

ミャンマー連邦共和国
建設省公共事業局

ミャンマー国
ヤンゴン都市圏開発プログラム形成
準備調査（都市交通）
バゴー橋建設事業協力準備調査

ファイナルレポート
和 文 要 約

平成 26 年 8 月
(2014 年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社アルメック V P I
株式会社オリエンタルコンサルタンツ
日 本 工 営 株 式 会 社
共 同 企 業 体

基盤
CR(5)
14-172

ミャンマー連邦共和国
建設省公共事業局

ミャンマー国
ヤンゴン都市圏開発プログラム形成
準備調査（都市交通）
バゴー橋建設事業協力準備調査

ファイナルレポート
和 文 要 約

平成 26 年 8 月
(2014 年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社アルメック V P I
株式会社オリエンタルコンサルタンツ
日 本 工 営 株 式 会 社
共 同 企 業 体



バゴー橋建設事業 協力準備調査

ファイナルレポート 和文要約

目次

1	はじめに	1
1.1	事業の背景	1
1.2	事業の目的	2
1.3	本事業に関連する他の調査	2
1.4	提案された3ヶ所の架橋位置	4
2	協力準備調査の概要	5
2.1	調査作業工程	5
2.2	調査団員の構成	5
2.3	調査概要	6
3	公共事業局(PW)の組織	8
4	バゴー橋建設事業に適用予定の設計基準	10
4.1	構造物(橋梁)設計基準	10
4.2	道路設計基準	10
4.3	橋梁設計で考慮する船舶高さについて	10
5	バゴー橋架橋候補地比較検討	13
5.1	初期設計の前提条件	13
5.2	架橋候補3地点の比較検討	16
5.2.1	路線概要	16
5.2.2	提案路線周辺土地利用状況	17
5.2.3	予想される環境社会配慮状況	18
5.2.4	事業実施に伴う道路網・交通環境への影響	19
5.2.5	採用の可能性がある橋梁形式	21
5.2.6	概略建設費	22
5.2.7	交通計画の見地による架橋候補3地点の比較	23
5.3	バゴー橋建設事業に関連する情報	24
5.3.1	ミャンマー港湾公社(MPA)の意見	24
5.3.2	既設タンリン橋付近での航路	24
5.4	バゴー橋架橋地点選定	26
6	バゴー橋予備設計	27

6.1	線形設計	27
6.2	橋梁上部工設計検討	27
6.2.1	上部工形式比較案	28
6.2.2	最適橋梁形式の選択方法	28
6.2.3	評価結果と提案橋梁形式	29
6.3	橋梁下部工設計検討	29
6.3.1	基礎形式の検討	29
6.3.2	下部工形式の検討	35
6.3.3	橋台形式の検討	36
7	自然条件調査	37
7.1	地形測量	37
7.1.1	ヤンゴン都市圏の地形概要	37
7.1.2	地形測量	38
7.1.3	測量結果	42
7.2	地質調査	43
7.2.1	地質概要	43
7.2.2	地質調査	44
7.2.3	設計土質定数	58
7.2.4	土質調査結果まとめ	60
8	バゴー川の水文に関する評価	61
8.1	気象状況	61
8.1.1	降雨量	63
8.1.2	降雨の超過確率と強度曲線	63
8.2	水文 / 水理状況	63
8.2.1	河川と河川流動特性	65
8.2.2	ヤンゴン地区周辺の潮位	66
8.3	確率洪水及び高水位の推定	67
8.4	計画橋梁地点の水文学的評価	73
8.4.1	橋梁の水理設計クライテリア	73
8.4.2	洗掘の評価	73
8.4.3	計画橋梁の評価	74
9	概略設計	76
9.1	既設タンリン橋近傍でのバゴー橋架橋位置検討	76
9.2	ティラワ経済特別区(SEZ)連絡道路との接続	77
9.3	構造物設計	78
9.3.1	上部工の構造設計	78
9.3.2	基礎の概略設計	88
9.3.3	下部工の概略設計	88
9.3.4	橋台の概略設計	90
9.4	道路設計	90

9.4.1	線形設計	90
9.4.2	道路部の横断構成	90
9.4.3	軟弱地盤対策工の必要性	91
9.4.4	舗装構造の検討	92
9.5	施工計画	95
9.5.1	現地条件	95
9.5.2	工区区分の代替案	96
9.5.3	仮設工	97
9.5.4	施工手順	98
9.5.5	施工期間	103
10	概略事業費積算	104
10.1	基本条件	104
10.2	調達方法	104
10.3	建設数量	106
10.4	概算建設費	109
10.4.1	ユニットコスト	109
10.5	用地取得・住民移転費用	111
10.5.1	用地取得費用	111
10.5.2	住民移転費用	112
10.5.3	総費用	112
10.6	概算建設費・プロジェクト費	112
11	交通需要予測と経済財務分析	114
11.1	はじめに	114
11.2	社会経済フレームと将来需要予測	114
11.3	経済評価	120
11.3.1	評価手法と前提	120
11.3.2	経済価格	121
11.3.3	経済便益	122
11.3.4	評価結果	122
11.3.5	運用・効果指標	123
12	環境社会配慮	124
12.1	環境社会配慮に関する法規制及び枠組み	124
12.1.1	環境社会配慮関連の法令	124
12.2	対象地域の環境の現況	129
12.2.1	対象地域の概況	129
12.2.2	社会環境	129
12.2.3	自然環境	131
12.2.4	環境汚染の状況	133
12.3	初期環境調査 (IEE) の結果	136
12.3.1	バゴー橋建設計画の概要	136

(1) 計画代替案の検討	136
12.3.2 環境影響の予測・評価	136
12.3.3 負の影響の緩和策と環境管理計画	142
12.3.4 環境モニタリング計画	146
12.4 非自発的住民移転	149
12.4.1 用地取得・住民移転の必要性	149
12.4.2 用地取得・住民移転に係る法的枠組み	150
12.4.3 用地取得・住民移転発生の範囲・規模	154
12.4.4 補償及び移転支援費用の算出	158
12.4.5 本プロジェクトにおける構造物移転・住民移転の手続き	159
12.5 ステークホルダー協議の結果	160
12.6 JICA 環境チェックリストによる環境社会配慮の確認	161
13 事業実施方法の検討	170
13.1 事業実施主体	170
13.2 事業実施工程	170
14 結論と提言	172
14.1 結論	172
14.2 提言	174
 付録 1 図面集	

1 はじめに

1.1 事業の背景

ミャンマー連邦共和国（以下「ミ」国）では、これまで諸外国からの自動車輸入を規制してきたため、車両保有率は 25 台/1,000 人とかなり低い状況にあった。また「ミ」国旧首都のヤンゴン市では市内へのバイク乗り入れ規制を実施していたため、都心部の渋滞は従来顕著ではなかった。しかしながら近年の経済発展や自動車輸入規制の緩和等によって、ヤンゴン市では車両台数の急激な増加が発生し、人や物の流通を支える市内交通網の不足が顕在化している。さらに、ヤンゴン都市圏はヤンゴン川、バゴ川等の河川によって分断されているため、そのような分断された地域を結ぶための道路網の整備も重要となってきた。また、「ヤンゴン都市圏都市開発セクター情報収集・確認調査」（2012 年）では、タンリン地区など、ヤンゴン市郊外へ市街地が拡大し新たにヤンゴン都市圏を形成しつつあることが確認されている。

タンリン地区内にあるティラワ経済特別区（以下、「SEZ」という。）は、ヤンゴン中心市街地から南に約 23km の約 2,400ha に、工業団地・商業施設・住居区域等を整備する、我が国と「ミ」国の官民が進める総合開発プロジェクトである。商業的運用を 2015 年に開始することを目指しており、2012 年 12 月には両政府間で「ティラワ SEZ 開発のための協力覚書」が署名されている。

今後大規模開発が予定されるティラワ SEZ を含むタンリン地区とヤンゴン中心部を隔てるバゴ川に架かる橋梁は図 1.1 に示す通り現在 2 橋梁ある。しかし、下流のタンリン橋（片側 1 車線、鉄道併用橋）は、老朽化による荷重制限のため、トラックは通行できず、上流のダゴン橋（片側 3 車線）では、ヤンゴン・ティラワ SEZ 間は遠回りとなる。



出典：JICA 調査団

図 1.1 バゴ川に架かる既設2橋梁の位置図

経済産業省による「平成 23 年度インフラ・システム輸出促進調査等事業」によると、ティラワ地区は将来的には人口 30~40 万人となることが想定されており、タンリン地区と合わせると 50 万人規模となる。「ヤンゴン都市圏開発プログラム形成準備調査」（2012 年-2013 年）の分析によると、バゴ川を渡る交通容量が不足となる見込みであるため、ティラワ SEZ の魅力を向上し、円滑な投資誘致およびその後の開発・発展のため、ヤンゴン中心部とティラワ SEZ 間の円滑な交通・物流網の整備・増強が課題となっている。

ミャンマー国ヤンゴン都市圏開発プログラム形成準備調査（SUDP）、およびミャンマー国ヤンゴン都市圏開発プログラム形成準備調査（都市交通）（YUTRA）が独立行政法人国際協力機構の調査として実施されたが、両調査でも将来交通量に対し、ヤンゴン地区とタンリン地区間での交通容量不足を指摘している。SUDP では将来都市圏開発に新橋建設が不可欠な要素だとし、提案する将来交通網の中にバゴ-橋建設を織り込み済みである。YUTRA では提言に述べるように 2015 年中には既設タンリン橋の交通量が交通容量を超える事を推定しており、バゴ-橋の早期整備が望ましいことを結論づけている。

ヤンゴン地区・タンリン地区間の主要な交通量増は通勤・通学者によるものと想定されている。たとえ新橋を建設してもすべての交通が道路交通となることは、限りのある道路網を過度に利用することとなり、道路交通環境の悪化を促すことにしかならない。公共交通の育成・利用促進、軌道系交通の利用等、交通手段の多様化が望ましいが、ヤンゴン地区・タンリン地区間に通勤・通学を主目的とした鉄道を建設することは、将来の望ましい交通環境を実現するためにきわめて有効で意義のある提案と判断される。

ヤンゴン地区・タンリン地区間に通勤・通学鉄道を建設する場合は、最短距離を結ぶことにより建設費の最小化を図ることが望ましい。また鉄道橋を単独で建設するよりも道路・鉄道併用橋を建設することが顕在的と判断される。

バゴ-橋を道路・鉄道併用橋として建設するかどうかは詳細な検討が必要であるが、バゴ-橋の建設はタンリン地区の発展を確かなものとし、ティラワ SEZ 開発促進に大きく寄与し、ひいては「ミ」国の経済発展に寄与すると考えられる。

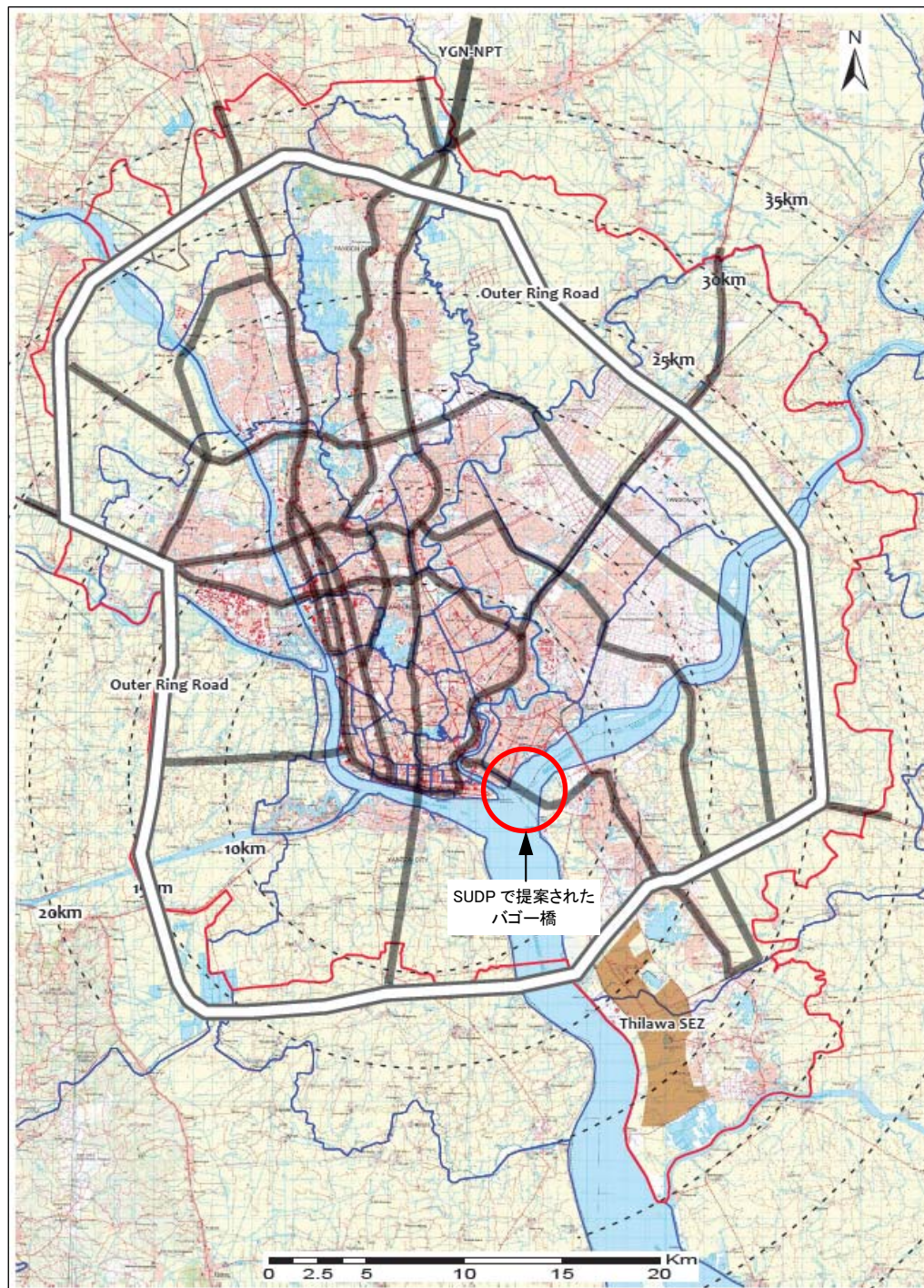
1.2 事業の目的

2013年5月15日付で、独立行政法人国際協力機構と「ミ」国建設省（MOC）公共事業局（PW）との間で取り交わされた議事録記載の通り、本協力準備調査の目的はバゴ-川に架ける橋梁及び取り付け道路の建設に関わるフィージビリティスタディを行うものである。

1.3 本事業に関連する他の調査

ミャンマー国ヤンゴン都市圏開発プログラム形成準備調査（SUDP）が実施され、2013年4月に最終報告書が提出されている。この調査によれば、バゴ-川を横断する交通需要は2040年には現在の4倍となり、走行車線数に換算するとほぼ20車線が必要になる交通量となることが予測されている。ちなみに現在の車線数は既設タンリン橋の2車線とダゴン橋の6車線、合計8車線である。

ミャンマー国ヤンゴン都市圏開発プログラム形成準備調査（都市交通）（YUTRA）における初期調査・解析においてもヤンゴン地区・タンリン地区間の交通容量不足が指摘し、バゴ-橋建設を行ったケースと行わないケースの解析を行い、2015年中には交通量が交通容量を超える事を指摘している。



出典：SUDP 調査団 (Figure 3.4.14)

図 1.2 SUDP で提案された将来道路網計画

注：SUDP がバゴ橋をバゴポイントに設定しているのは以下の理由による。

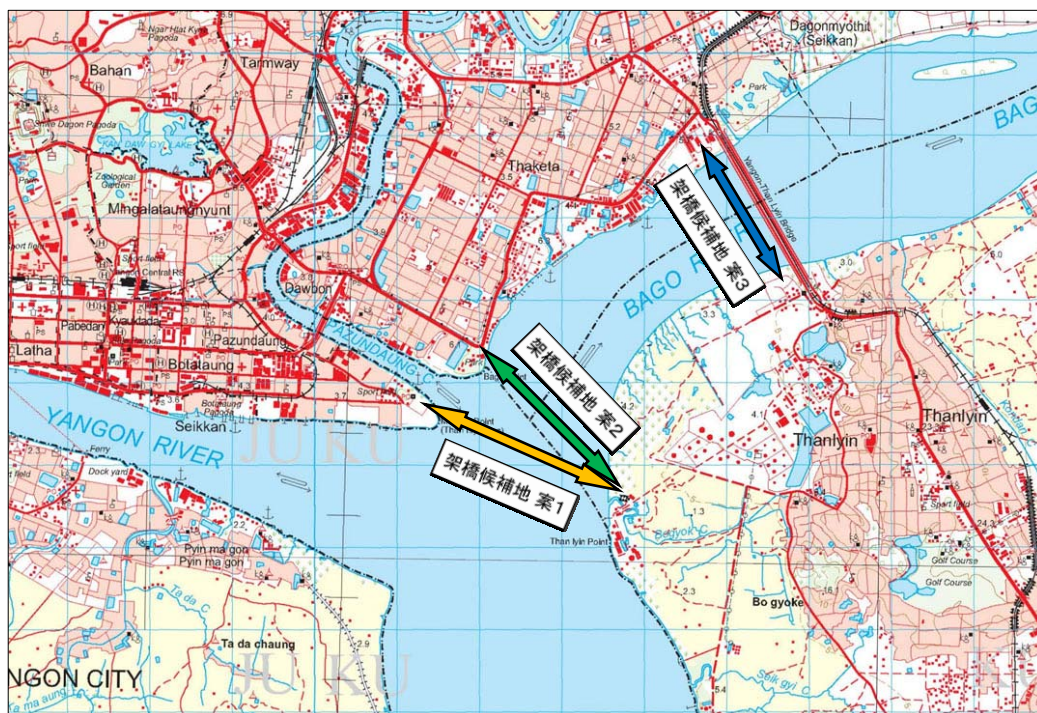
1. SUDP はヤンゴン川沿いに水辺開発を計画している。
2. バゴ橋をモンキーポイントに建設すると交通渋滞を惹起する恐れがあり、水辺開発計画とそぐわないと判断した。

1.4 提案された3ヶ所の架橋位置

ヤンゴン都市圏開発プログラム形成準備調査でバゴ-橋に係る初期調査が実施され、取付道路となりうる現道位置から下記に示す3ヶ所の架橋候補地が提案されている。

架橋候補地	ヤンゴン側取付現道
案1：モンキーポイント	ストランド道路
案2：バゴ-ポイント	ヤモンナール道路
案3：既設タンリン橋近傍	シュキンタール — マヨパット道路

図 1.3 に3ヶ所の架橋候補地の位置を示す。



出典：JICA 調査団

図 1.3 3ヶ所のバゴ-橋架橋候補地

2 協力準備調査の概要

2.1 調査作業工程

本協力準備調査の作業工程を表 2.1 に示す。作業工程は第一次、第二次現地調査の二回より構成される。第一次調査期間中に前述した3ヶ所の架橋候補地より最適架橋位置を選定し、PWの合意を得た上で第二次現地調査で自然条件調査を行い、調査結果を基にバギー橋に関わるフィージビリティスタディを行う。

表 2.1 協力準備調査作業工程表

年 月	2013年								2014年							
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	
第1次現地調査（事業スコープ調整）																
[1-1] インセプション・レポートの協議・説明	■															
[1-2] 既存資料の収集・レビュー	■															
[1-3] 運営・維持管理体制調査	■															
[1-4] サイト状況調査	■															
[1-5] 環境社会配慮（IEEレベル）	■	■														
[1-6] 代替案設定協議（基本条件の整理）	■															
[1-7] 道路条件の整理（鉄道条件の整理）	■															
[1-8] 道路比較案概略検討		■	■													
[1-9] 橋梁形式概略検討		■	■													
[1-10] 概算工事費算出			■	■												
[1-11] 合意形成（架橋位置、構造方針合意形成）			■	■												
[1-12] プロセス・レポートの作成				■												
第2次現地調査（F/S作成）																
[2-1] 自然条件調査		■	■	■	■											
[2-2] 概略設計			■	■	■											
[2-3] 調達事情調査				■	■	■										
[2-4] 施工計画・概算事業費					■	■	■									
[2-5] 維持管理計画						■	■	■								
[2-6] 環境社会配慮（EIAレベル）								■	■	■	■					
[2-7] 新橋建設による交通需要予測（配分）								■	■							
[2-8] 経済・財務分析											■					
[2-9] ファイナルレポートの作成														■		
本調査報告書		▲	▲			▲					▲			▲	▲	
		IC/R	PG/R			IT/R					DH/R				F/R	

出典：JICA 調査団

2.2 調査団員の構成

協力準備調査団は下表に示す11名により構成されている。

表 2.2 協力準備調査団人員構成

番号	氏名	担当
1.	庄山高司	総括/総合都市交通計画
2.	横田英一	道路計画・設計
3.	市川敏夫	橋梁計画/橋梁設計1
4.	小西知行	橋梁計画/橋梁設計2
5.	棚橋 涼	施工計画/事業費積算1
6.	早川知邦	施工計画/事業費積算2
7.	黒江博信	水文解析
8.	前田武始	自然条件調査
9.	マザール・イクバル	交通需要予測
10.	田島里絵	経済財務分析2
11.	田中哲治郎	環境社会配慮/自然条件2

出典：JICA 調査団

2.3 調査概要

(1) インセプションレポートの説明・協議

2013年7月2日に、ネピドーにある建設省において PW に対してインセプションレポートの説明を行い内容につき了解を得た。PW より、架橋位置選定のため架橋候補3地点比較資料作成の要請があり、調査団は資料作成を了承した。

(2) 架橋候補3地点比較検討書の説明・協議

2013年8月6日にネピドーにある建設省において PW に対して架橋候補3地点比較検討書の説明・協議を行った。説明・協議の場には関係機関より代表が出席し、調査団による検討書説明の後、架橋候補3地点に対する関係機関代表の意見が表明され、それら意見を勘案して PW がバゴ橋建設位置を既設タンリン橋近傍とすることと決定した。PW より、1) 航行船舶の安全を期する、2) 日本の橋梁建設技術習得を望む、等を理由に長径間橋梁形式を含む更なる橋梁形式の検討を依頼された。

(3) 橋梁形式比較検討書の説明・協議

架橋候補3地点比較検討書の説明・協議での PW 要請に基づき、6種の橋梁形式組み合わせ案で比較検討を行った結果、鋼斜張橋を主径間橋梁形式とする案が最適と判断された。2013年8月16日にヤンゴンで行われた YUTRA の第三回運営委員会会議に出席した PW に橋梁形式比較検討書の説明を行い、比較結果を示し、鋼斜張橋を主径間橋梁形式とする案をバゴ橋に適用することで PW の口頭での了承を得た。PW はネピドーで MOC に橋梁形式比較検討書の説明を行い、MOC の同意を得た上で、2013年8月21日に、鋼斜張橋を主径間橋梁形式とする案に対する正式同意を調査団に伝えた。

(4) 自然条件調査

上記(2)の架橋位置決定、(3)の橋梁形式決定に引き続き、道路・橋梁設計を進めるために以下の自然条件調査が実施された。

- 地形測量
- 地質調査

地形測量、地質調査ともに8月末に現地業者へ業務委託を行ったが、調査地点への立ち入り許可を得るのに時間がかかっており、業務終了は12月初めとなった。

(5) 環境社会配慮調査

環境社会配慮調査は2013年10月から現地調査を実施し、現地再委託で下記の調査が行われた。

- 生態系調査
 - 陸生生物
 - 水生生物
 - 水産資源

- 水質調査
- 河川堆積物調査
- 河川流速調査
- 大気汚染調査
- 騒音調査

またステークホルダーミーティングを2014年1月24日に実施し、関係機関や影響住民からの意見を聴取した。

(6) 概略設計及び事業費積算、交通需要予測・経済財務分析

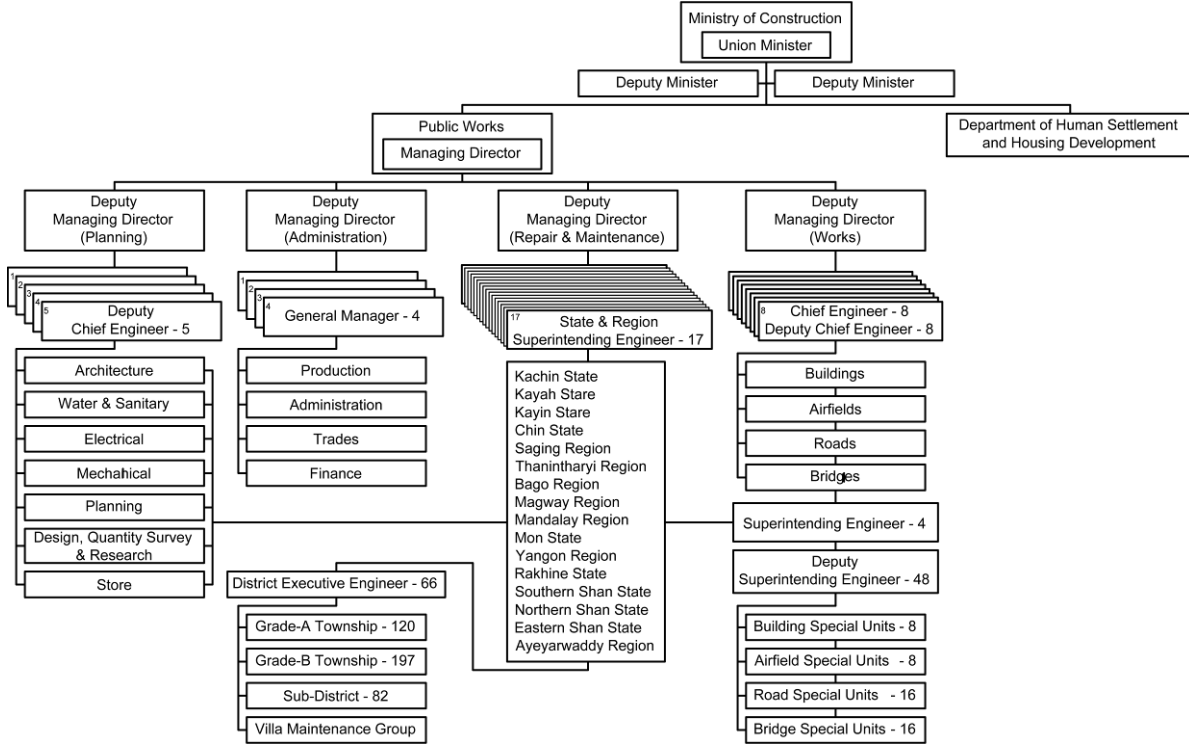
上記調査の結果を元に主橋梁及びアプローチ道路の概略設計を実施し、事業費の積算を行った。この事業費を元に交通需要予測結果と合わせて経済財務分析を実施した。

(7) ドラフトファイナルレポートの説明・協議

2014年7月31日にネピドーにある建設省において、PWに対してドラフトファイナルレポートの説明・協議を行った。説明・協議の場にはチョーリン総裁以下PWの関係者が出席し、調査団による検討書説明の後、質疑応答が行われた。数点の軽微な指摘事項を除き、内容については概ね合意を得た。

3 公共事業局(PW)の組織

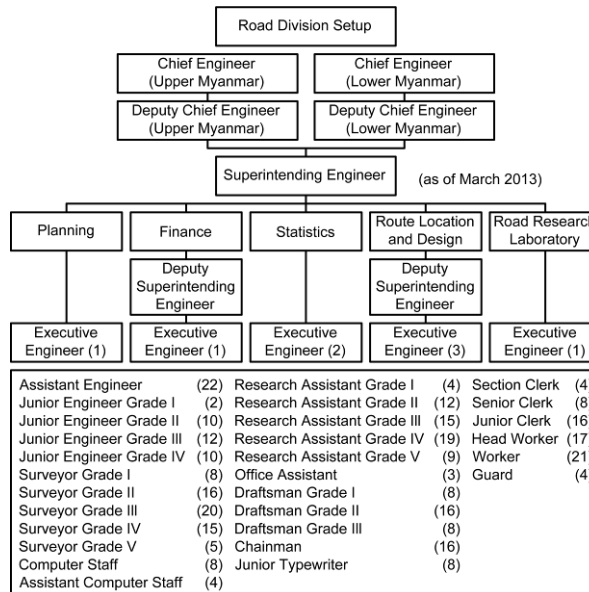
バゴ-橋建設事業の事業主体は PW である。PW は建設省の下部機関であり、図 3.1 に示す組織となっている。



出典：PW

図 3.1 PW 組織図

PW は公共事業局総裁下、4つの部門より構成されており、その内の一つ、施工監理部 (Department of Works) は建築、空港、道路、橋梁の4課よりなる。道路課の組織構成は図 3.2 の通りである。



出典：PW

図 3.2 道路課組織図

バギー橋建設事業のPW担当部門は橋梁課であるが、橋梁課の組織図を入手することは出来なかった。橋梁課の組織は道路課の組織と同様であろうと推測される。表 3.1 に道路課、橋梁課の人員規模を示す。橋梁課は106名の管理職者と854名の一般職員を擁する。

表 3.1 道路・橋梁課人員規模
2013年8月現在

部門	管理職	一般職員	合計
道路（現場）	189	1,220	1,409
道路（本局）	36	193	229
橋梁（現場）	83	790	873
橋梁（本局）	23	64	87
合計	331	2,267	2,598

出典：MOC

表 3.2 にPWが保有する建設機材を示す。これら機材は17の州・地域に配備されている。

表 3.2 PW保有建設機材(2013年8月現在)

No.	建設機材名	保有台数	備考
1	Bulldozer	243	
2	Motor Grader	147	
3	Excavator	146	
4	Loader	155	
5	Road Roller	727	
6	Soil Compactor	29	
7	Vibratory Roller	135	
8	Crane	125	
9	Drilling Rig	22	
10	Vibro Hammer	23	
11	Rock Drill	22	
12	Asphalt Concrete Plant	16	
13	Air Compressor	129	
14	Generator	141	
15	Dump Truck	908	
16	Truck	272	
17	Tyre Roller	30	
18	Asphalt Concrete Paver	9	
19	Agitator Truck	47	
20	Stone Crusher	116	
	総合計	3,442	

出典：PW

道路・橋梁課の人員規模、またPWが保有する建設機材の種類、台数から、PWは十分な建設経験を持つものと判断され、かつ建設後に必要となる施設維持管理業務を遂行する能力もあると判断される。しかしながらバギー橋橋梁形式として採用された鋼斜張橋、あるいは鋼床版鋼箱桁橋を含め、「ミ」国が過去に経験したことのない技術によって建設される施設については、建設技術のみならず、維持管理技術の移転を実施する必要がある。

4 バゴ-橋建設事業に適用予定の設計基準

本事業に適用することを提案する設計基準を以下に述べる。

4.1 構造物(橋梁)設計基準

構造物(橋梁)設計は活荷重の基準を除き日本の道路橋示方書(2002年)に準拠し、設計震度、温度条件、風荷重等に本事業計画地で得られる数値を適用する。活荷重には米国 AASHTO 設計基準を適用する。提案する主な設計基準・条件を表 4.1 に示す。

表 4.1 主な適用設計基準・条件

項目	適用値	適用基準・条件
耐用年数	100 年	道路橋示方書準拠
車道幅員等	車道幅員: 3.50 m 歩道幅員: 2.00 m	アセアン・ハイウェイ設計基準 + 既設タンリン橋
活荷重	HS20-44	AASHTO
荷重組合せ	-	道路橋示方書準拠
風荷重	既往資料解析による	「ミ」国
温度変化	既往資料解析による	「ミ」国
設計震度	既往資料解析による	「ミ」国
耐震設計	変位法	道路橋示方書準拠
杭基礎設計	変位法	道路橋示方書準拠

出典: JICA 調査団

4.2 道路設計基準

道路平面線形並びに縦断線形の設計基準はその道路の設計速度に応じ規定される。「ミ」国内にはアジア・ハイウェイ並びにアセアン・ハイウェイがあり、これらの設計には域内共通の設計基準が適用されている。表 4.2 はアセアン・ハイウェイの設計基準抜粋であるが、この基準はアジア・ハイウェイの設計基準に準じたものとなっている。

アセアン・ハイウェイ設計基準に基づき、バゴ-橋建設事業に適用する道路等級を「Class I」、地形環境を「L」とし、設計速度を 80 km/h と設定することを提案する。道路の車線数は交通需要に基づき設定すべきであるが、一方向一車線の既設タンリン橋でしばしば渋滞が発生している現況、また SUDP あるいは YUTRA で想定されている将来交通量から一方向二車線とするのが妥当と判断される。

4.3 橋梁設計で考慮する船舶高さについて

バゴ-側を渡河する橋梁の設計はバゴ-川を航行する船舶の水面上の高さを考慮する必要がある。ヤンゴン港が取り扱う船舶の最大値は船長 167 m、喫水 9 m、15,000 重量トンと定められているが、バゴ-川を航行する船舶については明確な定めがない。

国土交通省国土技術政策総合研究所の研究報告(No. 31 November 2006)、「統計解析による船舶の高さに関する研究」によれば、貨物船の海面上高さは表 4.3 に示す通りであり、15,000 重量トンの貨物船海面上高さは内挿補間により調査対象船舶の過半(75%)が 30 m ほどであると判断される。

表 4.2 アセアン・ハイウェイ設計基準抜粋

Highway classification		Primary (4 or more lanes) (control access)			Class I (4 or more lanes)		
Terrain classification		L	R	M	L	R	M
Design speed (km/h)		100-120	80-100	60-80	80-110	60-80	50-70
Width (m)	Right of way	(50-70) ((40-60))			(50-70) ((40-60))		
	Lane	3.75			3.50		
	Shoulder	3.00		2.50	3.00		2.50
Min. horizontal curve radius (m)		390	230	120	220	120	80
Type of pavement		Asphalt/cement concrete			Asphalt/cement concrete		
Max. superelevation (%)		(7) ((6))			(8) ((6))		
Max. vertical grade(%)		4	5	6	5	6	7
Min. vertical clearance (m)		4.50 [5.00]			4.50 [5.00]		
Structure loading (minimum)		HS20-44			HS20-44		
Highway classification		Class II (2 lanes)			Class III (2 lanes)		
Terrain classification		L	R	M	L	R	M
Design speed (km/h)		80-100	60-80	40-60	60-80	50-70	40-60
Width (m)	Right of way	(40-60) ((30-40))			30-40		
	Lane	3.50			3.00[3.25]		
	Shoulder	2.50		2.00	1.50[2]		1.0[1.5]
Min. horizontal curve radius (m)		200	110	50	110	75	50
Type of pavement		Asphalt/cement concrete			Double bituminous treatment		
Max. superelevation (%)		(10) ((6))			(10) ((6))		
Max. vertical grade(%)		6	7	8	6	7	8
Min. vertical clearance (m)		4.50			4.50		
Structure loading (minimum)		HS20-44			HS20-44		

Note:

1. Abbreviation: L = Level Terrain M = Mountainous Terrain R = Rolling Terrain

2.() = Rural (()) = Urban

3. [] = Desirable Values

4. The right of way width, lane width, shoulder width and max. superelevation rate in urban or metropolitan area can be varied if necessary to conform with the member countries design standards.

出典：ASEAN (<http://www.asean.org/communities/asean-economic-community/item/annex-b-asean-highway-standards>)

表 4.3 海面上高さ: 貨物船

重量トン	包含率		
	50%	75%	95%
海面上高さ (m)			
1,000	18.8	20.9	23.9
2,000	21.4	23.5	26.6
3,000	22.9	25.0	28.1
5,000	24.8	27.0	30.0
10,000	27.5	29.6	32.6
12,000	28.1	30.3	33.3
18,000	29.7	31.8	34.9
30,000	31.6	33.7	36.8
40,000	32.7	34.8	37.9
55,000	33.9	36.0	39.1
70,000	34.8	36.9	40.0
90,000	35.8	37.9	40.9
120,000	36.8	39.0	42.0
150,000	37.7	39.8	42.9

注記：調査対象船舶数は 568 隻。

包含率は表に示された海面上高さを満足する船舶数の調査対象船舶数に対する割合。

出典：JICA 調査団

バゴー川では 15,000 重量トン船舶の航行は無い。しかし、悪天候等、不時の際に、ヤンゴン川上の 15,000 重量トン船舶が航行制御不能となりバゴー川へ漂流侵入する事態への対処を考慮すべきと判断される。従いヤンゴン川、バゴー川合流部付近にバゴー橋を建設する際には上記海面上高さ、30 m、に余裕高さ 5 m を加えた 35 m を航路限界高さとして確保することを提案する。

バゴー橋架橋位置が既設タンリン橋近傍の場合は既設タンリン橋と同等の航路限界高を確保する。以上の検討により提案された 3ヶ所のバゴー橋架橋位置での確保すべき航路限界高さを表 4.4 に示す。

表 4.4 3ヶ所のバゴー橋架橋位置での確保すべき航路限界高さ

架橋位置	航路限界高さ
案1:モンキーポイント	35 m
案2:バゴーポイント	35 m
案3:既設タンリン橋近傍	既設橋と同等 (約 10.2 m)

出典: JICA 調査団

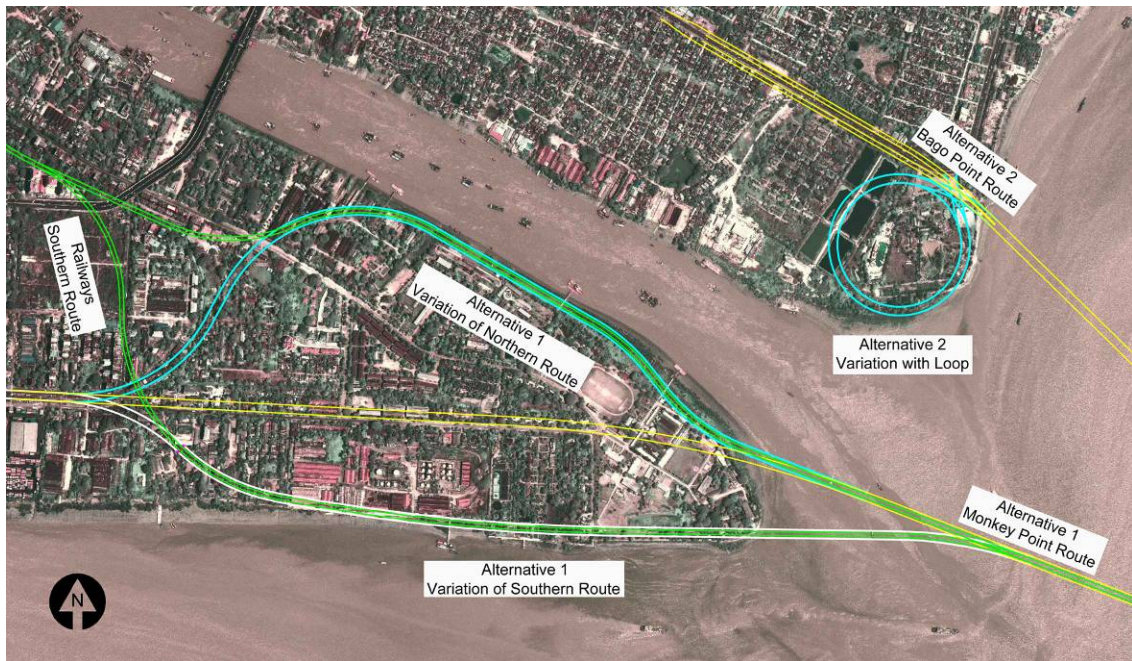
5 バゴ-橋架橋候補地比較検討

3ヶ所あるバゴ-橋架橋候補地から最適位置を選定するため、橋梁および取付道路の初期設計を行い、この初期設計を基に各架橋候補地の比較検討を行うことで最適位置選定のための判断材料抽出を行った。

5.1 初期設計の前提条件

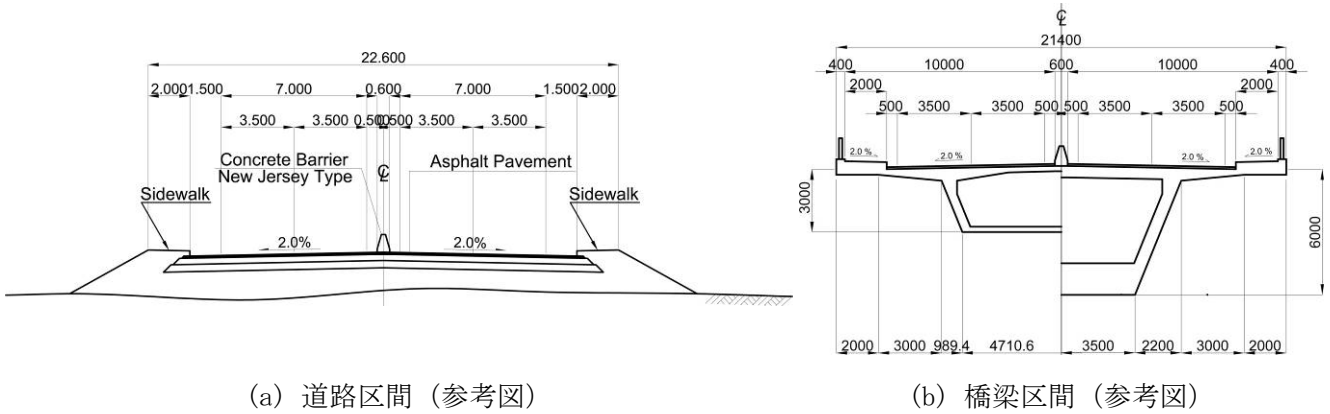
初期設計は以下の条件のもとに行われている。

1. 設計対象は1.2章に記した通り、バゴ-川に架ける「橋梁及び取り付け道路」である。
2. 「取り付け道路」は既存道路に接続する。タンリン側で接続する既存道路はティラワ SEZ 地区まで4車線（片側2車線）道路に改良する。
3. 道路設計基準はアセアン・ハイウェイ設計基準に準拠し設計速度は80 km/hとする。ただし、現地の低速度車両の存在を考慮し、最急縦断勾配は日本の道路構造令を参照し4.0%とする。
4. 架橋候補地 案1：モンキーポイントでのバゴ-橋は道路鉄道併用橋として検討を行う。この検討の際に適用する最急縦断勾配は、鉄道の設計基準を参照して10パーミル（1.0%）とする。
5. 設計の際に考慮する航路限界高さは表4.4に示す通り。
6. 架橋候補地 案1および案2のヤンゴン側陸上部には家屋密集地が存在し、社会環境に及ぼす負の影響を最小化するために図5.1に示すような代替路線検討が必要と判断されるが、架橋地点選定を目的とした初期設計は図5.3に示す平面計画に基づいて行う。
7. 初期設計に適用する道路・橋梁断面構成は図5.2のとおり。
8. 本バゴ-橋建設事業協力準備調査では地形測量、地質調査等の自然条件調査を行うが、実施時期は9月以降の第二次現地調査時であり、架橋位置選定のための初期設計に利用することは出来なかった。このため初期設計にはGoogle Earthが提供する3次元地形情報を利用した。



出典：JICA 調査団

図 5.1 架橋候補地 案1、案2で考える代替路線

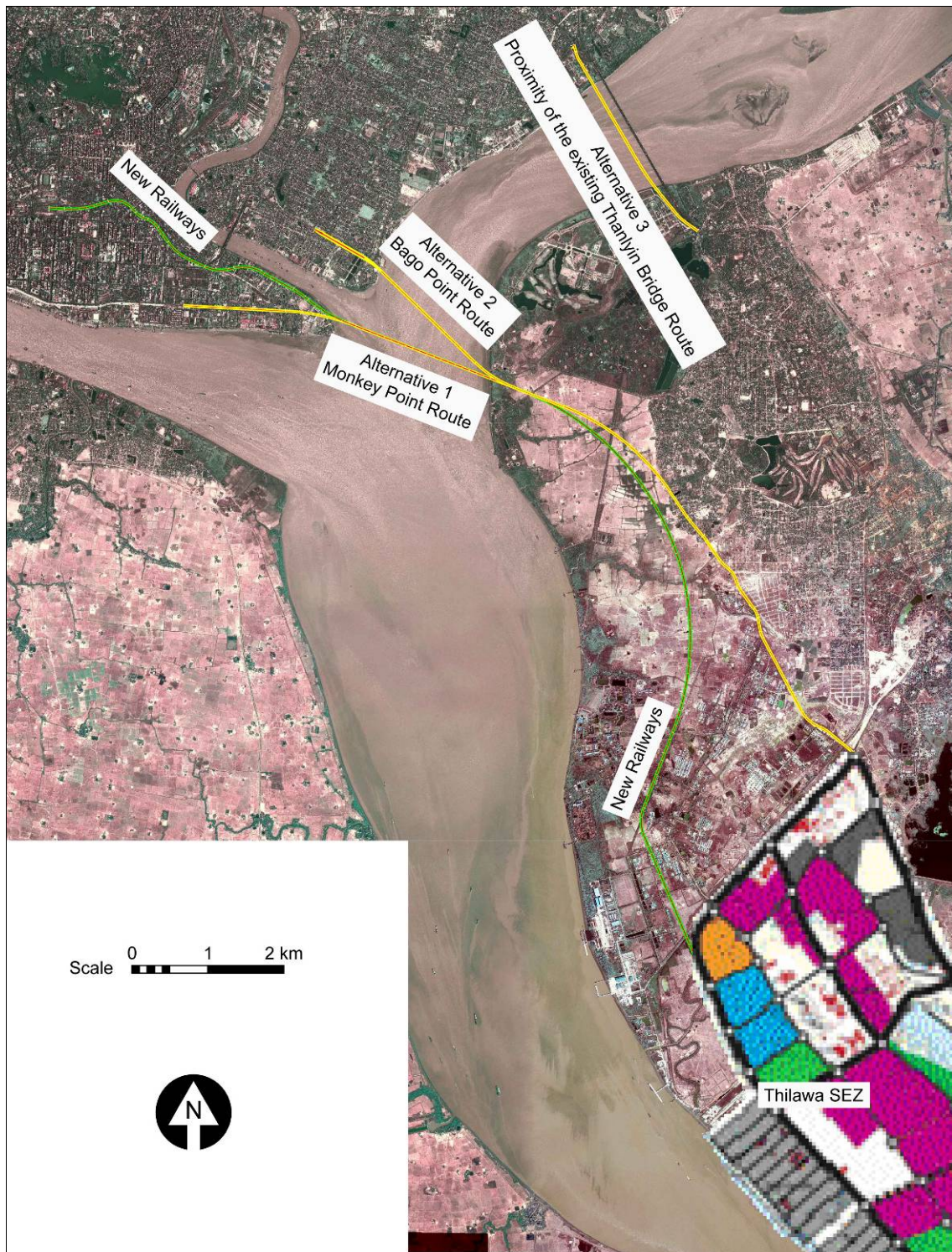


(a) 道路区間 (参考図)

(b) 橋梁区間 (参考図)

出典：JICA 調査団

図 5.2 初期設計に適用する道路・橋梁断面構成



出典： JICA 調査団

図 5.3 バゴ-橋架橋地点選定のための初期設計3路線図

5.2 架橋候補3地点の比較検討

5.2.1 路線概要

バゴ橋建設事業の構成は「取付道路」＋「バゴ橋」＋「取付道路」である。「取付道路」は直近現道に取り付けるものとし、その直近現道が対向2車線（1方向1車線）道路である場合は、別事業で対向4車線道路に改良することを想定する。初期設計を基に以下の項目を比較検討したが、初期設計での各路線概要は表 5.1 に示す通りである。

1. 路線周辺土地利用状況
2. 予想される環境社会配慮状況
3. 事業実施に伴う道路網・交通環境への影響
4. 採用の可能性がある橋梁形式
5. 概略建設費
6. 交通計画の見地から見た架橋候補3地点の比較

表 5.1 提案路線の概要

	案1 モンキーポイント路線	案2 バゴポイント路線	案3 既設タンリン橋近傍路線
取付け先現道名称			
バゴ川右岸側	ストランド道路	ヤモンナール道路	シュキンタール・マヨパット道路
バゴ川左岸側	対向2車線相当の地方道路	対向2車線相当の地方道路	タンリン・チンカット道路 チャイカオパゴダ道路
総延長	11,330 m	10,178 m	2,974 m
バゴ橋建設事業延長	7,120 m	5,968 m	2,974 m
右岸側取付道路	190 m	458 m	419 m
バゴ橋	5,650 m	3,081 m	1,909 m
左岸側取付道路	1,280 m	2,429 m	646 m
現道改良延長(他事業)	4,210 m	4,210 m	-

注：モンキーポイント路線での延長は道路鉄道併用橋

出典: JICA 調査団

5.2.2 提案路線周辺土地利用状況

航空写真による調査、ならびに現地踏査時の目視観察による調査により、提案3路線が通過する土地の利用状況を表5.2に示す。

表 5.2 提案路線周辺土地利用状況

	案1 モンキーポイント路線	案2 バゴーチンポイント路線	案3 既設タンリン橋近傍路線
バゴーチン右岸側	基本案はストランド道路を起点とし、海軍用地中央部を横切る。南側迂回案ではエネルギー省用地、ヤンゴン市の下水処理場を通過し、海軍用地南側を横切る。北側迂回案では、既存鉄道軌道に沿って北上し、家屋密集地を通過して、海軍用地北側、突堤埠頭地区を横切る。	ヤモンナール道路を起点とし、今は使われていないアジア・ボーリング倶楽部建屋上部を超えてバゴーチン川を渡る。取付道路は現道を拡幅して設置する必要があり、このため支障家屋等は多数となる。事業による影響家屋数等を最小化するために、取付道路を円環状ランプとすることも可能。但し橋梁計画高が高いため、取付道路延長は800m程となり、円環状ランプ径も大きくなる。	シュキンタール・マヨパット道路とタンリン・チンカット道路との交差点を起点とし、ミャンマー国鉄用地を通過して既設タンリン橋直下流でバゴーチン川を渡河する。
バゴーチン左岸側	民間宅地開発業者によるスターシティ用地直近を通り、エネルギー省用地(製油所跡地)を通過する。エネルギー省用地は広く、南部は耕作地に転用されている。エネルギー省用地を抜けて、地方道路に取り付く。道路・鉄道併用橋の場合の鉄道部は道路部から分岐した後、エネルギー省用地、海軍用地を横切り、既設鉄道に合流する。	案2のバゴーチン左岸での線形は案1と同じである。	既設タンリン橋脇ミャンマー国鉄用地を通過し、現道、チャイカオバゴダ道路に接続する。

出典：JICA 調査団

5.2.3 予想される環境社会配慮状況

初期調査、現地踏査での目視観察並びに航空写真読図により、路線建設による環境社会配慮に関わる影響度を検討した。検討項目は以下の通り。

- (1) 社会環境：用地取得難易度、非自発的住民移転の存在、文化遺産・宗教施設の存在、漁民生活環境への影響
- (2) 自然環境：動植物の貴重種・絶滅危惧種の存在、自然保護区の存在、街路樹伐採の有無
- (3) 環境汚染：大気汚染、騒音への影響度

路線建設に伴い負の影響が懸念される項目とその影響度合いを表 5.3 に示す。

表 5.3 予想される環境社会配慮の程度

	案1 モンキーポイント路線	案2 バゴーチンポイント路線	案3 既設タンリン橋近傍路線
バゴーチン川右岸側 社会環境			
a) 非自発的住民移転	(1) 基本案:非自発的住民移転数は200を超えると推察される。加えて政府関連施設が影響を受ける。 (2) 南側迂回案:非自発的住民移転数は50に満たないと判断されるが、エネルギー省の施設、ヤンゴン市下水処理場が影響を受ける。 (3) 北側迂回案:非自発的住民移転数は200を超えると推察される。	ヤモンナール道路拡幅に伴い、非自発的住民移転数は200を超えると推察される。また一般家屋、商店、商業ビル、政府系事務所等、多数の支障物件がある。	路線通過予定地がミャンマー国鉄用地であるため、非自発的住民移転数は10程度であると推定される。
b) 文化遺産・宗教施設	文化遺産はない。僧院とモスクが存在する。	無し。	無し。
自然環境			
a) 街路樹	既存の街路樹、30~100本の伐採が必要になると思われる。	既存の街路樹、100本程度の伐採が必要になると思われる。	既存の街路樹、20本程度の伐採が必要になると思われる。

	案1 モンキーポイント路線	案2 バゴーチポイント路線	案3 既設タンリン橋近傍路線
バゴーチ川左岸側 社会環境			
a) 非自発的住民移転	路線通過地は主にエネルギー省用地、およびエネルギー省用地南部の耕作地転用地であり、非自発的住民移転数は50を超えないものと推察される。	案1に同じ。	非自発的住民移転はないと判断される。
b) 文化遺産・宗教施設	無し。	無し。	無し。
自然環境			
a) 街路樹	既存の街路樹、30本程度の伐採が必要になると思われる。	既存の街路樹、30本程度の伐採が必要になると思われる。	既存の街路樹、10本程度の伐採が必要になると思われる。
漁民の生活環境	バゴーチ川での漁業活動に対する影響を考慮する必要がある。	バゴーチ川での漁業活動に対する影響を考慮する必要がある。	バゴーチ川での漁業活動に対する影響を考慮する必要がある。

出典：JICA 調査団

5.2.4 事業実施に伴う道路網・交通環境への影響

JICA の支援で実施されたヤンゴン都市圏開発プログラム形成準備調査、現在実施中のヤンゴン都市圏開発プログラム形成準備調査（都市交通）（YUTRA）では、ヤンゴン都市圏の望ましい将来像を実現するために道路網整備計画、交通政策の提言等よりなる中・長期計画を提案しており、その将来道路網には既にバゴーチ橋建設が組み込まれている。従い、それら中・長期計画が実行されることで、たとえバゴーチ橋建設が要因となって交通量が増加しても、現状よりもより改善された交通環境が得られると信じられる。ここでは提案された中・長期計画が実施される以前、短期的な事象として予見されるバゴーチ橋建設による道路網・交通環境への影響を表-5.4に示す。

表 5.4 バゴ-橋建設が近隣道路網・交通環境へ与える影響

	案1 モンキーポイント路線	案2 バゴ-ポイント路線	案3 既設タンリン橋近傍路線
バゴ-川右岸側	バゴ-橋利用交通量が追加されることで、現在既に発現しているヤンゴン市中心部での交通渋滞は悪化することが想定される。しかしながらヤンゴン港発着の大型貨物車がヤンゴン市内を通過せずにバゴ-橋経由となることが期待され、このことで渋滞程度が軽減されることも予想される。	バゴ-橋が接続するヤモンナール道路は現在でも交通量の多い道路で、バゴ-橋取付け道路起点部北にあるマハバンドウ-ラ道路との交差点は朝夕のピーク時に激しい交通混雑を起している。従いバゴ-橋建設はより重度な交通渋滞を惹起すると予想される。	バゴ-橋取付け道路起点はシュキンタール・マヨパット道路とタンリン・チンカット道路との交差点である。バゴ-橋完成により増加する交通はシュキンタール・マヨパット道路あるいはタンリン・チンカット道路を利用する。という選択肢があり、1本の既存道路に接続するのに比し、現況交通環境へ与える影響はより少ないと判断される。
バゴ-川左岸側	取付け道路が計画されている地域は道路網未発達の地域であり、既存道路網への負の影響は想定されない。取付道路が接続予定の地方道路は4車線(1方向2車線)道路に改良するのが望ましく、その際には地域全体の交通環境改善に寄与するもの判断される。	案1に同じ。	取付け道路が接続する現道、チャイカオパゴダ道路はティラワ SEZ アクセス道路として4車線(1方向2車線)道路へ改良される予定。従い、バゴ-橋建設と現道改良により、ティラワ地区への交通環境は改善されると判断される。
鉄道計画の与える影響	ティラワ SEZ 地区は 20 万人から 40 万人の昼間人口を予測しており、この人口の内、ヤンゴン地区-タンリン地区間を移動する人達が全て自動車交通を利用することは既存道路網へ過度の負担をかけ得るため望ましくない。案1:モンキーポイント路線はヤンゴン中央駅への接続が他案に比べ優位であり、バゴ-橋を道路鉄道併用橋として建設し、通勤鉄道を運用することが、交通環境改善の観点から望ましいと判断される。しかしながら道路鉄道併用橋の建設のみならず、鉄道関連施設・設備の費用は高額であるため、鉄道建設計画は別途詳細な事業化調査が必要と判断される。	鉄道計画はない。	鉄道計画はない。

出典: JICA 調査団

5.2.5 採用の可能性がある橋梁形式

初期設計で想定した、バゴ-橋架橋候補地3地点での、それぞれの橋梁形式を表 5.5 に示す。特に案3：既設タンリン橋近傍路線では幾つかの橋梁形式が考えうるが、その中でも最低廉と考えらる鋼床版鋼連続箱桁橋を初期設計に適用している。

表 5.5 初期設計で想定した橋梁形式

	案1 モンキーポイント路線	案2 バゴ-ポイント路線	案3 既設タンリン橋近傍路線
道路鉄道併用橋	鋼板桁橋 + 二層構造鋼トラス橋 + 二層構造鋼斜張橋	-	-
道路橋	ケース - 1: バゴ-橋部を除き鉄道用構造物 (橋梁)の建設無し。 鋼板桁橋 + 二層構造鋼トラス橋 + 二層構造鋼斜張橋 ケース - 2 鋼板桁橋 + 鋼床版鋼連続箱桁橋 + 鋼斜張橋	鋼板桁橋 + 鋼床版鋼連続箱桁橋 + 鋼斜張橋	鋼床版鋼連続箱桁橋、又は ニールセン・アーチ橋、又は エクストラドーズ橋、又は PC 箱桁橋

出典：JICA 調査団

5.2.6 概略建設費

架橋候補3地点の比較検討のための初期設計では地形条件が不確定で土工量等、工事数量を算定する根拠に信頼が欠け、また積算根拠となる工事種別単価調査は未着手の状況にあるため、信頼出来る全体工事費を算出することには無理がある。本比較検討のためには橋梁建設費を算定し、表 5.6 に示す。橋梁建設費算定には、「ミ」国ヒンタダ橋の実績および日本における橋種別建設単価（2010）を参考にした。

表 5.6 概略橋梁建設費

	案1 モンキーポイント路線	案2 パゴアポイント路線	案3 既設タンリン橋近傍路線
道路鉄道併用橋			
橋長	L = 8,550 m	-	-
概略建設費	40,010 百万円	-	-
道路橋			
橋長	L = 5,650 m	L = 3,081 m	L = 1,909 m
概略建設費	ケース - 1 31,500 百万円 ケース - 2 22,000 百万円	18,000 百万円	10,200 百万円
上記橋梁建設費に加え、下記延長の道路(土工部)建設費が必要となる。			
取付け道路	L = 1,470 m	L = 2,887 m	L = 1,065 m、および交差点改良
現道改良 (別事業での実施を想定)	L = 4,210 m	L = 4,210 m	-

出典：JICA 調査団

5.2.7 交通計画の見地による架橋候補3地点の比較

架橋候補3地点を純粹に交通計画の見地からのみ比較した結果を表5.7に示す。

表 5.7 交通計画の見地による架橋候補3地点の比較

比較項目	案1 モンキーポイント路線	案2 バゴーチポイント路線	案3 既設タンリン橋近傍路線
将来交通需要に対する交通容量	- 十分である(検証が必要)	- 十分である(検証が必要)	- 十分である(検証が必要)
道路網としての位置付け	- ヤンゴン市中央部とティラワとを最短郷里で結ぶ路線である	- SUDPで提案された道路網と整合することとなり、改良されるタケタ橋と同一路線上に位置することとなり、相乗して便益効果を高めると判断される	- 現況道路網への変更は生じない
鉄道網としての位置付け	- ヤンゴン市中央部とティラワ地区を結ぶ鉄道新路線として最適位置にあると判断される	- SUDPで新線建設が提案されている	- 既設鉄道の有効利用を図ることとなる
現在見られる交通渋滞に対する影響	- ヤンゴン市中央部の交通渋滞を悪化させる可能性がある	- 現道、ヤモンナル道路を始めとし近隣道路網の交通渋滞を惹起する可能性がある	
将来都市計画に対する影響	- SUDPで提案されているウォーターフロント開発計画に干渉するおそれがある		

注： 緑字 - 長所
赤字 - 短所

出典： JICA 調査団

5.3 バゴ-橋建設事業に関連する情報

5.3.1 ミャンマー港湾公社(MPA)の意見

2013年7月5日に協力準備調査団はMPAを訪問し、MPA 総裁、チャー・タン・マウン氏と面談。調査団はバゴ-橋建設事業の概要を説明し、MPA の協力と助言を求めた。その際の MPA 総裁の口頭による意見は以下の通り。

1) 案3：既設タンリン橋近傍での必要航路限界高さ

既設タンリン橋と同じ航路限界高さを確保すれば良い。

2) 航路

MPA が管理するヤンゴン川での航路位置を図 5.4 に示す。航路はヤンゴン川最深部を通過するよう設定されているが、モンキーポイント近傍*1 に常に流砂の堆積を受け浅瀬を形成する場所があり、MPA はこの場所で継続して浚渫作業を行っている。

3) バゴ-橋架橋候補3地点への意見

案1:モンキーポイントは航路上に位置するため、建設を認めることは出来ない。

案2:バゴ-ポイントは航路からは離れているが、橋梁建設に伴いバゴ-川の流況が変化することで下流での堆砂状況に変化が生じることが予想され、この変化が MPA による航路維持業務を困難なものとする可能性がある。従い案2の位置での橋梁建設も認めることができない。案2での実施のためには、詳細な水文学解析により橋梁建設に伴うバゴ-川河床変動を予測し、航路への影響がないことを示すことが必要となるだろう。

案3:既設タンリン橋近傍での建設は承認できる。但し上記 1)で述べた航路限界高さを保持すること。

4) MAP 管理の航路に求められる航路限界高さ

ヤンゴン港が受け入れ可能な最大船舶規模は、167 m LOA, 9m Draft, 15000 DWT である。ヤンゴン港将来計画に基づき航路限界高さは最高高水位(H.W.L.)から60 m である。

5.3.2 既設タンリン橋付近での航路

2013年7月5日に協力準備調査団は内陸水運公社(IWT)を訪問し、IWT 局長、マウン・マウン・ルウィン氏らと面談。調査団のバゴ-橋建設事業概要説明に対し、局長より以下の情報を得た。

1) バゴ-川沿いの埠頭等施設について

図 5.5 に示すように、バゴ-川沿いには以下の施設がある。

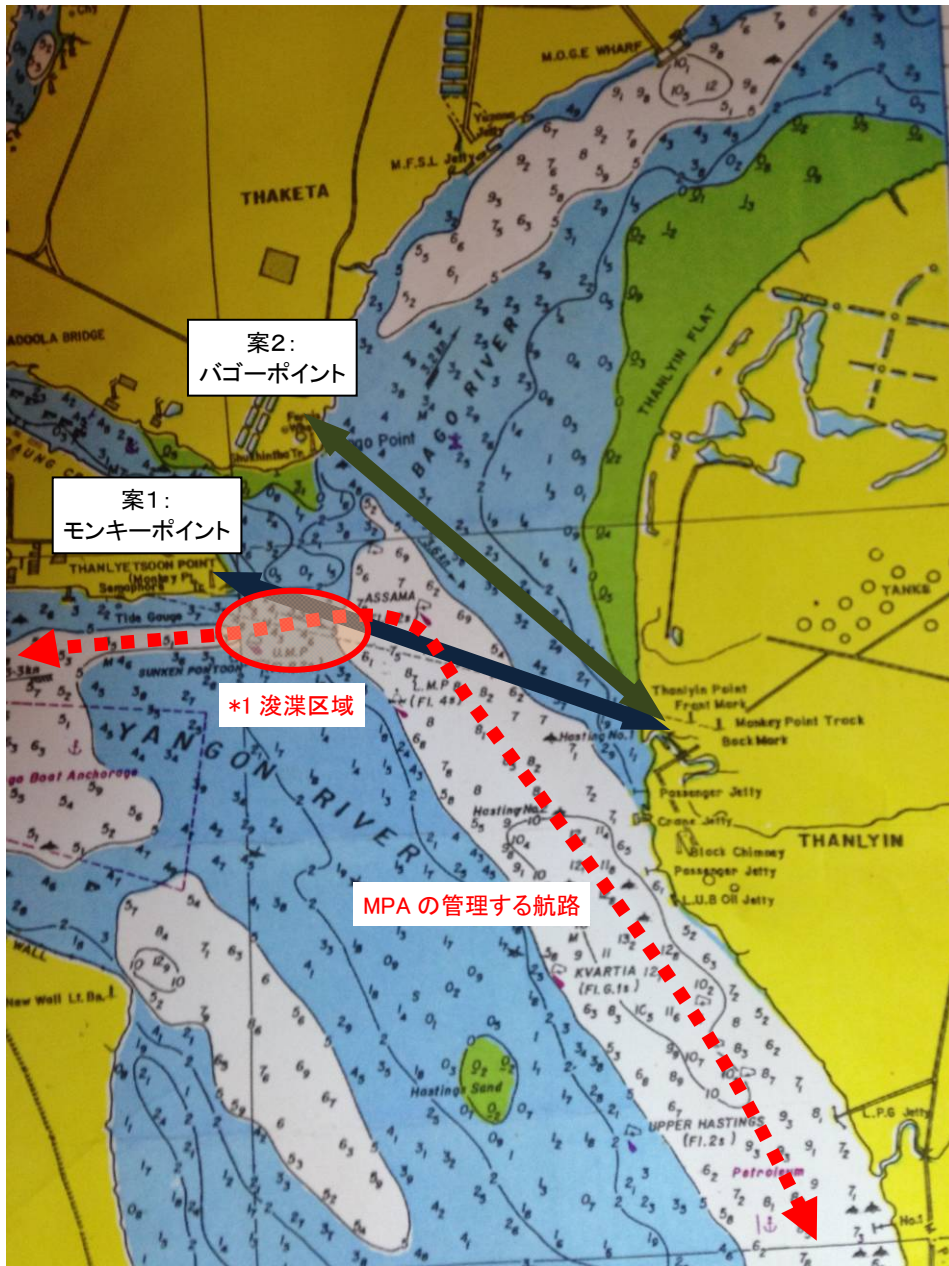
1. 小船舶(200ft)を対象とするIWTの造船所が既設タンリン橋上流右岸側にある。
2. 既設タンリン橋下流右岸側にMyanma Five Star Line (MFSL)の埠頭、海軍の埠頭がある。

2) 既設タンリン橋付近での航路

IWT によれば既設タンリン橋付近での航路は図 5.5 に示す通りで、バゴ-川中央部を通過するものではなく、下流より、既設タンリン橋左岸側に進み、橋通過後右岸側に戻るものである。

3) バゴ-橋に求められる航路限界高さ

バゴ-橋架橋候補地のうち案3:既設タンリン橋近傍が建設地となる場合、必要な航路限界高さは既設タンリン橋が確保している航路限界高さ以上であれば良い。なお、橋脚位置は航行船舶の安全を考慮して選定する必要がある、可能であれば既設タンリン橋の橋脚同位置、同間隔で設置するのが望ましい。



出典: JICA 調査団

図 5.4 MPA の管理する航路と浚渫区域



出典: JICA 調査団

図 5.5 既設タンリン橋付近での船舶航行路線

5.4 バゴ-橋架橋地点選定

2.3 章 (2) で既述のように、2013 年 8 月 6 日、ネピドーの MOC 会議室に於いて、バゴ-橋架橋地点選定会議が開催され、協力準備調査団からの、5.2 章で紹介した架橋候補 3 地点の比較検討結果の報告に続き討議が行われ、架橋候補地案 3 : 既設タンリン橋近傍がバゴ-橋建設地として採択された。

6 バゴ-橋予備設計

6.1 線形設計

既設タンリン橋近傍でのバゴ-橋建設位置は、用地の取得環境、既存道路との取り付けの優位性から下流側に建設するのが望ましいと判断され、架橋位置選定の際の初期設計では既設タンリン橋に平行で約 140 m 下流に路線中心線が直線として設定されている。ヤンゴン側で、この直線を単純に伸ばすと（図 6.1 に示す赤矢印）、バゴ-橋取り付け道路と現道シュキンタール - マヨパット道路との交差部が既存交差点の直近となり交通安全上望ましくない。従い、図 6.1 の黄色線で示すように既設交差点とバゴ-橋取り付け道路を直接結ぶこととし、既存交差点改良をバゴ-橋建設事業に含むことを提案する。なお、近隣にあるミャンマー民族村への接続道路を確保する必要があり、改良対象の交差点は五叉路交差点となる。



出典: JICA 調査団

図 6.1 ヤンゴン側平面計画

タンリン側は、図 6.2 に示す黄色線が計画された取り付け道路位置で、既設タンリン橋と民間業者開発地との間を延伸し、現道チャイカオパゴダ道路に接続する。既設タンリン橋への既存取り付け道路との接続等、第二次現地調査で PW と協議しながら設計条件を確定する。



出典: JICA 調査団

図 6.2 タンリン側平面計画

6.2 橋梁上部工設計検討

2013 年 8 月 6 日の PW との協議で橋梁建設地を案 3 : 既設タンリン橋近傍と決定した後、建設されるバゴ-橋の径間は、河床状況、船舶航行を勘案して既設タンリン橋と同様とすることが確認された。既設タンリン橋主橋梁の径間は、 $104 \text{ m} + 10 @ 112 \text{ m} + 104 \text{ m} = 1,328 \text{ m}$ である。また、IWT は既設タンリン橋下を航行する船舶の航跡が橋に対し斜めであることから既設橋よりも広い航路幅を要請した。IWT の要請を受け、PW は航路上に径間 224 m となる橋種を検討することを調査団に要請し、かつそのような橋種の導入は「ミ」国橋梁技術の向上に貢献するとの期待を表明した。

6.2.1 上部工形式比較案

PW の要請に基づき以下のように、主橋梁に対し6通りの比較案、アプローチ橋に対し2通りの比較案を用意し比較検討を行った。

(1) 主橋梁

- 比較案-A:鋼床版鋼連続箱桁橋
- 比較案-B:PC 連続箱桁橋
- 比較案-C:ニールセン・アーチ橋
- 比較案-D:エクストラドーズ橋
- 比較案-E:鋼床版鋼連続箱桁橋+鋼斜張橋
- 比較案-F:鋼床版鋼連続箱桁橋+エクストラドーズ橋

(2) アプローチ橋梁

- 1) プレキャストによるPC 箱桁橋(単純桁)
- 2) 鋼I 桁橋+プレキャストPC 床版

6.2.2 最適橋梁形式の選択方法

6つの比較案から最適案を選択するために、表 6.1 に示す8つの評価項目、および表 6.2 に示す評点基準を設定し、6つの比較案の点数付けを行った。

表 6.1 評価項目

番号	項目	評価基準	満点値
1	技術的評価(30点)	構造安定性	20
2		建設の容易性	10
3	経済的評価(25点)	建設費	20
4		維持管理費	5
5	その他の評価(45点)	新技術であるか	20
6		景観は良いか	10
7		船舶航行への配慮	10
8		環境にやさしいか	5
		合計点	100

出典: JICA 調査団

表 6.2 評点基準

評価基準		構造	建設	建設費		維持管理	新技術	景観	航行	環境
程度	割掛	(20)	(10)	(20)	比率	(5)	(20)	(10)	(10)	(5)
優	100%	20	10	20	1.00 ~ 1.10	5	20	10	10	5
良	50%	10	5	10	1.10 ~ 1.20	3	10	5	5	3
可	30%	6	3	6	1.20 ~ 1.30	2	6	3	3	2
不可	0%	0	0	0	1.30 以上	0	0	0	0	0

注: 建設費比率は6比較案の内、最低廉の建設費を1.00とした時の比率。

出典: JICA 調査団

6.2.3 評価結果と提案橋梁形式

点数付けによる上部工形式6比較案の評価結果を表 6.3 に示す。

表 6.3 橋梁上部工形式比較案評価結果

評価項目	上部工形式比較案					
	A	B	C	D	E	F
構造安定性 (20)	20	10	10	10	20	10
建設の容易性 (10)	10	5	5	5	5	3
建設費 (20)	20	6	20	10	6	6
維持管理費 (5)	3	3	3	3	3	3
新技術であるか (20)	6	10	6	10	20	20
景観は良いか (10)	3	5	3	5	10	10
船舶航行への配慮 (10)	5	5	5	5	10	10
環境にやさしいか (5)	5	5	5	5	5	5
合計点	72	49	57	53	79	67
評価順位	2	6	4	5	1	3

注：括弧内数字は満点値

出典：JICA 調査団

比較案-A は建設費が最も低廉で、初期設計の際に採用した橋梁形式である。しかしながら「ミ」国の橋梁建設に関する新技術導入の希望、あるいは航行船舶への安全性確保等、バゴ橋建設に關与する諸機関の懸案事項を考慮した評価においては比較案-E が最も高い得点を獲得、比較案-E、主橋梁が鋼床版鋼連続箱桁橋+鋼斜張橋、アプローチ橋梁がプレキャストによる PC 箱桁橋（単純桁）の形式をバゴ橋に適用することを提案する。

6.3 橋梁下部工設計検討

6.3.1 基礎形式の検討

本ゴ橋の地質調査は5か所（河川内3か所、陸上部2か所）において実施した。これらの結果より推定される支持層はGL-40m～-50mである。

基礎形式は陸上部と河川部と、それぞれ検討する必要がある。陸上部と河川部の区分を図6.4に示す。

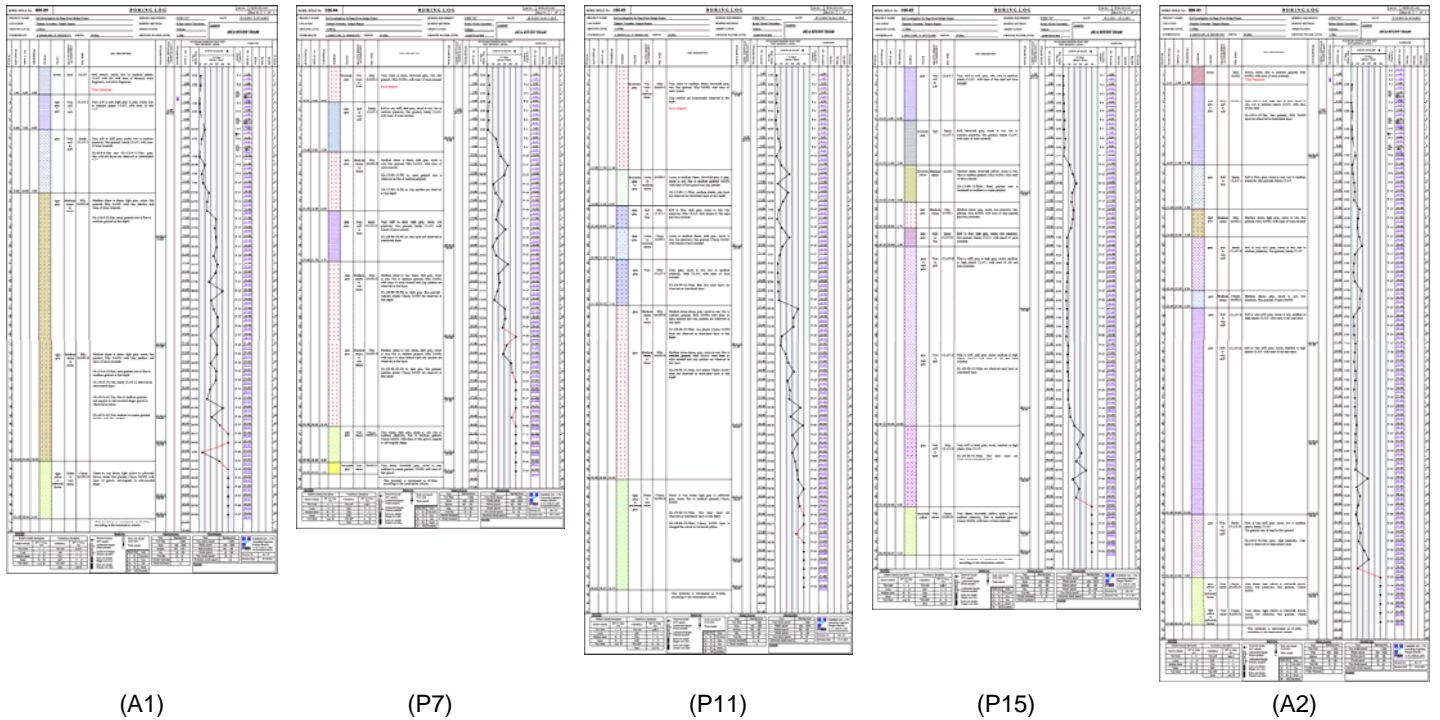
a) 河川部における基礎形式

基礎形式検討のための考慮すべき項目は以下の通り。

- ・ 水深が 10 m 以上ある
- ・ 洗掘を考慮する必要がある
- ・ 大きな鉛直荷重（上部工反力）に耐え得ること
- ・ 支持層が比較的深部に位置する(GL -40 ～ -50 m)

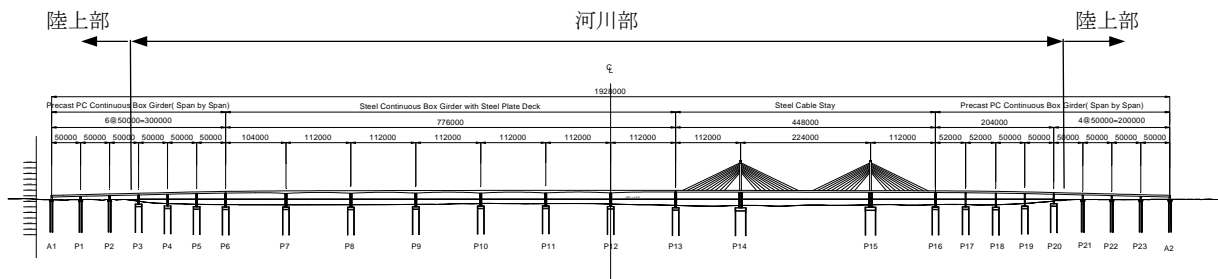
表 6.4 に道路橋示方書下部工編に参考資料としてある基礎形式選定表を示す。この表によれば、河川部の橋梁基礎としてコンクリート場所打ち杭、鋼管杭、鋼管矢板井筒基礎およびケーソンの4種の基礎形式が適用可能と判断される。鋼管杭と鋼管矢板井筒基礎を比較した場合、鋼管杭施工には仮締切が必要となるため、鋼管矢板井筒基礎の方が経済的に有利となる。従い河川内橋梁基

礎形式の検討対象はコンクリート場所打ち杭、鋼管矢板井筒基礎およびケーソンの3種に絞られる。



出典: JICA 調査団

図 6.3 ボーリング柱状図



出典: JICA 調査団

図 6.4 河川部と陸上部の区分

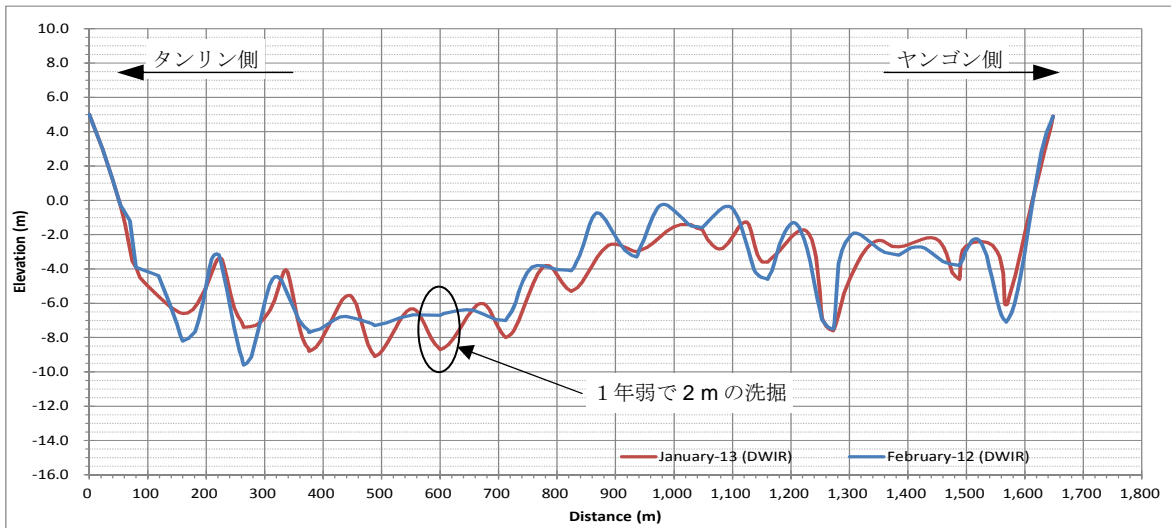
既設タンリン橋位置での 2012 年2月、そして 2013 年1月の河川横断測量結果を比較すると、図6.5 に示す通り、橋脚位置において1年弱で最大2 m の河床低下が認められる。これは洗掘によるものと判断され、基礎形式選定では洗掘対策を十分考慮する必要がある。

コンクリート場所打ち杭を採用した場合、水深が深いためパイルベント形式の採用となる。また、1橋脚当たり複数の杭が採用されるため、この形式は洗掘の影響を大きく受けるため不適と判断される。

表 6.4 主橋基礎形式選定表

選定条件		基礎形式						
		コンクリート場所打ち杭	PHC杭/SC杭	鋼管杭	地中連続壁基礎	鋼管矢板基礎	ケーソン	
仕 事 工 施	水上施工	水深 < 5 m	△	○	○	×	○	△
		水深 > 5 m	△	△	○	×	○	△
	周辺環境	振動騒音対策	○	×	×	○	△	○
		隣接構造物に対する影響	○	×	△	○	△	△
鉛直荷重(上部工反力)	普通	○	○	○	○	○	○	
	大	○	×	○	○	○	○	
仕 事 地	支持層の深度	5 m 未満	△	×	×	×	×	×
		5 ~ 15 m	○	○	○	△	△	○
		15 ~ 25 m	○	○	○	○	○	○
		25 ~ 40 m	○	○	○	○	○	○
		40 ~ 60 m	○	△	○	○	○	○
		60 m 以上	△	×	△	△	△	△
	支持層の土質	粘性土 (20 ≤ N)	○	○	○	○	○	○
		砂・砂れき (30 ≤ N)	○	○	○	○	○	○

注：○：適合性が良い，△：適合性がある，×：適合性が悪い 出典：道路橋示方書



出典：DWIR

図 6.5 既設タンリン橋に沿った河川横断測量結果

表 6.5 に河川内の橋梁基礎に適用可能な3つの基礎形式の比較を記した。また、それぞれの上部工形式でもっとも上部工反力の大きい3基 (P12、P14、P18) において、一般的なコンクリート場所打ち杭と鋼管矢板井筒基礎の概略比較を実施した (表 6.6 ~ 表 6.8 参照)。

これらの比較により、水深が深くかつ洗掘の影響が多いバゴー川での適用性に富む鋼管矢板井筒基

礎を、バゴ-橋建設に採用することを推奨する。

表 6.5 河川内橋梁基礎形式の比較

基礎形式	コンクリート場所打ち杭	鋼管矢板井筒基礎	ケーソン基礎
河川内での作業性	△ - 別途、仮締切りが必要 - ケーシング・パイプが必要 - 載荷試験が必要	◎ - 仮締切りを別途に必要としない - 載荷試験を必要としない	○ - 仮締切りを別途に必要としない - 載荷試験を必要としない
工期	△ 多数の杭の打設に時間が掛かる	◎ 鋼管建込み後、速やかにかつ安全に建設を継続できる	○ ケーソン掘削に時間が掛かる
船舶衝突荷重に対して	× 弱い	◎ 強い	◎ 強い
洗掘に対して	× 弱い	◎ 強い	◎ 強い
工事の安全性 (仮締切工)	○ 別途、仮締切が必要となる (二重締切)	◎ 仮締切は必要なし	◎ 仮締切は必要なし
建設費	◎	○	○
技術移転	新技術ではないので技術移転は望めない	新技術であるため技術移転が図れる	新技術ではないので技術移転は望めない
評価	- 比較した他の2形式に対し、建設費は最も低い。船舶衝突による衝撃に最も弱く、また洗掘影響を最も多く受ける △	- コンクリート場所打ち杭に比し建設費は高額となるが、他の比較項目で優位性が多い - 「ミ」国にとって新技術であり、本基礎形式による技術移転が望まれている。 ◎推奨案	- コンクリート場所打ち杭に比し建設費は高額となるが、他の比較項目で優位性が多い - 比較項目の中に鋼管矢板基礎に劣るものがある ○

出典: JICA 調査団

表 6.6 河川内橋梁基礎形式の比較 (P12: 鋼床版箱桁部)

	場所打ち杭 φ1500	鋼管矢板井筒 φ1000
概念図		
杭配置図		
概要	<p>■柱</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート強度 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$, SD345を使用。 ・柱幅は橋軸方向幅6.0m 橋軸直角方向幅11.0mとなる。 ・柱はD32-2段 ・決定ケースは地震時 <p>■基礎</p> <ul style="list-style-type: none"> ・場所打ち杭 φ1500-56本 L=40.0m ・決定ケースは支持力 	<p>■柱</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート強度 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$, SD345を使用。 ・柱幅は橋軸方向幅6.0m 橋軸直角方向幅11.0mとなる。 ・柱はD32-2段 ・決定ケースは地震時 <p>■基礎</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鋼管矢板井筒基礎 φ1000-44本 L=61.0m ・決定ケースは支持力
概算工費比率	1.10	1.00
評価	△ 施工工期が長くなる (杭本数が多く、仮締切が必要の為)	○

出典: JICA 調査団

表 6.7 河川内橋梁基礎形式の比較 (P14: 鋼斜張橋部)

	場所打ち杭 φ1500	鋼管矢板井筒 φ1000
概念図		
杭配置図		
概要	<p>■柱</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート強度 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$, SD345を使用。 ・柱幅は橋軸方向幅8.0m 橋軸直角方向幅11.0mとなる。 ・柱はD32-2段 ・決定ケースは地震時 <p>■基礎</p> <ul style="list-style-type: none"> ・場所打ち杭 φ1500-121本 L=33.5m ・決定ケースは支持力 	<p>■柱</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート強度 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$, SD345を使用。 ・柱幅は橋軸方向幅8.0m 橋軸直角方向幅11.0mとなる。 ・柱はD32-2段 ・決定ケースは地震時 <p>■基礎</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鋼管矢板井筒基礎 φ1000-55本 L=61.0m ・決定ケースは支持力
概算工費比率	1.80	1.00
評価	△ 施工工期が長くなる (杭本数が多く、仮締切が必要の為)	○

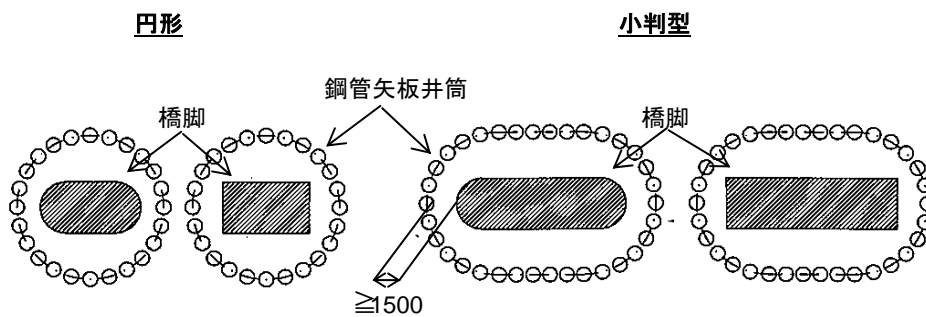
出典: JICA 調査団

表 6.8 河川内橋梁基礎形式の比較(P18:PC 箱桁部)

	場所打ち杭 φ 1500	鋼管矢板井筒 φ 1000
概念図		
杭配置図		
概要	<p>■柱</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート強度 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$、SD345を使用。 ・柱幅は橋軸方向幅4.5m 橋軸直角方向幅14.0mとなる。 ・柱はD32-2段 ・決定ケースは地震時 <p>■基礎</p> <ul style="list-style-type: none"> ・場所打ち杭 φ 1500-56本 L=40.0m ・決定ケースは支持力 	<p>■柱</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート強度 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$、SD345を使用。 ・柱幅は橋軸方向幅4.5m 橋軸直角方向幅14.0mとなる。 ・柱はD32-2段 ・決定ケースは地震時 <p>■基礎</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鋼管矢板井筒基礎 φ 1000-44本 L=61.0m ・決定ケースは支持力
概算工費比率	1.10	1.00
評価	△ 施工工期が長くなる (杭本数が多く、仮締切が必要の為)	○

出典: JICA 調査団

主橋下部工(橋脚)は鉄筋コンクリート製とする。河川流を考慮して断面は円形あるいは小判型とし、小判型の場合は河川流方向に合わせ、河川流への負の影響を最小限とするよう設計する。アプローチ橋下部工は景観上の連続性を重視し、主橋と同形式を採用するのが良い。また、鋼管矢板井筒基礎の最小形状は橋脚の形状より決定され、橋脚の足場や型枠設置の為のスペースとして 1.5 m 以上確保する。



出典: JICA 調査団

図 6.6 鋼管矢板井筒の形状

b) 陸上部における基礎形式

陸上部における橋梁の基礎は、建設の容易性、建設資機材確保の容易性、および「ミ」国における多数の施工実績から、コンクリート場所打ち杭の採用が最適であると判断する。

コンクリート場所打ち杭には幾つかの工法があるが、「ミ」国でも多く施工されているケーシング・パイプを用いたリバース工法の採用が有力となる。

杭径については P1 における杭径比較の結果、φ 1500 を採用する(表6.9参照)。

表 6.9 陸上部橋梁基礎形式の比較(P1:PC 箱桁部)

	場所打ち杭 φ 1000	場所打ち杭 φ 1500
概念図		
杭配置図		
概要	<ul style="list-style-type: none"> ■柱 <ul style="list-style-type: none"> 柱幅は橋軸方向幅2.5m 橋軸直角方向幅11.0mとなる。 柱はD32-2段 決定ケースは地震時 ■基礎 <ul style="list-style-type: none"> 場所打ち杭φ1000-28本 L=40.5m 決定ケースは支持力 	<ul style="list-style-type: none"> ■柱 <ul style="list-style-type: none"> 柱幅は橋軸方向幅2.5m 橋軸直角方向幅11.0mとなる。 柱はD32-2段 決定ケースは地震時 ■基礎 <ul style="list-style-type: none"> 場所打ち杭φ1500-13本 L=41.0m 決定ケースは支持力
概算工費比率	1.004	1.000
評価	△ 施工工期が長くなる (杭本数が多い為)	○ 施工工期が短くなる (杭本数が少ない為)

出典: JICA 調査団

6.3.2 下部工形式の検討

主橋下部工（橋脚）は鉄筋コンクリート製とする。

河川流を考慮して断面は円形あるいは小判型とし、小判型の場合は河川流方向に合わせ、河川流への負の影響を最小限とするよう設計する。

表 6.10 橋脚の形状

下部工の形状	小判型	円形
特 性	河川内橋脚に適用される。 スムーズな水流確保のため、河川流と平行に建設される。	河川内橋脚に適用される。 河川流の方向が定まっていない場合に非常に適している。

出典: JICA 調査団

6.3.3 橋台形式の検討

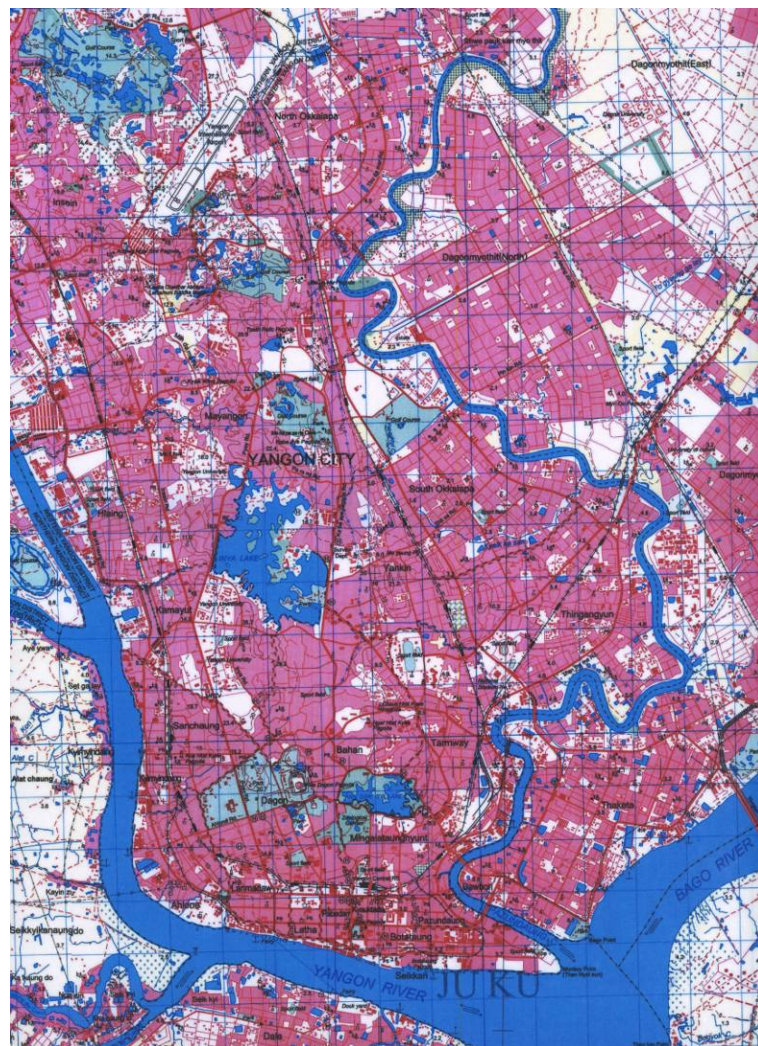
建設費および施工の効率性から最も一般的な逆 T 式橋台を採用する。

7 自然条件調査

7.1 地形測量

7.1.1 ヤンゴン都市圏の地形概要

ヤンゴン都市圏はヤンゴン河沿いの北緯 17° 06'から北緯 16° 35'、東経 95° 58'から東経 96° 24'の範囲にあり、エーヤワディー河の三角州下部の東側に位置する。この三角州の中央付近には、バゴーヨーマと呼ばれる標高 25～30m 程度の丘陵が北から南（シュウェダゴン丘陵付近が南端）へと分布している。低地部分の標高は数メートル程度と低いため、雨期には部分的に冠水がしばしば確認されている。



出典：ヤンゴン管区地形図

図 7.1 ヤンゴン都市圏地形図

7.1.2 地形測量

地形測量は、2013年9月29日より、2013年11月30日の契約工期で実施された。作業内容は：

- (1) 準備・片付工、
- (2) ベンチマーク設置、
- (3) コントロールポイント設置、
- (4) 平面測量、
- (5) 縦断測量、
- (6) 横断測量、
- (7) 河川縦断測量、
- (8) 河川横断測量、および
- (9) 報告書作成

であり、バゴ-橋設計の基礎資料となる。



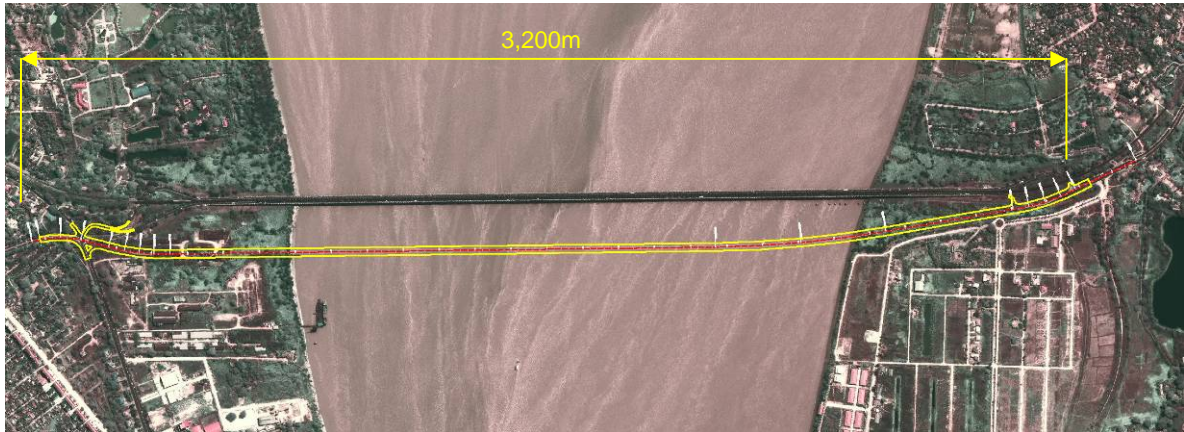
出典: JICA 調査団

図 7.2 平板測量範囲 (1/2)



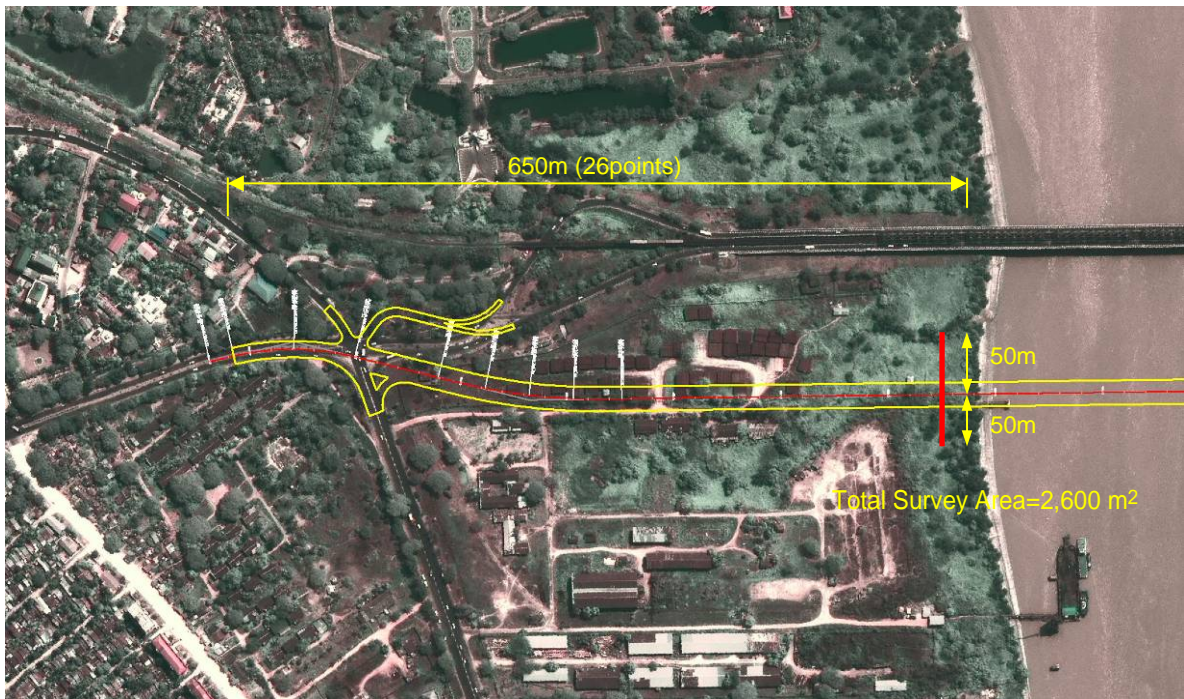
出典: JICA 調査団

図 7.3 平板測量範囲 (2/2)



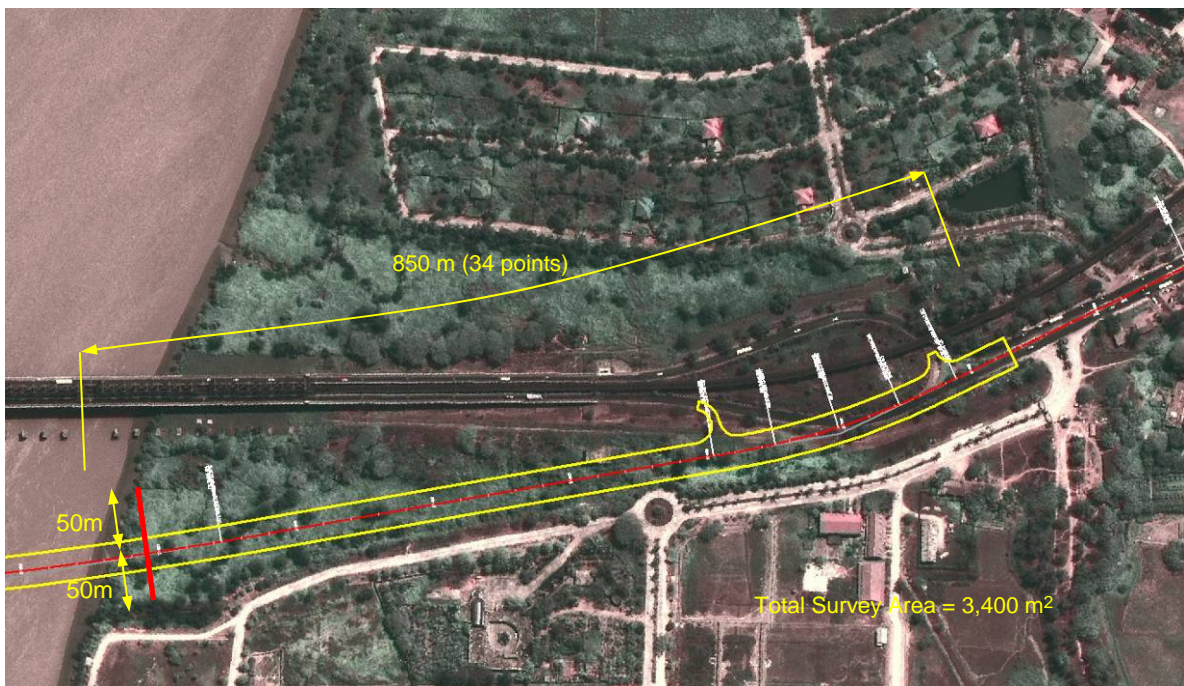
出典: JICA 調査団

図 7.4 縦断測量範囲(1/3)



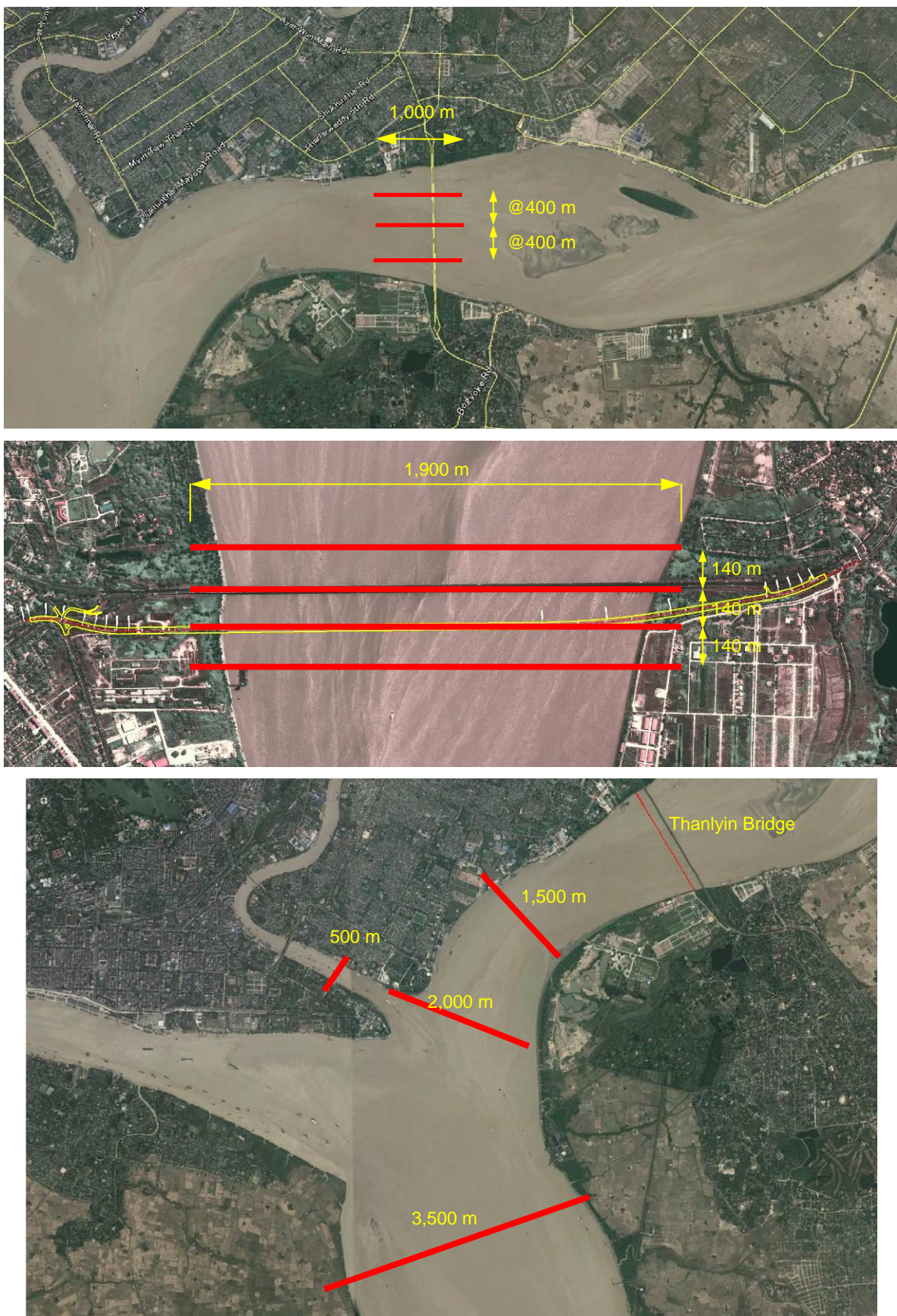
出典: JICA 調査団

図 7.5 縦横断測量範囲 (2/3)



出典: JICA 調査団

図 7.6 縦横断測量範囲 (3/3)

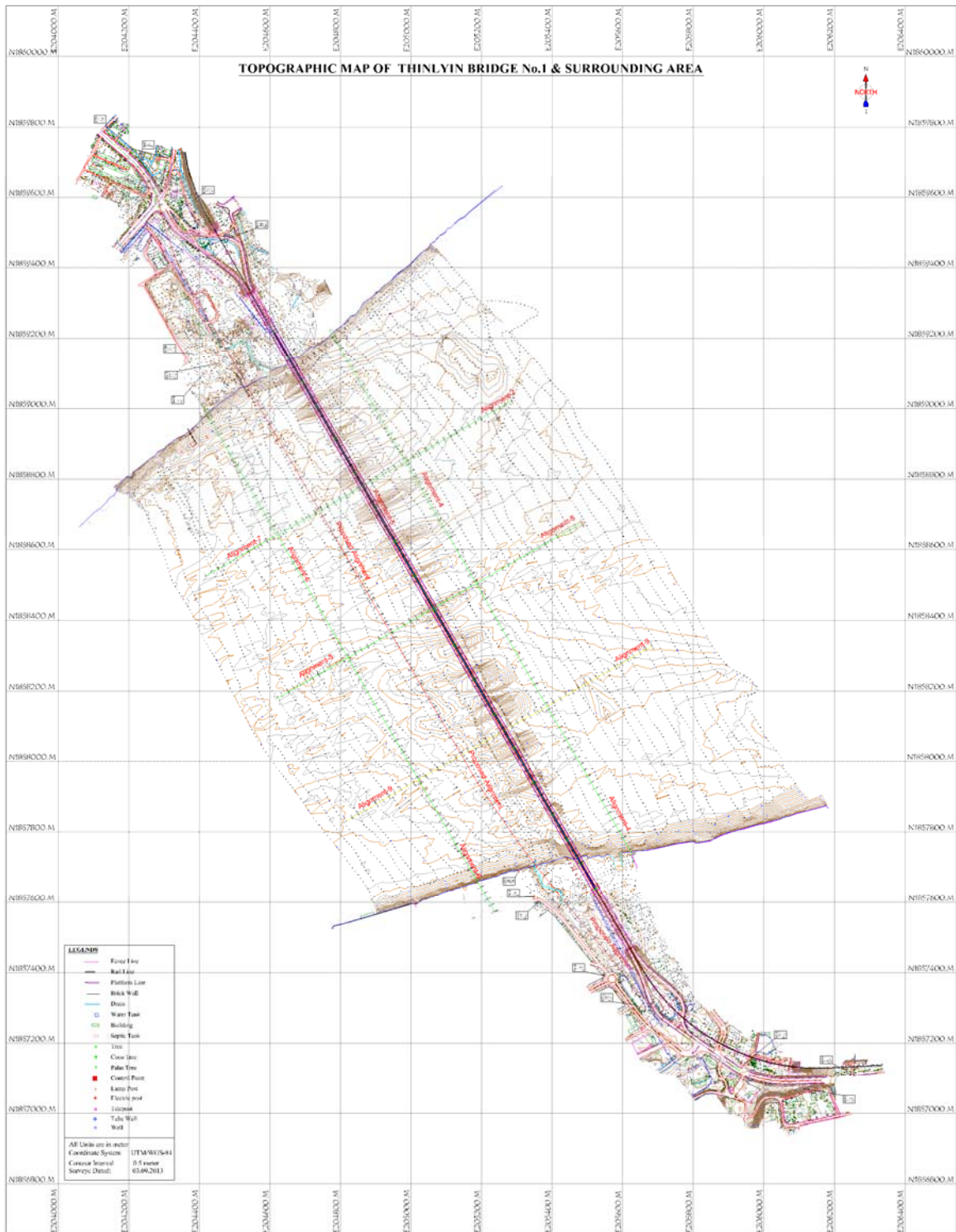


出典: JICA 調査団

図 7.7 河川横断測量範囲

7.1.3 測量結果

測量結果として、平面図を下記に示す。



出典: JICA 調査団

図 7.8 測量平面図

7.2 地質調査

7.2.1 地質概要

ヤンゴン付近の地表面地質は、大きく以下の3つに分類される。

- 沖積堆積物
- イラワジ層
- ペゲー層群

一般的にヤンゴン地区の地表面の多くは、沖積世の堆積土砂（沖積土）で覆われている。バゴーヨーマに沿って基盤岩が認められ、シュウェダゴンパゴダ付近より北側ではアルザニゴン砂岩が分布し、その東側にはダニンゴン粘土が分布している。これらは共にイラワジ層に属している。ヤンゴン地区の北側には、ペゲー層群に属するベサペット互層、タドゥガン砂岩やローガ頁岩が分布している。

(a) 沖積層

新沖積層

表層に分布する最も新しい地層で、主に軟弱な粘性土や緩い砂質土が認められる。これらは、海性粘土や河川堆積物から構成されており、黄褐色系～灰色系のものが主となっている。粘性土は腐食した木や植物などの有機物がしばしば認められ、砂質土は粒径が非常に均質な細砂が主体となっている。この層は軟弱であるため、圧密沈下や液状化などの問題が発生する可能性が高い層である。

古沖積層

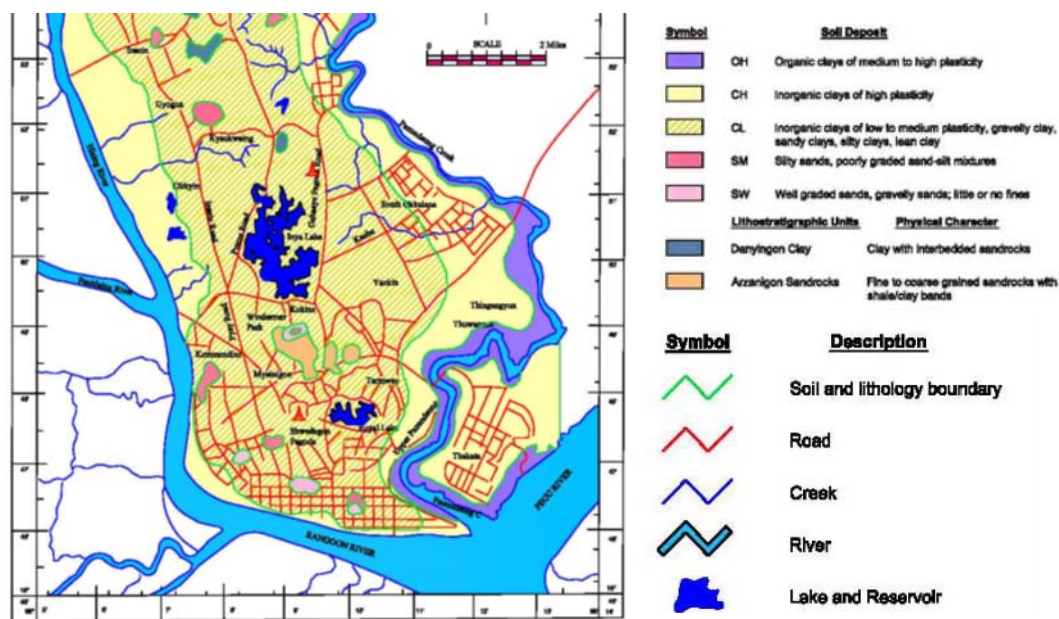
この層は新沖積土と同様に主に粘性土や砂質土から構成しているが新沖積土と比較して古い時代に堆積したものであるため、比較的硬いあるいは密な状態である。部分的には礫質土も確認されている。比較的軽い構造物の場合にはこの層を支持層として適用されることが多い。

(b) イラワジ層

この層は、イラワジアン層群の一つであり、黄色系の細砂である。この層は、ダニンゴン、アルザニゴン、トゥウインテの南側、そしてヤンゴン中央の丘陵部であるバゴー・ヨーマで露頭が確認される。この地層は古い時代のものであるため、縮まった状態の箇所が多い。

(c) ペゲー層群

この地層は、主に砂岩と頁岩の互層で構成されている。この地層の露頭は、ダニンゴン地区とタンリン地区の尾根部の傾斜に沿って確認される。それら地区のほとんどは、赤褐色の酸化したラテライトとして確認される。



出典：ビルマの地質（1983）フレデリック・ベンデル著

図 7.9 ヤンゴン周辺地層図

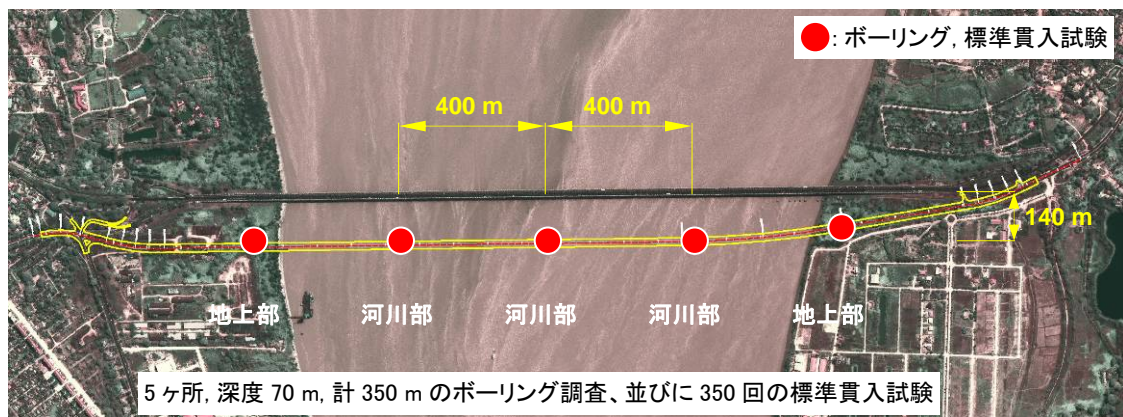
7.2.2 地質調査

地質調査は、2013年9月29日より2013年11月30日の契約工期で実施された。

作業内容は以下の通り。

- (1) 準備・片付工、
- (2) ボーリング調査、地上部および河川部、
- (3) SPT 試験、
- (4) 室内試験、および
- (5) 報告書作成

図-7.10 に地質調査箇所位置図を示す。



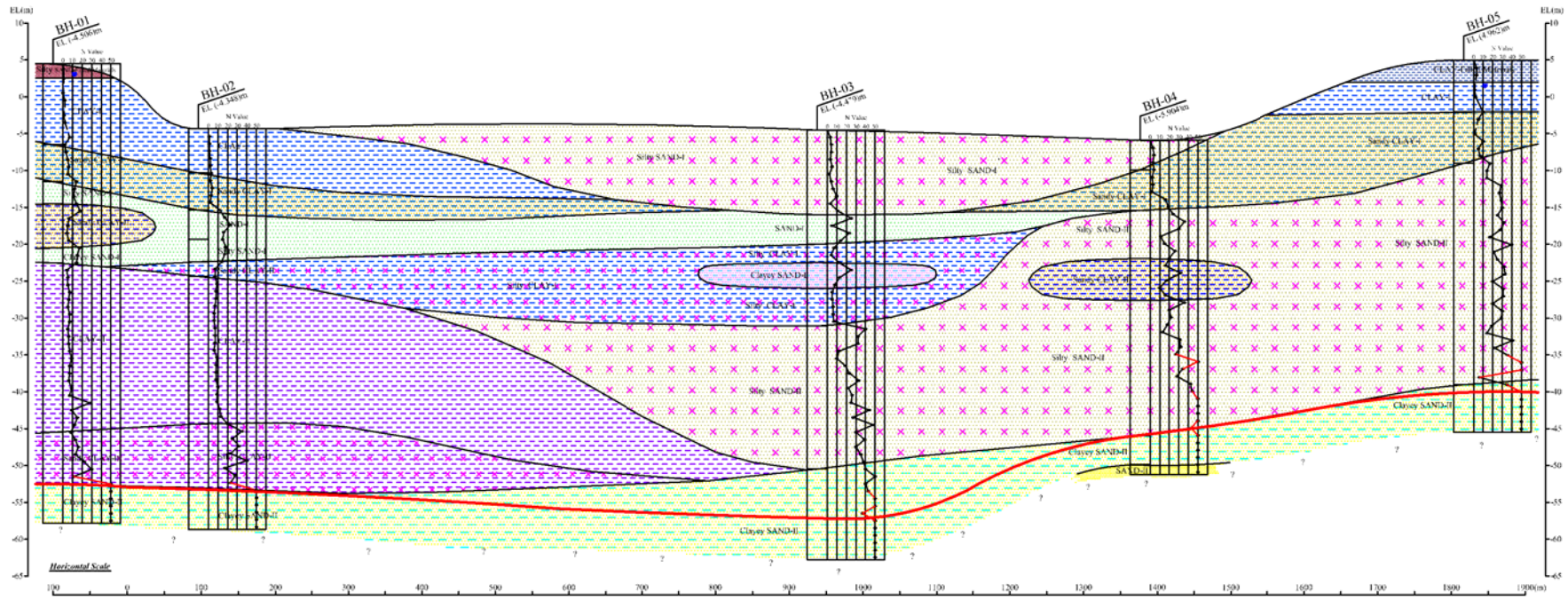
出典: JICA 調査団

図 7.10 調査箇所位置図

室内試験については以下の内容について実施する。

- 自然含水量調査
- 比重試験
- 粒度分布
- アッターベルグ限界
- 単位重量
- 一軸圧縮試験

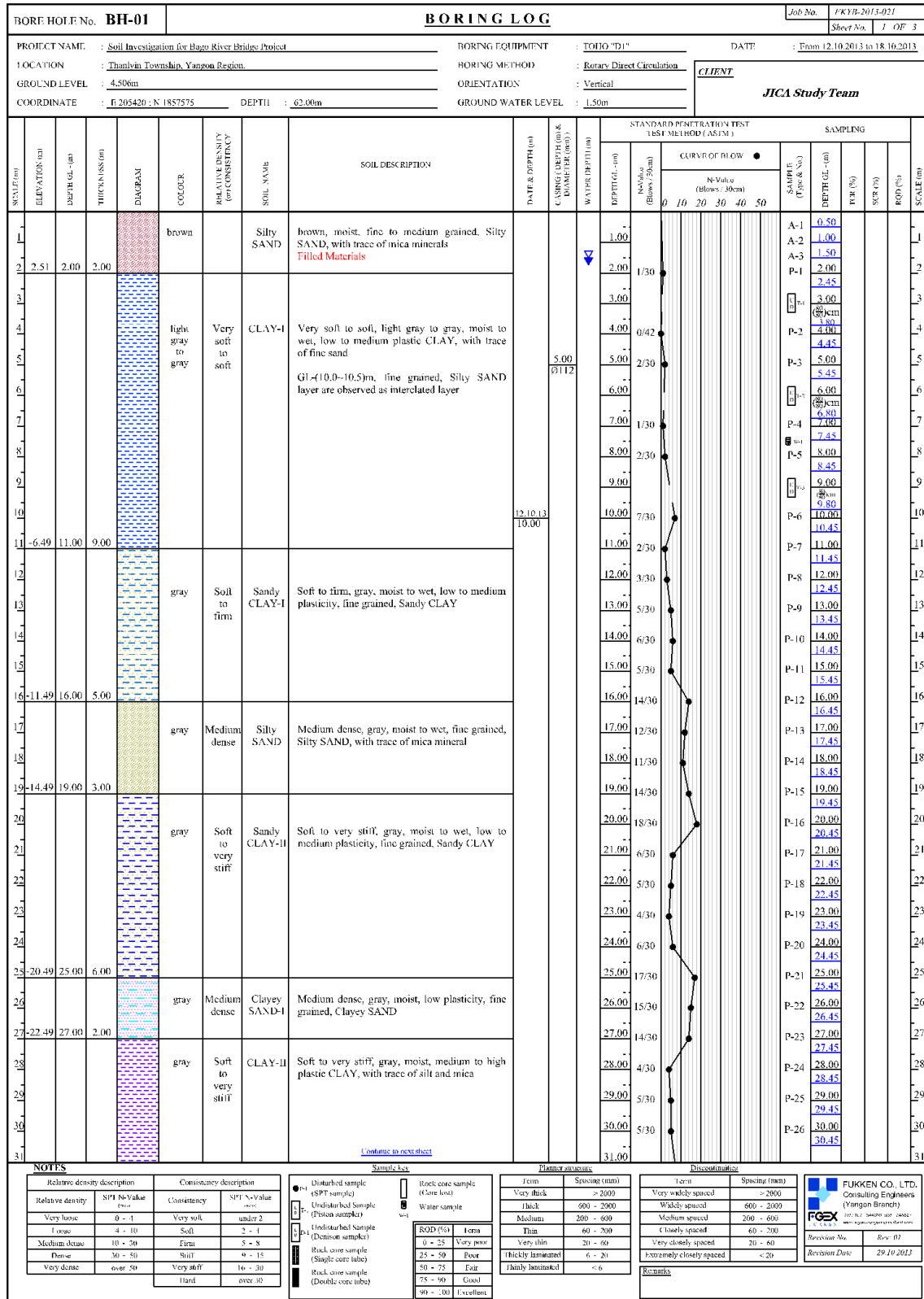
土質断面図については、図-7.11 に示す。



出典：JICA 調査団

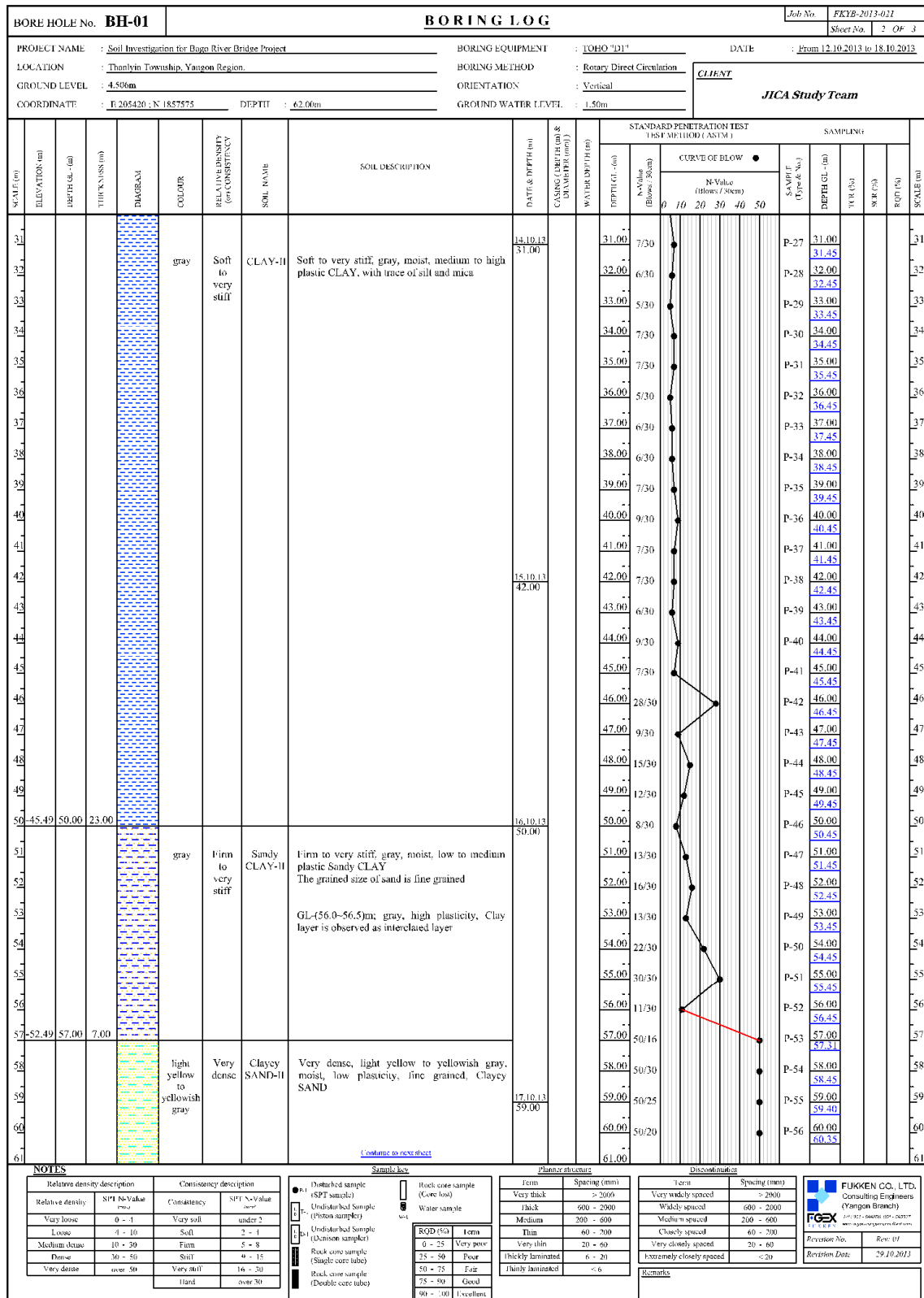
図 7.11 土質断面図

図 7.12 から図 7.22 に、各ボーリング柱状図を示す。



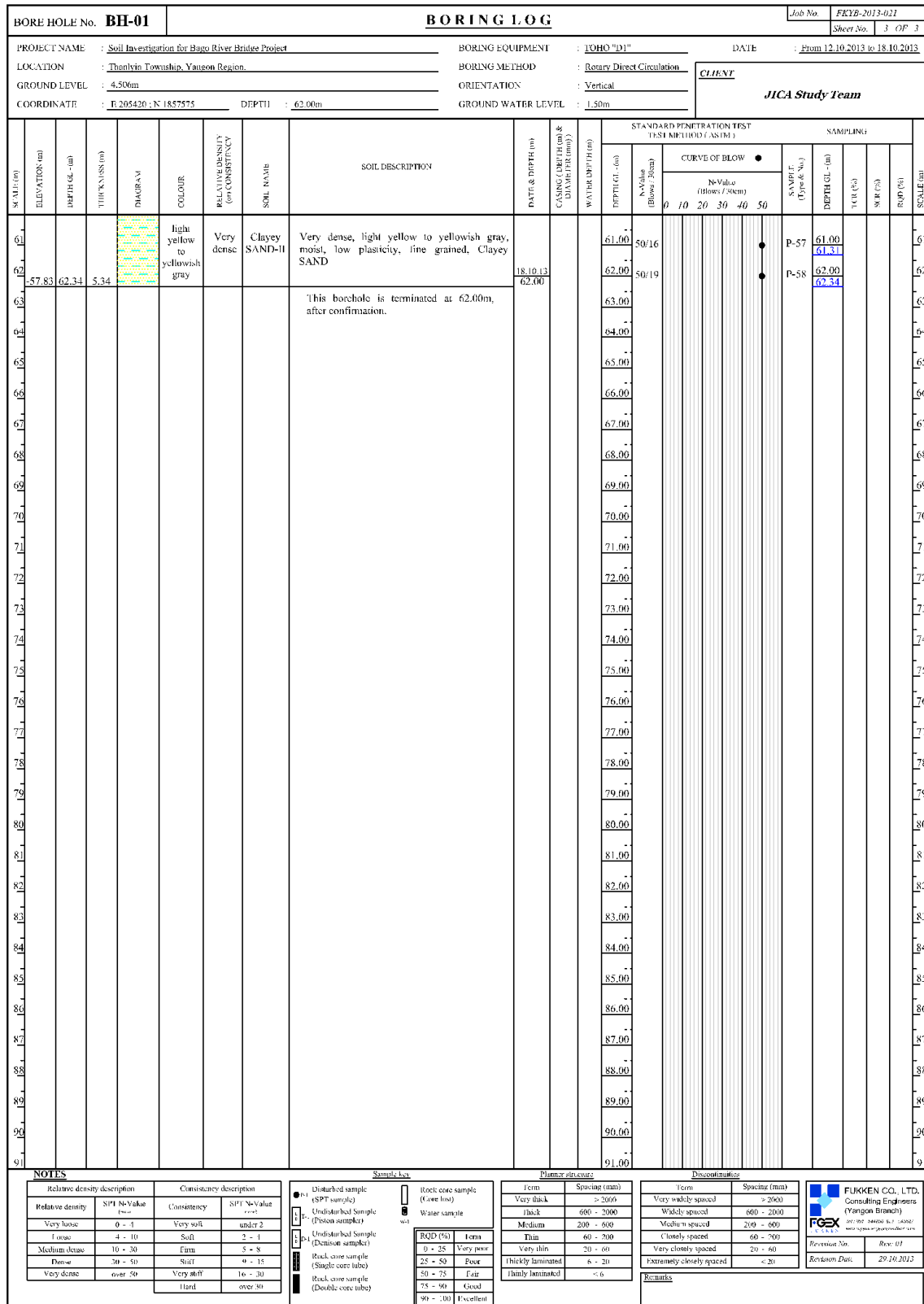
出典: JICA 調査団

図 7.12 柱状図(BH-01)1/3



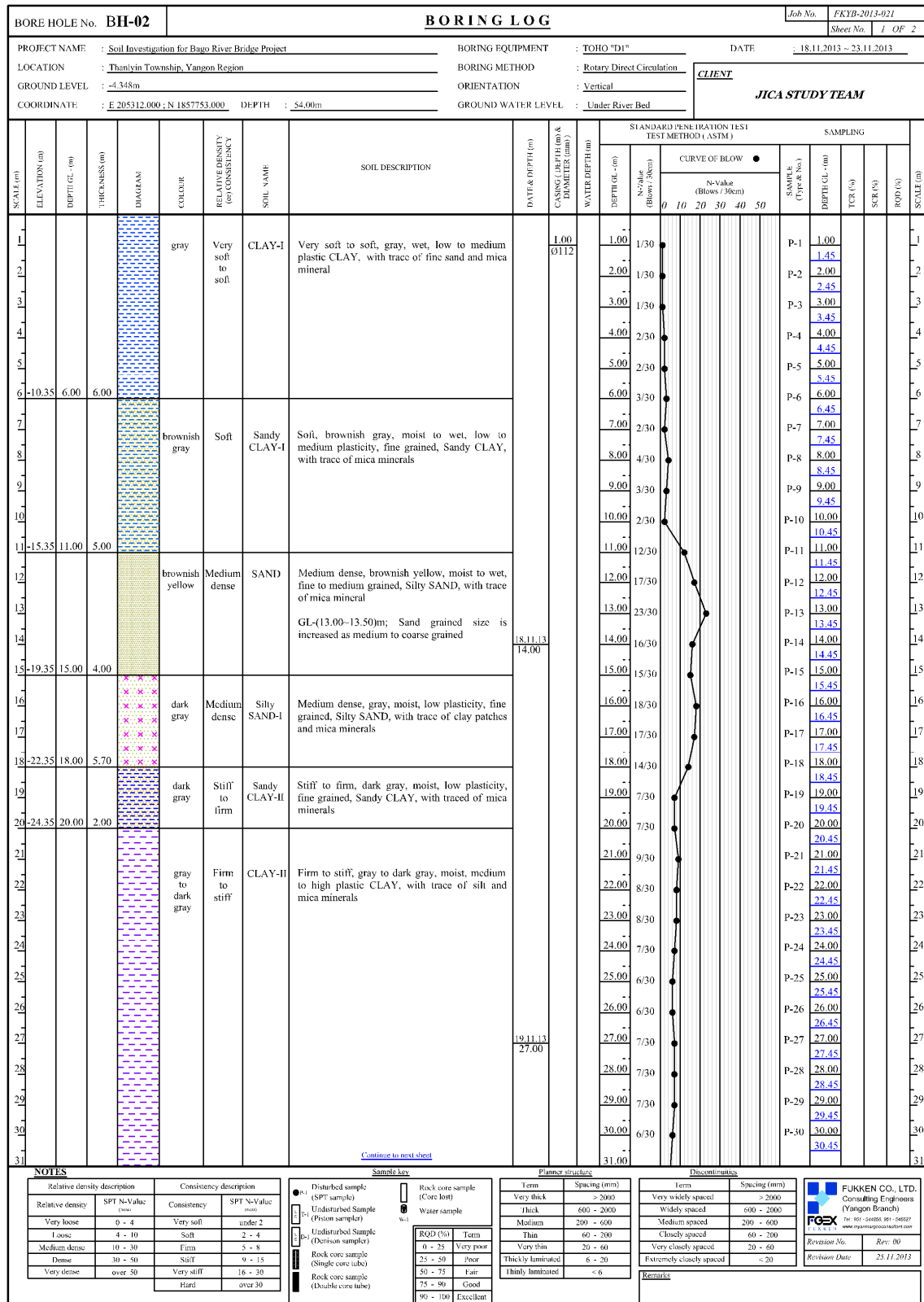
出典: JICA 調査団

図 7.13 柱状図(BH-01)2/3



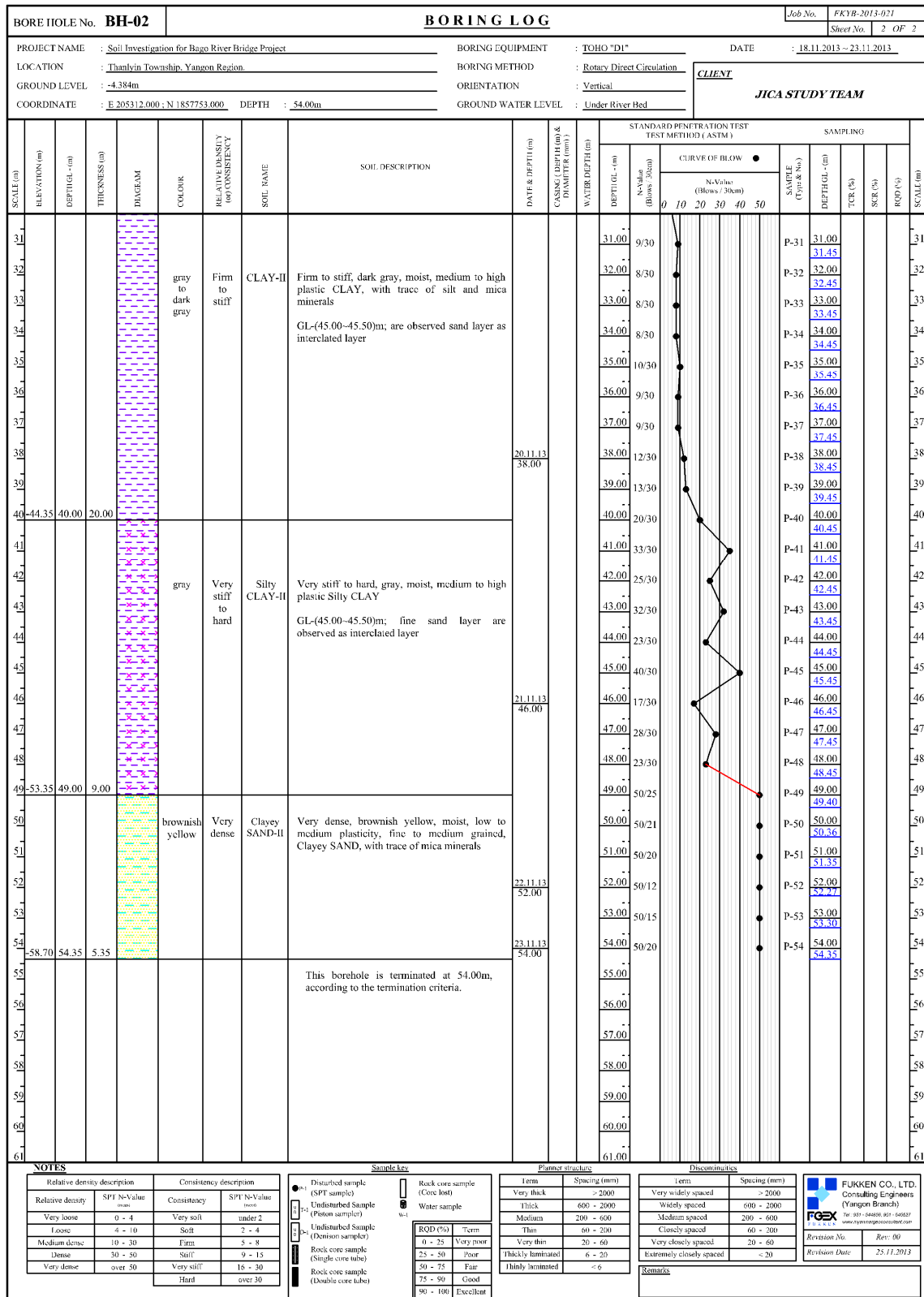
出典: JICA 調査団

図 7.14 柱状図(BH-01)3/3



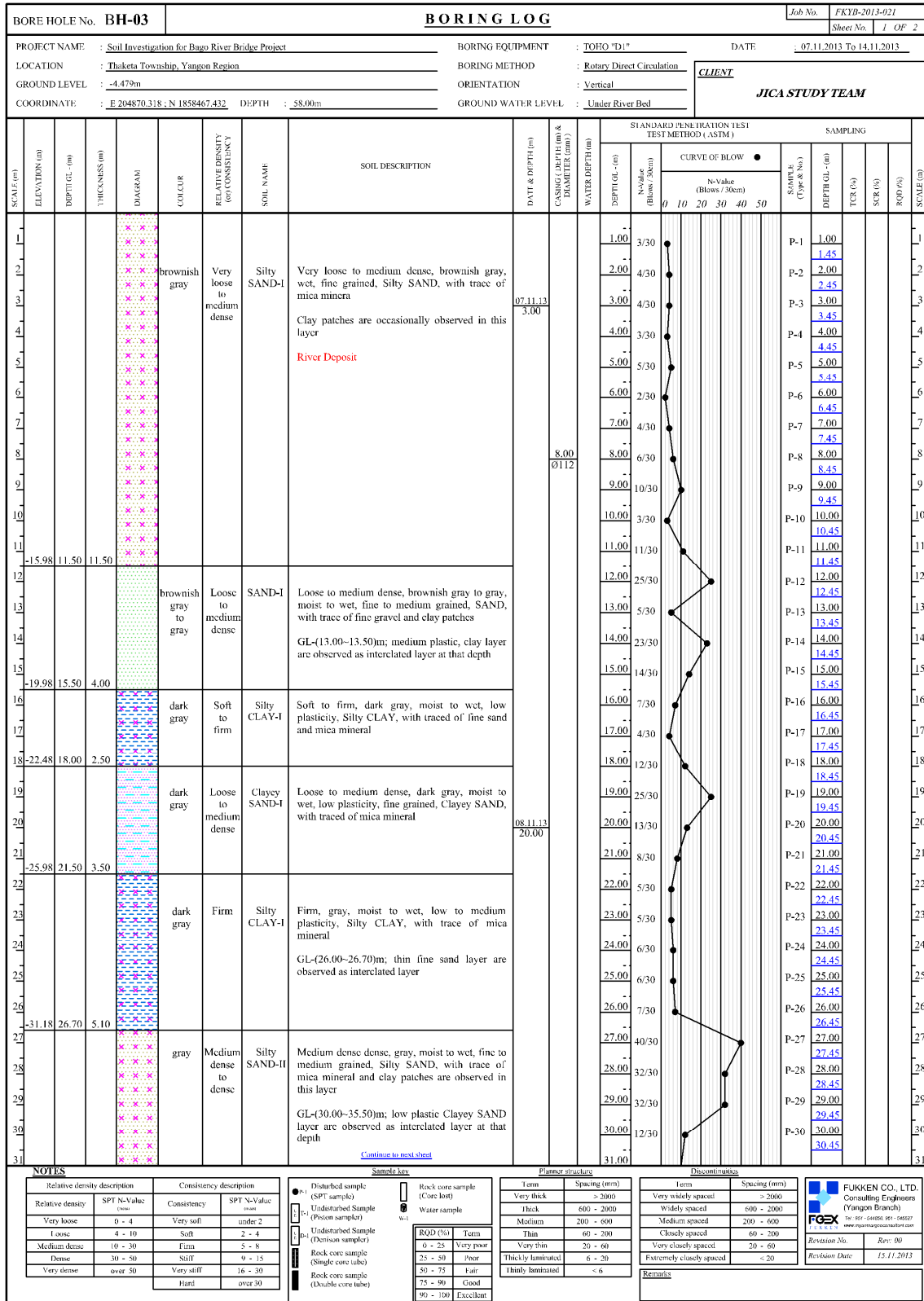
出典: JICA 調査団

図 7.15 柱状図(BH-02)1/2



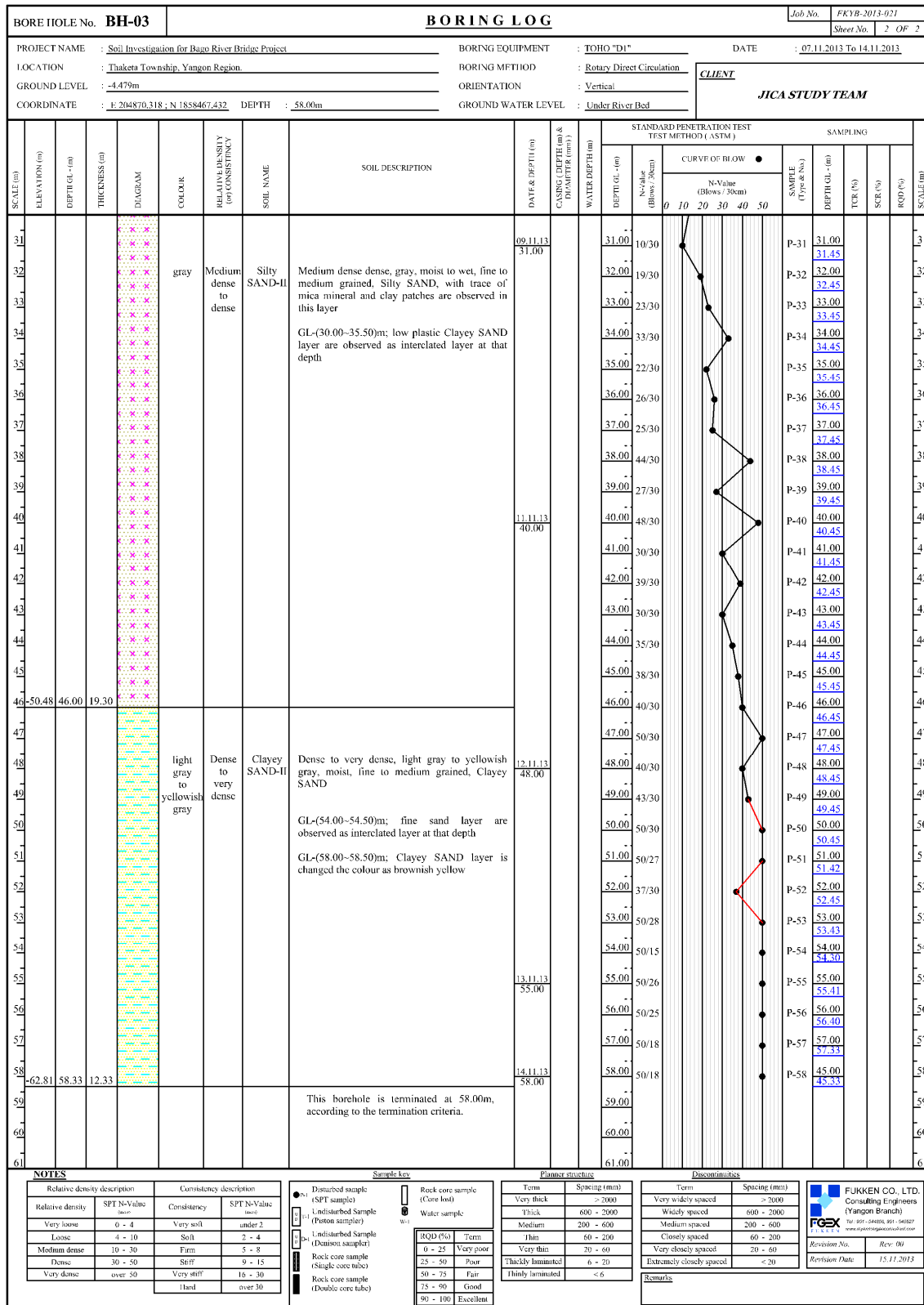
出典: JICA 調査団

図 7.16 柱状図(BH-02)2/2



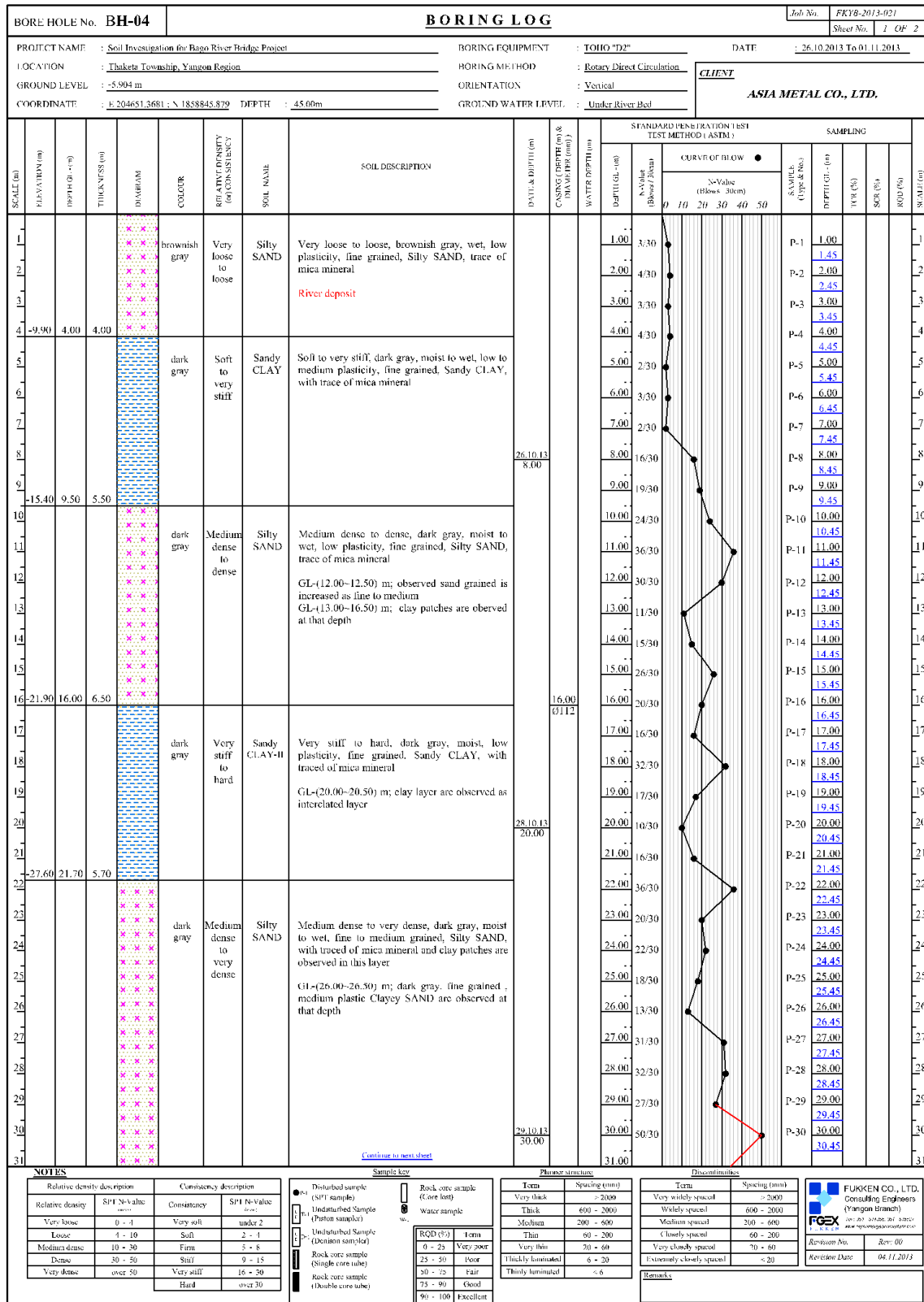
出典: JICA 調査団

図 7.17 柱状図(BH-03)1/2



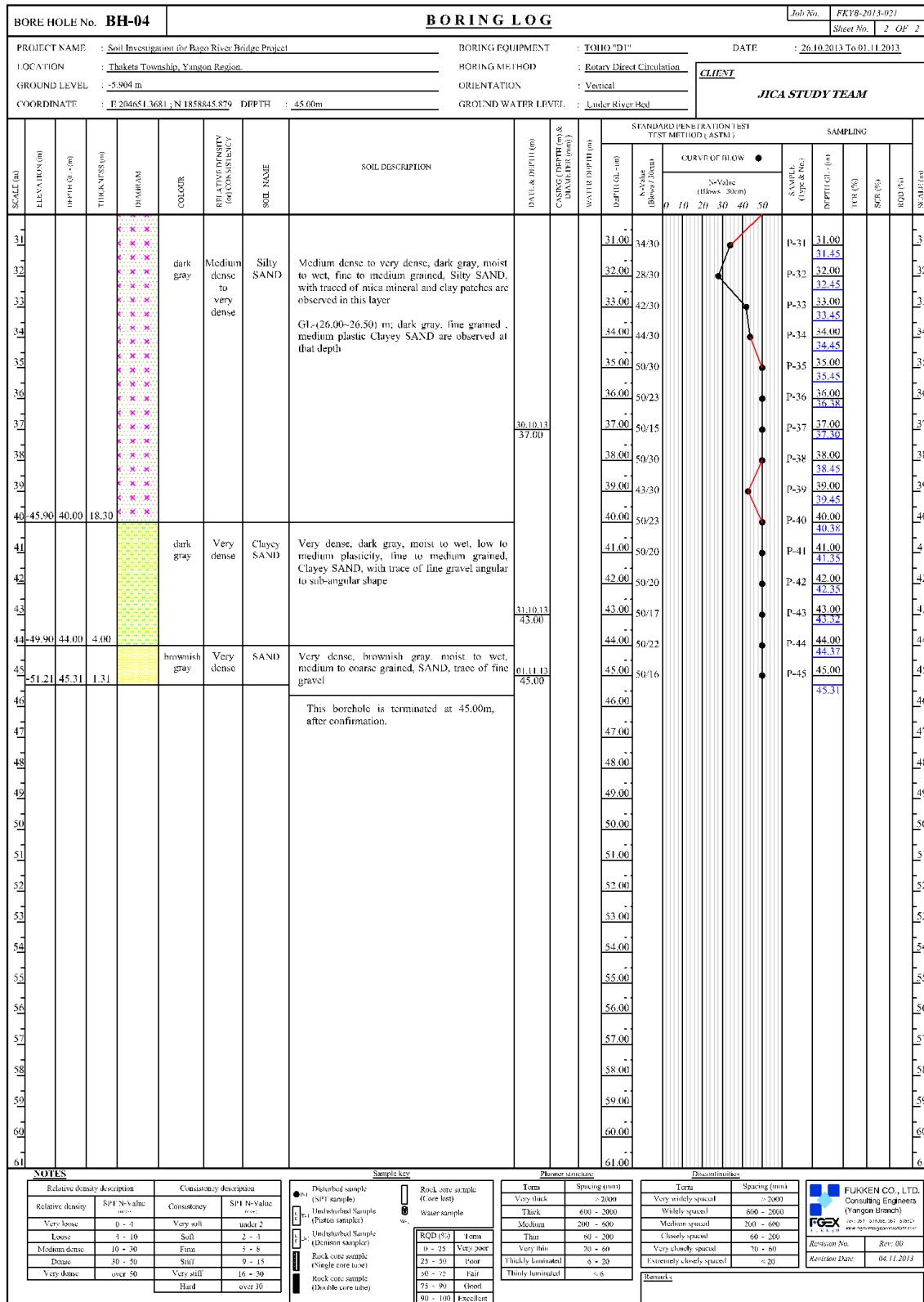
出典: JICA 調査団

図 7.18 柱状図(BH-03)2/2



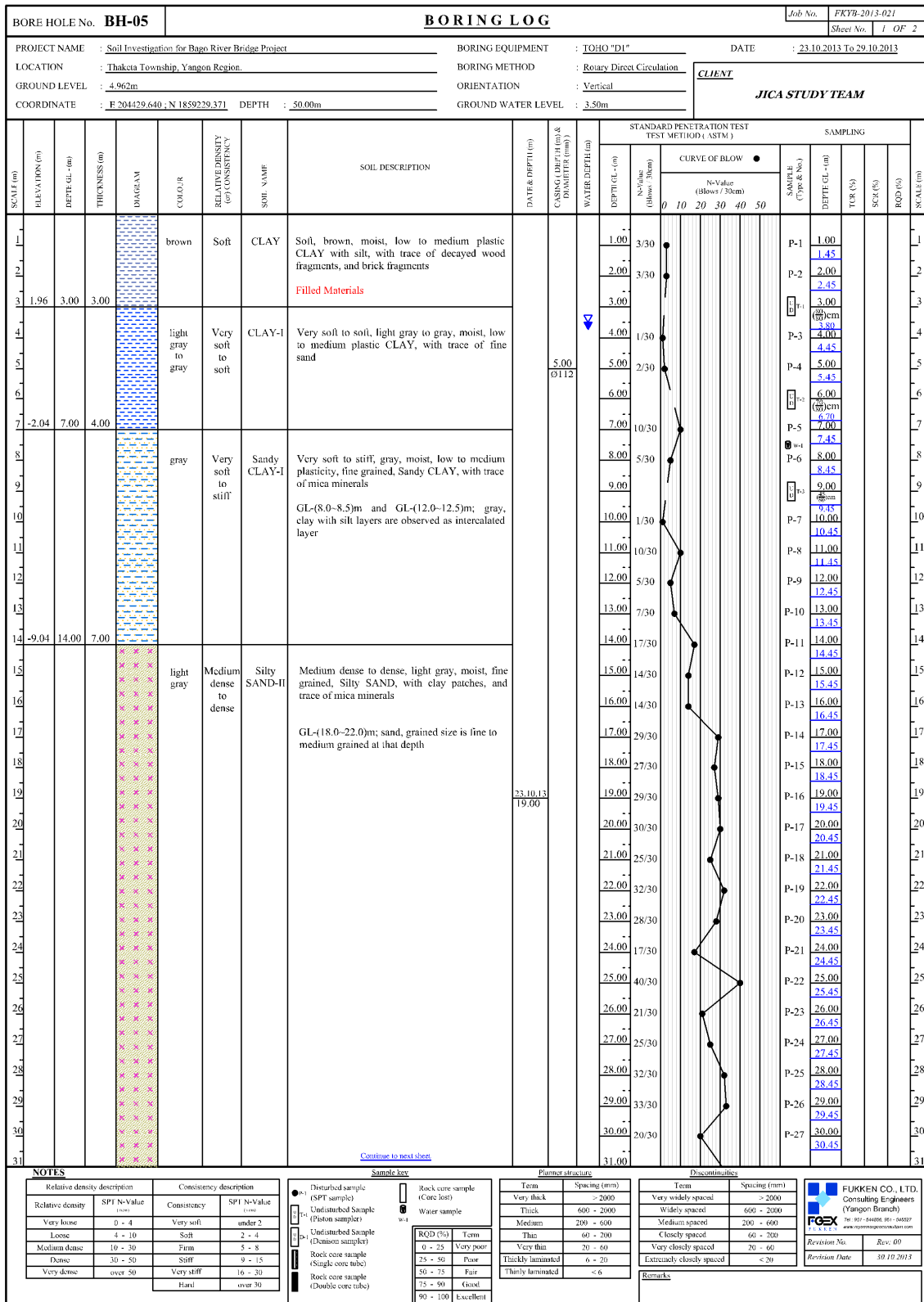
出典: JICA 調査団

図 7.19 柱状図(BH-04) 1/2



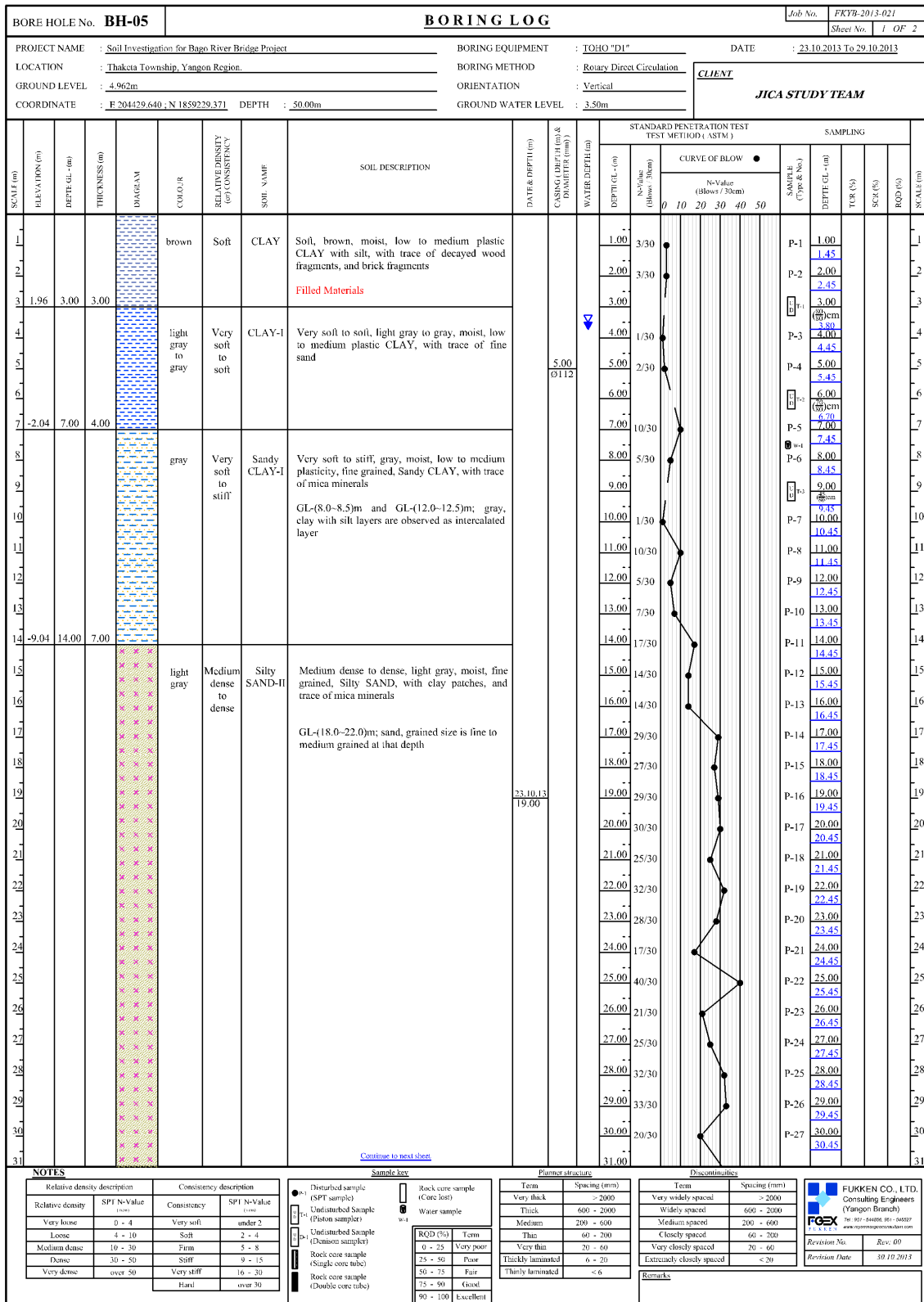
出典: JICA 調査団

図 7.20 柱状図(BH-04)2/2



出典: JICA 調査団

図 7.21 柱状図 (BH-05) 1/2



出典: JICA 調査団

図 7.22 柱状図(BH-05)2/2

7.2.3 設計土質定数

土質定数は、室内試験とフィールドテストなど多くの方法で評価することができる。土質定数のいくつかは、調査方法の性質上、フィールドテストや室内試験において評価する事が困難である。しかしながらそのような定数は、過去の結果や室内試験結果から得られた物理的特性より算出を行う。

表 7.1 JHC による土質定数の提案

Soil Type		Condition of Soil	Bulk Density γ_t (tf/m ³)	Internal Friction Angle ϕ (°)	Cohesion Cu(tf/m ²)	Remarks (Soil Name)	
Fill Material	Gravel Gravelly Sand	Compacted one.	2.0	40	0	(GW), (GP)	
	Sand	Compacted one.	Well graded one.	2.0	35	0	(SW), (SP)
			Poor graded one.	1.9	30	0	
	Silty Sand Clayey Sand	Compacted one.	1.9	25	Less than 3	(SM), (SC)	
	Silt, Clay	Compacted one.	1.8	15	Less than 5	(ML), (CL) (MH), (CH)	
	Kanto Loam	Compacted one.	1.4	20	Less than 1	(VH)	
Natural Ground	Gravel	Dense or Well graded one.	2.0	40	0	(GW), (GP)	
		Not dense and Poorly graded one.	1.8	35	0		
	Gravelly Sand	Dense one.	2.1	40	0	(GW), (GP)	
		Not dense one.	1.9	35	0		
	Sand	Dense or Well graded one.	2.0	35	0	(SW), (SP)	
		Not dense and Poorly graded one.	1.8	30	0		
	Silty Sand Clayey Sand	Dense one.	1.9	30	Less than 3	(SM), (SC)	
		Not dense one.	1.7	25	0		
	Sandy Silt Sandy Clay	Stiff one.	1.8	25	Less than 5	(ML), (CL)	
		Firm one.	1.7	20	Less than 3		
		Soft one.	1.6	15	Less than 1.5		
	Silt Clay	Stiff one.	1.7	20	Less than 5	(CH), (MH), (ML)	
		Firm one.	1.6	15	Less than 3		
		Soft one.	1.4	10	Less than 1.5		
	Kanto Loam	---	1.4	5	Less than 3	(VH)	

出典: JICA 調査団

表 7.3 に提案する設計土質定数を示す。

表 7.2 地盤解析における各パラメータ

No.	Soil Name	N-Value	Cohesion Cu			Friction angle							Modulus of Elasticity (kN/m ²)	Poisson's Ratio
		(Average)	kN/m ²			(degree)			γ_{sat}	γ'	γ_{sat}	γ'		
		N	by SPT	by Lab	by JHC	by SPT	by Lab	by JHC	Lab Test		by JHC			
1	Silty SAND-Filled Materials	2	0	N/A	<30	21	N/A	19	20	10	19	9	1400	0.4
2	CLAY-Filled Materials	3	20	N/A	N/A	0	N/A	N/A	19	9	N/A	N/A	2000	0.4
3	Silty SAND-River Deposit	4	0	N/A	0	24	N/A	25	19	9	17	7	2800	0.5
4	CLAY-I	1	7	18	<15	0	19	10	17	7	14	4	1800	0.5
5	Sandy CLAY-I	5	33	25	<30	0	N/A	20	18	8	17	7	2500	0.4
6	Silty SAND-I	14	0	N/A	0	32	N/A	25	20	10	17	7	9800	0.4
7	SAND-I	19	0	N/A	0	34	N/A	30	19	9	18	8	13300	0.4
8	Silty CLAY-I	6	40	N/A	<30	0	N/A	15	18	8	16	6	4000	0.4
9	Clayey SAND-I	8	0	N/A	0	28	N/A	25	19	9	17	7	5600	0.5
10	CLAY-II	8	53	N/A	<30	0	N/A	15	19	9	16	6	5333	0.5
11	Silty CLAY-II	27	180	N/A	<50	0	N/A	20	18	8	17	7	18000	0.4
12	Sandy CLAY-II	14	93	N/A	<50	0	N/A	25	19	9	18	8	9333	0.4
13	Silty SAND-II	30	0	N/A	0	39	N/A	25	20	10	17	7	21000	0.3
14	Clayey SAND-II	48	0	N/A	<30	46	N/A	30	20	10	19	9	33600	0.2
15	SAND-II	50	0	N/A	0	47	N/A	35	21	11	20	10	35000	0.2

出典: JICA 調査団

表 7.3 提案する地盤土質定数

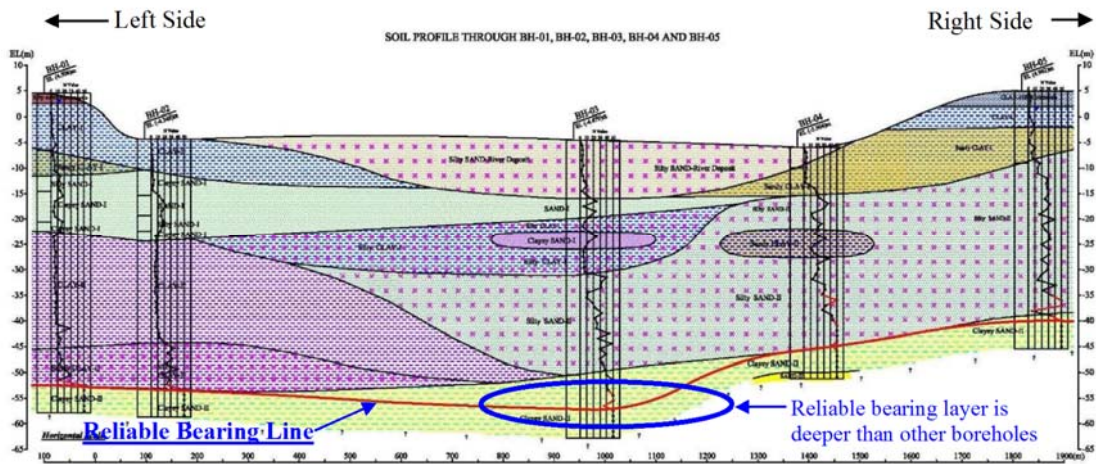
No.	Soil Name	N-Value	Cohesion	Friction angle	Soil Unit weight		Modulus of Elasticity (kN/m ²)	Poisson's Ratio
		(Average)	Cu	ϕ	kN/m ³			
		N	kN/m ²	(degree)	γ_{sat}	γ'		
1	Silty SAND-Filled Materials	2	0	20	20	10	1400	0.4
2	CLAY-Filled Materials	3	20	0	19	9	2000	0.4
3	Silty SAND-River Deposit	4	0	20	19	9	2800	0.5
4	CLAY-I	1	15	0	17	7	1800	0.5
5	Sandy CLAY-I	5	30	0	18	8	2500	0.4
6	Silty SAND-I	14	0	30	20	10	9800	0.4
7	SAND-I	19	0	30	19	9	13300	0.4
8	Silty CLAY-I	6	40	0	18	8	4000	0.4
9	Clayey SAND-I	8	0	25	19	9	5600	0.5
10	CLAY-II	8	50	0	19	9	5333	0.5
11	Silty CLAY-II	27	180	0	18	8	18000	0.4
12	Sandy CLAY-II	14	90	0	19	9	9333	0.4
13	Silty SAND-II	30	0	40	20	10	21000	0.2
14	Clayey SAND-II	48	0	45	20	10	33600	0.2
15	SAND-II	50	0	45	21	11	35000	0.2

出典: JICA 調査団

7.2.4 土質調査結果まとめ

調査結果よりバゴ-川の左岸側と右岸側においては、地質状況が多く変化している。粘土質土壌層は、バゴ-川の左岸側において観察され、粒状土壌層はバゴ-川の右岸側に観察される。左岸側のBH-01とBH-02では、粘土質の土壌層が深さ50mから55mに地表面から堆積されている。右岸側のBH-04とBH-05では、BH-05の表土層は深さ14mであり粘土質土壌層である。BH-04の表土層は深さ4.0mであるがシルト砂河床であり、砂質粘土層はシルト砂河床層の下となっている。摩擦土壌層は粘土質土壌層の下層30.0mの厚さである。また、粘土質土壌層はシルト砂層内においてレンズ形状として観察される。支持層（粘土質砂 II）は、シルト質砂 II 層の下層となっている。調査結果によれば、SAND-II層は、粘土質SAND-II層の下に観察される。このSAND-II層はBH-04でのみ観察される。

河川中心部にて実施したBH-03は、上部に粘土質土壌層は存在せず、厚い粘土質土壌のレンズ形態を除けばBH-04とBH-05の右岸側と同じ土壌条件である。しかし、ベアリング層の位置は他のボーリングよりも深い位置となっている。図7.23において、N値50以上を有する支持層と想定される深さを下図の赤線にて示す。



出典: JICA 調査団

図 7.23 地質断面図

8 バゴ-川の水文に関する評価

新橋設計のために、基本的な気象と水理データを収集して、相互の関連を示す必要がある。

8.1 気象状況

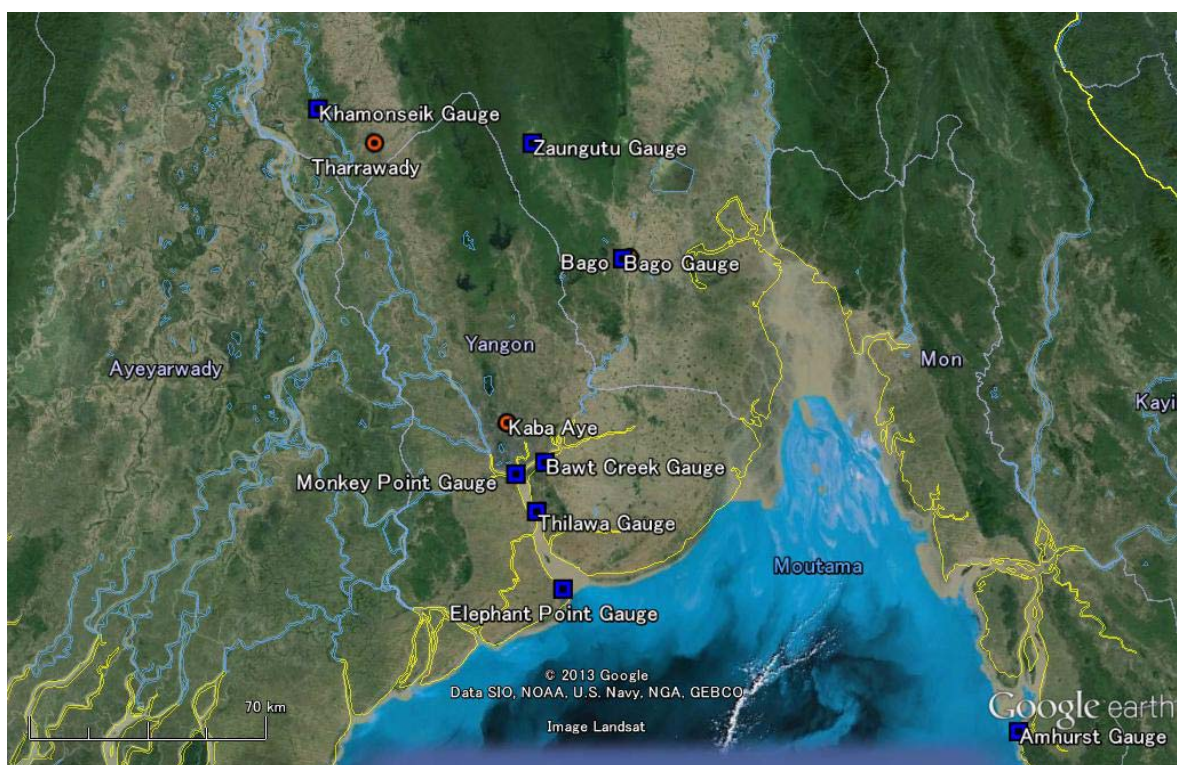
ヤンゴン市は、熱帯モンスーン型の気候である。降雨は、南西モンスーン（5月-10月）の高温多湿の月に、季節的に、高く集中している。これとは対照的に、北西モンスーン（12月から3月）の時期は比較的涼しく、乾燥している。時折激しいサイクロンは4月から5月の期間に、「ミ」国沿岸を通過する。

気象観測所は運輸省気象水文局が設置・運営している。表 8.1 にヤンゴン都市圏および周辺に所在する、気象資料収集を行った3ヶ所の観測所名、及び収集資料種類を示す。また、ヤンゴン都市圏周辺の気象観測所ならびに流量観測所の位置を図 8.1 に示す。

表 8.1 入手した気象資料種類

観測所名	コード (WMO)	経緯度		標高 (m)	観測期間						備考
		緯度	経度		気温	湿度	降雨量	日照	蒸発散	風	
1. カバエ (ヤンゴン)	48097	16-54	96-10	20	1968~	1968~	1968~	1977~	1975~	1968~	
2. バゴ-	48093	17-20	96-30	9	1965~	1965~	1965~	-	-	1965~	
3. タラワディ	48088	17-38	95-48	15	1965~	1965~	1965~	-	-	1965~	

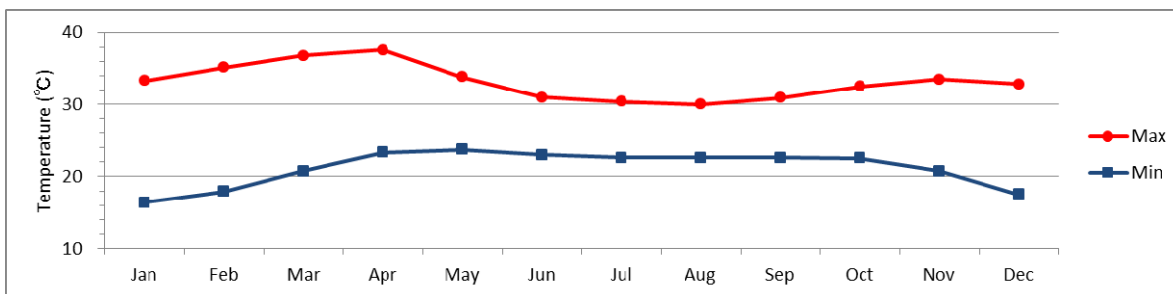
出典：気象水文局



出典：気象水文局、ミャンマー港湾公社、ID (Google Earth Map)

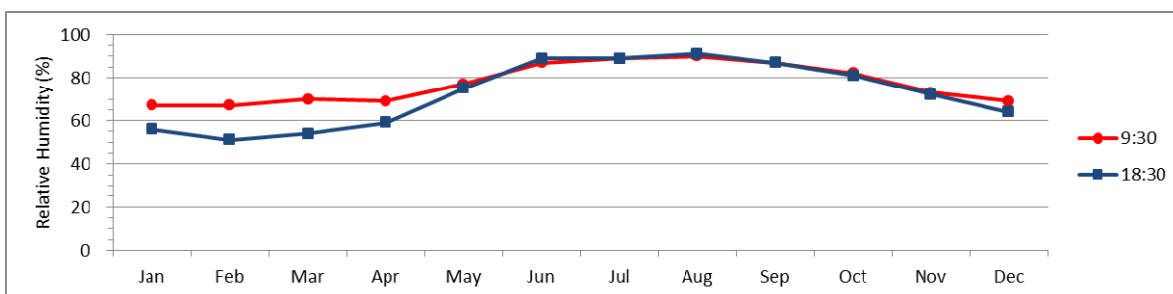
図 8.1 気象観測所と水文観測所の位置図

ヤンゴン市周辺の気象観測所における過年度の気象概況（気温、相対湿度、風速、蒸発散量、日照時間）を、図 8.2～図 8.6 に示す。



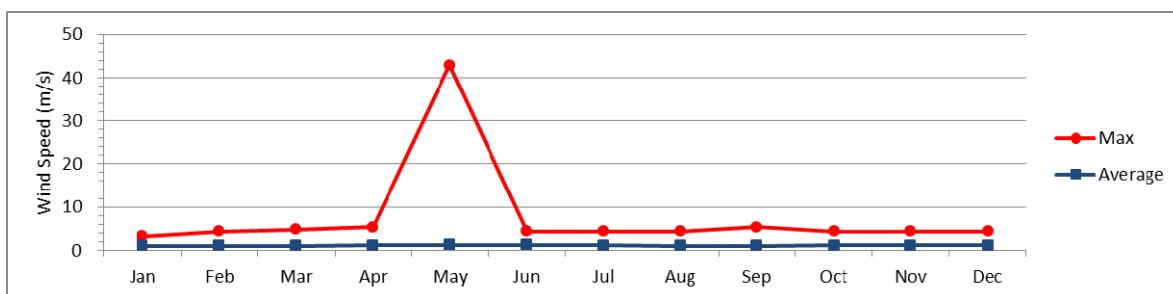
出典：気象水文局のデータを基に協力準備調査団

図 8.2 カバエでの月間平均の最大および最低温度 (1991-2008)



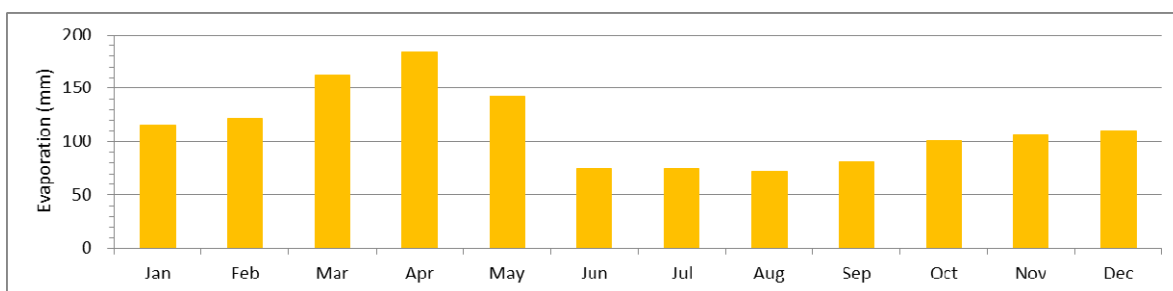
出典：JICA 図書館

図 8.3 カバエでの月間平均および最低相対湿度 (1991-2008)



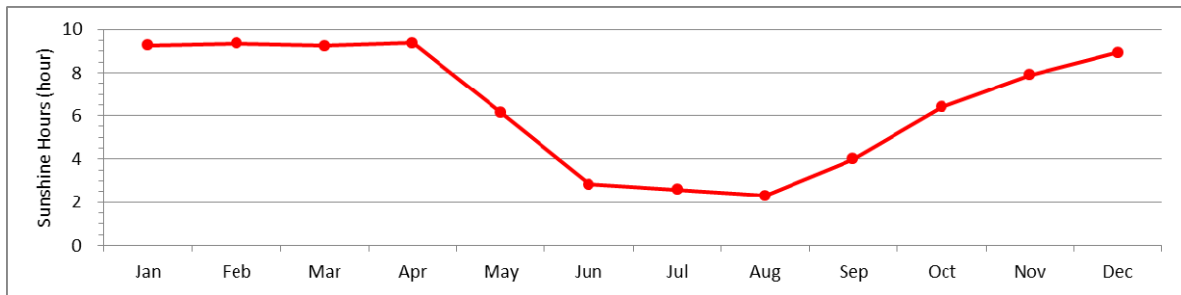
出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団

図 8.4 カバエでの最大および月間平均風速 (1999-2008)



出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団

図 8.5 カバエでの月間平均蒸発散量 (1981-2000)



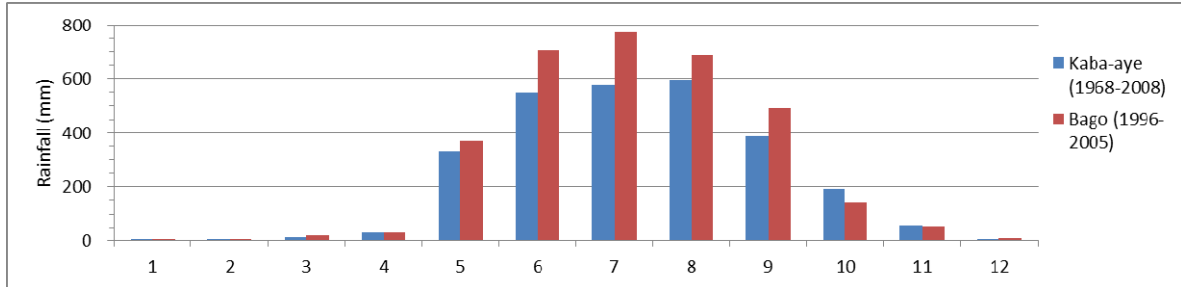
出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団

図 8.6 カバエでの月間平均日照時間 (1977-2000)

8.1.1 降雨量

ヤンゴン市 (カバエ) とバゴ-市での月間合計(降雨量)の季節的な変動は類似している。降雨量の季節的な変動については、年間降水量の約 96% のほとんどの雨量が5月から10月までの雨季によってもたらされ、7月から8月に最も高い値を示す。年間平均降雨量はヤンゴン市で 2,745 mm、バゴ-市で 3,288 mm であり、ヤンゴン市では年間降雨量は 3,592 mm から 2,127 mm の間を変動している。収集データ/文書によれば、ヤンゴン地区では、以下の特性が観察される。

- ✓ ヤンゴン地区の東側のバゴ-で最も高い年間降雨量をもたらす。
- ✓ ヤンゴン地区の北西側のタラワディで最も低い年間降雨量をもたらす。年間降雨量はライン川の北(上流)側に向かって徐々に小さくなる。



出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団

図 8.7 ヤンゴン都市圏とその周辺での月間平均降雨量

8.1.2 降雨の超過確率と強度曲線

カバエ、バゴ-およびタラワディ観測所で 40 年以上にわたって年間最大日雨量データ(極値)が観測されている。これらの3つの観測所での極値を用いて2年から500年確率までの24時間降雨量を計算する。また、短時間雨量と24時間雨量の強度の相関が、物部式を準拠することにより推定される。

表 8.2 および図 8.8 に、カバエ観測所での確率雨量と降雨強度曲線を示す。

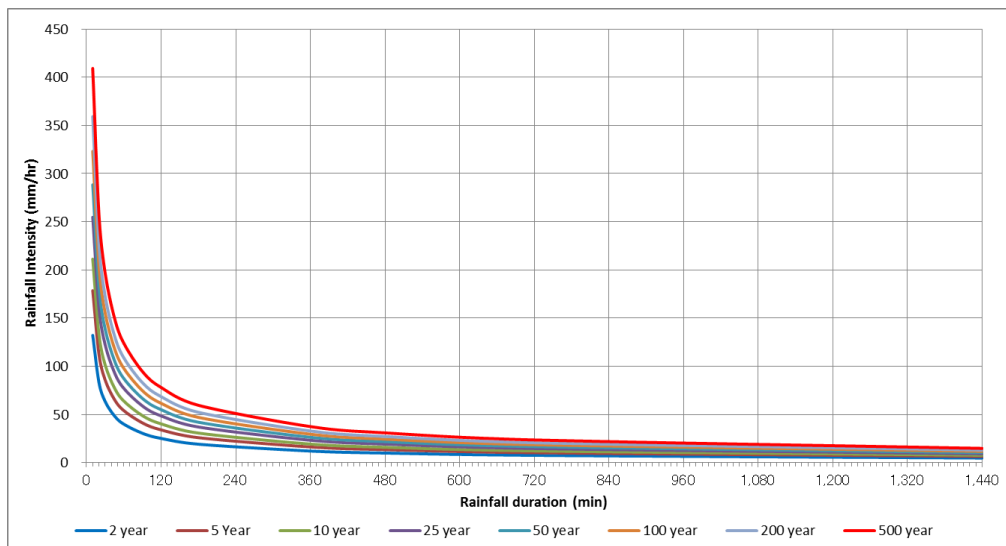
8.2 水文 / 水理状況

洪水期間の流量/水位を予測するためには、ヤンゴン市周辺のヤンゴン (ライン) 川、バゴ-川、パズンダウン・クリークの水文水理状況を収集して相互に関連付けることが必要となる。本検討では、「ミ」国の関係機関への情報収集と以前の報告書 (JICA 報告書など) を参考に検討するものとする。

表 8.2 カバエ観測所での短時間降雨時間と 24 時間雨量の強度の相関 (物部式, 1968-2012)

確率年 (Probability) (Year, %) カバエ	日雨量 R ₂₄ (mm/day)	降雨継続時間と降雨強度 (mm/hr): $I_t = R_{24}/24*(24/t)^m, m=2/3$												備考	
		24 時間	24	12	8	6	3	2	1.5	1	0.75	0.5	0.333		0.167
		1,440 分	1,440	720	480	360	180	120	90	60	45	30	20		10
2	50.0%	115.5	4.8	7.6	10.0	12.1	19.3	25.2	30.6	40.0	48.5	63.6	83.3	132.2	
3	33.3%	134.2	5.6	8.9	11.6	14.1	22.4	29.3	35.5	46.5	56.4	73.9	96.8	153.6	
5	20.0%	156.0	6.5	10.3	13.5	16.4	26.0	34.1	41.3	54.1	65.5	85.9	112.5	178.6	
10	10.0%	184.6	7.7	12.2	16.0	19.4	30.8	40.3	48.8	64.0	77.5	101.6	133.1	211.3	
20	5.0%	213.2	8.9	14.1	18.5	22.4	35.5	46.6	56.4	73.9	89.5	117.3	153.7	244.1	
25	4.0%	222.5	9.3	14.7	19.3	23.4	37.1	48.6	58.9	77.1	93.4	122.4	160.5	254.7	
30	3.33%	230.2	9.6	15.2	20.0	24.2	38.4	50.3	60.9	79.8	96.7	126.7	166.0	263.5	
50	2.0%	252.0	10.5	16.7	21.8	26.5	42.0	55.0	66.7	87.4	105.8	138.7	181.7	288.5	
80	1.25%	272.5	11.4	18.0	23.6	28.6	45.4	59.5	72.1	94.5	114.4	150.0	196.5	311.9	
100	1.0%	282.3	11.8	18.7	24.5	29.6	47.1	61.7	74.7	97.9	118.6	155.4	203.6	323.2	
150	0.667%	300.6	12.5	19.9	26.1	31.6	50.1	65.6	79.5	104.2	126.2	165.4	216.8	344.1	
200	0.5%	313.8	13.1	20.8	27.2	32.9	52.3	68.5	83.0	108.8	131.8	172.7	226.3	359.2	
300	0.33%	332.8	13.9	22.0	28.8	34.9	55.5	72.7	88.0	115.4	139.8	183.1	240.0	381.0	
400	0.25%	346.6	14.4	22.9	30.0	36.4	57.8	75.7	91.7	120.2	145.6	190.7	249.9	396.8	
500	0.2%	357.4	14.9	23.6	31.0	37.5	59.6	78.1	94.6	123.9	150.1	196.7	257.7	409.1	
Calculation formula of Probable rainfall = Iwai's quantile method															

出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団



出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団

図 8.8 カバエ観測所での降雨強度曲線

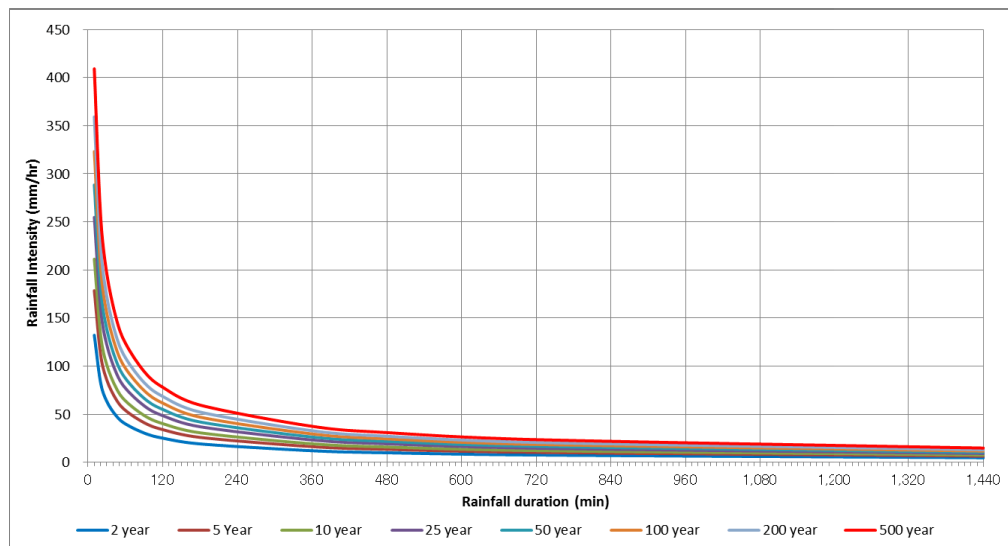
6つの既存の水位観測所（水位/流出量）が、ライン川、バゴ-川、ヤンゴン川流域において、気象水文局とミャンマー港湾公社によって管理されている。これらの観測所のうち、ミャンマー港湾公社の3観測所は、流出量記録は観測していない。また、気象水文局のバゴ-観測所は5月から10月（乾季）の間、潮汐の影響を受ける、よって、この期間中での流出量の記録は使用できない（但し、雨季のバゴ-観測所での流出量の記録は洪水確率計算のために利用可能である）。

気象水文局はそれらの流出量曲線表を所有しており、その曲線表は流動条件を考慮した上で流出量の測定記録を用いて数回変更されている。河川/潮汐水位観測所の一覧を表 8.3 に示す。

表 8.2 カバエ観測所での短時間降雨時間と 24 時間雨量の強度の相関 (物部式, 1968-2012)

確率年 (Probability) (Year, %) カバエ	日雨量 R ₂₄ (mm/day)	降雨継続時間と降雨強度 (mm/hr): $I_t = R_{24}/24*(24/t)^m, m=2/3$												備考	
		24 時間	24	12	8	6	3	2	1.5	1	0.75	0.5	0.333		0.167
		1,440 分	1,440	720	480	360	180	120	90	60	45	30	20		10
2	50.0%	115.5	4.8	7.6	10.0	12.1	19.3	25.2	30.6	40.0	48.5	63.6	83.3	132.2	
3	33.3%	134.2	5.6	8.9	11.6	14.1	22.4	29.3	35.5	46.5	56.4	73.9	96.8	153.6	
5	20.0%	156.0	6.5	10.3	13.5	16.4	26.0	34.1	41.3	54.1	65.5	85.9	112.5	178.6	
10	10.0%	184.6	7.7	12.2	16.0	19.4	30.8	40.3	48.8	64.0	77.5	101.6	133.1	211.3	
20	5.0%	213.2	8.9	14.1	18.5	22.4	35.5	46.6	56.4	73.9	89.5	117.3	153.7	244.1	
25	4.0%	222.5	9.3	14.7	19.3	23.4	37.1	48.6	58.9	77.1	93.4	122.4	160.5	254.7	
30	3.33%	230.2	9.6	15.2	20.0	24.2	38.4	50.3	60.9	79.8	96.7	126.7	166.0	263.5	
50	2.0%	252.0	10.5	16.7	21.8	26.5	42.0	55.0	66.7	87.4	105.8	138.7	181.7	288.5	
80	1.25%	272.5	11.4	18.0	23.6	28.6	45.4	59.5	72.1	94.5	114.4	150.0	196.5	311.9	
100	1.0%	282.3	11.8	18.7	24.5	29.6	47.1	61.7	74.7	97.9	118.6	155.4	203.6	323.2	
150	0.667%	300.6	12.5	19.9	26.1	31.6	50.1	65.6	79.5	104.2	126.2	165.4	216.8	344.1	
200	0.5%	313.8	13.1	20.8	27.2	32.9	52.3	68.5	83.0	108.8	131.8	172.7	226.3	359.2	
300	0.33%	332.8	13.9	22.0	28.8	34.9	55.5	72.7	88.0	115.4	139.8	183.1	240.0	381.0	
400	0.25%	346.6	14.4	22.9	30.0	36.4	57.8	75.7	91.7	120.2	145.6	190.7	249.9	396.8	
500	0.2%	357.4	14.9	23.6	31.0	37.5	59.6	78.1	94.6	123.9	150.1	196.7	257.7	409.1	
Calculation formula of Probable rainfall = Iwai's quantile method															

出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団



出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団

図 8.8 カバエ観測所での降雨強度曲線

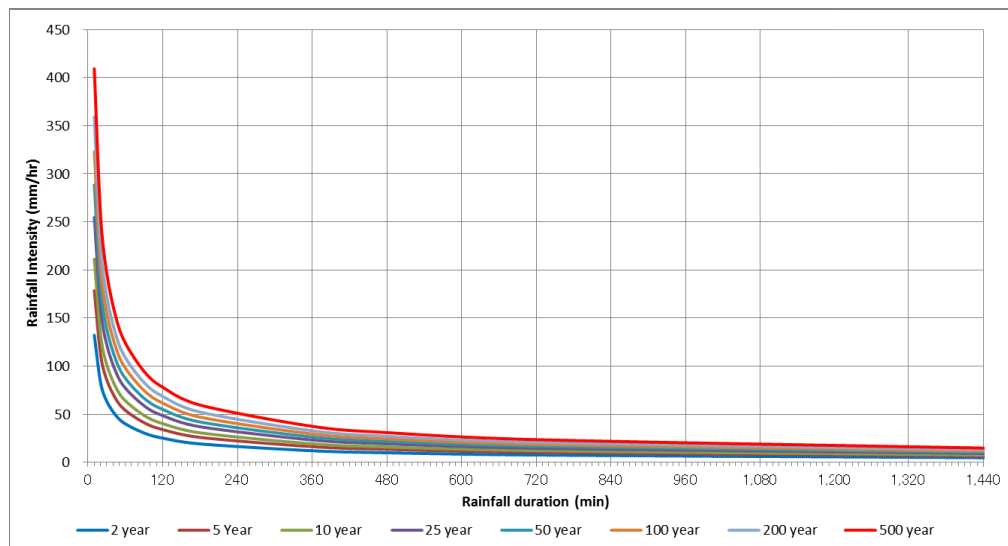
6つの既存の水位観測所（水位/流出量）が、ライン川、バゴ-川、ヤンゴン川流域において、気象水文局とミャンマー港湾公社によって管理されている。これらの観測所のうち、ミャンマー港湾公社の3観測所は、流出量記録は観測していない。また、気象水文局のバゴ-観測所は5月から10月（乾季）の間、潮汐の影響を受ける、よって、この期間中での流出量の記録は使用できない（但し、雨季のバゴ-観測所での流出量の記録は洪水確率計算のために利用可能である）。

気象水文局はそれらの流出量曲線表を所有しており、その曲線表は流動条件を考慮した上で流出量の測定記録を用いて数回変更されている。河川/潮汐水位観測所の一覧を表 8.3 に示す。

表 8.2 カバエ観測所での短時間降雨時間と 24 時間雨量の強度の相関 (物部式, 1968-2012)

確率年 (Probability) (Year, %) カバエ	日雨量 R ₂₄ (mm/day)	降雨継続時間と降雨強度 (mm/hr): $I_t = R_{24}/24*(24/t)^m, m=2/3$												備考	
		24 時間	24	12	8	6	3	2	1.5	1	0.75	0.5	0.333		0.167
		1,440 分	1,440	720	480	360	180	120	90	60	45	30	20		10
2	50.0%	115.5	4.8	7.6	10.0	12.1	19.3	25.2	30.6	40.0	48.5	63.6	83.3	132.2	
3	33.3%	134.2	5.6	8.9	11.6	14.1	22.4	29.3	35.5	46.5	56.4	73.9	96.8	153.6	
5	20.0%	156.0	6.5	10.3	13.5	16.4	26.0	34.1	41.3	54.1	65.5	85.9	112.5	178.6	
10	10.0%	184.6	7.7	12.2	16.0	19.4	30.8	40.3	48.8	64.0	77.5	101.6	133.1	211.3	
20	5.0%	213.2	8.9	14.1	18.5	22.4	35.5	46.6	56.4	73.9	89.5	117.3	153.7	244.1	
25	4.0%	222.5	9.3	14.7	19.3	23.4	37.1	48.6	58.9	77.1	93.4	122.4	160.5	254.7	
30	3.33%	230.2	9.6	15.2	20.0	24.2	38.4	50.3	60.9	79.8	96.7	126.7	166.0	263.5	
50	2.0%	252.0	10.5	16.7	21.8	26.5	42.0	55.0	66.7	87.4	105.8	138.7	181.7	288.5	
80	1.25%	272.5	11.4	18.0	23.6	28.6	45.4	59.5	72.1	94.5	114.4	150.0	196.5	311.9	
100	1.0%	282.3	11.8	18.7	24.5	29.6	47.1	61.7	74.7	97.9	118.6	155.4	203.6	323.2	
150	0.667%	300.6	12.5	19.9	26.1	31.6	50.1	65.6	79.5	104.2	126.2	165.4	216.8	344.1	
200	0.5%	313.8	13.1	20.8	27.2	32.9	52.3	68.5	83.0	108.8	131.8	172.7	226.3	359.2	
300	0.33%	332.8	13.9	22.0	28.8	34.9	55.5	72.7	88.0	115.4	139.8	183.1	240.0	381.0	
400	0.25%	346.6	14.4	22.9	30.0	36.4	57.8	75.7	91.7	120.2	145.6	190.7	249.9	396.8	
500	0.2%	357.4	14.9	23.6	31.0	37.5	59.6	78.1	94.6	123.9	150.1	196.7	257.7	409.1	
Calculation formula of Probable rainfall = Iwai's quantile method															

出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団



出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団

図 8.8 カバエ観測所での降雨強度曲線

6つの既存の水位観測所（水位/流出量）が、ライン川、バゴ-川、ヤンゴン川流域において、気象水文局とミャンマー港湾公社によって管理されている。これらの観測所のうち、ミャンマー港湾公社の3観測所は、流出量記録は観測していない。また、気象水文局のバゴ-観測所は5月から10月（乾季）の間、潮汐の影響を受ける、よって、この期間中での流出量の記録は使用できない（但し、雨季のバゴ-観測所での流出量の記録は洪水確率計算のために利用可能である）。

気象水文局はそれらの流出量曲線表を所有しており、その曲線表は流動条件を考慮した上で流出量の測定記録を用いて数回変更されている。河川/潮汐水位観測所の一覧を表 8.3 に示す。

表 8.3 河川/ 潮汐水位観測所の一覧

河川/ 潮汐水位観測所	コード	経緯度		流域面積 (km ²)	標高 (m)	計測機種	計測期間	水(潮)位	流量	計測者	備考
		緯度	経度								
1. ライン川/カモンセイク	6020	16-35	95-30	5,840	14.465	Pile Gauge	1987~	○	○	DMH	
2. バゴ-川/ザウントゥ	6220	17-38	96-14	1,927	9.8	Pile Gauge	1987~	○	○	DMH	
3. バゴ-川/バゴ- (ベグ)	48093	17-20	96-30	2,580	9	Pile Gauge	1970~	○	○	DMH	
4. ライン川/ヤンゴン港	210	16-46	96-11	-	-	Steel Plate (Automatic)	-	○	-	MPA	other 2 stations at Yangon port
5. ヤンゴン川/ティラワポイント	-	16-40	96-15	-	-	Steel Plate (Automatic)	-	○	-	MPA	
6. ヤンゴン川/エレファントポイント	-	16-28	96-19	-	-	Steel Plate (Manual)	-	○	-	MPA	

出典：気象水文局、ミャンマー港湾公社

8.2.1 河川と河川流動特性

ヤンゴン水系はエーヤワディー（イラワジ）デルタの東端に位置している。ヤンゴン川は、モンキーポイントの上流（北西）約 13 km の位置でパンライン川とライン川の合流によって形成される。ライン川が約 12,950 km² の流域面積を持つ独立した河川である一方で、パンライン川はエーヤワディー川の分流である。ヤンゴン市の北部域ではガモウェック・クリークと呼ばれているパズンダウン・クリークは市の南東端のモンキーポイントでヤンゴン川に合流する。パズンダウン・クリークは約 1,487 km² の流域面積を持っている。5,180 km² の流域面積をもつバゴ-川も、パズンダウン・クリークと同様にモンキーポイントでヤンゴン川に合流する。ヤンゴン川は更に南へ約 45 km 流下しベンガル湾に至る。河口でのヤンゴン川流域面積は 25,640 km² である。

(1) 河川の流動特性

1) 関連河川の上流部の特性(淡水域)

ライン川(カモンセイク観測所)とバゴ-川(ザウントゥ観測所)の流況(14年間:1987~2000)を表 8.4 に示す。この表に見られように、河況係数は河川により極端な違いがある。カモンセイク観測所でのライン川とザウントゥ観測所でのバゴ-川の流れでの低水流量は安定していないとはいえ、その河況係数は非常に大きい。特にザウントゥ観測所での流況からバゴ-川は基底流量の維持可能量を持っていないと判断される。また、河況係数の大きさは流動変動が大きいことを示し、係数が大きい場合は通年取水が難しく洪水被害が発生しやすいことを示す。

表 8.4 ライン川とバゴ-川の流況(1987-2000)

河川名: ライン 観測所: カモンセイク

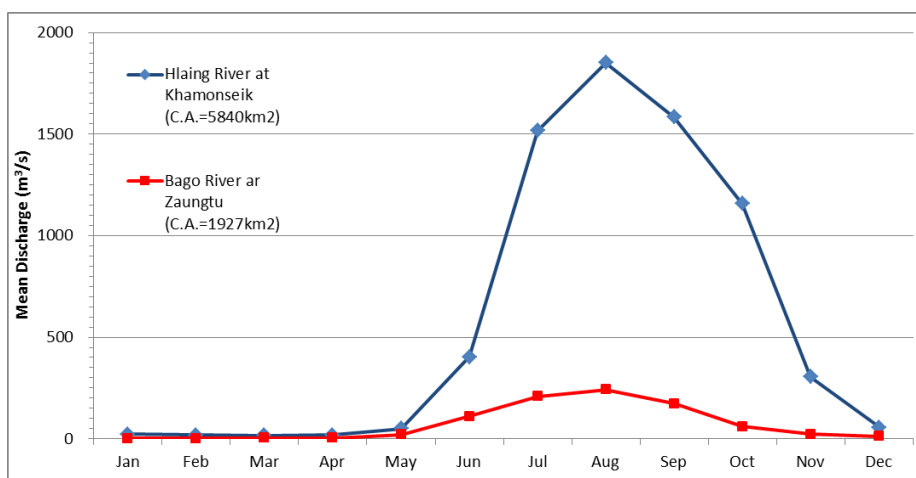
年	日流量 (m ³ /s)							河況係数	備考
	最大流量	豊水流量	平水流量	低水流量	渇水流量	最小流量	平均		
		95 番目流量	185 番目流量	275 番目流量	355 番目流量				
1987	2,577	1,366	24	11	8	8	612	322.1	
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	
1989	2,260	1,177	33	20	17	17	520	132.9	
1990	2,570	1,460	46	15	11	10	687	257.0	
1991	2,652	1,238	51	16	13	13	656	204.0	
1992	1,680	869	22	17	14	13	426	129.2	
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	
1995	2,390	1,452	228	5	3	3	703	796.7	
1996	2,330	1,290	172	22	9	9	602	258.9	
1997	2,752	1,214	22	11	9	8	609	344.0	
1998	2,133	932	57	36	20	11	574	193.9	
1999	2,026	1,161	356	34	27	27	656	75.0	
2000	1,842	1,332	77	28	23	21	573	87.7	
平均	2,292	1,226	99	20	14	13	602	176.3	

河川名: バゴ- 観測所: ザウントゥ

年	日流量 (m ³ /s)							河況係数	備考
	最大流量			低水流量	渇水流量	最小流量	平均		
				275 番目流量	355 番目流量				
1987	741	89	11	1	1	1	72	741.0	
1988	538	59	14	1	1	1	56	538.0	
1989	623	80	23	5	1	1	64	623.0	
1990	1,108	183	6	1	1	1	122	1,108.0	
1991	708	49	2	1	1	1	59	708.0	
1992	1,069	66	7	1	1	0	67	-	
1993	752	44	1	0	0	0	54	-	
1994	1,237	64	3	1	0	0	71	-	
1995	790	31	3	0	0	0	60	-	
1996	933	65	6	1	0	0	64	-	
1997	1,034	74	2	1	1	1	73	1,034.0	
1998	510	75	31	1	0	0	63	-	
1999	722	133	15	1	0	0	82	-	
2000	951	141	69	22	1	1	103	951.0	
平均	837	82	14	3	1	1	72	837.0	

出典: JICA 図書館

JICA 図書館資料(1987~2000 の記録)による、カモンセイク観測所とザウントゥ観測所での平均月間流量パターンを図 8.9 に示す。図に見られるように、月間流量は雨季の期間に増加を示し、ピーク流出量は8月にある。



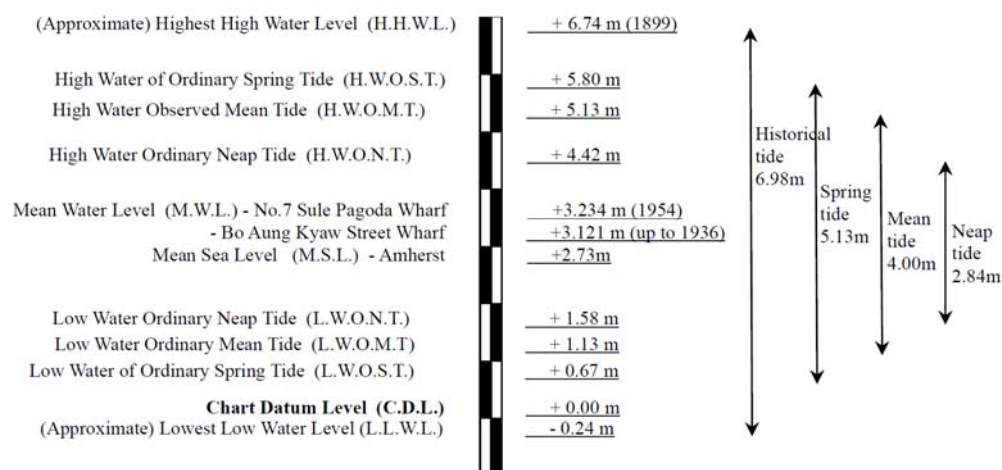
出典: JICA 図書館

図 8.9 カモンサイク観測所とザウントゥ観測所での平均月間流量(1987-2000)

8.2.2 ヤンゴン地区周辺の潮位

ヤンゴン川の河口から上流 36 キロに位置するヤンゴン港とエレファントポイントでの、天文潮の時間ごとに計算されたデータはウェブサイトから入手できる。ヤンゴン港の潮位図を図 8.10 に示す (地上測量の地盤高は、通常、ミャンマー港湾公社の平均水面からゼロとして表示される。本調査では、現地測量業者の情報として、Bo Aung Kyaw Street Wharf における MHL+3.121 を基準とした)。潮位図から、大潮、平均および小潮の変動は、5.13 m、4.00 m および 2.84 m と観察される。そして、ヤンゴン港における最大高潮 (すなわち、潮位偏差または天文潮と観測潮の差) はヒアリングによれば 2.13 m と報告されている (2008 年 05 月 03 日のサイクロン・ナルギスで、ミャンマ

一港湾公社は洪水痕跡から 2.13 m を測定した)。比較のために、灌漑局の水文部による計算結果として、エレファントポイントでの高潮の振幅(潮位偏差)の確率値を表 8.5 に示す。同表によれば 100 年確率で 1.537 m であり、ヤンゴン港でのサイクロン・ナルギスの高潮、2.13 m は、非常に大きな値であったことがわかる。



出典: MPA

Figure 8.2.2 ヤンゴン港の潮位

出典: ミャンマー港湾公社

図 8.10 ヤンゴン港の潮位

表 8.5 エレファントポイントでの高潮確率位

確率年 (year)	5	10	20	25	50	100	200
高潮確率位 (m)	0.889	1.046	1.196	1.244	1.391	1.537	1.682

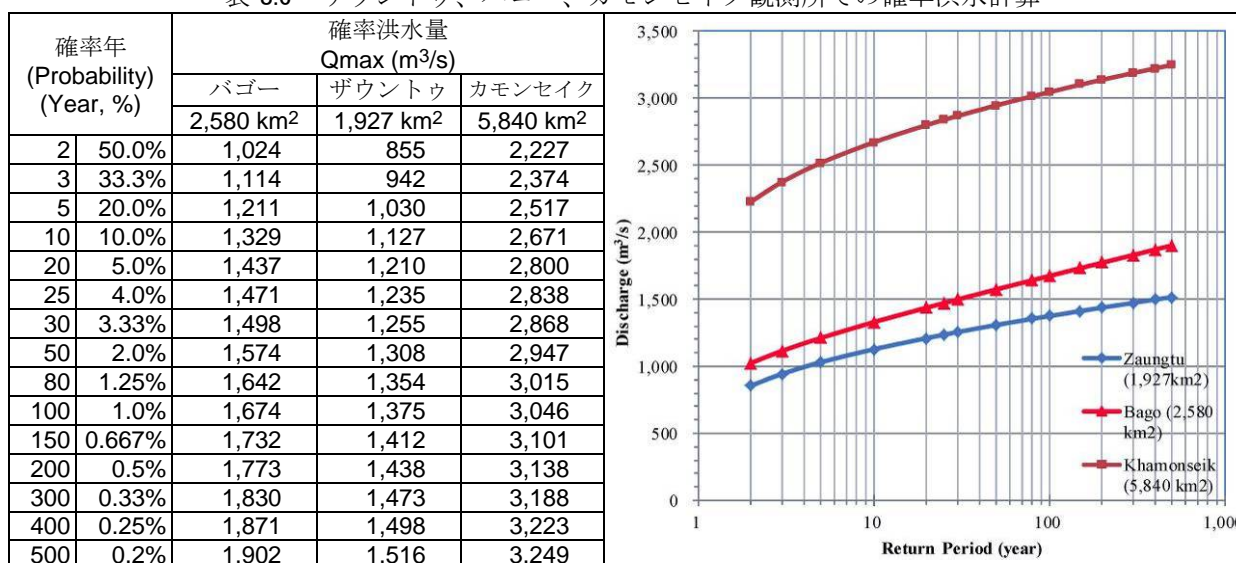
出典: JICA 図書館

8.3 確率洪水及び高水位の推定

(1) 水位観測所での確率洪水量

3 つの流量観測所(ザウントウ、バゴ-、カモンセイク)での過去の年間最大流量(極値)より、確率洪水量を算出する。確率洪水量の結果を表 8.6 に示す。

表 8.6 ザウントゥ、バゴー、カモンセイク観測所での確率洪水計算



出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団

(2) 設計用の河川流からの確率洪水量

計画橋梁地点での流出量は、上流の各水位観測所での確率流量に対して、各流域面積の流域の割合を乗ずることで計算する。「比流量」による手法

水理計算に用いられる確率流出量を表 8.7 に示す。ちなみに、これらの流出量は河川自体からの流出量であり、下げ潮の影響による追加の流量は、これらの流量には含まれない。

表 8.7 今回の設計用の河川流からの確率洪水量

水系名	ヤンゴン川					備考
	バゴ-川		ライン川		バズンタウンク リーク	
観測所名	バゴ-		カモセイク		(バゴ-)	
観測所位置流域面積 (km ²)	2,580	-	5,840	-	-	
架橋位置流域面積 (km ²)	-	5,180	-	12,950	1,490	
確率年	Probability value	確率洪水量	Probability value	確率洪水量	確率洪水量	
1/2	1,024	2,056	2,227	4,938	591	
1/3	1,114	2,237	2,374	5,264	643	
1/5	1,211	2,431	2,517	5,581	699	
1/10	1,329	2,668	2,671	5,923	768	
1/20	1,437	2,885	2,800	6,209	830	
1/25	1,471	2,953	2,838	6,293	850	
1/30	1,498	3,008	2,868	6,360	865	
1/50	1,574	3,160	2,947	6,535	909	
1/80	1,642	3,297	3,015	6,686	948	
1/100	1,674	3,361	3,046	6,754	967	
1/150	1,732	3,477	3,101	6,876	1,000	
1/200	1,773	3,560	3,138	6,958	1,024	
1/300	1,830	3,674	3,188	7,069	1,057	
1/400	1,871	3,757	3,223	7,147	1,081	
1/500	1,902	3,819	3,249	7,205	1,098	
		Q1		Q3	Q2	
平方キロ当たり 100 年確率流出量 (m ³ /sec/km ²)	0.64884		0.52158		=比流量	
	バゴ-川 Q1	バズンタウンク リーク Q2	ライン川 Q3	ヤンゴン川 (モンキーポイント) Q4	ヤンゴン川 河口 Q5	備考
流域面積 (km ²)	5,180	1,490	12,950	19,620	(25,640)	
10 年確率洪水量 (m ³ /s)	2,668	768	5,923	9,359	(12,112)	
30 年確率洪水量 (m ³ /s)	3,008	865	6,360	10,232	(13,189)	
50 年確率洪水量 (m ³ /s)	3,160	909	6,535	10,604	(13,642)	
100 年確率洪水量 (m ³ /s)	3,361	967	6,754	11,082	(14,222)	設計洪水量
500 年確率洪水量 (m ³ /s)	3,819	1,098	7,205	12,122	(15,471)	

出典：気象水文局のデータを基に JICA 調査団

(3) 潮位観測所での確率高水位

設計高水位のためにヤンゴン港観測所の過去の年間最大高水位(極値)を、表 8.8 に示すように収集した。これらの値から、表 8.3.3 に示すように確率高水位が計算される。

表 8.8 ヤンゴン港(モンキーポイント)での確率高水位と観測高水位 (1997-2013)

確率年 (Probability) (Year, %)	確率高水位 H.W.L. (m)		備考		年	年間最大 観測高水位 (m, 港湾公社基準 点)	備考
	ヤンゴン港		データ数	基準点		ヤンゴン港	
	13 (1997~2013) (1198~2001 の観測値は無い)						
		ミャンマー港湾公 社	測量局				
2	50.0%	7.0	3.9		1997	7.04	
3	33.3%	7.1	4.0		1998	観測値無し	
5	20.0%	7.2	4.1		1999	観測値無し	
10	10.0%	7.4	4.3		2000	観測値無し	
20	5.0%	7.4	4.3		2001	観測値無し	
25	4.0%	7.5	4.4		2002	7.00	
30	3.33%	7.5	4.4		2003	6.80	
50	2.0%	7.6	4.5		2004	7.30	
80	1.25%	7.7	4.6		2005	7.20	
100	1.0%	7.7	4.6		2006	7.20	
150	0.667%	7.8	4.7		2007	7.20	
200	0.5%	7.8	4.7		2008	6.80	
300	0.33%	7.9	4.8		2009	6.70	
400	0.25%	7.9	4.8		2010	6.61	
500	0.2%	8.0	4.9		2011	6.90	
					2012	7.00	
					2013	7.30	

注: 採用確率分布形はグンベル分布。

出典: ミャンマー港湾公社のデータを基に JICA 調査団

(4) 水理計算

河川の感潮区域での水理現象(河川自身の洪水に加えて、上げ潮、下げ潮など)を再現するには、感潮域の全てをシミュレートする必要がある。したがって、数値計算の範囲は、バゴ-川やパズンダウン・クリークなどの支流と一緒にヤンゴン水系の感潮域の全てを対象とするものとする。

以下の 2 つのケースの水理解析を行う。

表 8.9 水理解析のケース

ケース 番号	上流境界条件 (m ³ /s)				下流境界条件(エレファントポイント)	備考
	流量	ライン	バゴ-	パズンダ ウン	Period of Tidal Waveform	
1	低水量	44	8	5	2005年2月4~24日 (Annual minimum tide, Neap - Spring - Neap tide)	粗度係数校正のため
2	100年確率洪水量	6,754	3,361	967	2005年10月17~21日(Annual Maximum Tide, Spring tide)	HWL 算定のため

注: 流出量はライン川、バゴ-川およびパズンダウン・クリークの合流点での値を示す。

出典: JICA 調査団

河床材料が非常に小さく、河床勾配がデルタ地帯のように非常に緩やかな場合、河道の粗度係数は一般に非常に小さく、その係数は、過去の文献等によれば、おおよそ 0.015 と推定される。(本検討の地質調査の結果から、バゴ橋地点の河床材料の平均粒径は非常に小さく 0.015~0.15 mm を計測した)、本検討においてもキャリブレーションの結果より、ヤンゴン港の天文潮に同期するのは粗度係数 0.015 のケースであった。

ケース 2 の水理計算結果を、表 8.10 および図 8.11 と図 8.12 に示す。

また、高水位の推定においては、サイクロンによる大気圧の低下による水面上昇を考慮に入れた(波浪による増分は、この検討においては考慮しない)。大気圧の低下による水面上昇量は、下式により推定する。

- 気圧低下による静的水位上昇量

$$\eta_{PS} = 0.991 \cdot (1013 - p) = 0.991 \cdot (1013 - 962) = 50.54 \text{ cm} = 0.505 \text{ m}$$

ただし; η_{PS} : 気圧低下による静的水位上昇量(hPa)

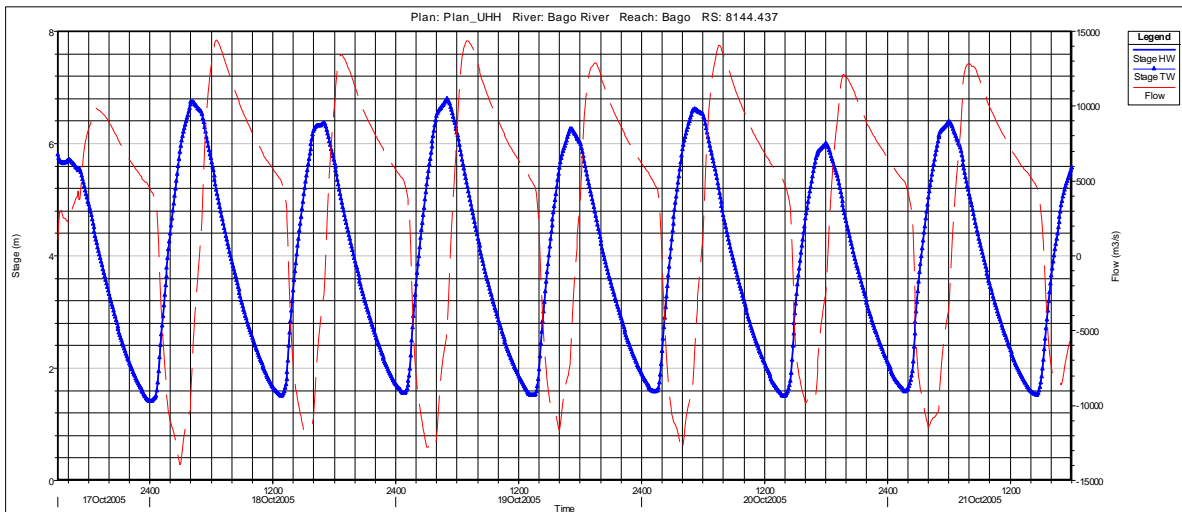
p: サイクロンにより低下する大気圧の値 (hPa)

(2008 年サイクロン ナルギス: 962 hPa)

表 8.10 水理解析結果

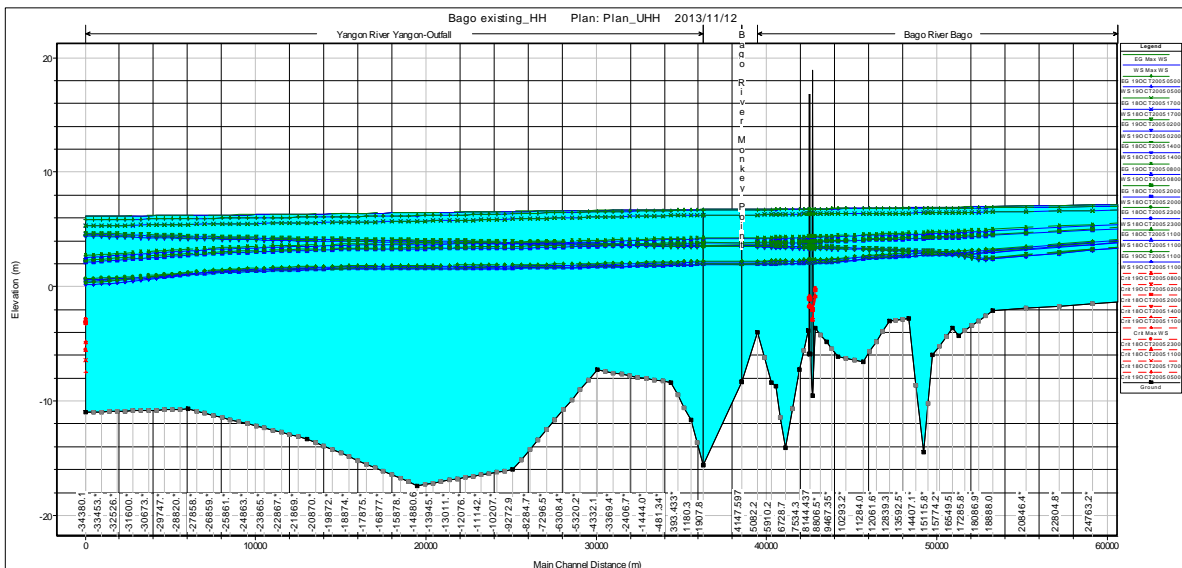
Item	Unit	New Bago Bridge			New Thaketa Bridge	Remarks
		Option 1	Option 2	Option 3		
		+4148.6	+5082.2	+8144.4		
< Hydraulic Calculation Results >		Case 1: Annual Minimum Tide and Flood				
High Water Level	m	5.86	5.86	5.88	5.87	at Low Discharge
Maximum Discharge	m ³ /s	12,269.11	10,379.84	9,298.12	1,705.62	
Low Discharge	m ³ /s	13.17	8.06	8.06	5.10	
Tidal flow	m ³ /s	12,255.94	10,371.78	9,290.06	1,700.52	falling tide
Minimum Discharge	m ³ /s	-18,511.03	-15,870.22	-14,428.05	-2,405.57	
100 year Flood	m ³ /s	13.17	8.06	8.06	5.10	
Tidal flow	m ³ /s	-18,524.20	-15,878.28	-14,436.11	-2,410.67	rising tide
< Hydraulic Calculation Results >		Case 2: Annual Maximum Tide and Flood				
High Water Level: (1)	m	6.74	6.74	6.79	6.81	at 100 year Flood
Water level departure from normal by Cyclone: (2)	m	0.505	0.505	0.505	0.505	Cyclone Nargis: 962hPa
High Water Level: (1)+(2)	m	7.25	7.25	7.30	7.32	
Maximum Discharge	m ³ /s	18,291.25	15,502.38	14,397.53	2,556.37	
100 year Flood	m ³ /s	4,327.74	3,360.98	3,360.98	966.77	
Tidal flow	m ³ /s	13,963.51	12,141.40	11,036.55	1,589.60	falling tide
Minimum Discharge	m ³ /s	-17,421.38	-15,468.58	-13,942.54	-1,657.47	
100 year Flood	m ³ /s	4,327.74	3,360.98	3,360.98	966.77	
Tidal flow	m ³ /s	-21,749.12	-18,829.56	-17,303.52	-2,624.24	rising tide
< Probability Calculation >						
Probable H.W.L.	m	7.7	7.7	7.7	7.7	
< Planned Value >						
Design Discharge	m ³ /s	18,292	15,503	14,398	2,557	
Design H.W.L. (MPA based)	m	7.7	7.7	7.7	7.7	
Design H.W.L. (Land Survey)	m	4.579	4.579	4.579	4.579	Δ3.121m

出典: JICA 調査団



出典: JICA 調査団

図 8.11 新バゴ橋 (Option 3) での潮汐に支配された水位と流出量変動 (上げ潮と下げ潮) - ケース 2



出典: JICA 調査団

図 8.12 バゴ川からヤンゴン川区間の縦断面図 - ケース 2

(5) 設計高水位および流出量

上記の水理解析から、前表 8.10 に示すように設計高水位と流出量が決定される。流出量に関しては、全流出量のほとんどは、あまりに大きい潮汐変動のために、流域からの河川自身の流れ(河川固有流)以外の潮汐流の成分で決定される。設計高水位と流出量の決定については、以下の点が今後の課題として残される。

- ヤンゴン港で観測された年間最大高水位のデータ数がわずか 13 年間であり、信頼性にやや欠ける。(統計分析上の問題点)
- 乾季の上げ潮/下げ潮の流れは非定常流シミュレーションを用いることでよく再現できた、しかしながら、過去の高潮位や流出量の観測データが入手しがたい(殆どのデータ形式が手入力であ

り、整理されていない)ため、水理解析の計算結果を高潮時の観測データに照らしてキャリブレーションすることが困難。

- 感潮区間の深浅測量データが極めて少ない。加えて、全ての支川を含むヤンゴン川水系の感潮域全ての測量データの入手は困難。かつ全ての支川を含むヤンゴン川感潮域の水理計算は、作業量が膨大となり道路プロジェクトとして実施することは難しい。(水理計算上の問題点)

上記の問題点を鑑み、詳細設計の時点では様々な検討や調査が実施されるべきである。

8.4 計画橋梁地点の水文学的評価

8.4.1 橋梁の水理設計クライテリア

橋梁の水路の開口を設計するために、以下の水理の設計クライテリアが要求される

- 背水が、橋梁の上流の資産へ洪水被害を大幅に増加させない。
- 橋梁を通過する流速が、道路施設に損傷を与えない、または、下流の資産への損害を与えない。
- 既設の流量配分は実地的な範囲に保持されている。
- 橋脚や橋台は流れの阻害を最小化している。
- 可能性のある局所洗掘は許容範囲内である。
- 構造物のクリアランスは予想される如何なる流送物も安全に通過させるのに十分に設計されている。(橋梁桁下標高は“最高水位+航路高”よりも高くなっている。)

設計確率年、橋桁から高水位までのクリアランスは、関連機関に承認された基準に準拠すべきである。

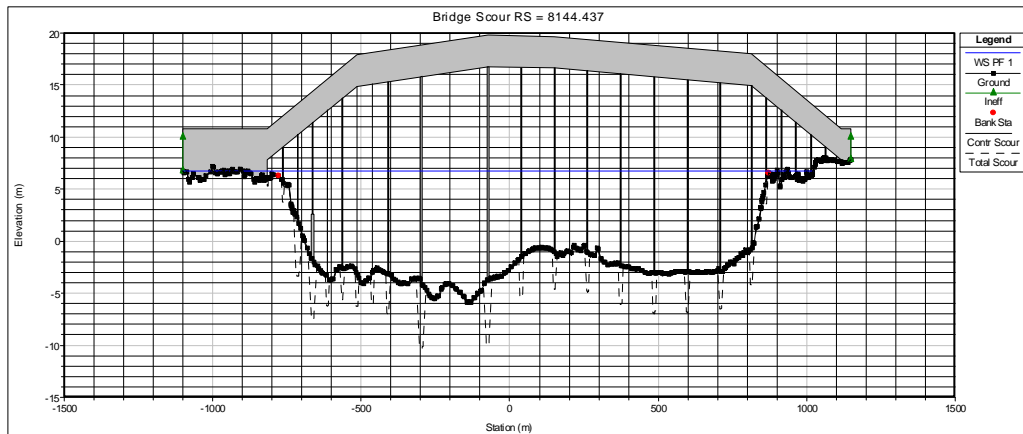
本検討では、設計確率年は100年確率を採用する。また、設計基準は国際標準規格として良く利用されているFHWAのHECシリーズに基づく。

8.4.2 洗掘の評価

橋梁下部構造物の設計では、現地固有の地盤などの情報を入念に検討し、橋台・橋脚の洗掘の可能性を評価することが重要である。橋梁渡河地点での全洗掘量は一般に以下の3つの成分で構成される。

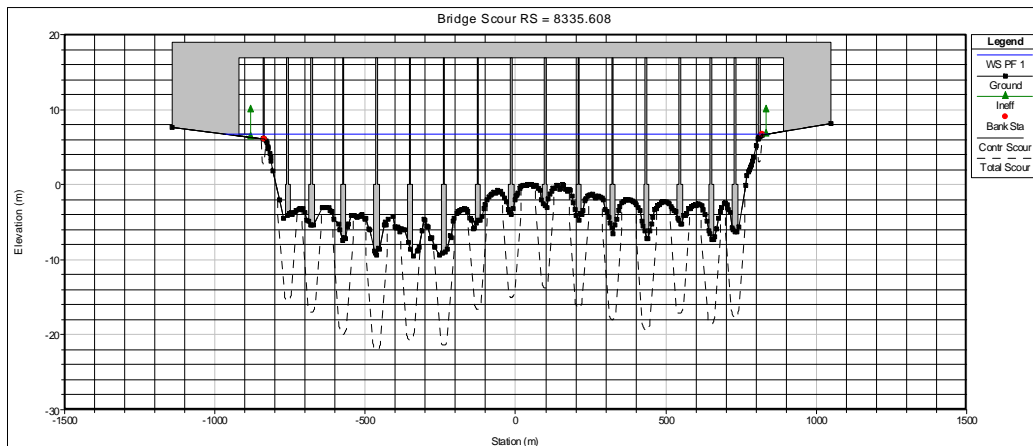
1. 長期の河床上昇と河床低下(今回の検討では、土砂流送は平衡を保っているものと仮定し、考慮しない)。
2. 収縮洗掘
3. 局所洗掘

洗掘の推定結果を図8.13及び図8.14に示す。なお、標高は港湾局基準による。



出典: JICA 調査団

図 8.13 バゴ-橋 (オプション 3) の洗掘の演算結果



出典: JICA 調査団

図 8.14 既設タンリン橋の洗掘の演算結果

上記の洗掘の計算より、各橋脚位置での洗掘深を推定した。新規および既設橋梁の水理学的問題については、以下の点が今後の課題として残される。

- 収縮洗掘が既設タンリン橋で発生する。ただし収縮洗掘の値は小さく問題はないものと思われる。
- 計算結果として、局所洗掘は既設・新設両橋梁で発生するが、既設タンリン橋がより顕著である。既設橋には護床工が無く、橋脚周辺の河床は防護されていない。既設橋梁および周辺に対し適切な護床工および適切な材料による埋戻工を直ちに実施するべきである。
- 新設バゴ-橋に関しては、適切な護床工および護岸工の検討が詳細設計段階で実施されるべきである。加えて、洗掘の推定は、詳細設計段階で HEC の式を含む他の予測式でも更なる検討をする必要がある。

8.4.3 計画橋梁の評価

計画された各橋梁地点での水理および航路状況は、以上の検討結果より下記の通りである。

表 8.11 計画橋梁の評価

Item		Unit	Bago (option 1)	Bago (option 2)	Bago (option 3)	Thaketa	Remarks
Design Water Level	Highest High Water Level (HHWL)	m	7.70	7.70	7.70	7.70	from probable H.W.L.
	Mean High Water Springs (HWL)	m	5.80	5.80	5.80	5.80	from MPA (observed W.L.)
	Mean Water Level (MWL)	m	3.121	3.121	3.121	3.121	Ditto
	Mean Low Water Springs (LWL)	m	0.67	0.67	0.67	0.67	Ditto
	Chart Datum Level (CDL)	m	0.00	0.00	0.00	0.00	Ditto
Design Discharge	(1)+(2)	m ³ /s	18,291	15,502	14,398	2,556	from hydraulic calc.
	Upland Flow (River own Flow) (1)	m ³ /s	4,328	3,361	3,361	967	falling tide
	100 Year Flood (2)	m ³ /s	13,964	12,141	11,037	1,590	upland flow
Navigation Channel Limitation (Assuming future ships)	Maximum Ship Size	DWT	15,000				Ships crossing bridges are small and there is no plan to expand. Hence, these conditions are the same as existing bridge condition. (表 8.12 参照)
	Height	m	35 ¹⁾				
	Width	m	288 (=1.5 × LOA ²⁾ , in case of Both-way)				
Navigation Channel Limitation (Assuming current ships)	Maximum Ship Size	DWT	3,309				
	Height	m	28 ³⁾				
	Width	m	139m(=1.5 × LOA ⁴⁾ , in case of Both-way)				

出典: JICA 調査団

- 注 1) 「統計解析による船舶の高さに関する研究－船舶の高さの計画基準(案)－」、国土技術政策総合研究所、日本、2006、を参照して高さを決定。
- 2) 「RO-RO 船の」船舶全体長を 192.0 m と仮定。「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、1999、を参照して高さを決定。
- 3) (現在の船舶の)水面上の高さ = 28m。MFSL とのインタビューより。
- 4) (現在の船舶の)全体長 = 92.45m。MFSL とのインタビューより。

表 8.12 既存橋の航路限界

橋梁名	河川名	航路限(m)	
		幅	高さ
マハバンドウラ橋	パズンダン川	120.0	16.8
タンリン橋	バゴ川	106.1	10.6

出典: IWT