通信設備には瞬断に対応したサーバ設備、照明設備には瞬時再点灯が可能な LED 光源を採用するため、瞬断によって故障する設備はない。したがって、経済的に安価なインタラクティブコンバータシステムを採用する。

8.7.7 電気設備 (3) 予備発電設備（非常用発電機）

トンネル内には、照明、換気、非常用設備などが備えられる。そのうち重要な施設には非常用発電機を設置し、商用電源切断時にも安全な電源供給を確保する必要がある。本トンネルには、災害発生時の救助・避難活動に必要な各種緊急設備（非常照明、消火栓、消火ポンプ、CCTV 設備など）を動作させるために必要な非常用電源を準備する。

商用電源に障害が発生した場合には、ディーゼル発電機が起動して非常用電力を供給する。ディーゼル発電機が起動するまでは、UPS からバックアップ電力を供給して非常用電力維持する。

表 8.7-5 非常用電源の比較

項目	ディーゼルエンジン	ガスタービンエンジン
外観		
燃料消費	0.23～0.31kg/kWh	0.52～0.68kg/kWh
燃料	ディーゼル油、重油	灯油、ディーゼル油、重油
起動時間	5～40 秒	20～40 秒
特徴	重量は重い 設置スペースが広い 換気システムは小さい	重量は軽い 設置スペースが小さくて済む 換気システムは大きい
コスト	100%	160%
評価	○	×

出典：JICA 調査団