

フィリピン共和国
公共事業道路省 (DPWH)

フィリピン国
マニラ首都圏パラニャーケ放水路
に係る情報収集・確認調査

ファイナル・レポート

第1巻：主報告書

平成30年5月
(2018年)

独立行政法人 国際協力機構 (JICA)

株式会社 建設技研インターナショナル
日本工営株式会社
株式会社 建設技術研究所

環境

JR

18-085

フィリピン共和国
公共事業道路省 (DPWH)

フィリピン国
マニラ首都圏パラニャーケ放水路
に係る情報収集・確認調査

ファイナル・レポート

第1巻：主報告書

平成30年5月
(2018年)

独立行政法人 国際協力機構 (JICA)

株式会社 建設技研インターナショナル
日本工営株式会社
株式会社 建設技術研究所

報告書構成

第1巻：主報告書

第2巻：添付資料

本報告書で使用された為替レート

1 US\$ = 50.84 PHP = 110.96 JPY

1 PHP = 2.183 JPY

2017年10月時点

要約

1. 調査概要

1.1 調査の背景・経緯

我が国は、1970年代から40年以上にわたり、マニラ首都圏と大河川を中心に洪水対策計画の策定や円借款での実施の他、中央官庁への技術支援等、幅広い支援を行っている。JICAは河川洪水/外水対策に関し、円借款事業により1988年にマンガハン放水路が完成した後、マニラ首都圏において、1988年～1991年にかけて「マニラ洪水対策計画調査」を実施し、特に緊急度の高い事業のひとつとしてパッシング・マリキナ川の洪水対策「パッシング・マリキナ川河川改修事業」を取り上げ、フィージビリティ調査、旧国際協力銀行の案件形成促進調査を経て、4フェーズに分け同事業を実施する方針とした。現在、フェーズIII（2011年度L/A調印）の本体工事を実施中である。

マニラ首都圏及びその周辺に位置するラグナ湖（流域面積2,920km²、湖水面積900km²）周辺に位置する西マンガハン地区の内水氾濫及びラグナ湖の水位上昇に伴う洪水対策として、JICAは、円借款事業「ラグナ湖北岸緊急洪水制御事業（1989年L/A調印）においてマンガハン東部・西部地区の詳細設計を支援した後、円借款事業「メトロマニラ西マンガハン地区洪水制御事業」（1997年～2007年）において、西マンガハン地区における湖岸堤の建設、排水機場の建設、樋門の設置を支援した。

しかしながら、2009年9月に発生した台風オンドイは、日雨量453mmを記録してマリキナ川沿い及びラグナ湖沿岸地域並びにマニラ首都圏の都市部に大規模な洪水被害を発生させた。「メトロマニラ西マンガハン地区洪水制御事業」で対策を行ったラグナ湖沿岸の西マンガハン地区においては、マリキナ川からの洪水の越流、内水氾濫及びラグナ湖の水位上昇の影響で低平地の約80%の住宅地区が1～3週間以上にわたり浸水した。ラグナ湖沿岸地域では洪水対策が行われていない低平地が沿岸全域に広がっており、1か月以上の浸水被害も生じた。ラグナ湖沿岸地域の洪水対策はマニラ中心部より大きく遅れており、その洪水対策は緊急性の高い課題となっている。

更に、フィリピン公共事業道路省（Department of Public Works and Highways (DPWH)）では、ラグナ湖西岸を埋め立て、道路建設及び都市開発を行う「Laguna Lakeshore Express Way Dike Project (LLEDP)」をPPP事業として計画しており、このプロジェクト実施のためにもラグナ湖沿岸地域の洪水対策が必要とされている。ラグナ湖沿岸地域の洪水対策としては湖岸堤の建設や排水路・排水機場の建設等の他、ラグナ湖からパラニャーケ市を通過してマニラ湾に湖水を排水し、ラグナ湖の水位をコントロールするための放水路（以下、「パラニャーケ放水路」）の建設が検討されている。市街地化が進むパラニャーケ市の用地取得は困難であることから、開削工法ではなく、延長9.2km程度の地下放水路とすることについて検討されており、パラニャーケ放水路の事業化の可能性の検討について、DPWHからJICAに調査実施の支援の要請があった。

1.2 調査の目的

本検討は、上記要請を受け、パッシング・マリキナ川流域を含むラグナ湖流域を、既往洪水対策事業・計画との整合を図りつつ一体的に解析し、ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画を作成した上で、その一環であるパラニャーケ放水路の事業化の可能性の検討（Pre-F/S）を行い、以て、JICAによる有償資金協力事業の実施可能性及び協力準備調査の方向性を検討するための情報収集開確認を行うことを目的とした。

1.3 調査工程

本検討は2017年7月の国内作業から開始し、2018年の5月で終了した。

2. ラグナ湖沿岸地域総合洪水管理計画

ラグナ湖沿岸地域の洪水被害は、洪水の長期間に及ぶ高水に起因する。過去の高水被害状況より、下表に、洪水発生メカニズム・特性、洪水被害発生要因・状況等を整理する。

表 2.1 ラグナ湖の水理状況と洪水被害状況

項 目	説 明
湖水位の変動及び特性	<ul style="list-style-type: none"> ✓水位の急上昇は、台風・熱帯低気圧由来の湖面への降雨、多くのマンガハン放水路を含めた河川・排水路からの流入 ✓水位低下は、ナピンダン水路及びマンガハン放水路からの流出及び蒸発が要因 ✓制限された排水能力により高水位が長期間継続
高水位が長期継続	<ul style="list-style-type: none"> ✓ナピンダン水路及びマンガハン放水路からの流出能力が不足
洪水被害の発生頻度	<ul style="list-style-type: none"> ✓生活基盤に影響する EL 12.0 m を 71 年間で 47 回超（1.5 年に一回発生）
洪水被害の地理的範囲	<ul style="list-style-type: none"> ✓山地部及び「メトロマニラ西マンガハン地区洪水防御事業」の 10km 区間を除き、ほぼラグナ湖岸全域で土地利用がなされ、被害地域はほぼ湖岸全域
湛水深及び 湛水継続日数	<ul style="list-style-type: none"> ✓既往最高水位（約 EL 14 m）を基準にすると、EL 12.0 m の居住地では最高約 2 m、EL 12.5 m では約 1.5 m の湛水深 ✓水位変動形により異なるが、台風オンドイの洪水では水位 EL 12.5 m 以上の継続は約 130 日、EL 13 m 以上が約 60 日

ラグナ湖の洪水は、湖岸低地域全域に及ぶため、ラグナ湖の洪水対策は沿岸地域全域の総合洪水管理計画として検討すべきである。本検討において、ラグナ湖の水位上昇に伴う洪水、内水氾濫、ラグナ湖流域の河川洪水を対象とし、図 2.1 に示す通りラグナ湖沿岸地域の総合洪水管理計画を立案した。

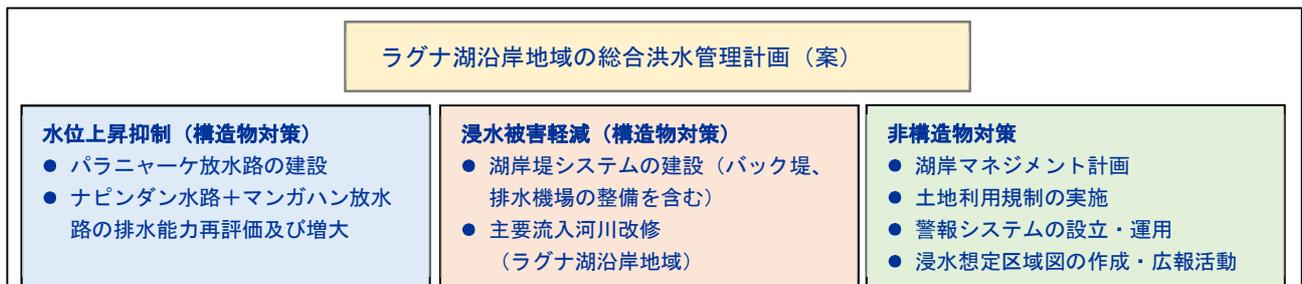


図 2.1 ラグナ湖沿岸地域の総合洪水対策の 3 本柱

2.1 ラグナ湖流域における水理水文解析

1) 計画規模の設定

計画規模の設定においては、対象流域の重要度、既往洪水被害の実態、近傍の既存計画及び DPWH 標準ガイドライン 2015 に指定された計画規模を総合的に考慮し検討した。

表 2.2 計画規模

区分	評価指標	計画規模	
ラグナ湖水位上昇に伴う洪水	水位	100 年	
ラグナ湖沿岸地域 (21 流域)、 ラスピニャス・パラニャーケ地区	雨量	【河川】(外水対策) A=40km ² 以上 : 50 年 A=40km ² 未満 10km ² 以上 : 25 年 A=10km ² 未満 : 15 年	【排水路】(内水対策) 排水路 : 15 年

ラグナ湖水位観測データ (1946 年～2016 年) より、ラグナ湖の確率水位を算定した (表 2.3)。ラグナ湖における 100 年確率水位は 14.3m となり、既往最大水位 (14.03m、1972 年) は 50 年相当の水位となる。また、2009 年台風オンドイ時の最高水位 13.85m は 40 年相当となる。

表 2.3 ラグナ湖水位確率

Return Period (year)	Water Level (m)
2	12.3
5	12.9
10	13.2
30	13.7
50	14.0
100	14.3
200	14.7

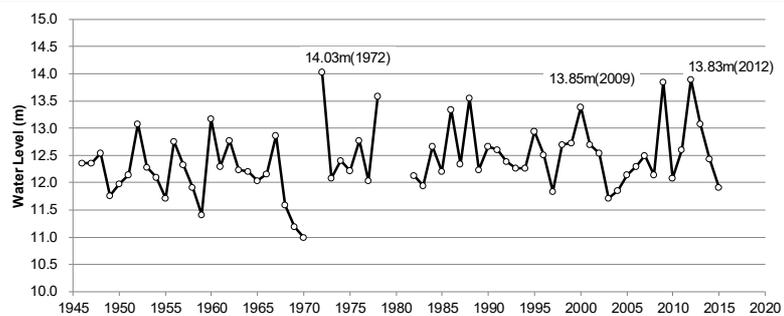


図 2.2 ラグナ湖の年最大水位

2) 計画対象水位波形

ラグナ湖水位上昇に伴う洪水については、計画規模の評価指標が『水位』となるため、計画水位波形を設定した。具体的には、2009 年と 2012 年の水位波形から計画対象水位波形を作成し、パラニャーケ放水路による湖水位の低減効果を評価し、被害が大きくなる波形 (パラニャーケ放水路による水位低減効果が少ない波形) を採用することで、安全側の評価を行った。

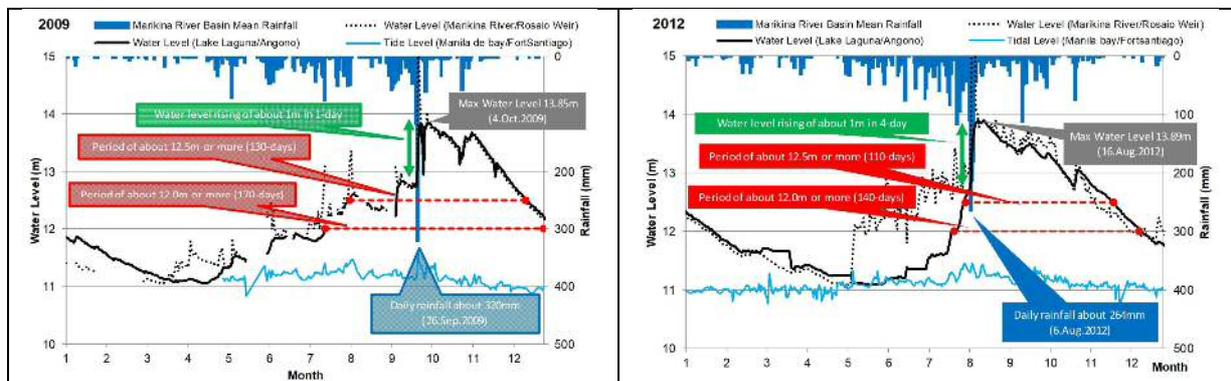


図 2.3 ラグナ湖水位変化 2009 年及び 2012 年

3) ラグナ湖水位変動解析（長期検討）

長期的なラグナ湖水位変動を表現するため、図 2.4 に示すラグナ湖水位変動解析モデルを構築した。水位変動解析モデルは、流出モデル、河道網モデル（洪水追跡モデル）、ラグナ湖浸水モデルの3つの水文・水理モデルから構成される。また、ラグナ湖水位変動解析（長期検討）の再現計算結果を図 2.5 に示す。

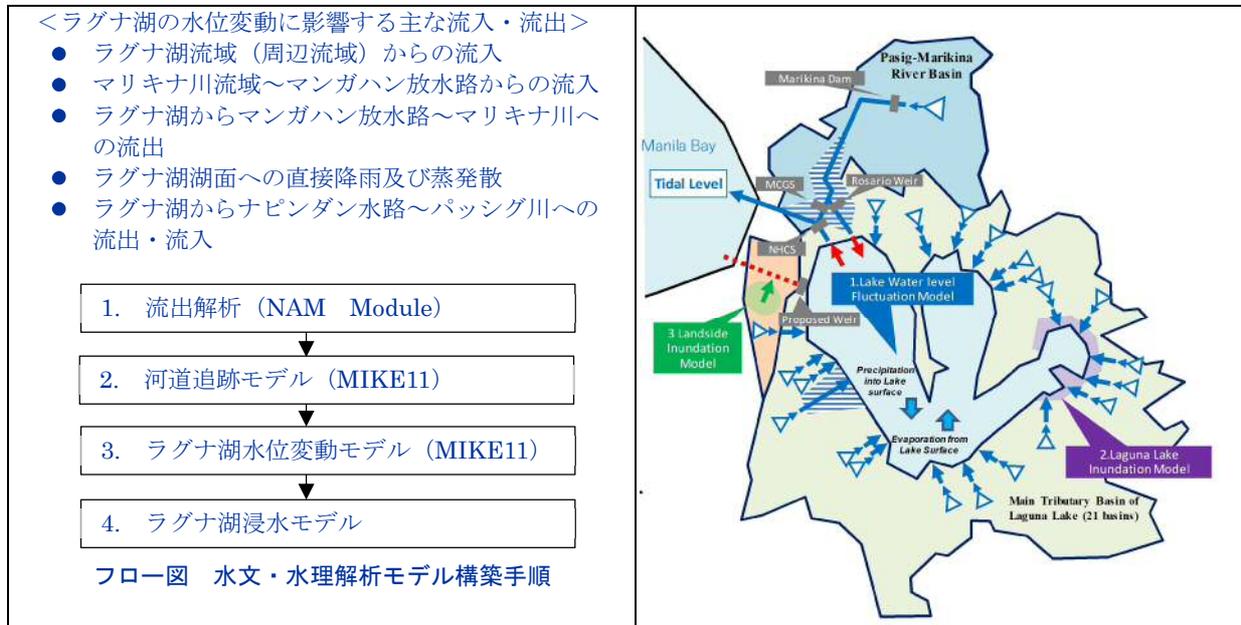


図 2.4 水文・水理解析モデルの概念図

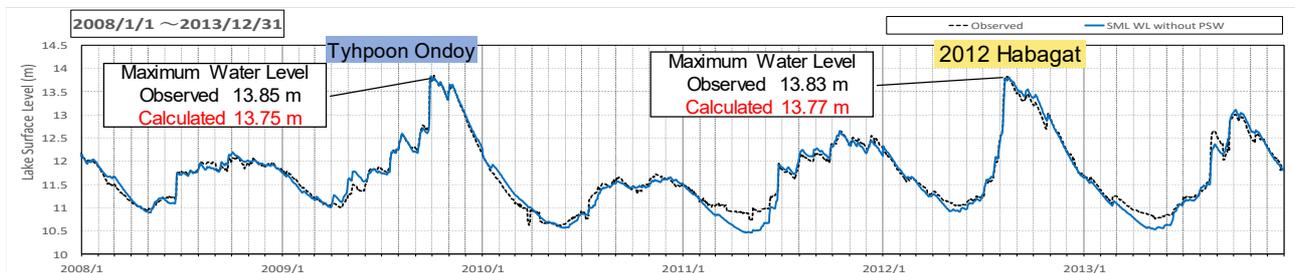


図 2.5 ラグナ湖長期水位変動解析 現況再現計算結果（パラニャーケ放水路なし）

2.2 総合洪水管理計画における構造物対策

総合洪水管理計画における構造物対策は、ラグナ湖沿岸地域における浸水被害の軽減とラグナ湖の水位上昇抑制を目的とし、パラニャーケ放水路の建設、ナピンダン水路沿いのパラペットウォールの嵩上げ及び湖岸堤システムの建設（排水機場、橋梁、河川堤防含む）を対象とした。

1) パラニャーケ放水路

パラニャーケ放水路のルート上は商業施設や住宅が密集しており、開水路形式を採用した場合は多くの住民移転が発生するため事業化が困難である。そこで、放水路は圧力管方式とし、かつ立坑部分以外の用地買収が不要となる地下 50m 以深に建設するものとした。また、検討の結果、この圧力管方式は自然流下で対応可能と判断された。

放水路の設計流量は計画流量と同量の 200 m³/s とし、取水施設の位置には特に制限がなく、排水

施設は「Las Piñas-Parañaque Critical Habitat and Ecotourism Area」(LPPCHEA)の存在を考慮してパラニャーケ水系またはザポテ川への現況河川接続方式とした。平面線形は図 2.6 に示す通りで、概略設計段階では排水②と排水③を除く全てのケースに採用の可能性があると判断しつつ、LPPCHEA への影響が少なくかつ排水河川の改修範囲が少ない点からルート D を有力案とし、施設構造を検討した。ルート D における概略設計の諸元を表 2.4 に示す。



図 2.6 パラニャーケ放水路ルート案

パラニャーケ放水路の設計流量を 200m³/s、放水路の操作開始水位を 12.0m とした場合のラグナ湖水位低減の効果の検討結果を以下に示す。

- ✓ ピーク水位は、2009 年に最大で 0.55m の水位低下、12 年間平均で 0.24m の水位低下効果がみられた。
- ✓ 湖水位 12.5m を超過する継続期間は、2009 年は 110 日から 46 日へ、2012 年は 108 日から 63 日へ、2013 年は 62 日から 15 日へと減少がみられた。
- ✓ パラニャーケ放水路の運用頻度は、9 回/12 年である。

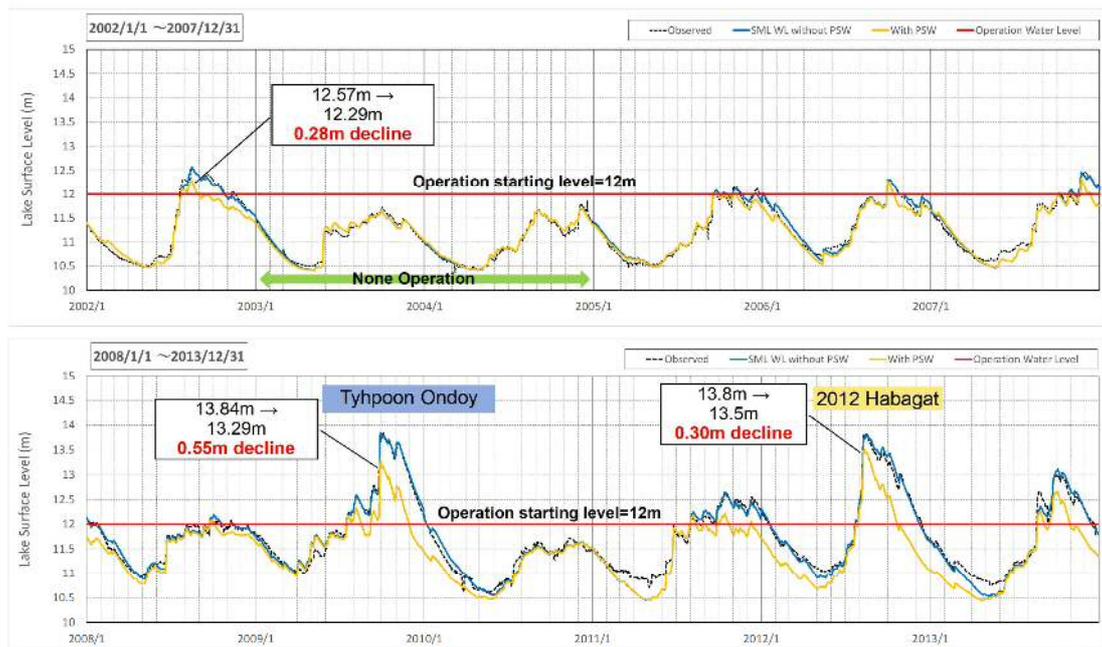


図 2.7 ラグナ湖長期水位変動解析結果 (パラニャーケ放水路あり、運転開始水位=12.0m)

また、確率規模別におけるパラニャーク放水路によるラグナ湖水位低減効果について検討を行った。確率規模別におけるラグナ湖最高水位の概要を表 2.5 に、100 年確率の水位変動解析結果を図 2.8 に示す。

表 2.5 規模別におけるラグナ湖最高水位

確率規模	パラニャーク放水路		水位低減(m)
	無し	有り*	
200	14.7	14.3	0.4
100	14.3	14.0	0.3
50	14.0	13.7	0.3
30	13.7	13.4	0.3
10	13.2	13.0	0.2
5	12.9	12.8	0.1
2	12.3	12.3	0.0

*パラニャーク放水路の運用開始水位は 12.0m

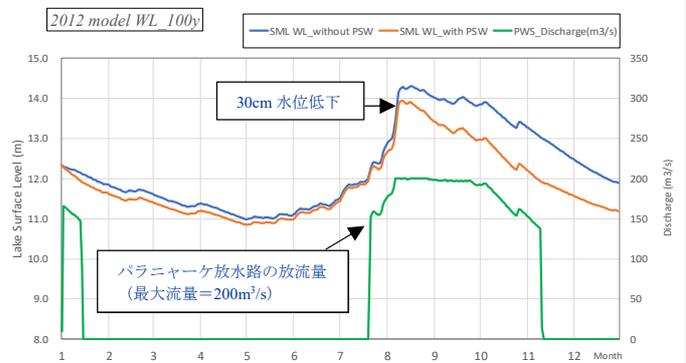
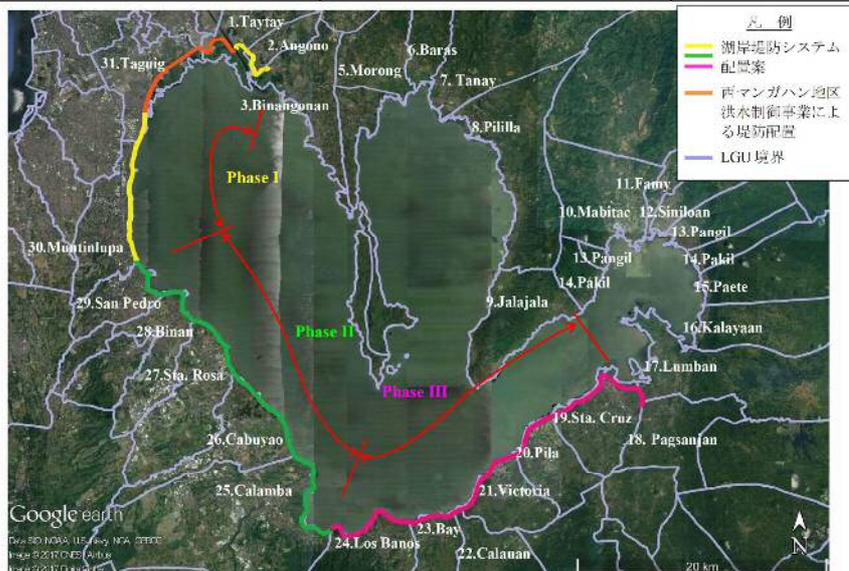


図 2.8 100 年確率 水位変動解析結果
(パラニャーク放水路あり)

2) 湖岸堤システム

ラグナ湖沿岸の優先地域において、ラグナ湖からの浸水を防御する湖岸堤システムを建設する。湖岸堤システムは、湖岸堤、排水路、排水機場、コミュニティ道路、橋梁からなり、ラグナ湖の水位上昇に起因する洪水被害を解消する。湖岸堤は標高 12 m から 12.5 m 付近のラグナ湖沿岸に建設する。ラグナ湖の 100 年確率水位 (14.0m) を対象とし、土地利用、受益人口、受益面積等より湖岸堤システムの配置優先地域の順位付けを行い、優先度が高い地区から湖岸堤システムを配置する計画とした。湖岸堤の延長は約 83km となり、資産が少なく湖岸堤システムを配置するには経済効果が薄い地域については、非構造物対策 (警報システム等) での対応とした。

項目	Phase I (10 年間)	Phase II (10 年間)	Phase III (10 年間)
地域	第 1 優先地域	第 2 優先地域、第 3 優先地域	第 4 優先地域、第 5 優先地域
湖岸堤延長	17km	33km	33km



出典：Google Earth, Digital Globe を基に JICA 調査チームが作成

図 2.9 湖岸堤システム配置案 (優先地区)

3) ナピンダン水路のパラペットウォール嵩上げ

本検討においてラグナ湖の計画湖水位を 14.0 m と設定したが、ナピンダン水路の計画高水位は 13.8 m であり、パラペットウォールの天端標高は 14.1 m である。したがって、ラグナ湖の計画湖水位 (14.0m) と余裕高 (0.3m) を考慮し、ナピンダン水路のほぼ全延長 (6.8 km) においてパラペットウォールを 0.2 m 嵩上げ (パラペット天端標高を 14.3m) するものとした。

2.3 総合洪水管理計画における非構造物対策計画

非構造物対策は、構造物対策に比べ少ない費用で洪水被害の軽減効果を早期に得ることができる。本検討においては、以下の対策を提案した。

1) 湖岸マネジメント計画実施

ラグナ湖周辺の土地管理において、1996 年の法律 (Republic Act: RA No. 4850) では標高 12.5 m より低い水体と土地についてはラグナ湖であると定義しており、12.5m より低い土地は基本的に現在 LLDA が管理している。本検討では、12.5 m に余裕高を加えた標高を湖岸高とすることを提案し、さらに湖岸から都市域では 3 m、農地は 20 m の管理ゾーン (Easement Zone) を設け、Easement Zone から内側の湖の範囲を湖管理エリアとし、法制度化すべきと提案した。

2) ラグナ湖災害リスク低減管理の改善

ラグナ湖沿岸地域のバランスの取れた災害リスク低減管理 (DRRM) の推進のため、多くの LGU や関係機関間の横と縦の調整連携を行いながら DRRM を実施する必要がある。このため次の 2 点を提案した。

- フィリピン国家災害リスク削減管理委員会 (NDRRMC) によるラグナ湖沿岸全地域の DRRM 調整連携とモニタリングの実施
- ラグナ湖沿岸地域全体の DRRM マスタープラン策定とその実施

3) 土地利用規制の実施

洪水リスクの高いラグナ湖沿岸の低平地において、洪水リスクを回避することを目的に、土地利用規制を提案した。具体的には以下の 3 点を挙げた。

- ラグナ湖管理エリアからの住民移転
- ラグナ湖管理エリアの家屋の増加抑制
- 洪水リスクが高い低平地における避難場所と避難所 (シェルター) の設置

4) 警報システムの設立・運用

ラグナ湖沿岸地域において、ラグナ湖への流入河川の水位上昇と湖の水位変化をモニタリングし洪水警報を発するため、洪水予警報システムの設立と運用を提案した。具体的には、以下の 3 点に重点を置くものとした。

- ラグナ湖沿岸地域の予警報システムのための雨量・水位観測システムの強化（無線によるテレメーター雨量、フロート式の水位観測システム及び X バンドレーダー1 基の設置）
- ラグナ湖周辺の LGU の全てによる雨量・水位観測施設の設置と観測の実施
- パラニャーケ放水路のための水位観測（ラグナ湖側、マニラ湾側）と住民への放流警報

5) 浸水想定区域図の作成・広報活動

浸水想定区域図は、住民が円滑かつ迅速に避難するために、浸水情報と避難（避難場所、避難時危険箇所等）に関する情報を提供するための図であり、これを作成・広報することにより、洪水リスクの回避を目指す。

2.4 概算事業費

1) 積算条件

フィリピンでは、本格的なトンネル工事の実績がないため、日本及び諸外国におけるトンネル工事の事例や日系ゼネコンや専門工事会社等からのヒアリングで得た情報を参考にし、概略事業費を算出した。

表 2.6 概略事業費算出条件

項目	条件	備考
積算基準年月	2017年10月	
為替レート	1US\$=110.96JPY、1US\$=50.84PHP、1PHP=2.183JPY	IMF公表為替レート参照（2017年7月～9月平均レートで算出）
コンサルタント費	本体事業費に対して10%	
物価上昇	本体事業費、コンサルタント費に関する物価上昇FC 0.8%、LC 1.8%	IMF公表「世界経済見通し」データ参照
予備費	本体事業費、コンサルタント費、物価上昇の総額の10%	
用地買収、補償	用地買収費及び建物補償費を積上げ計算。物価上昇LC 1.8%及び予備費10%を見込む。	
事業者の一般管理費	本体事業費、コンサルタント費、用地買収・補償費の総額の2%	
付加価値税（VAT）	12.0%	

2) 概算事業費算出

概算事業費の算出においては、ルート2案（ルートA及びルートD）、トンネルの施工方法として2案（シールド工法及びNATM）の合計4つのオプションを想定し、概略事業費を算出した。各オプションにおける概略事業費を表2.7に示す。

- オプション1：パラニャーケ放水路（ルートA シールド工法）、湖岸堤システム、EFCOS 拡張
- オプション2：パラニャーケ放水路（ルートA NATM）、湖岸堤システム、EFCOS 拡張
- オプション3：パラニャーケ放水路（ルートD シールド工法）、湖岸堤システム、EFCOS 拡張
- オプション4：パラニャーケ放水路（ルートD NATM）、湖岸堤システム、EFCOS 拡張

表 2.7 概略事業費

コスト	工種	オプション1 (百万ペソ)	オプション2 (百万ペソ)	オプション3 (百万ペソ)	オプション4 (百万ペソ)
本体事業費	パラニャーケ放水路	45,876	36,148	49,121	37,653
	湖岸堤システム	42,073	42,073	42,073	42,073
	EFCOS 拡張	114	114	114	114
	計	88,063	78,335	91,308	79,840
コンサルタント費		8,806	7,833	9,131	7,984
物価上昇		11,732	10,611	12,140	10,826
予備費		20,449	19,944	20,964	20,435
用地買収、補償		8,786	8,786	8,786	8,786
事業者の一般管理費		2,757	2,510	2,847	2,557
付加価値税		16,540	15,061	17,080	15,345
合計 (million PHP)		157,133	143,082	162,255	145,773

3) 維持管理費

ラグナ湖の総合洪水管理計画に関わる維持管理費用を、次表にまとめる。

表 2.8 ラグナ湖の総合洪水管理に関わる維持管理費用

費目	項目	金額 (百万ペソ)
パラニャーケ放水路の 維持管理費	排水ポンプの運転費用、機器設備維持管理費用、トンネル部の維持管理費用	200.2~265.1
	トンネル放水路の土砂撤去・清掃費用	10.5~13.2
	合計	210.7~278.3
ラグナ湖岸堤システムの 維持管理費	土木施設	155.3
	機械設備	110.2
	合計	265.4
EFCOS の拡張	機械設備	1.1

2.5 経済評価

ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画について EIRR 等を算出した。その結果を次表に示す。

表 2.9 ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画の経済性評価

施設	経済的費用 (百万ペソ)	EIRR	B/C	NPV (百万ペソ)
ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画 (湖岸堤システム) + (パラニャーケ放水路) + (非構造物対策)	110,306~ 127,279	8.8%~ 10.7%	0.86~ 1.08	-6,232~2,820

3. パラニャーケ放水路のプレフィージビリティ調査 (Pre-F/S)

3.1 パラニャーケ放水路の構造

放水路に影響する地理条件としては、前述した LPPCHEA に加え、対象地域に計画される地下鉄・鉄道計画と取水施設側に存在する活断層 (Valley Fault System) がある。地下鉄・鉄道計画は、関係機関との協議により大きな問題は発生しないものと考えられる。一方、Valley Fault System を地下施設で横断した場合、施設の維持管理が困難になると考えられるため、取水施設は Valley Fault System の西側に配置し、ラグナ湖と取水施設間は開水路により繋ぐものとした。

実現可能性が高い放水路ルート案は、「Lower Bicutan – South Parañaque 川」のルート 1 と「Sucat – Zapote 川」のルート 3 の 2 ルートであり、それぞれの諸元は次表のとおりである。

表 3.1 放水路の諸元

項目		ルート 1	ルート 3
計画流量 (= 設計流量)		200 m ³ /s	
放水路トンネル部	延長	6.0 km	8.8 km
	内径	12 m	12 m
放水路開水路部	延長	1.2 km	0.6 km
	河床幅	46 m	46 m
取水施設 (立坑)	直径	31.6 m	
	深さ	75.1 m～81.1 m	
排水施設 (立坑)	直径	31.6 m	
	深さ	77.3 m～83.3 m	



図 3.1 放水路ルート案

3.2 施工計画

1) 計画条件

実現可能性が高いルート 1 案と 3 案について、下表に示す計画条件を基に施工計画を検討した。

表 3.2 計画条件

項目	内容
地盤条件	今回実施された 6 ヶ所の調査では 50 m 以深となるトンネル計画深度では凝灰岩層が存在する結果となっている。今後、更に調査数を増やしての評価が必要となるが、本検討ではトンネル部の地盤は路線全線にわたり十分な土被りを持つ凝灰岩層として取り扱った。
地下水位	調査結果では GL-3～5 m、ただし本検討では安全側とし GL とする。
トンネル内空規模	直径 12 m の円形断面の内空規模とする。(約 113 m ²)
トンネル延長	ルート 1 案：6.0 km、ルート 3 案：8.8 km
トンネル土被り	道路用地内では土被りに対する制限は無いが、自由にラグナ湖とマニラ湾を結ぶルートを計画できるように地上権の及ばないトンネル土被り 50m 以上を確保するものとする。
セグメント	セグメント幅：1.6 m、桁高：600 mm、分割：10+K (9.6 t/ピース)
中間人孔	本計画では考慮しない。

2) 施工方法

トンネル施工方法として、シールド工法、NATM の 2 工法について検討を行った。現時点ではトンネル掘削部の地盤状況や湧水についての調査結果が十分得られていないため、軟弱地盤から硬質岩盤まで対応が可能なシールド工法を基本として考える。今後、詳細な地盤調査を行い、シールド工法よりも工事費の安い NATM 採用の可能性について検討する必要がある。立坑の施工方法については、掘削断面 φ30 m、掘削深度 70 m 以上に対応できる連続地中壁工法とケーソン工法の 2 工法を比較検討し、工事費の安いオープンケーソン工法を採用するものとした。

3.3 概算事業費

1) 積算条件

以下に示す条件の基に、Pre-FS の対象となるパラニャーケ放水路建設工事概算事業費を算出した。なお、概略事業費算出は表 2.6 と同様である。

- STEP-D/D とコンサルタント調達を並行して進め、ICC 取得後、交換公文 (E/N) 署名、借款契約 (L/A) 締結、2021 年には業者調達を完了
- 建設プロジェクト：パラニャーケ放水路
 - オプション 1：ルート 1 シールド工法 : 2022 年 1 月～2030 年 2 月
 - オプション 2：ルート 1 NATM : 2022 年 1 月～2031 年 1 月
 - オプション 3：ルート 3 シールド工法 : 2022 年 1 月～2030 年 8 月
 - オプション 4：ルート 3 NATM : 2022 年 1 月～2032 年 6 月

2) 概算事業費算出

各オプションにおける概略事業費を表 3.3 に示す。パラニャーケ放水路からの洪水流量排水先となる南パラニャーケ川、ザポテ川等については、上流支川も含めた治水計画が必須であるが、これらの工事費用についてはここでは見込んでない。別途、治水計画を行い費用及び便益を検討することが必要である。

表 3.3 概略事業費 (Pre-F/S)

項目	小項目	オプション 1 (百万ペソ)	オプション 2 (百万ペソ)	オプション 3 (百万ペソ)	オプション 4 (百万ペソ)
本体事業費	トンネル工	17,879	11,707	24,258	16,839
	立坑築造工	11,940	9,899	11,940	9,899
	開水路工	4,544	4,544	3,412	3,412
	河川改修工等	2,382	2,382	596	596
	残土処分費	1,828	1,828	1,937	1,937
	計	38,573	30,360	42,143	32,683
コンサルタント費		3,857	3,036	4,214	3,268
物価上昇		4,022	3,645	4,359	4,218
予備費		4,645	3,704	5,090	4,017
用地買収、補償		1,352	1,352	1,316	1,316
事業者の一般管理費		1,049	842	1,146	910
付加価値税		6,294	5,052	6,876	5,460
合計 (百万ペソ)		59,792	47,991	65,324	51,873

3.4 プロジェクト評価

1) 経済評価

Pre-F/S 調査におけるパラニャーケ放水路建設についての経済評価を行った。定量化された便益は以下の通りである。

- 便益 (1): 洪水被害の軽減に関する便益
- 便益 (2): 土地価格上昇の便益
- 便益 (3): 残土活用による便益

本検討では、計算に含める便益の異なる3つのケースについて計算を実施した。

- 便益ケース1: 便益 (1) のみ含む
- 便益ケース2: 便益 (1) と便益 (2) を含む
- 便益ケース3: 便益 (1)、便益 (2)、便益 (3) を含む

表 3.4 パラニャーケ放水路建設の経済評価結果

便益 ケース	費用オプション	EIRR	B/C	NPV (PHP million)
便益 ケース 1	オプション 1 (ルート 1, シールド)	9.1%	0.87	-3,181
	オプション 2 (ルート 1, NATM)	10.4%	1.06	1,109
	オプション 3 (ルート 3, シールド)	8.3%	0.76	-6,279
	オプション 4 (ルート 3, NATM)	9.6%	0.95	-1,062
便益 ケース 2	オプション 1 (ルート 1, シールド)	10.1%	1.02	420
	オプション 2 (ルート 1, NATM)	11.5%	1.23	4,383
	オプション 3 (ルート 3, シールド)	9.2%	0.89	-3,005
	オプション 4 (ルート 3, NATM)	10.6%	1.10	1,914
便益 ケース 3	オプション 1 (ルート 1, シールド)	10.7%	1.11	2,511
	オプション 2 (ルート 1, NATM)	12.3%	1.38	6,474
	オプション 3 (ルート 3, シールド)	9.7%	0.96	-914
	オプション 4 (ルート 3, NATM)	11.4%	1.22	4,005

定量化できない定性的便益も考慮すると、全てのオプションでおおよそ経済的に妥当な水準であると考えられる。

2) パッシング・マリキナ川治水事業と組み合わせた経済分析

パッシング・マリキナ川の河川改修事業についての経済分析は、2011年に『パッシング・マリキナ川河川改修事業(III)準備調査』において検討が行われている。本検討においては、この検討の費用及び便益を更新することによって経済分析を行った。

上記報告書に示された河川改修事業の費用及び便益、また、想定されるマリキナダム事業及び遊水地事業の費用及び便益、加えて、本検討で算定したパラニャーケ放水路の費用及び便益を用いて経済分析を行った結果を次表に示す。

表 3.5 パッシング・マリキナ川及びラグナ湖事業の経済分析結果総括

費用オプション	EIRR	B/C	NPV (PHP million)
パッシング・マリキナ川河川改修 Phase II, III, IV	28.6%	4.5	27,391
パッシング・マリキナ川河川改修 Phase II, III, IV + パラニャーケ放水路	26.8%	3.1	27,708
パッシング・マリキナ川河川改修 Phase II, III, IV + 遊水地 + マリキナダム+ パラニャーケ放水路	26.1%	2.8	28,285

3) 環境社会配慮

本事業の実施に伴い、種々の環境社会影響が発生するおそれがあると考えられる。地下放水路の建設については、フィ国関係法令（RANo.10752）の規定に基づき、地下 50 m 以深における公共事業等の実施については、地上の土地所有者への補償の必要性は発生しないものの、地上におけるプロジェクト施設、すなわち、取水施設－開水路、排水施設の建設に伴う用地取得、必要な住民移転の規模は、280 世帯（ルート 1）から 290 世帯（ルート 3）に及ぶものと推定された。また、既存の構造物、施設等の取壊し・撤去等に伴う廃棄物の発生量は大きく、トンネル掘削工事に伴う残土の発生量は相当な量（最大約 200 万 m³ の掘削残土）になるものと予測された。これら行為・要因に伴う影響には十分配慮し、環境管理計画の策定に基づく影響緩和策を着実に実施していくことが求められる。

4. 結論および提言

4.1 結論

本検討において、パッシング・マリキナ川流域を含むラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画を作成し、パラニャーケ放水路（2018 年 1 月 23 日に行われた第 4 回ステアリング・コミッティ会議において優先プロジェクトとして選定）の事業化検討（Pre-F/S）調査を実施した。パラニャーケ放水路のルートは 2 案、地下放水路の施工方法も 2 種類（シールド工法、NATM）について、それぞれ EIRR を算出した。



図 4.1 パラニャーケ放水路 3 次元イメージ

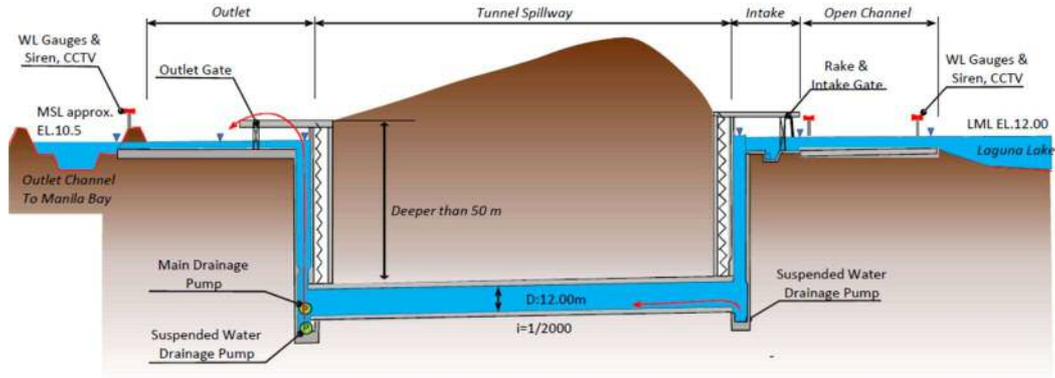


図 4.2 パラニャーク放水路概要図

Pre-F/S 調査結果では、EIRR はパラニャーク放水路単独で 10%以上であり、パッシング・マリキナ川流域の洪水対策と合わせると EIRR は 20%以上となり、パラニャーク放水路事業は実施可能であると示された。

4.2 提言

本検討は短期間（約 9 か月間：2017 年 8 月～2018 年 4 月）で、総合洪水管理計画策定から優先プロジェクトであるパラニャーク放水路の Pre-F/S 実施と、時間的制約が大きい中での調査であった。そのため、Pre-F/S 調査にてパラニャーク放水路の事業化の可能性が示唆されたが、以下に示す追加調査を踏まえパラニャーク放水路の実施に向けた F/S 調査が早急に必要である。

< F/S 調査において含まれるべき内容 >

1. 地形測量
2. 深浅測量（ラグナ湖）
3. 河川縦横断測量並びに下流河川への影響評価
4. ボーリング調査
5. 水理模型実験
6. 放流水拡散解析の実施
7. 環境影響評価及び家屋移転土地収用計画の作成

ラグナ湖沿岸地域では洪水対策が行われていない低平地が沿岸全域に広がっており、過去には 1 か月以上の浸水被害も生じている。ラグナ湖沿岸地域の洪水対策はマニラ中心部より大きく遅れていること、かつ、沿岸地域の市街化が進んでいるため、今後甚大な洪水被害が生じる可能性がある。そのため、フィリピン政府は、本検討で事業化の可能性が示唆されたパラニャーク放水路の F/S 調査を実施し、ラグナ湖沿岸全域に対して洪水リスク軽減効果が期待されるパラニャーク放水路の実施に向け、速やかに対応をとることを提言する。



調査対象地域位置図

フィリピン
マニラ首都圏パラニャーケ放水路に係る情報収集・確認調査

ファイナル・レポート
第1巻：主報告書

目 次

要約

調査対象地域位置図

目次

表目次

図目次

略語表

	<u>ページ</u>
第1章 調査の概要.....	1-1
1.1 調査の背景.....	1-1
1.2 調査の目的.....	1-2
1.3 調査の概要.....	1-2
1.4 本調査のスケジュール.....	1-3
第2章 対象地域の状況と洪水.....	2-1
2.1 対象地域の状況.....	2-1
2.1.1 自然条件.....	2-1
2.1.2 社会経済.....	2-5
2.2 ラグナ湖流域の概要、洪水対策の歴史.....	2-10
2.2.1 ラグナ湖流域.....	2-10
2.2.2 過去の洪水と洪水対策.....	2-12
2.2.3 被害状況調査.....	2-14
2.3 既往の洪水対策事業の評価.....	2-18
2.4 ラグナ湖流域の水資源利用状況.....	2-21
2.4.1 ラグナ湖における地域資源利用の状況.....	2-21
2.4.2 地下水利用の状況.....	2-24
2.5 関連する開発計画、既往事業.....	2-25
2.5.1 関連する開発計画.....	2-25
2.5.2 関連する既往事業.....	2-33
第3章 水理水文解析.....	3-1
3.1 水文・地形に係る基礎情報の収集・整理.....	3-1
3.1.1 水文データ.....	3-1
3.1.2 地形・測量データ.....	3-11

3.2	計画規模の検討	3-14
3.2.1	計画規模、計画対象降雨の設定	3-14
3.2.2	マニラ湾潮位	3-20
3.3	水文統計解析	3-29
3.3.1	ラグナ湖水位統計解析	3-30
3.3.2	降雨解析	3-31
3.4	流出・氾濫解析及びラグナ湖水位変動解析	3-41
3.4.1	ラグナ湖の水位変動解析（長期検討）	3-41
3.4.2	気候変動によるラグナ湖水位への影響	3-67
3.4.3	ラグナ湖流域における流出・氾濫解析（短期検討）	3-70
3.5	ラスピナス・パラニャーク地区の流出解析・氾濫解析	3-83
3.5.1	ラスピナス・パラニャーク地区の浸水被害の現状	3-83
3.5.2	流出・氾濫解析モデル作成	3-89
3.5.3	過去の洪水によるモデルの妥当性検証	3-95
3.5.4	確率規模別の流出解析、氾濫解析	3-99
3.5.5	パラニャーク、ラスピニャス地区の洪水対策の検討	3-105
第4章	ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画のフルメニューの検討	4-1
4.1	総合洪水管理計画基本方針	4-1
4.1.1	基本方針	4-1
4.1.2	災害リスクの軽減、災害リスク管理、気候変動への適応を考慮した評価軸の提案	4-1
4.1.3	洪水管理計画のメニュー	4-2
4.1.4	設計基準	4-5
4.2	ナピンダン水路及びマンガハン放水路の拡幅・浚渫の検討	4-6
4.2.1	ナピンダン水路及びマンガハン放水路の現況	4-6
4.2.2	ナピンダン水路及びマンガハン放水路の排水能力の検討	4-9
4.2.3	ロザリオ堰及びナピンダン堰のオペレーションルール（案）の提案	4-17
4.3	パラニャーク放水路の検討	4-19
4.3.1	設計条件	4-19
4.3.2	平面計画	4-21
4.3.3	横断（断面）計画	4-31
4.3.4	縦断計画	4-38
4.3.5	気候変動による影響	4-43
4.3.6	施設概要図	4-44
4.3.7	施工方法の検討	4-50
4.4	パシフィック オーシャン放水路計画	4-51
4.5	湖岸堤システムの検討	4-59
4.5.1	基本方針	4-59
4.5.2	平面、縦横断計画	4-65

4.5.3	バック堤の検討.....	4-70
4.6	ラグナ湖流域における洪水対策の検討.....	4-74
4.6.1	ラグナ湖流域における氾濫解析結果.....	4-75
4.6.2	優先的な洪水（外水）対策が必要とされる流域.....	4-96
4.6.3	優先流域における洪水（外水）対策検討への提言.....	4-97
4.7	非構造物対策の現状の評価、検討及び提案.....	4-97
4.7.1	非構造物対策の現状.....	4-97
4.7.2	非構造物対策の提案.....	4-109
第5章	ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画.....	5-1
5.1	ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画の作成.....	5-1
5.1.1	一次案に基づいた組合せ案の作成.....	5-1
5.1.2	構造物対策組合せ案の評価及び二次案の決定.....	5-2
5.1.3	優先プロジェクトの選定.....	5-5
5.1.4	事業実施スケジュール.....	5-6
5.1.5	概略事業費.....	5-10
5.1.6	経済分析.....	5-21
5.2	事業実施/運営・持管理体制の提案.....	5-25
5.2.1	運営維持管理に関する法令.....	5-25
5.2.2	運営維持管理体制（組織・制度・人材）.....	5-26
5.2.3	財務状況.....	5-32
5.2.4	事業実施/運営維持管理体制の提案.....	5-37
第6章	自然環境・社会環境への影響可能性調査.....	6-1
6.1	対象地域の状況.....	6-1
6.1.1	自然環境.....	6-1
6.1.2	社会環境.....	6-20
6.2	環境社会配慮制度・組織.....	6-32
6.3	パラニャーケ放水路の環境配慮.....	6-45
6.4	その他施設の環境配慮.....	6-53
第7章	パラニャーケ放水路の事業化検討（PRE-F/S）.....	7-1
7.1	地質概要.....	7-1
7.1.1	調査地の地形・地質.....	7-1
7.1.2	ボーリング調査.....	7-2
7.1.3	Valley Fault System の活動性についての資料収集.....	7-14
7.1.4	Valley Fault System が放水路設計・施工に与える影響.....	7-16
7.2	基本設計.....	7-17
7.2.1	設計条件.....	7-17
7.2.2	平面配置計画.....	7-21
7.2.3	縦横断計画.....	7-27
7.2.4	主要施設計画.....	7-30

7.2.5	ゲート、ポンプ施設計画.....	7-57
7.3	下流河道の検討.....	7-68
7.3.1	ルート1 (Lower Bicutum – 南パラニャーケ川).....	7-68
7.3.2	ルート3 (Sucut – ザポテ川).....	7-73
7.3.3	下流河道への影響についての評価 (総括).....	7-80
7.4	パラニャーケ放水路に関する非構造物対策.....	7-81
7.4.1	パラニャーケ放水路の流入側と流出側における水位観測.....	7-81
7.4.2	パラニャーケ放水路の流入側と流出側における警報システム.....	7-81
7.4.3	パラニャーケ放水路の運用に関する情報ネットワークの構築.....	7-81
7.5	施工及び調達計画.....	7-83
7.5.1	施工計画.....	7-83
7.5.2	調達計画.....	7-102
7.6	運営維持管理計画.....	7-104
7.6.1	運営維持管理計画の概要.....	7-104
7.6.2	計測管理.....	7-120
7.6.3	運営維持管理の課題.....	7-120
7.7	概略事業費算出.....	7-123
7.7.1	事業実施スケジュール案の検討.....	7-123
7.7.2	概略事業費.....	7-126
7.8	経済分析と事業の妥当性確認.....	7-137
7.8.1	経済分析.....	7-137
7.8.2	パッシング・マリキナ川治水事業と組み合わせた経済分析.....	7-150
7.8.3	定性的効果.....	7-155
7.9	自然環境・社会環境配慮.....	7-156
7.9.1	対象地域の状況.....	7-156
7.9.2	環境社会配慮制度・組織.....	7-184
7.9.3	自然環境配慮.....	7-185
7.9.4	社会環境配慮.....	7-187
7.9.5	JICA 環境社会配慮ガイドラインに基づくカテゴリー分類及び予備的スコア ピング.....	7-193
第8章	結論および提言.....	8-1
8.1	結論.....	8-1
8.2	提言.....	8-2

表 目 次

表 1.4.1	本調査のスケジュール.....	1-4
表 2.1.1	調査対象域における河川水系とその面積.....	2-4
表 2.1.2	調査対象地域の人口.....	2-5
表 2.1.3	調査地域の市/LGU の数と人口.....	2-5
表 2.1.4	経済状況 (2016)	2-7
表 2.1.5	調査流域の土地利用状況 (2010)	2-9
表 2.1.6	ラグナ湖沿岸の現況土地利用概況.....	2-9
表 2.2.1	ラグナ湖主要 21 流域の現況土地利用概況.....	2-10
表 2.2.2	ラグナ湖の主要既往洪水の特性.....	2-13
表 2.2.3	ラグナ湖洪水対策の歴史.....	2-14
表 2.2.4	過去の被害状況.....	2-14
表 2.2.5	台風オンドイによる洪水被害 (影響地域全体)	2-15
表 2.2.6	台風オンドイによる洪水被害 (NCR)	2-16
表 2.2.7	台風オンドイによる洪水被害 (調査対象域)	2-16
表 2.2.8	各水位における浸水面積と浸水人口.....	2-17
表 2.3.1	実施済みの主要構造物対策.....	2-19
表 2.3.2	実施済みの主要な非構造物対策.....	2-20
表 2.4.1	ラグナ湖における保護区 (Fish Sanctuary) の設定状況.....	2-22
表 2.4.2	ラグナ湖からの取水権数と用途.....	2-23
表 2.4.3	調査地域における既存の取水権数.....	2-25
表 2.5.1	ラグナ湖高速道路堤防事業 (LLEDP) 概要	2-26
表 2.5.2	LRT-1 カビテ延長事業概要.....	2-27
表 2.5.3	上水関連施設建設事業概要.....	2-28
表 2.5.4	南北鉄道事業 (南側路線) 概要.....	2-29
表 2.5.5	マニラ首都圏地下鉄事業情報収集・確認調査の結果概要.....	2-30
表 2.5.6	マニラ-ケソン高速道路事業の特徴	2-31
表 2.5.7	インフラ準備及び革新的施設のための事業 (IPIF)	2-32
表 2.5.8	カラヤン揚水発電所諸元及び特徴.....	2-33
表 3.1.1	雨量観測データの概要.....	3-1
表 3.1.2	雨量観測資料の整備状況 (日雨量)	3-2
表 3.1.3	雨量観測資料の整備状況 (時間雨量)	3-3
表 3.1.4	水位観測資料の整備状況 (パッシング・マリキナ川流域)	3-5
表 3.1.5	Sto.Nino 地点の年最大水位及び推定流量.....	3-7
表 3.1.6	ラグナ湖水位観測データの整備状況.....	3-7
表 3.1.7	ラグナ湖年最大湖水位 (1946 年~2016 年)	3-9
表 3.1.8	年最大湖水位の上位 10 年.....	3-9
表 3.1.9	使用したデータの概要.....	3-11
表 3.1.10	ラグナ湖内における地形データ.....	3-12
表 3.1.11	2016 年の地形データを使用し、算出したラグナ湖 H-A-V.....	3-12
表 3.2.1	既往の治水事業の整理 (マスタープラン)	3-14
表 3.2.2	既往の治水事業の整理 (円借款事業)	3-14
表 3.2.3	パッシング・マリキナ川における既往調査の水文・水理解析モデルの概要.....	3-15
表 3.2.4	DPWH DGCS 2015 で指定されている河川に対する計画規模.....	3-16
表 3.2.5	DPWH DGCS 2015 で指定されている排水に対する計画規模.....	3-16
表 3.2.6	2011 年の覚書 (Memorandum) で示された計画規模	3-16
表 3.2.7	計画規模の設定.....	3-17
表 3.2.8	時間分布と地域分布の設定.....	3-18
表 3.2.9	設定した計画降雨波形.....	3-18

表 3.2.10	収集した潮位データ	3-21
表 3.2.11	マニラ湾付近を通過した主な台風	3-24
表 3.2.12	観測潮位データの補正值	3-26
表 3.2.13	潮位偏差の推定値	3-26
表 3.2.14	確率潮位偏差	3-27
表 3.2.15	計画潮位の設定案	3-28
表 3.3.1	水文統計解析に用いたデータ	3-29
表 3.3.2	確率分布モデル	3-29
表 3.3.3	ラグナ湖における確率水位	3-30
表 3.3.4	ラグナ湖流域の流域諸元	3-31
表 3.3.5	ラグナ湖流域_SB03～SB23 における確率規模別雨量	3-33
表 3.3.6-1	各流域における年最大流域平均雨量 (1/2)	3-34
表 3.3.7	各年におけるティール線分割パターン及び使用した雨量観測所	3-36
表 3.3.8	雨量観測データの整備状況及びティールセン分割パターン	3-38
表 3.3.9	年最大日雨量	3-39
表 3.3.10	年最大流域 平均日雨量	3-40
表 3.4.1	Los Banos における月平均パン蒸発量	3-43
表 3.4.2	設定したパラメーター一覧	3-44
表 3.4.3	河道網モデルの概要	3-45
表 3.4.4	マニラ湾潮位	3-46
表 3.4.5	ラグナ湖水位変動解析 計算ケース一覧	3-47
表 3.4.6	確率規模別ケース	3-47
表 3.4.7	パラニャーケ放水路管路内径 12.0m と 15.0m の場合の水位低下効果	3-51
表 3.4.8	管路内径 12.0m と 15.0m の場合に想定される工事金額	3-52
表 3.4.9	ラグナ湖の水位頻度 (1946 年～2014 年データ)	3-52
表 3.4.10	ケース 4-1 長期予測計算結果 運転開始水位=11.5m	3-54
表 3.4.11	ケース 4-2 長期予測計算結果 運転開始水位=12.0m	3-56
表 3.4.12	ケース 4-3 長期予測計算結果 運転開始水位=12.5m	3-58
表 3.4.13	運転開始水位別の湖水位約 11.5m 以上となる日数への影響	3-60
表 3.4.14	確率規模別ケース (再掲)	3-61
表 3.4.15	確率規模別水位変動における計算条件	3-61
表 3.4.16	確率規模別におけるラグナ湖最高水位の概要 (運転開始水位=12.0m)	3-62
表 3.4.17	気候変動シミュレーションの概要 (PAGASA)	3-67
表 3.4.18	気候変動によるラグナ湖水位影響評価検討ケース	3-67
表 3.4.19	地域気候モデル (RCM) の 3 か月雨量増減率予測結果	3-68
表 3.4.20	対象エリアにおける 3 か月雨量増減率 (面積加重平均より算出)	3-68
表 3.4.21	気候変動による確率規模別のラグナ湖水位変化 (ケース 1)	3-69
表 3.4.22	気候変動を考慮した将来におけるラグナ湖水位の変化 (ケース 2)	3-69
表 3.4.23	RRI モデル検討対象流域	3-70
表 3.4.24	流出・氾濫解析における諸条件	3-73
表 3.4.25	マンシングの粗度係数	3-74
表 3.4.26	流域の状態と粗度係数	3-74
表 3.4.27	浸透にかかる係数	3-74
表 3.4.28	各流域における河川諸元	3-82
表 3.5.1	現地調査結果_Paranaque 川	3-84
表 3.5.2	現地調査結果_San Dionisio 川	3-85
表 3.5.3	現地調査結果_Las Pinas 川	3-86
表 3.5.4	現地調査結果_South Paranaque 周辺	3-87
表 3.5.5	現地調査結果_Dongalo 川	3-88
表 3.5.6	流路長と洪水伝播速度の関係	3-91

表 3.5.7	モデル対象流域及びモデル定数.....	3-91
表 3.5.8	河道モデルで使用した断面データ諸元.....	3-92
表 3.5.9	台風オンドイ時の実績浸水深（ヒアリング結果）と再現計算水位の比較.....	3-97
表 3.5.10	氾濫ボリューム.....	3-103
表 3.5.11	氾濫面積.....	3-104
表 3.5.12	流域面積別の計画規模.....	3-105
表 3.5.13	各河川における計画規模.....	3-105
表 3.5.14	Paranaque 川_河道諸元及び必要堤防天端標高.....	3-111
表 3.5.15	Dongalo 川_河道諸元及び必要堤防天端標高.....	3-112
表 3.5.16	South Paranaque 川_河道諸元及び必要堤防天端標高.....	3-113
表 3.5.17	San Felipe 川_河道諸元及び必要堤防天端標高.....	3-114
表 3.5.18	右支川（名前不明）_河道諸元及び必要堤防天端標高.....	3-114
表 3.5.19	Las Pinas 川_河道諸元及び必要堤防天端標高.....	3-115
表 3.5.20	Zapote 川_河道諸元及び必要堤防天端標高.....	3-116
表 4.1.1	評価軸の提案.....	4-1
表 4.1.2	水位上昇抑制対策メニュー（構造物対策）.....	4-2
表 4.1.3	浸水被害軽減対策メニュー.....	4-4
表 4.1.4	可能性のある洪水管理計画メニュー（一次案）.....	4-5
表 4.1.5	フィリピンの河川事業において適用される主な基準.....	4-5
表 4.1.6	フィリピンの河川事業において適用が想定される日本の基準.....	4-5
表 4.2.1	ナピンダン水路の河道諸元（2002年測量）.....	4-6
表 4.2.2	ナピンダン水路及びマンガハン放水路改修の検討ケース一覧.....	4-10
表 4.2.3	ナピンダン水路及びマンガハン放水路改修の検討結果 総括表.....	4-17
表 4.2.4	ロザリオ堰及びナピンダン堰 現行オペレーションルール.....	4-18
表 4.3.1	パラニャーケ放水路の方式検討表.....	4-19
表 4.3.2	取水施設位置の比較表.....	4-22
表 4.3.3	マニラ湾への放流方式.....	4-23
表 4.3.4	排水施設位置の比較表.....	4-24
表 4.3.5	放水路基本ルート案の選定比較表（1/2）.....	4-27
表 4.3.6	パラニャーケ放水路の流量制御比較表.....	4-32
表 4.3.7	DPWHの基準における粗度係数.....	4-32
表 4.3.8	粗度係数を $n=0.015$ 以下としているトンネル河川の事例.....	4-33
表 4.3.9	計画高水位（EL+14.0m）の放流量.....	4-36
表 4.3.10	事前操作開始水位（EL+12.0m）の放流量.....	4-37
表 4.3.11	圧力管方式の河川トンネル勾配.....	4-39
表 4.3.12	パラニャーケ放水路の縦断方向比較表.....	4-39
表 4.3.13	勾配による放水路内部の水理諸元（ $Q=200\text{m}^3/\text{s}$ ）.....	4-40
表 4.3.14	10%流量における水理諸元（ $Q=20\text{m}^3/\text{s}$ ）.....	4-41
表 4.3.15	20%流量における水理諸元（ $Q=40\text{m}^3/\text{s}$ ）.....	4-42
表 4.3.16	海面上昇への対応アプローチ.....	4-43
表 4.3.17	海面 30 cm 上昇時における計画高水位（EL+14.0m）の放流量.....	4-43
表 4.3.18	海面 30 cm 上昇時における事前操作開始水位（EL+12.0m）の放流量.....	4-44
表 4.3.19	シールド工法と NATM の概要と特徴.....	4-50
表 4.4.1	パシフィック オーシャン放水路圧力管方式の放流量.....	4-53
表 4.4.2	パシフィック オーシャン放水路開水路方式 $Q_d=260\text{m}^3/\text{s}$ の水理諸元.....	4-54
表 4.4.3	パシフィック オーシャン放水路開水路方式 $Q_d=200\text{m}^3/\text{s}$ の水理諸元.....	4-55
表 4.4.4	開水路 2 基 $Q_d=130\text{m}^3/\text{s}$ 及び $100\text{m}^3/\text{s}$ の水理諸元.....	4-56
表 4.4.5	開水路 3 基 $Q_d=87\text{m}^3/\text{s}$ 及び $67\text{m}^3/\text{s}$ の水理諸元.....	4-57
表 4.4.6	開水路函渠 $Q_d=260\text{m}^3/\text{s}$ 及び $200\text{m}^3/\text{s}$ の水理諸元.....	4-58
表 4.4.7	開水路函渠 3 連 $Q_d=87\text{m}^3/\text{s}$ 及び $67\text{m}^3/\text{s}$ の水理諸元.....	4-58

表 4.5.1	湖岸堤システムの配置優先地域の評価.....	4-61
表 4.5.2	湖岸堤システムの実施計画	4-62
表 4.5.3	湖岸堤システムの優先順位	4-63
表 4.5.4	堤防の計画高水流量と所要余裕高	4-65
表 4.5.5	堤防の天端幅	4-65
表 4.5.6	湖岸堤延長（ラグナ湖計画最高水位 14.3 m）	4-66
表 4.5.7	湖岸堤延長（ラグナ湖計画最高水位 14.0 m）	4-67
表 4.5.8	排水機場及びゲート施設規模（1/2）	4-69
表 4.5.9	排水機場及びゲート施設規模（2/2）	4-69
表 4.5.10	湖岸堤システム建設に伴う新設橋梁数量	4-70
表 4.5.11	バック堤改修内容（ラグナ湖計画最高水位 14.3m）	4-72
表 4.5.12	バック堤改修内容（ラグナ湖計画最高水位 14.0m）	4-72
表 4.5.13	バック堤建設に伴うその他の数量	4-73
表 4.6.1	ラグナ湖地域における流出・氾濫解析の諸条件.....	4-74
表 4.6.2	Angono 流域（SB-03）諸元	4-75
表 4.6.3	Morong 流域（SB-04）諸元	4-76
表 4.6.4	Baras 流域（SB-05）諸元	4-77
表 4.6.5	Tanay 流域（SB-06）諸元	4-78
表 4.6.6	Pillila 流域（SB-07）諸元.....	4-79
表 4.6.7	Jala-jala 流域（SB-08）諸元.....	4-80
表 4.6.8	Sta.Maria 流域（SB-09）諸元.....	4-81
表 4.6.9	Siniloan 流域（SB-10）諸元.....	4-82
表 4.6.10	Pangil 流域（SB-11）諸元.....	4-83
表 4.6.11	Pagsanjan 流域（SB-13）諸元	4-84
表 4.6.12	Sta.Cruz 流域（SB-14）諸元	4-85
表 4.6.13	Pila 流域（SB-15）諸元.....	4-86
表 4.6.14	Calauan 流域（SB-16）諸元	4-87
表 4.6.15	Los Banos 域（SB-17）諸元	4-88
表 4.6.16	SanJuan 流域（SB-18）諸元.....	4-89
表 4.6.17	San Cristobal 流域（SB-19）諸元.....	4-90
表 4.6.18	Sta.Rosa 流域（SB-20）諸元	4-91
表 4.6.19	Binan 流域（SB-21）諸元.....	4-92
表 4.6.20	San Pedro 流域（SB-22）諸元.....	4-93
表 4.6.21	Muntinlupa 流域（SB-23）諸元.....	4-94
表 4.6.22	規模別浸水面積及び浸水被害人口	4-96
表 4.7.1	ラグナ湖岸における土地利用管理に関する自治体へのヒアリング結果.....	4-101
表 4.7.2	ラグナ湖沿岸低平地の土地利用管理を中心とする非構造物対策に関する提案.....	4-110
表 5.1.1	洪水管理計画メニュー（一次案）	5-1
表 5.1.2	洪水管理計画メニューの組合せ案	5-1
表 5.1.3	洪水管理計画構造物対策組合せ案の評価.....	5-2
表 5.1.4	優先プロジェクトのコンポーネント（非構造物対策）	5-5
表 5.1.5	ラグナ湖総合洪水管理計画事業の実施工程案.....	5-6
表 5.1.6	本体事業費積算方針	5-10
表 5.1.7	概略事業費算出条件	5-10
表 5.1.8	概略事業費(オプション 1).....	5-11
表 5.1.9	概略事業費(オプション 2).....	5-12
表 5.1.10	概略事業費(オプション 3).....	5-12
表 5.1.11	概略事業費(オプション 4).....	5-12
表 5.1.12	支払いスケジュール(オプション 1 本体事業費内訳).....	5-13
表 5.1.13	支払いスケジュール(オプション 1).....	5-14

表 5.1.14	支払いスケジュール(オプション 2 本体事業費内訳)	5-15
表 5.1.15	支払いスケジュール(オプション 2)	5-16
表 5.1.16	支払いスケジュール(オプション 3 本体事業費内訳)	5-17
表 5.1.17	支払いスケジュール(オプション 3)	5-18
表 5.1.18	支払いスケジュール(オプション 4 本体事業費内訳)	5-19
表 5.1.19	支払いスケジュール(オプション 4)	5-20
表 5.1.20	ラグナ湖の総合洪水管理に関わる維持管理費用	5-21
表 5.1.21	経済費用と経済便益	5-21
表 5.1.22	家屋資産被害算出のための指標とデータ元	5-22
表 5.1.23	事業所資産被害算出のための指標とデータ元	5-22
表 5.1.24	農作物被害算出のための指標とデータ元	5-22
表 5.1.25	営業停止被害算出のための指標とデータ元	5-23
表 5.1.26	VOC 法試算のための指標とデータ元	5-23
表 5.1.27	VOT 法試算のための指標とデータ元	5-23
表 5.1.28	土地価格上昇計算のための指標とデータ元	5-24
表 5.1.29	ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画の経済性評価	5-24
表 5.2.1	ラグナ湖の総合洪水管理に関わる組織と役割	5-26
表 5.2.2	DPWH の要員構成 (June 30, 2017)	5-28
表 5.2.3	LGU のスタッフ数	5-32
表 5.2.4	DPWH の年間維持管理予算	5-33
表 5.2.5	借款事業で完成した洪水事業の維持管理特別予算	5-34
表 5.2.6	MMDA-FCSMO の過去の予算実績 (2012-2016)	5-34
表 5.2.7	MMDA 既存排水機場の過去の予算実績 (2014-2017)	5-35
表 5.2.8	対象地域内の地方政府の支出・収入実績 (2013-2016)	5-36
表 5.2.9	ラグナ湖の総合洪水管理に関わる事業実施/運営維持管理体制の提案	5-37
表 6.1.1	ラグナ湖生態系健全度 (2013)	6-2
表 6.1.2	環境天然資源省によるマニラ湾の水質 (2016, 2017 上半期)	6-4
表 6.1.3	ラグナ湖開発庁によるラグナ湖の水質 (2016, 2017 第 1 四半期)	6-5
表 6.1.4	フィリピンの動植物種及び固有種の数	6-7
表 6.1.5	フィリピン内法に基づく保護種数 (動物)	6-8
表 6.1.6	フィリピン内法に基づく保護種数 (植物)	6-8
表 6.1.7	調査地域における土地被覆の状況	6-9
表 6.1.8	国家統合保護地域システム法による保護区の区分	6-11
表 6.1.9	調査地域及び周辺にある保護区及び生物多様性区域	6-11
表 6.1.10	大気質に関する 2 次データ (TSP の年平均値)	6-14
表 6.1.11	大気質に関する 2 次データ (PM10 の年平均値)	6-15
表 6.1.12	大気質に関する 2 次データ (PM2.5 の年平均値)	6-15
表 6.1.13	大気質に関する 2 次データ (SO ₂ , NO ₂ 及び O ₃)	6-15
表 6.1.14	大気質に関する 2 次データ (LLED プロジェクト)	6-17
表 6.1.15	環境騒音に関する 2 次データ (LLED プロジェクト)	6-17
表 6.1.16	固形廃棄物処分場及び再生利用施設の施設数 (2012)	6-19
表 6.1.17	ラグナ州、リサール州の廃棄物管理等の現状 (アンケート調査結果)	6-20
表 6.1.18	調査区域における LGU 別人口・世帯数 (2015 年)	6-21
表 6.1.19	調査地域における土地利用及び施設・構造物の立地状況	6-22
表 6.1.20	マニラ湾地域における ISF の確認数 (2014)	6-23
表 6.1.21	調査地域における ISF の移転実績 (2017 年 2 月時点)	6-24
表 6.1.22	NCR における ISF の移転実績 (2017 年 2 月時点)	6-24
表 6.1.23	Rigion 4A における ISF の移転実績 (2017 年 2 月時点)	6-25
表 6.1.24	フィリピンにおける世界文化遺産	6-28
表 6.1.25	調査区域における歴史・文化遺産 (登録文化財) の登録件数	6-29

表 6.1.26	調査区域における歴史・文化遺産（登録文化財）一覧	6-29
表 6.2.1	環境に重大な影響を及ぼす恐れのあるプロジェクト	6-33
表 6.2.2	環境上重要な区域	6-33
表 6.2.3	ラグナ湖開発庁によるラグナ湖の水質（2016, 2017 第1四半期）	6-41
表 6.2.4	大気質環境基準	6-42
表 6.2.5	騒音の環境基準	6-43
表 6.2.6	水質環境基準（淡水）	6-43
表 6.2.7	水質環境基準（海水）	6-44
表 6.3.1	取水施設建設候補地の状況、影響可能性及び配慮事項	6-45
表 6.3.2	排水施設建設候補地の状況、影響可能性及び配慮事項	6-47
表 6.3.3	放水路建設候補地の状況、影響可能性及び配慮事項	6-49
表 6.3.4	放水路建設工事及び使用する資機材の概要	6-50
表 6.3.5	放水路建設に伴う環境影響と配慮事項	6-51
表 6.3.6	放水路建設工事における掘削残土搬出に伴う発生交通	6-52
表 6.4.1	湖岸堤建設に伴う用地取得、被影響建物、及び補償費の試算結果	6-55
表 6.4.2	バック堤建設に伴う用地取得、被影響建物、及び補償費の試算結果	6-56
表 6.4.3	排水施設の建設に必要な用地取得費の試算結果	6-57
表 6.4.4	建設工事及び使用する資機材の概要	6-57
表 6.4.5	建設工事に伴う環境影響（公害）と配慮事項	6-58
表 6.4.6	湖岸堤建設工事における盛土材搬入及び発生交通の推定	6-59
表 6.4.7	ラグナ湖の水利用・経済活動への影響と配慮事項	6-59
表 6.4.8	その他の影響の可能性と配慮事項	6-60
表 7.1.1	原位置試験数量一覧	7-3
表 7.1.2	室内試験数量一覧	7-3
表 7.1.3	調査地域の地層	7-4
表 7.1.4	室内試験結果概要（BH-01～BH-03、砂質土及び粘性土）	7-10
表 7.1.5	室内試験結果概要（BH-04～BH-06、砂質土及び粘性土）	7-11
表 7.1.6	室内試験結果概要（BH-01～BH-04、岩）	7-12
表 7.1.7	室内試験結果概要（BH-05～BH-06、岩）	7-13
表 7.2.1	West Valley 断層でのトンネル対策工法比較選定表	7-19
表 7.2.2	パラニャーケ放水路に関連する地下鉄・鉄道関係事業の調査結果	7-20
表 7.2.3	パラニャーケ放水路の取水施設位置比較選定表	7-22
表 7.2.4	パラニャーケ放水路の排水施設位置比較選定表	7-23
表 7.2.5	パラニャーケ放水路線形計画の比較選定表	7-26
表 7.2.6	NATM の内空断面の比較選定表	7-28
表 7.2.7	シールド工法の場合の縦断計画	7-29
表 7.2.8	NATM の場合の縦断計画	7-30
表 7.2.9	圧力管方式の河川トンネルの立坑諸元	7-30
表 7.2.10	人工水路のマニングの粗度係数（定常流）	7-37
表 7.2.11	ケース 1（EL. 10.5 m） $Q = 130 \text{ m}^3/\text{s}$ 及び $200 \text{ m}^3/\text{s}$ の水理諸元	7-37
表 7.2.12	ケース 2（EL. 10.0 m） $Q = 130 \text{ m}^3/\text{s}$ 及び $200 \text{ m}^3/\text{s}$ の水理諸元	7-38
表 7.2.13	設計流量 $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合の開水路の水理諸元	7-39
表 7.2.14	コンクリート構造物用可とう継手の諸元比較表	7-42
表 7.2.15	河川トンネルの越流堤諸元	7-42
表 7.2.16	開水路案（EL. 12.0 m）の水理諸元	7-44
表 7.2.17	開水路案（EL. 14.0 m）の水理諸元	7-44
表 7.2.18	流入部開水路案における接続水路の比較選定表	7-46
表 7.2.19	接続水路幅 35 m 案 $130 \text{ m}^3/\text{s}$ の不等流計算	7-47
表 7.2.20	接続水路幅 35 m 案 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ の不等流計算	7-47
表 7.2.21	接続水路幅 46 m 案 $130 \text{ m}^3/\text{s}$ の不等流計算	7-48

表 7.2.22	接続水路幅 46 m 案 200 m ³ /s の不等流計算	7-48
表 7.2.23	平均干潮位(EL. 10.0 m)における排水施設の不等流計算	7-51
表 7.2.24	平均潮位(EL. 10.5 m)における排水施設の不等流計算	7-51
表 7.2.25	平均満潮位(EL. 11.0 m)における排水施設の不等流計算	7-52
表 7.2.26	懸濁水ポンプ型式比較	7-59
表 7.2.27	所内排水ポンプ型式比較	7-60
表 7.2.28	主排水ポンプ型式比較	7-62
表 7.3.1	ルート 1 による南パラニャーケ川水位変化 (排水施設位置: SP.1+800)	7-68
表 7.3.2	South Paranaue 川における水位・流量諸元	7-72
表 7.3.3	ルート 3 によるザポテ川水位変化 (排水施設位置: ZA.0 +100)	7-73
表 7.3.4	Zapote 川における水位・流量諸元	7-79
表 7.3.5	パラニャーケ放水路の排水による下流河道への影響	7-80
表 7.5.1	計画条件	7-83
表 7.5.2	シールド工法施工手順	7-85
表 7.5.3	工法概要	7-87
表 7.5.4	計画条件	7-88
表 7.5.5	配置設備寸法設定根拠	7-89
表 7.5.6	トンネル工法別立坑深度内訳	7-91
表 7.5.7	立坑の平面形状の特性比較	7-92
表 7.5.8	立坑施工方法比較表	7-97
表 7.5.9	開水路工における使用建設機械	7-99
表 7.5.10	パラニャーケ放水路建設に伴う発生残土量	7-100
表 7.5.11	海外調達が必要な項目	7-103
表 7.6.1	パラニャーケ放水路運用シミュレーション結果	7-106
表 7.6.2	MMDA 既存排水機場の過去の予算実績 (2014~2017)	7-108
表 7.6.3	日本のトンネル河川の運営維持管理に関わる基本諸元	7-109
表 7.6.4	日本のトンネル河川の維持管理費用	7-110
表 7.6.5	パラニャーケ放水路の運営維持管理対象施設	7-110
表 7.6.6	排水施設 (地下トンネル放水路) の洪水時の運営維持管理項目	7-112
表 7.6.7	排水施設 (地下トンネル放水路) の洪水時の運営維持管理項目	7-113
表 7.6.8	排水ポンプの必要排水能力	7-115
表 7.6.9	日本の費用関数による排水機場の維持管理費 (参考)	7-116
表 7.6.10	MMDA 西マンガハン地区排水機場の運用実績 (2014 年から 2016 年の平均)	7-117
表 7.6.11	既存の排水機場の実績にもとづく排水機場の運営維持管理費	7-117
表 7.6.12	運用後の地下トンネル内の堆積土砂量、土砂撤去・清掃費用の推定	7-119
表 7.6.13	パラニャーケ放水路に関わる維持管理費用	7-120
表 7.7.1	概略事業費算出条件	7-126
表 7.7.2	概略事業費 (オプション 1)	7-127
表 7.7.3	概略事業費 (オプション 2)	7-127
表 7.7.4	概略事業費 (オプション 3)	7-128
表 7.7.5	概略事業費 (オプション 4)	7-128
表 7.7.6	支払いスケジュール (オプション 1 本体事業費内訳)	7-129
表 7.7.7	支払いスケジュール (オプション 1)	7-130
表 7.7.8	支払いスケジュール (オプション 2 本体事業費内訳)	7-131
表 7.7.9	支払いスケジュール (オプション 2)	7-132
表 7.7.10	支払いスケジュール (オプション 3 本体事業費内訳)	7-133
表 7.7.11	支払いスケジュール (オプション 3)	7-134
表 7.7.12	支払いスケジュール (オプション 4 本体事業費内訳)	7-135
表 7.7.13	支払いスケジュール (オプション 4)	7-136
表 7.8.1	経済費用と経済便益	7-137

表 7.8.2	各オプションの財務費用と経済費用	7-138
表 7.8.3	各オプションの維持管理費用（経済費用）	7-138
表 7.8.4	家屋の平均資産価値	7-140
表 7.8.5	家屋・家庭用品の被害率	7-140
表 7.8.6	分野別事業所の平均資産価値	7-141
表 7.8.7	事業者の被害率	7-141
表 7.8.8	Without Project ケースの営業停止期間	7-143
表 7.8.9	With Project ケースの営業停止期間	7-144
表 7.8.10	事業実施による営業停止期間の短縮	7-144
表 7.8.11	分野別事業所の1日当たり平均付加価値	7-144
表 7.8.12	年平均被害削減便益の計算表（Taytay 市の事例）	7-145
表 7.8.13	年平均被害削減便益の計算表（Lumban 市の事例）	7-145
表 7.8.14	年平均被害削減便益の計算表（全 31LGU）	7-145
表 7.8.15	LGU 毎の年平均被害軽減額の構成	7-146
表 7.8.16	パラニャーケ放水路の各オプションの経済分析結果	7-148
表 7.8.17	感度分析による各ケースの値	7-149
表 7.8.18	パッシング・マリキナ川及びラグナ湖事業の経済分析結果総括	7-151
表 7.8.19	パッシング・マリキナ川及びラグナ湖事業の経済分析（1/3）	7-152
表 7.8.20	パッシング・マリキナ川及びラグナ湖事業の経済分析（2/3）	7-153
表 7.8.21	パッシング・マリキナ川及びラグナ湖事業の経済分析（2/3）	7-154
表 7.9.1	取水施設－開水路建設候補地周辺の状況	7-158
表 7.9.2	排水施設建設候補地周辺の状況	7-160
表 7.9.3	取水施設及び開水路建設候補地における不法居住者（ISF）の状況	7-163
表 7.9.4	排水施設建設候補地周辺における不法居住者（ISF）の状況	7-164
表 7.9.5	放水路建設候補地周辺 500m の区域における既存の取水権数	7-165
表 7.9.6	マニラ湾沖合観測所の 2014 年観測結果	7-169
表 7.9.7	マニラ湾沖合の水質観測結果	7-169
表 7.9.8	マニラ湾沿岸部の水質（2013 年～2017 年）	7-171
表 7.9.9	ラグナ湖の水質	7-174
表 7.9.10	マニラ湾沖の水質とラグナ湖の水質の比較	7-176
表 7.9.11	マニラ湾沿岸部の水質とラグナ湖の水質の比較	7-176
表 7.9.12	LPPCHEA 内の植生一覧	7-181
表 7.9.13	LPPCHEA 周辺の大型無脊椎動物一覧	7-182
表 7.9.14	LPPCHEA で見られる鳥類一覧	7-183
表 7.9.15	PEISS に基づく洪水防御プロジェクトに係るスクリーニング	7-184
表 7.9.16	取水施設建設に伴う主な環境社会影響と配慮事項	7-188
表 7.9.17	開水路の建設に伴う主な環境社会影響と配慮事項	7-189
表 7.9.18	開水路等の建設に伴う用地取得、被影響建物及び補償費の試算結果	7-190
表 7.9.19	地下放水路の建設に伴う環境社会影響及び配慮事項	7-190
表 7.9.20	排水施設建設に伴う環境社会影響及び配慮事項	7-191
表 7.9.21	掘削残土の発生・処分に伴う環境社会影響及び配慮事項	7-192
表 7.9.22	プロジェクト施設の建設工事中の環境社会影響及び配慮事項（留意点）	7-192
表 7.9.23	予備的スコーピング及び F/S 段階における調査・検討内容の確認	7-194

目 次

図 2.1.1 PAGASA による気候区分..... 2-1

図 2.1.2 調査対象域地形図..... 2-2

図 2.1.3 調査対象域地質図..... 2-3

図 2.1.4 露岩の露頭（タギグ市南部、ジェネラスサントス道路沿い） 2-4

図 2.1.5 調査対象域における河川水系..... 2-4

図 2.1.6 ラグナ湖に接する LGU 位置図..... 2-6

図 2.1.7 土地利用状況 2-8

図 2.2.1 ラグナ湖の主要 21 流域..... 2-11

図 2.2.2 ラグナ湖・マリキナ川・マンガハン放水路・ナピンダン水路・パッシング川の
水理システム 2-12

図 2.2.3 ラグナ湖の年最高湖水位..... 2-13

図 2.2.4 ラグナ湖の洪水水位（1972 年、1978 年、1988 年、2009 年、2012 年） 2-13

図 2.2.5 ラグナ湖沿岸地域と洪水時浸水想定エリア（12.5m, 14.5m の等高線） 2-17

図 2.2.6 ラグナ湖沿岸地域の洪水時浸水想定面積と人口 2-17

図 2.3.1 既往の洪水対策事業位置図..... 2-18

図 2.4.1 Zoning and Management Plan (ZOMAP)（1999 年時点） 2-22

図 2.4.2 Calamba 市が設定した保護区（Fish Sanctuary）の状況..... 2-23

図 2.5.1 LLEDP の位置及び線形計画 2-26

図 2.5.2 LRT-1 路線延長計画位置図..... 2-27

図 2.5.3 南側路線計画図..... 2-28

図 2.5.4 鉄道改修計画 2-29

図 2.5.5 地下鉄ゾーン区分図..... 2-30

図 2.5.6 マニラ-ケソン高速道路事業位置図 2-30

図 2.5.7 CBK 発電所位置図 2-33

図 3.1.1 雨量観測地点 3-4

図 3.1.2 水位観測地点 3-6

図 3.1.3 Sto.Nino 地点における HQ 曲線..... 3-7

図 3.1.4 ラグナ湖水位観測位置図..... 3-8

図 3.1.5 年最大湖水位の経年変化..... 3-8

図 3.1.6 過去の主要洪水時の等雨量線..... 3-10

図 3.1.7 ラグナ湖年最大水位と流域平均雨量の相関..... 3-11

図 3.1.8 DPWH Datum、LLDA Datum と Mean Sea Level 等の関係 3-12

図 3.1.9 Laguna de Bay Map 1997, LLDA 3-13

図 3.1.10 Laguna de Bay Map 2016, NAMRIA 3-13

図 3.2.1 流量配分の変遷..... 3-15

図 3.2.2 計画降雨波形（実績波形引き延ばし、モデル降雨波形引き延ばし） 3-18

図 3.2.3 ラグナ湖年最大水位の経年変化（1946 年～2016 年） 3-19

図 3.2.4 ラグナ湖水位変化（2009 年、2012 年） 3-19

図 3.2.5 計画潮位及び海岸堤防高の設計方法（日本） 3-20

図 3.2.6 偏差の推定方法（左）と朔望（右） 3-20

図 3.2.7 パラニャーケ川、ザポテ川、イムス川の河口とサウスハーバーの位置関係 3-21

図 3.2.8 イムス川河口水位とマニラサウスハーバーの観測潮位の比較..... 3-22

図 3.2.9 月最高／最低潮位（マニラサウスハーバー） 3-22

図 3.2.10 朔望満潮位（マニラサウスハーバー 2012-2016） 3-22

図 3.2.11 台風に寄る高潮の構造..... 3-23

図 3.2.12 台風 Pedring（2011 年）と Glenda（2014 年）の経路 3-24

図 3.2.13 台風による潮位偏差の発生状況..... 3-25

図 3.2.14 確率密度関数とデータプロット及びヒストグラム..... 3-27

図 3.3.1	確率水位算定結果__ラグナ湖	3-30
図 3.3.2	ラグナ湖流域における流域界	3-32
図 3.3.3	ラスピナス・パラニャーケ地区周辺の雨量観測所位置.....	3-37
図 3.3.4	NAIA 地点と流域平均雨量 (BMR) の相関.....	3-39
図 3.3.5	確率雨量の算定結果	3-40
図 3.4.1	2009 年及び 2012 年のラグナ湖水位変動.....	3-41
図 3.4.2	水文・水理解析モデル構築の手順	3-42
図 3.4.3	水文・水理解析モデルの概念図	3-43
図 3.4.4	NAM モデルの概要及びパラメータ説明	3-44
図 3.4.5	不定流の概念	3-45
図 3.4.6	ロザリオ堰正面図	3-46
図 3.4.7	ナピンダン堰正面図	3-46
図 3.4.8	ケース 1 2009 年におけるラグナ湖水位変動 (観測値及び計算値)	3-48
図 3.4.9	ケース 2 2012 年におけるラグナ湖水位変動 (観測値及び計算値)	3-48
図 3.4.10	ケース 3 長期再現計算結果 (2002 年～2012 年) ラグナ湖水位変動	3-50
図 3.4.11	パラニャーケ放水路管路内径 12.0m と 15.0m の場合の水位低下効果.....	3-51
図 3.4.12	ラグナ湖の水位変動と運転開始水位の関係 (1946 年～2014 年データ)	3-53
図 3.4.13	ケース 4-1 長期予測計算結果 (2002 年～2012 年) 運転開始水位=11.5m.....	3-55
図 3.4.14	ケース 4-2 長期予測計算結果 (2002 年～2012 年) 運転開始水位=12.0m.....	3-57
図 3.4.15	ケース 4-3 長期予測計算結果 (2002 年～2012 年) 運転開始水位=12.5m.....	3-59
図 3.4.16	運転開始水位別の湖水位約 11.5m 以上となる日数の減少.....	3-60
図 3.4.17-1	100 年確率 水位変動解析結果 (1/8)	3-63
図 3.4.18	ラグナ湖水位変化 ケース 1 及びケース 2 (100 年確率規模)	3-68
図 3.4.19	気候変動による確率規模別のラグナ湖水位変化 (ケース 1)	3-69
図 3.4.20	カラヤン揚水発電所の概要	3-70
図 3.4.21	ラグナ湖流域における流出・氾濫解析検討範囲.....	3-71
図 3.4.22	RRI モデルを用いた流出・氾濫解析の概念図	3-73
図 3.4.23	ラグナ湖流域における地形状況	3-75
図 3.4.24	RRI モデルで設定した河道ライン	3-76
図 3.4.25	計画降雨波形 サンプル SB-03 100 年の計画降雨波形.....	3-77
図 3.4.26	2009 年台風オンドイ時の浸水状況 (ヒアリング調査結果より浸水エリア作成)	3-77
図 3.4.27	50 年確率規模 浸水想定エリア	3-78
図 3.4.28	25 年確率規模 浸水想定エリア.....	3-79
図 3.4.29	15 年確率規模 浸水想定エリア.....	3-80
図 3.4.30	ラグナ湖流域における河川位置	3-81
図 3.5.1	現地調査地点位置図__Paranaque 川.....	3-84
図 3.5.2	現地調査地点位置図__San Dionisio 川.....	3-85
図 3.5.3	現地調査地点位置図__Las Pinas 川.....	3-86
図 3.5.4	現地調査地点位置図__South Paranaque、San Felipe 周辺	3-87
図 3.5.5	現地調査地点位置図__Dongalo 川	3-88
図 3.5.6	ラスピナス・パラニャーケ地区における河川ネットワーク	3-89
図 3.5.7	ラスピナス・パラニャーケ地区における流域分割図.....	3-90
図 3.5.8	ラスピナス・パラニャーケ地区における解析モデル概念図.....	3-92
図 3.5.9	河道モデル__断面位置図	3-93
図 3.5.10	パラニャーケ、ラスピニャス地区の標高分布図.....	3-94
図 3.5.11	Science Garden 地点における時間雨量観測結果 (2009 年 9 月 26 日)	3-95
図 3.5.12	流域平均雨量と Port Area 地点の日雨量との関係	3-96
図 3.5.13	台風オンドイの再現計算で用いた降雨波形.....	3-96
図 3.5.14	台風オンドイ時の氾濫解析結果 (2009 年 9 月 26 日) 最大浸水深図	3-97

図 3.5.15	Zapote 川_水位観測記録データ	3-98
図 3.5.16	Zapote 川水位観測位置付近の横断面	3-98
図 3.5.17	計画規模別の降雨波形	3-99
図 3.5.18	確率別の最大浸水深図 (1/2~1/5)	3-100
図 3.5.19	確率別の最大浸水深図 (1/10~1/15)	3-101
図 3.5.20	確率別の最大浸水深図 (1/25~1/50)	3-102
図 3.5.21	確率別の最大浸水深図 (1/100)	3-103
図 3.5.22	流域図	3-105
図 3.5.23	(1) Paranaque 川_現況流下能力	3-106
図 4.2.1	ナピンダン水路 現況縦断面図 (上図) 水路幅 (下図)	4-7
図 4.2.2	ナピンダン水路 2002 年測量断面位置	4-7
図 4.2.3	マリキナ川上流域の衛星画像比較 (上段: 1988 年、下段: 2016 年)	4-8
図 4.2.4	マンガハン放水路 河床縦断面変化図	4-9
図 4.2.5	マンガハン放水路沿いの不法居住者 (ISFs) の分布状況	4-9
図 4.2.6	ナピンダン水路 河床 6.0m まで掘削案 (ケース 1)	4-10
図 4.2.7	ナピンダン水路 150m 水路拡幅案 (ケース 2-1)	4-10
図 4.2.8	ナピンダン水路及びマンガハン放水路 現況 (ケース 0) の結果	4-11
図 4.2.9	ナピンダン水路 河床 6m 掘削案 (ケース 1) の結果	4-12
図 4.2.10	ナピンダン水路 150m 河道拡幅案 (ケース 2-1) の結果	4-13
図 4.2.11	ナピンダン水路 250m 河道拡幅案 (ケース 2-2) の結果	4-14
図 4.2.12	マンガハン放水路 浚渫案 (ケース 3) の結果	4-15
図 4.2.13	マンガハン放水路水位縦断面図 (現況断面、1988 年施工断面での水位変化)	4-15
図 4.2.14	ナピンダン水路及びマンガハン放水路浚渫案 (ケース 4) の結果	4-16
図 4.2.15	ラグナ湖水位とマンガハン放水路流量の関係	4-18
図 4.3.1	地下河川の分類	4-19
図 4.3.2	施設位置の比較検討に用いた案	4-21
図 4.3.3	パラニャーケ・ラスピーニャス水系 計画流量配分図 (30 年確率)	4-24
図 4.3.4	管理用通路幅	4-35
図 4.3.5	パラニャーケ放水路の計画横断面図	4-38
図 4.3.6	ザポテ川の河川改修標準断面図	4-45
図 4.3.7	五反田川放水路放流渠の水理模型実験結果	4-45
図 4.3.8	放水路及び取水・排水立坑計画図	4-46
図 4.3.9	取水施設計画平面図	4-47
図 4.3.10	取水施設計画断面図	4-48
図 4.3.11	排水施設計画平面図	4-49
図 4.3.12	排水施設計画断面図	4-49
図 4.4.1	パシフィック オーシャン放水路のルート案と距離	4-51
図 4.5.1	31 の LGU と湖岸堤の位置関係	4-60
図 4.5.2	湖岸堤システム配置案 (優先地区)	4-64
図 4.5.3	湖岸堤設計及び河川改修設計における水位と構造物標高の関係	4-64
図 4.5.4	湖岸堤標準断面 (計画最高水位 14.3m)	4-68
図 4.5.5	湖岸堤標準断面 (計画最高水位 14.0m)	4-68
図 4.5.6	湖岸堤システムの排水機場配置案 (優先地区)	4-70
図 4.5.7	バック堤対象位置図 (ラグナ湖計画最高水位 14.3m 及び 14.0m)	4-71
図 4.5.8	バック堤標準断面図	4-73
図 4.6.1	ラグナ湖流域における洪水 (外水) 対策の考え方	4-74
図 4.6.2	氾濫現象 (外水氾濫、内水氾濫) の概念図	4-74
図 4.6.3	25 年確率規模における浸水エリア SB-03 Angono	4-75
図 4.6.4	50 年確率規模における浸水エリア SB-04 Morong	4-76
図 4.6.5	25 年確率規模における浸水エリア SB-05 Baras	4-77

図 4.6.6	25年確率規模における浸水エリア SB-06 Tanay.....	4-78
図 4.6.7	25年確率規模における浸水エリア SB-07 Pillila.....	4-79
図 4.6.8	25年確率規模における浸水エリア SB-08 Jala-jala.....	4-80
図 4.6.9	50年確率規模における浸水エリア SB-09 Sta.Maria.....	4-81
図 4.6.10	25年確率規模における浸水エリア SB-10 Siniloan.....	4-82
図 4.6.11	25年確率規模における浸水エリア SB-11 Pangil.....	4-83
図 4.6.12	50年確率規模における浸水エリア SB-13 Pagsanjan.....	4-84
図 4.6.13	50年確率規模における浸水エリア SB-14 Sta.Cruz.....	4-85
図 4.6.14	25年確率規模における浸水エリア SB-15 Pila.....	4-86
図 4.6.15	50年確率規模における浸水エリア SB-16 Calauan.....	4-87
図 4.6.16	25年確率規模における浸水エリア SB-17 Los Banos.....	4-88
図 4.6.17	50年確率規模における浸水エリア SB-18 San Juan.....	4-89
図 4.6.18	50年確率規模における浸水エリア SB-19 San Cristobal.....	4-90
図 4.6.19	50年確率規模における浸水エリア SB-20 Sta.Rosa.....	4-91
図 4.6.20	50年確率規模における浸水エリア SB-21 Binan.....	4-92
図 4.6.21	25年確率規模における浸水エリア SB-22 San Pedro.....	4-93
図 4.6.22	25年確率規模における浸水エリア SB23 Muntinlupa.....	4-94
図 4.6.23	25年確率規模における浸水エリア SB23 Muntinlupa.....	4-95
図 4.6.24	確率規模別の浸水被害人口.....	4-96
図 4.7.1	ラグナ湖岸の改善・開発ビジョン（サンペドロ市）.....	4-102
図 4.7.2	ラグナ湖岸の改善・開発イメージ（カブヤオ市）.....	4-102
図 4.7.3	ラグナ湖流域とパッシング・マリキナ川流域及び周辺地域における既存の洪水 警報システムと水文観測システム.....	4-104
図 4.7.4	ラグナ湖流域に対する LGU による雨量、水位観測システムの整備状況.....	4-106
図 4.7.5	PAGASA によるフィリピン全国に対する既存のレーダー雨量計.....	4-107
図 4.7.6	MGB によるラグナ湖地域の洪水ハザードマップ.....	4-108
図 4.7.7	ラグナ湖の湖管理エリアに関する提案イメージ.....	4-109
図 4.7.8	ラグナ湖岸の土地利用管理を中心とする非構造物対策の提案.....	4-111
図 4.7.9	ラグナ湖流域に対する予警報システム構築に関する提案.....	4-113
図 5.1.1	事業実施スケジュール（パラニャケ放水路：ルート A）.....	5-8
図 5.1.2	事業実施スケジュール（パラニャケ放水路：ルート D）.....	5-9
図 5.2.1	DPWH の主要組織構成.....	5-27
図 5.2.2	DPWH-BOM の主要組織構成.....	5-29
図 5.2.3	MMDA の組織構成.....	5-30
図 5.2.4	LLDA の組織構成.....	5-31
図 5.2.5	LGU の組織構成例（Muntinlupa 市）.....	5-31
図 5.2.6	DPWH の年間予算（2014-2018）.....	5-33
図 6.1.1	ラグナ湖及び流域の状況.....	6-1
図 6.1.2	LPPCHEA に生息する絶滅危惧種.....	6-3
図 6.1.3	マニラ湾海岸及びザポテ川河口部の様子（JICA 調査チーム撮影）.....	6-4
図 6.1.4	潮汐による海流（1ヶ月平均）.....	6-6
図 6.1.5	風と密度流による海流（水深 1 m）左が南西の風、右が北東の風.....	6-7
図 6.1.6	ラグナ湖周辺の植生の状況.....	6-11
図 6.1.7	調査地域及び周辺にある保護区及び生物多様性区域の位置.....	6-13
図 6.1.8	フィリピン環境天然資源省（DENR）による大気質モニタリング地点.....	6-16
図 6.1.9	調査地域における先祖伝来地の分布状況.....	6-27
図 6.1.10	調査区域における歴史・文化遺産（登録文化財）の位置.....	6-31
図 6.2.1	DENR-EMB（中央政府）の組織図.....	6-35
図 6.2.2	ラグナ湖開発庁の組織図.....	6-38
図 6.2.3	Zoaning and Management Plan (ZOMAP).....	6-39

図 6.2.4	ラグナ湖開発庁の組織図.....	6-40
図 6.3.1	取水施設建設候補地の位置.....	6-46
図 6.3.2	取水施設建設候補地（ラグナ湖内）の状況.....	6-46
図 6.3.3	排水施設建設候補地の位置.....	6-48
図 6.3.4	排水施設建設候補地の状況.....	6-48
図 6.3.5	放水路ルート候補地の位置.....	6-50
図 7.1.1	調査位置	7-1
図 7.1.2	調査地周辺の地形.....	7-1
図 7.1.3	調査地の地質	7-1
図 7.1.4	調査地の地形	7-2
図 7.1.5	調査測線断面図.....	7-2
図 7.1.6	調査地内の露出岩盤.....	7-2
図 7.1.7	ボーリング位置図.....	7-3
図 7.1.8	ボーリング柱状図一覧.....	7-5
図 7.1.9	ボーリング柱状図一覧（BH-01～BH-03）	7-6
図 7.1.10	ボーリング柱状図一覧（BH-04～BH-06）	7-7
図 7.1.11	調査地の地質平面図.....	7-8
図 7.1.12	ルート A、D 沿い概略地質断面図	7-9
図 7.1.13	1 軸圧縮試験結果.....	7-13
図 7.1.14	試験結果と岩種区分の例との比較.....	7-14
図 7.1.15	West Valley 断層位置図.....	7-14
図 7.1.16	研究対象地域	7-15
図 7.1.17	繰り返し水準測量によるマニラ首都圏の地盤変動の時間変化.....	7-15
図 7.1.18	干渉 SAR によるフィリピンでの断層クリープ観測のプレゼン資料の抜粋	7-16
図 7.2.1	Region 4A の断層位置図	7-17
図 7.2.2	第二葛根田水力発電所の排水トンネルの変状図.....	7-18
図 7.2.3	パラニャーケ水系及びザポテ川部の LTR-1 Cavite Extension 計画図.....	7-21
図 7.2.4	Lower Bicutan の断層図.....	7-22
図 7.2.5	Sucacat の断層図.....	7-22
図 7.2.6	パラニャーケ放水路の線形計画図.....	7-26
図 7.2.7	シールド工法の断面.....	7-27
図 7.2.8	GIS データに基づく現況地盤高及びクリティカルポイント.....	7-29
図 7.2.9	首都圏外郭放水路における渦流式ドロップシャフト	7-31
図 7.2.10	五反田川放水路及び神田川環七地下河川の取水立坑（参考事例）	7-32
図 7.2.11	取水立坑の計画図.....	7-33
図 7.2.12	排水立坑の計画図.....	7-33
図 7.2.13	Sucacat 及びラグナ湖底のコンター図.....	7-34
図 7.2.14	流入部開水路の縦断面図.....	7-40
図 7.2.15	流入部開水路の標準断面図.....	7-41
図 7.2.16	五反田放水路の排水施設概要図.....	7-49
図 7.2.17	放水路計画縦断面図.....	7-53
図 7.2.18	取水・排水立坑計画図.....	7-54
図 7.2.19	取水施設計画平面図.....	7-55
図 7.2.20	取水施設計画断面図.....	7-56
図 7.2.21	排水施設計画平面図.....	7-57
図 7.2.22	排水施設計画断面図.....	7-57
図 7.2.23	排水・換気システム.....	7-58
図 7.2.24	排水機場吸込み側の ホテイアオイの群生.....	7-58
図 7.2.25	除塵機掻揚方式	7-59
図 7.2.26	ポンプ主要寸法	7-63

図 7.2.27	電源供給	7-66
図 7.2.28	監視制御システム	7-67
図 7.2.29	EFCOS Project Office	7-67
図 7.3.1	南パラニャーケ川の排水施設位置 (ルート 1)	7-68
図 7.3.2	SP.1+800 地点の水位 (確率規模 25 年の HWL 及び 10 年規模の洪水+パラニャーケ放水路有り)	7-69
図 7.3.3	SP.1+800 地点の水位変動 (パラニャーケ放水路有り無し) 確率規模 10 年.....	7-69
図 7.3.4	SP.1+800 地点の水位変動 (パラニャーケ放水路有り無し) 確率規模 5 年	7-70
図 7.3.5	SP.1+800 地点の水位変動 (パラニャーケ放水路有り無し) 確率規模 2 年	7-70
図 7.3.6 (1)	南パラニャーケ川水位縦断 (確率規模: 10 年)	7-71
図 7.3.7	ザポテ川の排水施設位置 (ルート 3)	7-73
図 7.3.8	ZA.0+100 地点の水位 (確率規模 50 年の HWL 及び 50 年規模の洪水+パラニャーケ放水路有りの HWL)	7-74
図 7.3.9	ZA.0+100 地点の水位変動 (パラニャーケ放水路有り無し) 確率規模 50 年.....	7-74
図 7.3.10	ZA.0+100 地点の水位変動 (パラニャーケ放水路有り無し) 確率規模 25 年.....	7-75
図 7.3.11	ZA.0+100 地点の水位変動 (パラニャーケ放水路有り無し) 確率規模 15 年.....	7-75
図 7.3.12	ZA.0+100 地点の水位変動 (パラニャーケ放水路有り無し) 確率規模 5 年.....	7-76
図 7.3.13	ZA.0+100 地点の水位変動 (パラニャーケ放水路有り無し) 確率規模 2 年.....	7-76
図 7.3.14 (1)	ザポテ川水位縦断 (確率規模: 50 年)	7-77
図 7.4.1	パラニャーケ放水路 (ルート 1 と 3) へのテレメーター水位計及び警報ポスト設置 (案)	7-82
図 7.4.2	パラニャーケ放水路に関する情報ネットワーク (案)	7-82
図 7.5.1	シールド工法概要図	7-84
図 7.5.2	シールドマシン	7-84
図 7.5.3	セグメント組立イメージ図	7-85
図 7.5.4	NATM 施工手順.....	7-86
図 7.5.5	NATM 掘削断面.....	7-87
図 7.5.6	シールド発進立坑必要最少面積	7-89
図 7.5.7	NATM 立坑必要最少規模.....	7-90
図 7.5.8	立坑床付け深さ	7-91
図 7.5.9	矩形・円形立坑イメージ図	7-92
図 7.5.10	RC 連続地中壁円形立坑施工例図	7-93
図 7.5.11	RC 連続地中壁施工手順	7-94
図 7.5.12	RC 連続地中壁施工状況写真	7-95
図 7.5.13	圧入ケーソン施工状況写真	7-95
図 7.5.14	圧入ケーソン施工手順図	7-96
図 7.5.15	圧入ケーソン施工概要図	7-97
図 7.5.16	流入部開水路工の施工フロー	7-98
図 7.5.17	残土再利用の施工フロー	7-102
図 7.6.1	パラニャーケ放水路の年間運用	7-105
図 7.6.2	パラニャーケ放水路の運用シミュレーション結果 (2002 年-2013 年)	7-105
図 7.6.3	パラニャーケ放水路の日放流量の頻度曲線.....	7-107
図 7.6.4	メトロマニラ MMDA 管轄の排水機場位置図.....	7-107
図 7.6.5	メトロマニラにおいて MMDA が管理するポンプ場の維持管理状況	7-109
図 7.6.6	パラニャーケ放水路の運営維持管理対象施設.....	7-111
図 7.6.7	地下トンネル放水路の運営維持管理項目.....	7-112
図 7.6.8	日本のポンプ施設維持管理費の費用関数 (参考)	7-116
図 7.6.9	ラグナ湖内浮遊砂観測位置図と観測データ.....	7-118
図 7.7.1	事業実施スケジュール (パラニャーケ放水路: ルート 1)	7-124
図 7.7.2	事業実施スケジュール (パラニャーケ放水路: ルート 3)	7-125

図 7.8.1	年平均被害軽減便益の構成.....	7-146
図 7.8.2	パッシング・マリキナ川治水事業とラグナ湖沿岸地域洪水管理計画事業.....	7-150
図 7.9.1	放水路建設候補地周辺の土地利用及び施設立地状況.....	7-157
図 7.9.2	取水施設－開水路建設候補地周辺の状況.....	7-159
図 7.9.3	排水施設建設候補地周辺の状況.....	7-161
図 7.9.4	ラグナ湖取水施設候補地周辺における係留施設、水性植物栽培の状況.....	7-162
図 7.9.5	候補地周辺地域（ラグナ湖岸）における居住地の状況.....	7-163
図 7.9.6	排水施設建設候補地の状況.....	7-164
図 7.9.7	放水路建設候補地周辺 500 m 区域における既存の取水権位置.....	7-166
図 7.9.8	マニラ湾沖の水質観測位置.....	7-168
図 7.9.9	マニラ湾沿岸部の水質観測地点.....	7-170
図 7.9.10	マニラ湾沿岸部の水質（2013 年～2017 年）.....	7-171
図 7.9.11	ラグナ湖の水質観測地点.....	7-172
図 7.9.12	ラグナ湖の水質（2013 年～2017 年）.....	7-174
図 7.9.13	人間活動によるラグナ湖の汚染.....	7-175
図 7.9.14	溶存酸素量の比較.....	7-178
図 7.9.15	大腸菌量の比較.....	7-178
図 7.9.16	計測器（左）と調査の様子（右）.....	7-179
図 7.9.17	計測された塩分濃度（LPPCHEA 周辺）.....	7-179
図 7.9.18	LPPCHEA 周辺の塩分濃度分布（2017 年 9 月）.....	7-180
図 8.1.1	パラニャーケ放水路線形計画案.....	8-1
図 8.1.2	パラニャーケ放水路 3 次元イメージ.....	8-1
図 8.1.3	パラニャーケ放水路概要図.....	8-1

略 語 表

略語	正式名称	日本語訳
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
ASEAN	Association of South - East Asian Nations	東南アジア諸国連合
ASTI	Advanced Science and Technology	先端科学研究所
BOC	Bureau of Construction	建設局
BOD	Bureau of Design	設計局
BRS	Bureau of Research and Standards	調査基準局
CIDA	Canadian International Development Agency	カナダ国際開発庁
CLB	Calamba Los Banos	Calamba Los Banos (地名)
CLUP	Comprehensive Land Use Plan	包括的土地利用計画
CTIE	CTI Engineering Co., Ltd.	株式会社建設技術研究所
CTII	CTI Engineering International Co., Ltd.	株式会社建設技研インターナショナル
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DENR	Department of Environment and Natural Resources	環境天然資源省
DILG	Department of the Interior and Local Government	内務自治省
DOF	Department of Finance	財務省
DOST	Department of Science and Technology	科学技術省
DPWH	Department of Public Works and Highways	公共事業道路省
EFCOS	Effective Flood Control Operation System	効率的洪水調整運用システム
EIA	Environmental Impact Assessment	環境アセスメント
EIRR	Economic Internal Rate of Return	経済的内部収益率
EMB	Environmental Management Bureau	環境天然資源省環境管理局
ESSD	Environmental and Social Safeguards Division	環境社会保障部
FCMC	Flood Control Management Cluster	治水管理局
FCSEC	Flood Control and Sabo Engineering Center	治水砂防技術センター
FRIMP	Flood Risk Management Project	洪水リスク管理事業
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
ICC	Investment Coordination Committee	投資委員会
ICHARM	International Centre for Water Hazard and Risk Management	水災害・リスクマネジメント 国際センター
IC/R	Inception Report	インセプション/レポート
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
ISF	Informal Settler Families	不法居住者
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
IT/R	Interim Report	インテリム/レポート
JV	Joint Venture	共同企業体
LGU	Local Government Unit	地方政府団体
LLDA	Laguna Lake Development Authority	ラグナ湖開発庁
LLEDP	Laguna Lakeshore Express Way Dike Project	ラグナ湖沿岸堤防道路事業
LPPCHEA	Las Pinas-Paranaque Critical Habitat and Ecotourism Area	ラスピニャス・パラニャケ自然保護 エコツーリズム地区
MCGS	Marikina Control Gate Structure	マリキナ堰

略語	正式名称	日本語訳
MMDA	Metro Manila Development Authority	マニラ首都圏開発庁
MSL	Mean Sea Level	平均海面水位
MWSS	Metropolitan Waterworks and Sewerage System	首都圏上下水道公社
NAMRIA	National Mapping and Resources Information Authority	国家地理資源情報庁
NBCP	National Building Code of the Philippines	フィリピン家建築法
NCR	National Capital Region	マニラ首都圏
NDRRMC	National Disaster Risk Reduction Management Council	フィリピン家災害リスク削減管理委員会
NEDA	National Economic Development Authority	経済開発局
NHA	National Housing Authority	国家住宅機関
NHCS	Napindan Hydraulic Control Structure	ナピンダン調整水門
NK	Nippon Koei Co., Ltd.	日本工営株式会社
NSCP	National Structural Code of the Philippines	フィリピン設計基準
NWRB	National Water Resource Board	フィリピン水資源委員会
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
PAGASA	Philippines Atmospheric Geophysical and Astronomical Services Administration	大気地球物理天文局
PEISS	Philippines Environmental Impact Statement System	フィリピン環境影響評価制度
PHIVOLCS	Philippine Institute of Volcanology and Seismology	フィリピン火山地震研究所
PPP	Public Private Partnership	公民連携
PRA	Philippine Reclamation Authority	フィリピン統計機構
PRBFFWC	Pampanga River Basin Flood Forecasting and Warning Center	パンパンガ流域洪水予警報センター
PSA	Philippine Statistic Authority	フィリピン統計機構
SC	Steering Committee	ステアリングコミッティ
STEP	Special Terms for Economic Partnership	本邦技術活用条件
TOR	Terms of Reference	委託条件書
TWG	Technical Working Group	テクニカル・ワーキング・グループ
UNDP	United Nations Development Program	国際連合開発計画
UP	University of Philippines	フィリピン大学
UPMO	Unified Project Management Office	統合プロジェクト管理事務所
USAID	United States Agency for International Development	アメリカ国際開発庁
WB	World Bank	世界銀行

第1章 調査の概要

1.1 調査の背景

フィリピンは世界で最も自然災害の多い国の一つである。マニラ首都圏は、フィリピンの政治、経済、文化の中心地であるが、沿岸低地地域のため台風/暴風雨及び洪水の影響を受けやすく、同地域の経済・社会活動は洪水により深刻な影響を受けてきた。フィリピン政府は洪水対策の計画策定やそれに基づく事業実施など、過去 50 年以上にわたり継続的にこの問題に取り組んできているが、いまだマニラ首都圏は十分な洪水対応能力を備えていない。

フィリピン政府は、フィリピン中期開発計画（2017-2022 年）において、洪水リスク軽減のためのイニシアティブの継続を掲げており、具体的には洪水対策施設の設計及び維持管理基準の更新、河川情報データベースの確立と洪水氾濫源指定のベースラインデータの更新、主要 18 流域及び他の重要流域における洪水管理計画及び排水管理計画の更新及び策定、河川管理の調整能力の向上に言及している。また、フィリピン気候変動適応戦略（2010-2022 年）において、気候変動への適応のため、適切なインフラ整備によるリスクと脆弱性の減少を掲げている。

我が国は、1970 年代から 40 年以上にわたり、マニラ首都圏と大河川を中心に洪水対策計画の策定や円借款での実施の他、中央官庁への技術支援等、幅広い支援を行っている。JICA は河川洪水/外水対策に関し、円借款事業により 1988 年にマンガハン放水路が完成した後、マニラ首都圏において、1988 年～1991 年にかけて「マニラ洪水対策計画調査」を実施し、特に緊急度の高い事業の一つとしてパッシング・マリキナ川の洪水対策「パッシング・マリキナ川河川改修事業」を取り上げ、フィージビリティ調査、旧国際協力銀行の案件形成促進調査を経て、4 フェーズに分けて同事業を実施する方針とした。現在、フェーズ III（2011 年度 L/A 調印）の本体工事を実施中である。

排水/内水氾濫対策に関しては、JICA は 1973 年の円借款「マニラ地区洪水制御・排水事業」に始まり、1989 年～1994 年の無償資金協力「マニラ首都圏排水路改善計画（フェーズ I～II）」、2000 年～2008 年の円借款「カマナバ地区洪水制御・排水システム改良事業」等を通じ、河川浚渫や排水機場・水門・排水路等の整備を支援してきた。

また、マニラ首都圏及びその周辺に位置するラグナ湖（流域面積 2,920km²、湖水面積 900km²）周辺に位置する西マンガハン地区の内水氾濫及びラグナ湖の水位上昇に伴う洪水対策として、JICA は、円借款事業「ラグナ湖北岸緊急洪水制御事業（1989 年 L/A 調印）においてマンガハン東部・西部地区の詳細設計を支援した後、円借款事業「メトロマニラ西マンガハン地区洪水制御事業」（1997 年～2007 年）において、西マンガハン地区における湖岸堤の建設、排水機場の建設、樋門の設置を支援した。

しかしながら、2009 年 9 月に発生した台風オンドイは、日雨量 453mm を記録してマリキナ川沿い及びラグナ湖沿岸地域並びにマニラ首都圏の都市部に大規模な洪水被害を発生させた。「メトロマニラ西マンガハン地区洪水制御事業」で対策を行ったラグナ湖沿岸の西マンガハン地区においては、マリキナ川からの洪水の越流、内水氾濫及びラグナ湖の水位上昇の影響で低平地の約 80%の住宅地区が 1～3 週間以上にわたり浸水した。ラグナ湖沿岸地域では洪水対策が行われてい

ない低平地が沿岸全域に広がっており、1 か月以上の浸水被害も生じた。ラグナ湖沿岸地域の洪水対策はマニラ中心部より大きく遅れており、その洪水対策は緊急性の高い課題となっている。

更に、フィリピン公共事業道路省（Department of Public Works and Highways (DPWH)）では、ラグナ湖西岸を埋め立てて、道路建設及び都市開発を行う「Laguna Lakeshore Express Way Dike Project (LLEDP)」を PPP 事業として計画しており、このプロジェクト実施のためにもラグナ湖沿岸地域の洪水対策が必要とされている。ラグナ湖沿岸地域の洪水対策としては湖岸堤の建設や排水路・排水機場の建設等の他、ラグナ湖からパラニャーケ市を通過してマニラ湾に湖水を排水し、ラグナ湖の水位をコントロールするための放水路（以下、「パラニャーケ放水路」）の建設が検討されている。市街地化が進むパラニャーケ市の用地取得は困難であることから、開削工法ではなく、延長 9.2km 程度の地下放水路とすることについて検討されており、パラニャーケ放水路の事業化の可能性の検討について、DPWH から JICA に調査実施の支援の要請があった。

1.2 調査の目的

本調査は、上記要請を受け、パッシング・マリキナ川流域を含むラグナ湖流域を、既往洪水対策事業・計画との整合を図りつつ一体的に解析し、ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画を作成した上で、その一環であるパラニャーケ放水路の事業化の可能性の検討（Pre-F/S）を行い、以て、JICA による有償資金協力事業の実施可能性及び協力準備調査の方向性を検討するための情報収集確認を行うことを目的とする。

1.3 調査の概要

調査の概要を以下に整理する。

(1) 対象地域

フィリピン国ラグナ湖沿岸地域全域（マニラ首都圏及び周辺地域）

(2) カウンターパート機関

公共事業道路省（Department of Public Works and Highways（以下、DPWH）

(3) 関係官庁・機関

ラグナ湖開発庁（Laguna Lake Development Authority（以下、LLDA））

マニラ首都圏開発庁（Metro Manila Development Authority（以下、MMDA））

経済開発局（National Economic and Development Authority（以下、NEDA））

内務自治省（Department of Interior and Local Government（以下、DILG））

環境天然資源省（Department of Environment and Natural Resources（以下、DENR））

大気地球物理天文局（Philippines Atmospheric Geophysical and Astronomical Services Administration（以下、PAGASA））

火山地震研究所（Philippine Institute of Volcanology and Seismology（以下、PHIVOLCS））

地方政府（Local Government Unit（以下、LGU））

(4) 本調査に関連する JICA の主な援助活動

① 開発調査

- ・マニラ洪水対策計画調査（1991 年）

② 円借款

- ・マニラ地区洪水制御・排水事業（1973 年～）
- ・メトロマニラ西マンガハン地区洪水制御事業（1997 年～2007 年）
- ・パッシング・マリキナ川河川改修事業（フェーズ I）（1999 年～2000 年）
- ・パッシング・マリキナ川河川改修事業（フェーズ II）（2006 年～2013 年）
- ・パッシング・マリキナ川河川改修事業（フェーズ III）（2012 年～現在）

③ 基礎情報収集・確認調査

- ・マニラ首都圏及び周辺地域における水資源開発計画に係る基礎情報収集調査（2013 年）
- ・マニラ首都圏治水計画情報収集・確認調査（2014 年）

1.4 本調査のスケジュール

本調査のスケジュールを表 1.4.1 に示す。

表 1.4.1 本調査のスケジュール

作業項目	期間	2017年度												2018年度		
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月			
【A】 国内準備作業及びインセプション・レポートの説明・協議																
[A-1]	国内準備作業及びインセプション・レポートの説明・協議	□	■													
【B】 ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画																
[B-2]	基礎情報の収集・整理		■	■												
[B-3]	被害状況調査		■	■												
[B-4]	既往の洪水対策事業の評価			■	■											
[B-5]	水文統計解析															
[B-6]	計画規模、計画対象降雨の設定															
[B-7]	計画潮位の設定		■													
[B-8]	流出解析・氾濫解析、ラグナ湖の水位変動の解析															
[B-9]	設計基準の提案			■												
[B-10]	災害リスクの軽減、災害リスク管理、気候変動への適応を考慮した評価軸の				■	■										
[B-11]	非構造物対策の現状の評価、検討及び提案					■	■									
[B-12]	ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画のフルメニューの検討(1次案の						■	■								
[B-13]	自然環境・社会環境への影響可能性の調査				■	■										
[B-14]	事業効果の提示方法の検討及び提案						■	■								
[B-15]	ラグナ湖沿岸地域全域の総合洪水管理計画の作成(2次案の作成)							■	■							
[B-16]	優先プロジェクトの選定								■							
[B-17]	事業実施/運営・維持管理体制の提案									■						
[B-18]	インテリム・レポートの作成・協議								■	■						
【C】 パラニャーク放水路の事業化検討 (Pre-F/S) 調査																
[C-19]	基本設計案の作成(本邦技術の活用可能性に係る検討を含む)									■	■					
[C-20]	調達・施工計画の検討										■	■				
[C-21]	維持管理費の概算											■	■			
[C-22]	自然環境配慮、社会環境配慮の検討												■	■		
[C-23]	概略事業費、概略経済的内部収益率(EIRR)の算出													■		
[C-24]	パラニャーク放水路の事業実施スケジュール案の検討													■		
[C-25]	パラニャーク放水路の事業効果の提示方法の検討及び提案													■		
[C-26]	フィリピン側での対応必要事項の検討及び提案													■		
[C-27]	ドラフト・ファイナル・レポートの作成・説明・協議													■		
[C-28]	ファイナル・レポートの作成													■		
協議および報告書提出スケジュール																
報告書提出																
		△									△					
														△		
														△		
														△		

【凡例】 現地作業期間: ■ 国内作業期間: □ 報告書等の提出: △

第2章 対象地域の状況と洪水

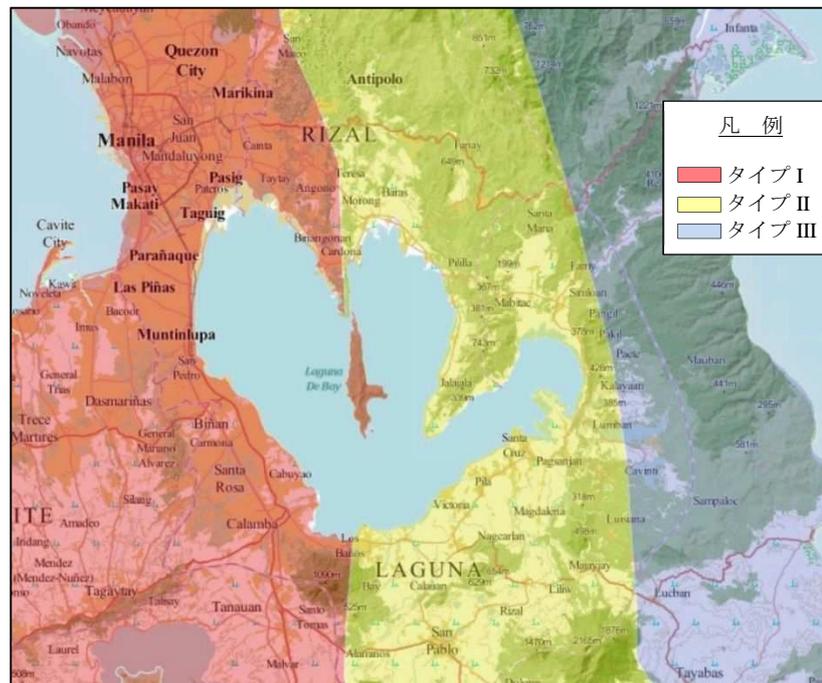
2.1 対象地域の状況

2.1.1 自然条件

(1) 気候

調査対象域の気候はモンスーン、貿易風¹、台風などの影響を受け、特にラグナ湖の西側では典型的な乾期（11月～4月）と雨期（5月～10月）により特徴づけられる。調査対象域における年降雨量は、地域により約 1,700 mm から約 3,000 mm まで変化する。過去には、Pakil 観測所（ラグナ州）において年降雨量が 5,000mm を超える年も見られる。

PAGASA はフィリピン全土を 4 つの気候区分に分けており、調査対象域はそのうち 3 つの気候区分に属する（図 2.1.1 参照）。メトロマニラ及びラグナ湖の西側を包括するタイプ I は、前述したとおり典型的な乾期（11月～4月）と雨期（5月～10月）により特徴づけられ、中でも 6 月から 9 月において降水量が集中する傾向がある。ラグナ湖の東半分はタイプ II の気候区分に属し、目立った乾期はなく、3 月から 5 月にかけて降雨量が減少し、12 月から 2 月にかけて多雨の傾向がある。最後にラグナ湖の太平洋側ではタイプ III の気候が見られる。この地域では際立った多雨の時期がなく、また、乾期が 1 ヶ月から 3 ヶ月程度しか見られないという特徴がある。



出典： <http://www.geoportal.gov.ph/viewer/>にて作図

図 2.1.1 PAGASA による気候区分

調査対象域周辺の気象観測データによると、調査対象域では、月平均気温は 12 月、1 月の 24℃から 8 月、9 月の 30℃まで変化し、通年平均でみると 26.5℃から 28℃となる。また、調

¹ 亜熱帯高圧帯から赤道低圧帯へ恒常的に吹く東寄りの風のこと

調査対象地域の降雨傾向に伴い湿度は変化し、ラグナ湖の西側では南西モンスーンが卓越する5月~10月の雨期に相対湿度は高くなり、7月から8月に最高値を記録する。また、北東モンスーン及び貿易風の影響の強い12月から5月にかけての乾期に相対湿度は低くなり、3月~4月に最低値を記録する。

熱帯性サイクロンは、調査域で発生する洪水に最も影響を及ぼす原因となる。この熱帯性サイクロンは6月~10月にかけて多く発生している。フィリピンには年間平均で20のサイクロンが発生しており、これらのうち16のサイクロンが調査対象域の位置する中部ルソンを通過し、強風と豪雨により甚大な生命・財産に対する被害が発生している。

気象庁（PAGASA）によれば、熱帯性サイクロンは最高風速が35~64km/hourをもつ熱帯性低気圧、65~118 km/hourの熱帯性暴風雨、119 km/hour以上の台風に区分される。近年では、1972年7月の台風エデン（国際名：スーザン）及び同時期に発生した台風グロリン（国際名：リタ）、1978年10月の台風カディン（国際名：リタ）、1988年10月の台風ウサン（国際名：ルビー）、2009年9月の台風オンドイ（国際名：ケッツァーナ）及び台風ペペン（国際名：パルマ）、2012年8月の熱帯性南西モンスーンがラグナ湖の水位上昇を引き起こし、調査対象地域に大きな被害をもたらした。なかでも2009年の台風オンドイ、ペペンが最も深刻な氾濫被害をもたらしている。

(2) 地形・地質

調査対象域が位置するルソン島は、ユーラシアプレートとフィリピン海プレートに挟まれたマニラ海溝及びフィリピン海溝の間に位置する。調査対象域はルソン島南部、首都マニラの南側に位置し、日本最大の琵琶湖の約1.3倍にあたる湖水面積約900km²をもつラグナ湖を有する。

調査対象域の北西部から西部にかけては平地が広がり、商業地及び住宅密集地となっている。南東部は主に農耕に用いられる平地となっており、北東部から北部にかけて及び南部には山

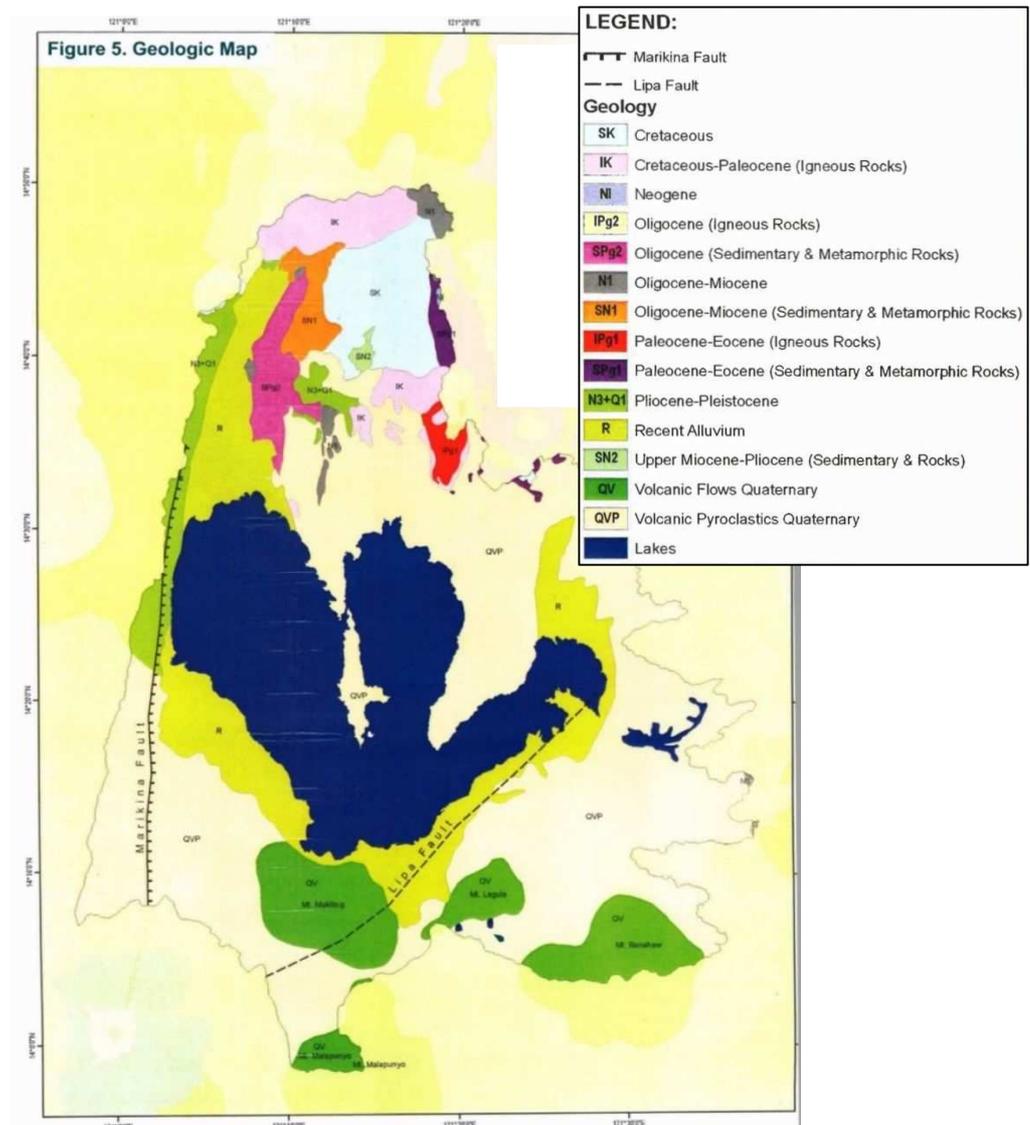
地が見られる。これらの山の中には、最高標高が2,169mに及ぶバナハオ山といった活火山や、最高標高1,470mのサンクリストバル山といった活動の可能性が考えられる火山があり、また、数多くの休火山、あるいは死火山が、特にラグナ湖の南部に集中して存在する。



図 2.1.2 調査対象域地形図

調査対象域においては、ラグナ湖の西部に南北に走る Valley Fault System と呼ばれる活断層群が見られ、その活断層群周辺では地形に数 10m の高低差が確認でき、ラグナ湖に向かい急斜面で標高が低下している。

「Hydrologic Atlas of Laguna de Bay 2012」に掲載されている地質図（図 2.1.3 参照）によれば、調査地域の地質は、新第三紀及び第四紀鮮新世の堆積物や、沖積層及びラグナ湖南部に並ぶ火山による第四紀火山流や火山碎屑堆積物により覆われている。



出典：Hydrologic Atlas of Laguna de Bay 2012

図 2.1.3 調査対象域地質図

また、パラニャーケ放水路の候補地であるラグナ湖とマニラ湾に挟まれる丘陵地は、「Geology of the Philippines Second Edition」によると、更新世の Guadalupe Formation とされ、主に火山碎屑岩類（凝灰岩、火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩、火山灰質シルト岩など）からなる、いわゆる軟岩が広がっていると推察される。

調査地域では住宅が密集しており岩盤の露出は少ないが、一部道路沿いの切土面などに露頭が確認できる。



図 2.1.4 露岩の露頭（タギグ市南部、ジェネラスサントス道路沿い）

(3) 河川水系

調査対象域における河川水系は、ラグナ湖に直接流入する主要 21 河川からなるラグナ湖流域と、マンガハン放水路及びナピンダン水路によりラグナ湖と接続されているパッシング・マリキナ川流域及びマニラ湾に流下するパラニャーケ地区・ラスピナス排水区の 3 つの水系に区分される。それぞれの水系の配置と流域面積を、図 2.1.5、表 2.1.1 に示す。それぞれの水系における河道状況は、第 3 章で詳述する。

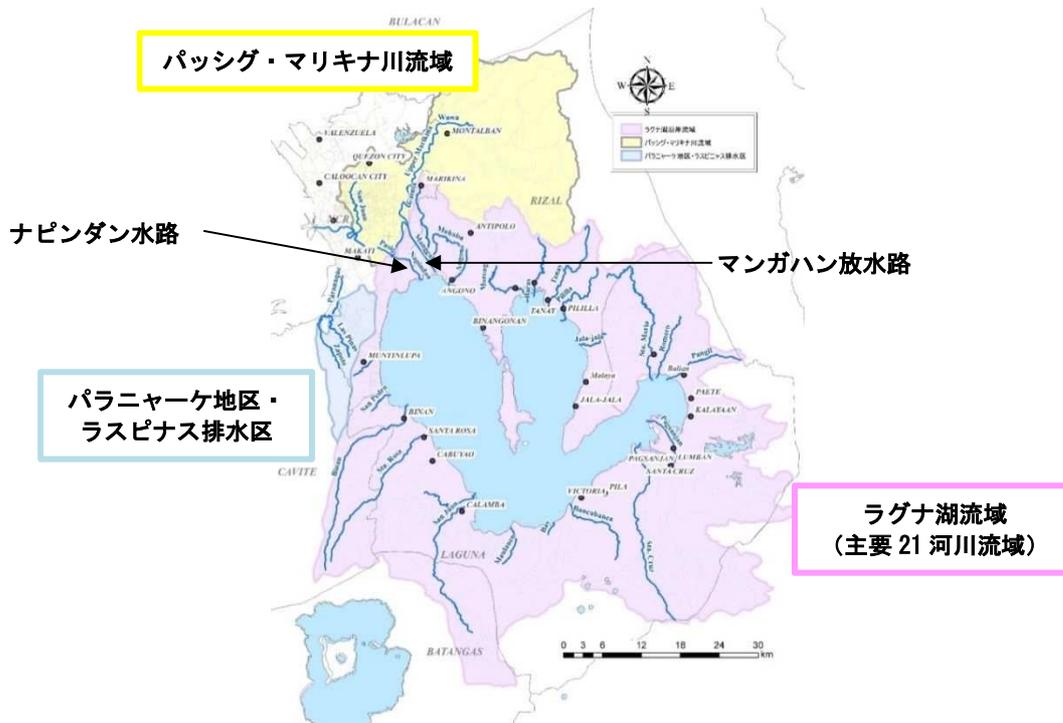


図 2.1.5 調査対象域における河川水系

表 2.1.1 調査対象域における河川水系とその面積

水系	面積 (km ²)
ラグナ湖流域	3,280
ラグナ湖	900
主要 21 河川流域	2,380
パッシング・マリキナ川流域	640
マリキナ川	538
パッシング川	102
パラニャーケ地区・ラスピナス排水区	74

2.1.2 社会経済

(1) 地方自治体と人口統計

2015年の統計調査によると、フィリピンの全人口は1億98万人である。フィリピンは14のRegionから成り、本調査の対象となる地域は、NCR（National Capital Region）とRegion IV-A（カラバルソン）に位置し、人口は合計1,288万人と1,415万人であり、各人口は国全体の12.8%、14.3%を占めている。

2010年から2015年までの人口増加率は1.58%と2.58%となっている。Region IV-Aは5つのProvinceで構成されている。下表に各Regionの人口、市・LGUの数を整理する。

表 2.1.2 調査対象地域の人口

Region	Province	市/LGUの数 (2015年3月時点)	人口		増加率 (2010-15)
			2010	2015	
全国	81 provinces	144 cities, 1,490 Municipalities	92,337,852	100,981,837	1.72%
NCR		16 Cities, 1 Municipalities	11,855,975	12,877,253	1.58%
IV-A	Total	18 Cities, 124 Municipalities	12,609,803	14,414,774	2.58%
	- Laguna	6 Cities, 24 Municipalities	2,669,847	3,035,081	2.47%
	- Cavite	6 Cities, 17 Municipalities	3,090,691	3,678,301	3.37%
	- Quezon	2 Cities, 39 Municipalities	1,987,030	2,122,830	1.33%
	- Rizal	1 City, 13 Municipalities	2,484,840	2,884,277	2.88%
	- Batangas	3 Cities, 31 Municipalities	2,377,395	2,694,335	2.41%

出典：NSO、2015 センサス

フィリピンでは、各Provinceの下に市（CityやMunicipality）が管轄されており、このうち本調査の対象となる自治体は全部で75ある。そのうち、ラグナ湖水位上昇による浸水被害を一部でも受ける自治体は35、ラグナ湖に接する自治体は31である（図2.1.6参照）。

全国の総人口と比較すると、対象流域の人口は17.7%、被害地域の人口は6.8%程度を占める。

表 2.1.3 調査地域の市/LGUの数と人口

Region	Province	2015年の人口	調査地域		被災地域	
			市/LGUの数	人口	市/LGUの数	人口
NCR		12,877,253	10	7,769,261	3	1,401,742
IV-A	Laguna	3,035,081	30	3,035,081	17	1,964,505
	Cavite	3,678,301	7	2,235,379	5	1,479,627
	Quezon	2,122,830	7	496,445	0	0
	Rizal	2,884,277	14	2,884,227	6	1,128,842
	Batangas	2,694,335	7	1,472,605	4	921,551
合計		27,292,077	75	17,892,997	35	6,896,267

出典：Philippine Statics Authority (PSO)、2015 センサス

Data Collection Survey on Parañaque Spillway Affected LGUs

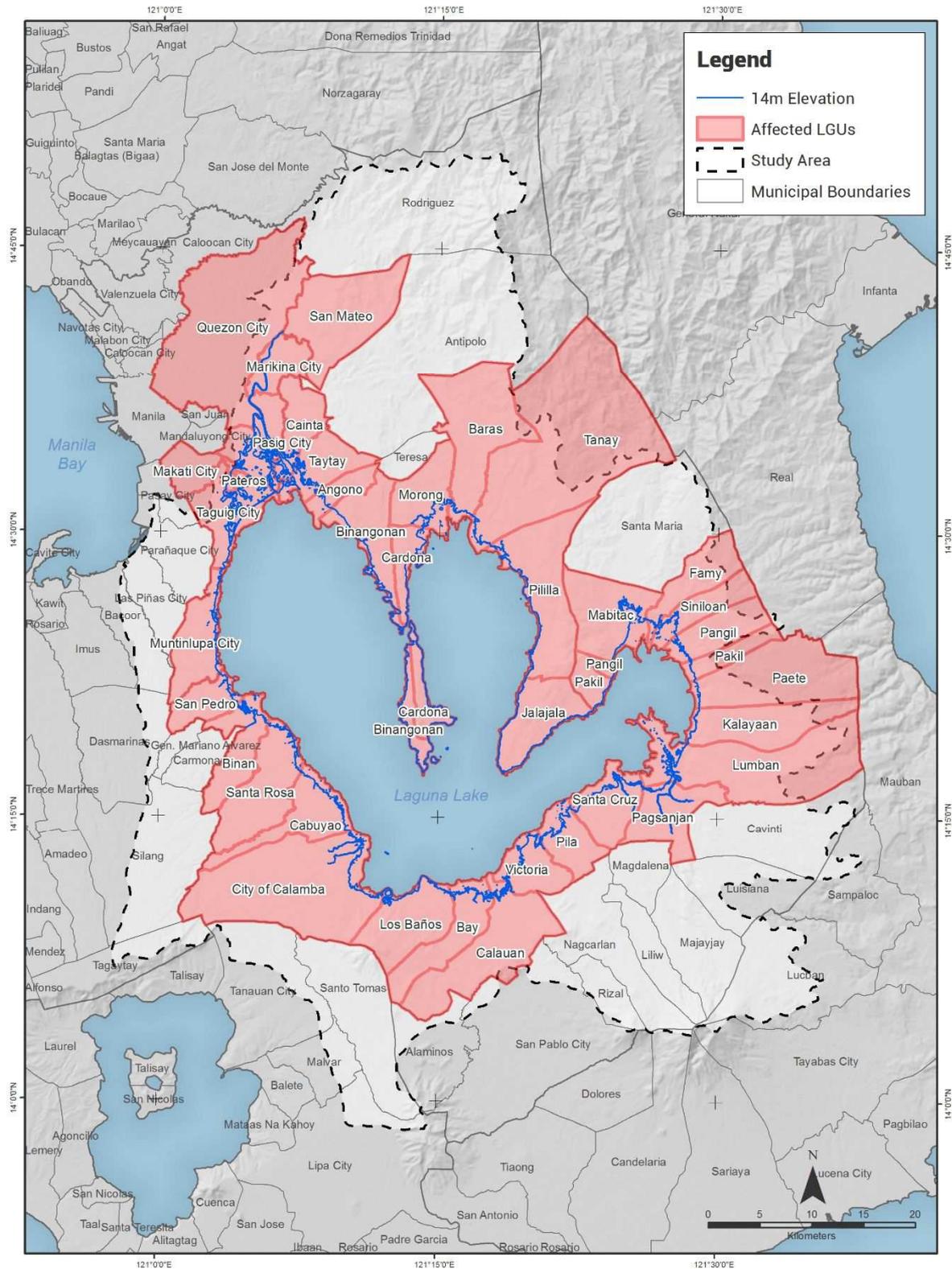


図 2.1.6 ラグナ湖に接する LGU 位置図

(2) 経済と産業

国内の経済は順調に発展しており、2016年のGDPは14.48兆ペソに達している。2014年、2015年の年間成長率はそれぞれ5.4%、8.7%であり、高い成長率が維持されている。NCRとRegion IV-Aの経済活動は、GDP比で全国の38.1%、14.8%を占めており、合計値は国の経済活動の半分以上を占め重要な地域であると言える。

2016年の地域毎のGDP統計によると、NCRでは製造業、販売、不動産、金融、建設業の順にGDPが多い。一方、Region IV-Aでは、製造業、不動産、販売、交通・通信といった産業が上位を占めている。第1次産業（農業、林業、鉱業等）の占める割合は、どちらも5%以下と大きくない。

表 2.1.4 経済状況 (2016)

項目	全国	NCR	Region IV-A
GDP (10億 PHP)	14,481	5,522	2,144
- GDP 増加率 2014-15	5.4%	8.0%	2.4%
- GDP 増加率 2015-16	8.7%	9.5%	4.1%
1人当たり GDP (PHP)	140,259	431,783	148,917
産業別 GDP (10億 PHP)	14,481	5,522	2,144
(1) 農業、漁、林業、漁業	1,398	11	125
(2) 鉱業、砕石	114	0	3
(3) 製造	2,845	592	1,035
(4) 建設	1,050	177	130
(5) 電気、ガス、水道	456	157	69
(6) 交通、保管、通信	913	264	120
(7) 車両、個人、家庭用の販売、修理	2,643	1,657	192
(8) 金融	1,165	604	102
(9) 不動産、賃貸、ビジネス	1,899	1,107	235
(10) 公機関、国防、社会保障	576	294	30
(11) その他サービス	1,423	657	103

出典：Gross Regional Dmestic Product 2014-2016（2017年5月時点）、NSO

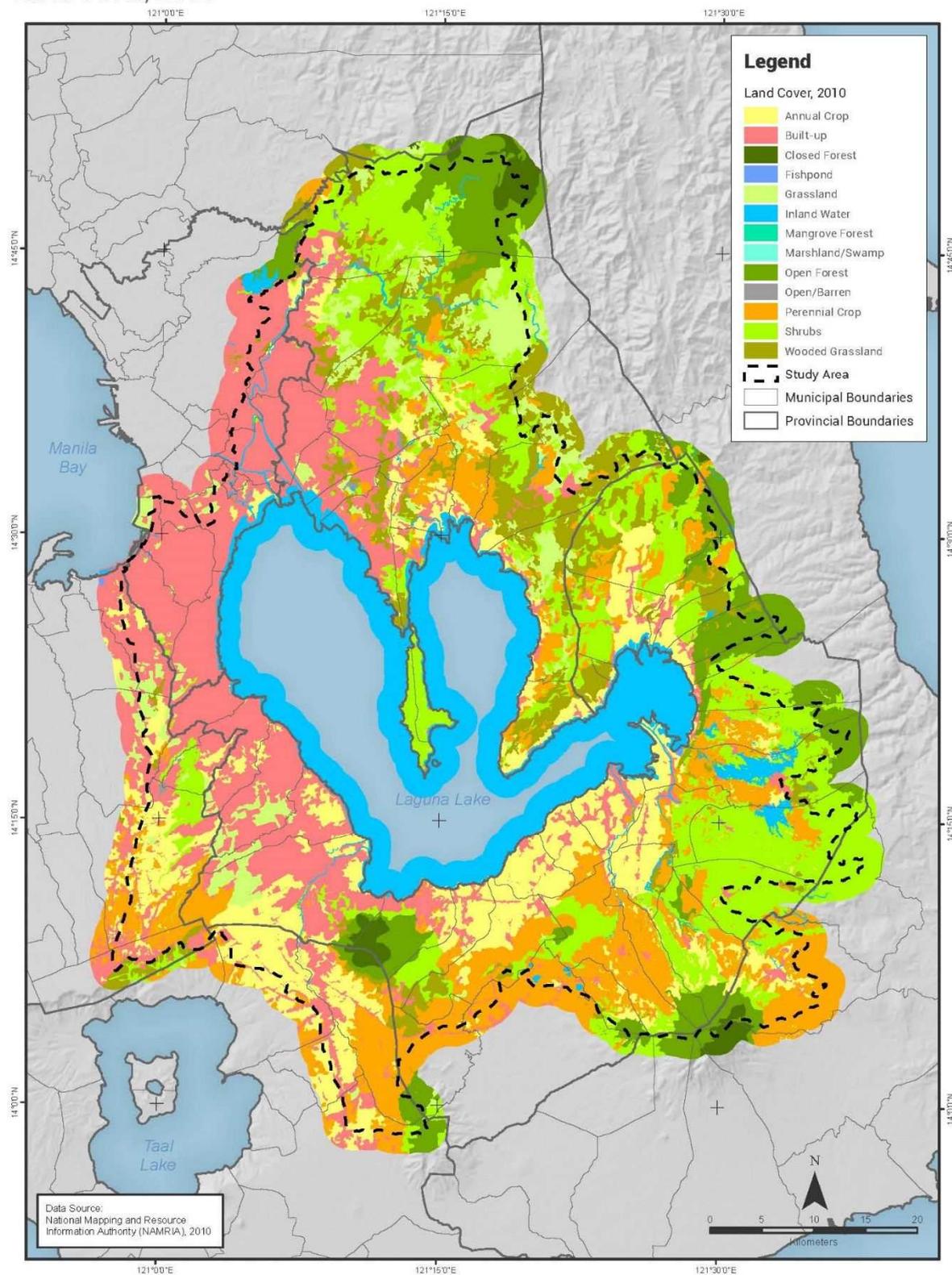
(3) 土地利用

NAMRIA より入手した 2010 年の土地利用状況を図 2.1.7 に、調査地域の各 Province のカテゴリー別の土地面積を表 2.1.5 に示す。

土地利用図によると、Laguna湖の北西部にマニラ首都圏が位置し、建物（Built-Up）地域が大部分を占めている。湖の西部はマニラ首都圏への通勤者も多く住み、住宅地域が湖の南西部まで続いている。湖の南東部は主に一毛作、多毛作の農地、低木（Shrubs）地域からなる。湖の北東部は農地と、草地（Grassland）や疎林（Open Forest）を含む自然林地帯が多くなっている。

調査地域の各 Province のカテゴリー別の土地利用面積を表 2.1.5 に示す。メトロ都市圏では建物（Built-Up）地域が最も大きく、全体の9割を占める。Region IV-A は一毛作と多毛作の農地が最も大きく、次いで低木（Shrubs）や疎林（Open Forest）を含む森林地域、建物（Built-Up）地域となっている。

Data Collection Survey on Parañaque Spillway Land Cover, 2010



出典：土地利用地図、NAMRIA、2010

図 2.1.7 土地利用状況

表 2.1.5 調査流域の土地利用状況 (2010)

土地利用種類	マニラ首都圏	Batangas	Cavite	Laguna	Quezon	Rizal	合計
1) 建物	208,635,461	32,063,983	68,484,981	259,668,004	2,983,026	173,167,970	745,003,426
2) 一毛作	7,730,373	67,515,047	51,963,492	306,637,878	14,102,125	78,733,758	526,682,672
3) 多毛作	0	44,173,245	27,858,018	263,565,445	24,002,894	80,635,871	440,235,473
4) 灌木地	1,754,509	3,266,348	4,496,157	82,227,621	26,170	175,922,009	267,692,813
5) 草地	7,230,073	819,989	14,325,362	40,195,148	0	111,908,565	174,479,137
6) 低木地	3,150,810	927,753	21,647,240	320,340,657	17,959,511	261,434,094	625,460,064
7) 疎林	1,274,982	10,166,823	0	91,053,004	10,872,400	61,952,045	175,319,255
8) 密林	0	4,475,887	0	11,096,868	3,278,711	8,280,365	27,131,831
9) 荒地	50,512	0	1,165,114	430,097	0	5,423,320	7,069,044
10) マングローブ	45,982	0	5,943	0	0	0	51,925
11) 湿地	43,497	0	0	0	0	0	43,497
12) 養殖池	196,740	0	7,489	505,823	0	245,181	955,232
13) 内水地	3,202,584	169,370	40,429	27,692,478	225,982	6,045,442	37,376,285
合計	233,315,524	163,578,445	189,994,226	1,403,413,024	73,450,818	963,748,618	3,027,500,655

出典：NAMRIA 2010 土地利用図を基に JICA 調査チームが整理

(4) ラグナ湖沿岸の土地利用概況

延長約 220km あるラグナ湖沿岸は、居住地、工業・商業地、農地等に利用されている。現在の土地利用を地域に区分すると、ラグナ湖の東部は農業、西部は居住地、商業・工業地に利用されている。ラグナ湖沿岸の土地利用現況の概況を表 2.1.6 に示す。

居住地は、概ね標高 12.0m 以上から点在し、12.5m を越えると多くの居住地が存在する。農地の多い湖岸東部の LGU の中心は、地形的に比較的高いところに位置する。

表 2.1.6 ラグナ湖沿岸の現況土地利用概況

No.	地域区分	該当 LGU (市・町)	土地利用概況
1	湖岸北部	Taguig 市 (一部) Taytay 町 Angono 町	メトロマニラ内 (Taguig) あるいはメトロマニラの近郊の位置から住宅地や商業・工業地が広がっている。Taguig 市及び Taytay 町の湖岸には、ラグナ湖洪水対策の延長約 10km 湖岸堤がある。
2	湖岸東部	Binagonan 町、Cardona 町、Morong 町、Baras 町 Tanay 町、Pililla 町、Jalajala 町、Mabitac 町、Famy 町、Siniloan 町、Pangil 町、Pakil 町、Paete 町、Kalayaan 町、Lumban 町、Sta. Cruz 町 Pila 町、Victoria 町、Calauan 町	東部湖岸は、山地、狭いあるいは広い平坦地が混在する。東部地域の北側に位置する Tanay 町、Baras 町及び Morong 町は、3つの主要な河川が湖に流入し、広い平坦地があり水田に利用されている。東部の北西側に位置する Cardona 町及び Binagonan 町は、山地が湖岸まで迫っている。また、東部中央の Jalajala 町や Pililla 町も山地が湖岸まで迫っている。東部の北東側は、3つの主要河川が流入し、水田が広がっている。東部東側は、山が迫り、狭い湖岸が居住地及び農地に利用されている。東部南側には、大きな主要河川が2つあり、広大な平地には灌漑水田が広がる。ここには人口 20 万人を有するラグナ州の州都 Sta. Cruz 町が位置する。
3	湖岸南部	Bay 町 Los Banos 町 Calamba 市	1,090m の火山が南側にあり、山地が湖に迫っており湖岸は狭く、住宅地が広がる。多くの流入河川がある。
4	湖岸西部	Taguig 市 (一部)、Muntinlupa 市、San Pedro 市、Binan 市 Sta. Rosa 市、Cabuyao 市	メトロマニラ内 (Taguig 及び Muntinlupa) あるいはその近郊に位置し、住居地、商業・工業地として、高度に開発されている。

2.2 ラグナ湖流域の概要、洪水対策の歴史

2.2.1 ラグナ湖流域

(1) ラグナ湖流域の概要

ラグナ湖は、1969年に設立された LLDA によって管轄されている。大統領令 No.813（1975年）により、ラグナ湖沿いの土地に関して、標高 12.5m 以下は公有地と規定されている。

ラグナ湖の沿岸の延長は約 220km に及び、湖面積は約 900km² を有する。流域面積はマンガハン放水路を通して接続するマリキナ川流域（約 540km²）を含めて約 3,820km² である。ラグナ湖には 100 を越える河川及び排水路が流入している。

一方、ラグナ湖からマニラ湾への自然の出口は湖の北岸に位置するナピンダン水路-パッシング川のみである。主要河川流域としては、図 2.2.1 に示すように 21 流域ある。主要流域の特徴を表 2.2.1 にまとめる。

表 2.2.1 ラグナ湖主要 21 流域の現況土地利用概況

No.	流域名	流域面積 (km ²)	主要な自治体	流域開発状況 流域の主要自治体
1	Angono	86.6	Angono町	流域南部は、比較的良く開発されている。山地部は未開発
2	Morong	95.9	Morong町	流域は、耕作地、住宅地等良く開発されている
3	Baras	21.7	Baras町	流域の平坦地は耕作地、住宅地等、山地部は未開発
4	Tanay	52.2	Tanay町	流域の平坦地は耕作地、住宅地等、山地部は未開発
5	Pililla	40.4	Pililla町	流域の平坦地は耕作地、住宅地等、山地部は未開発
6	Jalajala	70.6	Jalajala町	流域の平坦地は耕作地、住宅地等、山地部は未開発
7	Sta. Maria	202.2	Mabitac町、 Santa Maria町	流域の平坦地は耕作地、住宅地等、山地部は未開発
8	Siniloan	71.7	Siniloan町	流域の平坦地は耕作地、住宅地等、山地部は未開発
9	Pangil	50.1	Pangil町	流域の平坦地は耕作地、住宅地等、山地部は未開発
10	Caliraya	128.8	—	既設発電所の二つの貯水池（カリラヤ貯水池、ルモット貯水池）として利用
11	Pagsanjan	301.2	Lumban町、 Pagsanjan町	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
12	Sta. Cruz	146.7	Sta. Cruz市	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
13	Pila	89.3	Pila町	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
14	Calauan	154.5	Bay町	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
15	Los Banos	102.1	Los Banos町	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
16	San Juan	191.7	Calamba市	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
17	San Cristobal	140.6	Calamba市	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
18	Sta. Rosa	119.8	Sta. Rosa市 /Cabuyao市	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
19	Binan	84.8	Binan市	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
20	San Pedro	46.0	San Pedro市、 Muntinlupa市	流域の平坦地や中流部は耕作地、住宅地等が広がる 上流は山地部
21	Muntinlupa	44.1	Muntinlupa市	全流域は住宅地等が広がる



図 2.2.1 ラグナ湖の主要 21 流域

(2) ラグナ湖周辺の水理

雨期の河川からの流入や湖面への降水、乾期の蒸発によって、ラグナ湖の水位は 1 年を通して季節的な変動を示す。一般に、乾期の終わりの 4 月～5 月に最低水位となり、雨期の後半の 9 月～翌年 1 月にかけて最高水位となる。湖の平均最低水位は 10.8m、平均最高水位は 12.4m である。平均最低水位は、ほぼマニラ湾の平均海面（約 10.5m）と同じレベルであり、潮位が高い時は、パッシング川-ナピンダン水路を通じて塩水が湖に遡上してくる。この逆流は湖水位が海面より高くなるまで継続する。

雨期、周辺からの流入量や湖面への降雨が、流下能力の限られたナピンダン水路からの流出量や蒸発量以上になると湖水位が上昇していく。ナピンダン水路は、ラグナ湖の洪水をすばやく排水する能力はない。パッシング川-マリキナ川-ナピンダン水路の合流点の水位、マニラ湾の潮位、ラグナ湖の水位により、ナピンダン水路の流下能力は変化する。ナピンダン水路

の流下能力は既往検討²では、最高約 500m³/s と見積もられた。

ラグナ湖では塩水遡上現象を利用した汽水漁業が盛んである。また、湖水は、利用水量は多くないが灌漑水、生活用水、工業用水その他、水運及びレクリエーションにも利用されている。一方、生活排水等の流入による水質悪化は深刻な問題である。

また、ラグナ湖は、メトロマニラ中心部の洪水対策にも利用されている。メトロマニラの中心を貫流するパッシング川へ流下するマリキナ川の洪水の一部を、1988年に完成したマンガハン放水路を通してラグナ湖に分流し、一時貯留する機能を持つ。この時、ナピンダン水路、マリキナ川及びパッシング川の合流点に位置するナピンダン調整水門を閉じる。マリキナ川及びパッシング川の洪水が引いた後、ラグナ湖の高水はナピンダン水路、マンガハン放水路からパッシング川を通してマニラ湾に排水するという水理システムになっている（図 2.2.2 参照）。



図 2.2.2 ラグナ湖・マリキナ川・マンガハン放水路・ナピンダン水路・パッシング川の水理システム

2.2.2 過去の洪水と洪水対策

(1) 過去のラグナ湖洪水

14m を超えるような例外的に高い水位は、1946 年以前、1914 年の 14.62m 及び 1943 年の 14.35m の記録がある。1946 年以降では、1972 年に 14.03m の一回のみである。

1946 年から 2016 年までの 71 年間の 64 年分の記録（7 年分が欠測）によると、図 2.2.3 に示すように湖のピーク水位が 12.0m を超えた年は 47 回、12.5m を超えた年は 23 回、13.0m を超えた年は 10 回、13.5m を超えた年は 5 回、14.0m を超えた年は 1 回である。LLDA がクリティカル水位と考えている 12.5m を越える水位は、3 年に 1 回発生している。

² Detailed Engineering Design of the North Laguna Lakeshore Urgent Flood Control and Drainage Project, 1992

ラグナ湖は広大な湖沼であるため洪水貯留が可能である反面、主な流出水路は能力の限られたナピンダン水路のみである。このことは、ラグナ湖の洪水は、一旦水位が上昇すると高い水位が長時間継続し、広範囲に浸水被害が生じる特性を示す。表 2.2.2 及び図 2.2.4 に 1946 年以降の水位が高かったトップ 5 位までの主要既往洪水の最高水位、継続期間等を示す。2009 年に発生した 2 つの熱帯低気圧及び台風オンドイ、ペペンによる最高水位 13.85m が水位上昇直前の水位 12.73m まで降下に要した期間は 73 日、また 12.5m 以上だった期間は約 108 日であった。

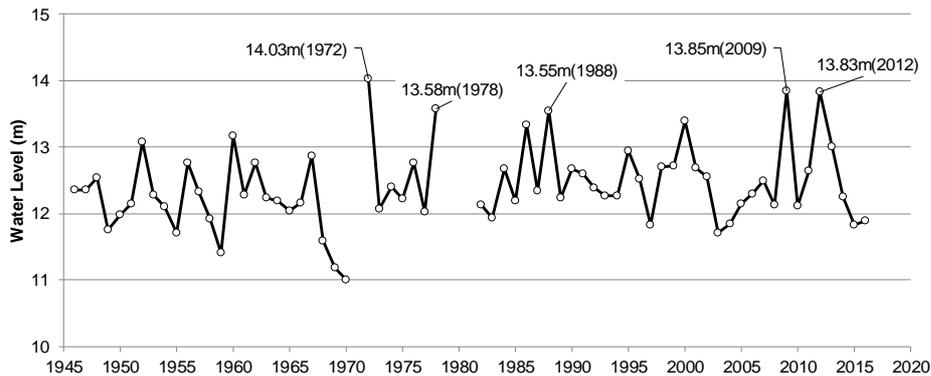


図 2.2.3 ラグナ湖の年最高湖水位

表 2.2.2 ラグナ湖の主要既往洪水の特性

No	Year	Max. Lake Water Level (m)	Number of days with H>12.5m	Number of days with H>13.0m	Number of days with H>13.5m	2-day Max Rainfall in Laguna Lake Catchment (mm)	Day (Start day of 2-day max rainfall)
1	1972	14.03	88	66	40	344	720719
2	2009	13.85	108	65	38	280	090925
3	2012	13.83	114	75	27	362	120806
4	1978	13.58	61	42	8	272	781008
5	1988	13.55	48	24	5	210	881024

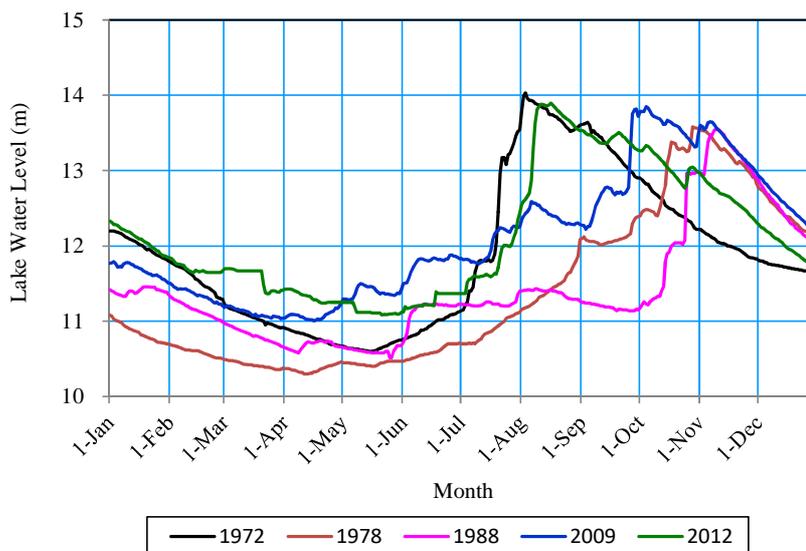


図 2.2.4 ラグナ湖の洪水水位（1972 年、1978 年、1988 年、2009 年、2012 年）

(2) ラグナ湖洪水対策の歴史

ラグナ湖洪水対策の必要性は、表 2.2.3 に示すように早くから認識、検討されていた。

表 2.2.3 ラグナ湖洪水対策の歴史

年代	洪水対策内容
1970 年代 前半	マニラ首都圏及びラグナ湖沿岸地域の全体的な洪水対策計画の立案（マリキナ川の大洪水をラグナ湖に分流するためのマンガハン放水路及びマリキナ堰（Marikina Control Gate Structure、MCGS）の建設、ナピンダン調整水門の建設、ラグナ湖の高水位低減のためのパラニャケ放水路の建設及びパッシング・マリキナ川の改修からなる）
1983年	ナピンダン調整水門の完成（ADB 支援）
1988年	マンガハン放水路の完成（日本支援）
1990 年	マニラ洪水対策計画調査（JICA）でM/P策定、その内で、「パッシング・マリキナ川改修計画」及び「ラグナ湖北岸緊急洪水制御計画」のフィージビリティスタディ（以下、F/S）を実施
2007 年	メトロマニラ西マンガハン地区洪水制御事業完成（日本支援） （ラグナ湖北岸緊急洪水制御計画の対象地域の一部である西マンガハン地区洪水制御事業）
2012 年	Master Plan for Flood Management in Metro Manila and Surrounding Areas（世銀支援） ラグナ湖西岸の嵩上げ、沿岸市街地の嵩上げ、流入河川改修、東マンガハン放水路、西マンガハン排水改善、土地利用規制等の提案を含む

2.2.3 被害状況調査

過去にラグナ湖の水面を顕著に上昇させた台風等の気象及びその際にフィリピンにおいて発生した被害の状況について、表 2.2.4 にまとめる。

表 2.2.4 過去の被害状況

発生年	ラグナ湖水位	気象及び被害概要
1972 年	14.03 m	- 最大風速 75m/s、最低気圧 911hPa を記録した台風グローリングが、台風エデン及び南シナ海北部に停滞していた熱帯性南西モンスーンと共に、ルソン島全体に非常に激しい雨を降らせた。フィリピンにおける総被害額は 150 百万 USD 以上となり、214 名が命を落とした。 ¹⁾
1978 年	13.58 m	- 最大風速 80m/s、最低気圧 878hPa を記録した台風カディンはルソン島中部を 12 時間かけて横断した。 ¹⁾ - フィリピン全土で 200 名以上が命を落とした。
1988 年	13.55 m	- フィリピン海上に連続して発生した、台風ウサン及び台風ヨニングは、それぞれ最大風速 64m/s、最低気圧 916hPa を記録しフィリピン中部を横断した。 - 台風ウサンにより、フィリピン全土で 300 名以上が命を落とし、47 万人以上が住居を失った。 - また、台風ヨニングにより 104 名が命を落とし、95 名が行方不明となり、60 万人以上が住居を失い、農作物に甚大な被害が発生した。 ¹⁾
2009 年	13.85 m	- 台風オンドイ、ペペンにより刺激された熱帯性南西モンスーンによりラグナ湖周辺の広範囲で浸水。 - 台風オンドイによる被害は次の通り。 ³⁾ ・ 被災人口は約百万世帯、約 5 百万人。 ・ 死者数は 464 人、負傷者数 529 人、行方不明者数 37 人 ・ 損害額は約 110 億ペソ。 - 台風ペペンによる被害は次の通り。 ³⁾ ・ 被災人口は約百万世帯、約 4.5 百万人。 ・ 死者数は 465 人、負傷者数 207 人、行方不明者数 47 人 ・ 損害額は約 273 億ペソ
2012 年	13.83 m	- 台風ホセ、ハイクイに刺激された熱帯性南西モンスーンによりラグナ湖周辺で浸水。

発生年	ラグナ湖水位	気象及び被害概要					
		- ラグナ湖周辺の市町村における被害は以下の通り。 ⁴⁾					
		対象州	被災人口 (人)	死者数 (人)	全壊家屋 数(戸)	損害額 (州全体)	浸水した 市町村数
		メトロマニラ	106,912	1	0	412 百万ペソ	3
		ラグナ	363,000	2	94	0.22 百万ペソ	15
		リザール	155,361	0	2,469	153 百万ペソ	7
注意：損害額は、州全体を対象とした数値							

出典：1) Annual Typhoon Report, US NAVY、2) Youngstown Daily Vindicator 新聞、3) Final Report on Tropical Storm “ONDOY”{Ketana} and Typhoon “PEPENG”{Parma}, NDRRMC Effects of Southwest Monsoon Enhanced by Typhoon Haikui, NDCC、4) Sitrep No. 20 Effects of Southwest Monsoon Enhanced by Typhoon Haikui, NDRRMC

2009 年の台風オンドイにより発生した洪水被害に関しては世銀の「台風 16 号（オンドイ）及び 17 号（ペペン）による洪水被害に係るニーズアセスメント調査（2010 年 1 月）（the Post Disaster Needs Assessment (PDNA) Study）、JICA の「マニラ首都圏治水計画情報収集・確認調査（2014 年）」に纏められている。前者は全国的に取り纏め、後者はマニラ首都圏の被害を中心に纏めている。ラグナ湖沿岸地域の被害状況は、National Disaster Coordinating Council (NDCC) の Sitrep No.27（2009 年 10 月 13 日時点）及び No. 32（同年 10 月 16 日時点）によって知ることができる。

世銀の PDNA によると、表 2.2.5 に示す様に直接被害が全体で 682 億ペソ（1,488 億円）、メトロマニラ（NCR）では、279 億ペソ（609 億円）であった。また、ラグナ湖流域の被害額は、約 11 億ペソ（24 億円）にのぼった。

表 2.2.5 台風オンドイによる洪水被害（影響地域全体）

（単位：百万ペソ）

分野	損害・損失額					
	直接被害	損失	合計	公的資産	私的資産	合計
生産分野	26,214.3	125,100.7	151,315.0	4,010.7	147,304.3	151,315.0
農業	3,765.0	36,152.0	39,917.0	4,010.7	35,906.3	39,917.0
工業	9,832.0	9,122.8	18,954.8	-	18,954.8	18,954.8
商業	12,041.3	77,288.6	89,329.9	-	89,329.9	89,329.9
旅行業	576.0	2,537.3	3,113.3	-	-	3,113.3
社会分野	33,207.3	9,986.9	43,194.2	8,812.2	34,382.0	43,194.2
住居	25,453.8	8,872.1	34,325.9	4,203.1	30,122.8	34,325.9
教育	2,515.7	229.5	2,745.2	2,149.3	595.9	2,745.2
文化・遺産	279.8	25.6	305.4	305.4	-	305.4
健康	4,958.0	859.7	5,817.7	2,154.4	3,663.3	5,817.7
インフラ分野	8,512.6	2,641.8	11,154.4	7,807.6	3,346.7	11,154.3
電気	713.1	878.5	1,591.6	-	1,591.6	1,591.6
上水・下水	372.5	768.6	1,141.1	497.3	643.8	1,141.1
洪水・排水対策及びダム管理	716.9	-	716.9	716.9	-	716.9
運輸・交通	6,517.1	994.7	7,511.8	6,593.4	918.3	7,511.7
通信	193.0	-	193.0	-	193.0	193.0
横断的分野	294.2	41.0	335.2	335.2	0.0	335.2
地方公共団体	294.2	41.0	335.2	335.2	-	335.2
社会的保護	-	-	0.0	-	-	0.0
金融	-	-	0.0	-	-	0.0
災害リスク削減管理	-	-	0.0	-	-	0.0
合計	68,228.4	137,770.4	205,998.8	20,965.7	185,033.0	205,998.7

出典：Post-Disaster Needs Assessment (WB, 2009)

表 2.2.6 台風オンドイによる洪水被害 (NCR)

(単位: 百万ペソ)

分野	直接被害額	損失額	合計
生産分野	17,329	19,900	37,230
農業	-	-	-
工業	9,035	6,449	15,485
商業	7,786	12,256	20,042
旅行業	509	1,195	1,703
社会分野	9,957	2,283	12,240
住居	6,530	2,276	8,806
教育	423	1	424
文化・遺産	62	6	67
健康	2,943	0	2,943
インフラ分野	608	352	969
横断的分野	-	-	-
合計	27,894	22,535	50,438

出典: Post-Disaster Needs Assessment (WB, 2009)

表 2.2.7 台風オンドイによる洪水被害 (調査対象域)

市町村名	被災人口 ¹⁾	死者数 ²⁾	全壊家屋 ¹⁾ (戸)	部分破損 家屋 ¹⁾ (戸)	インフラ 損害額 ²⁾ (ペソ)	農作物 損害額 ²⁾ (ペソ)	損害額 合計 ²⁾ (ペソ)
NCR	476,960	64	0	0	92,858,280	0	92,858,280
Las Pinas	26,330				7,850,000		7,850,000
Marikina	78,775	61			5,850,000		5,850,000
Muntinlupa	87,815	3			12,810,000		12,810,000
Paranaque	2,250				18,900,000		18,900,000
Pasig	152,160				37,308,780		37,308,780
Taguig	129,630				10,139,500		10,139,500
LAGUNA	828,902	13	2,898	2,022	0	449,570,570	449,570,570
Bay	22,605		1	130			
Biñan	198,700		302	442			
Cabuyao	99,140						
Calamba	59,052	1	847	510			
Famy	14,415	7	55	96			
Kalayaan	3,918						
Los Banos	29,730		324	249			
Lumban	5,146		46	84			
Mabitac	15,830	1	59	98			
Pangil	5,945		16	23			
Paete	4,320		2	2			
Pakil	10,578		5	98			
Pila	9,657						
San Pabro	0						
San Pedro	153,536	1	12	16			
Santa Cruz	102,590	1					
Santa Rosa	77,052	2	1,120	54			
Siniloan	9,045		109	220			
Victoria	7,643						
RIZAL	481,865	56	5,987	10,001	383,860,000	196,292,893	580,152,893
Angono	52,375	10					
Baras	28,440		93	117			
Binangonan	66,896		562	380			
Cardona	33,825		524	181			
Jalajala	4,999		4,139	8,155			
Morong	2,630	3					
Pililla	34,000		0	300			
Tanay	35,610	43	610	804			
Taytay	223,090		59	64			
合計	1,787,727	133	8,885	12,023	476,718,280	645,863,463	1,122,581,743

出典: 1) Sitrep No. 32 on Tropical Storm "Ondoy" {KETSANA} and Typhoon "PEPENG" {Parma} Oct 16, 2009、

2) Sitrep No. 27 on Tropical Storm "Ondoy" {KETSANA} and Typhoon "PEPENG" {Parma} Oct 13, 2009

ラグナ湖は、ほぼお盆状の形状であり、唯一の排水施設であるナピンダン水路の能力が限られていることから、洪水は継続期間が長いという特性がある。ラグナ湖の浸水被害は、ラグナ湖水位と同じ地盤標高のラグナ湖沿岸地域まで及ぶ。

ラグナ湖沿岸地域の居住地はおよそ標高 12.0m からみられ、標高 12.5m 以上の地域は多くの住居及び社会インフラが存在する。標高 12.0m を洪水被害発生の最低標高と見たとき、0.5m 標高毎のおおよその浸水面積について DEM、LANDSAT 2016 を基に算出した結果を表 2.2.8 に示す。なお、標高 12.0m 以下に居住する人口は 0 と仮定している。

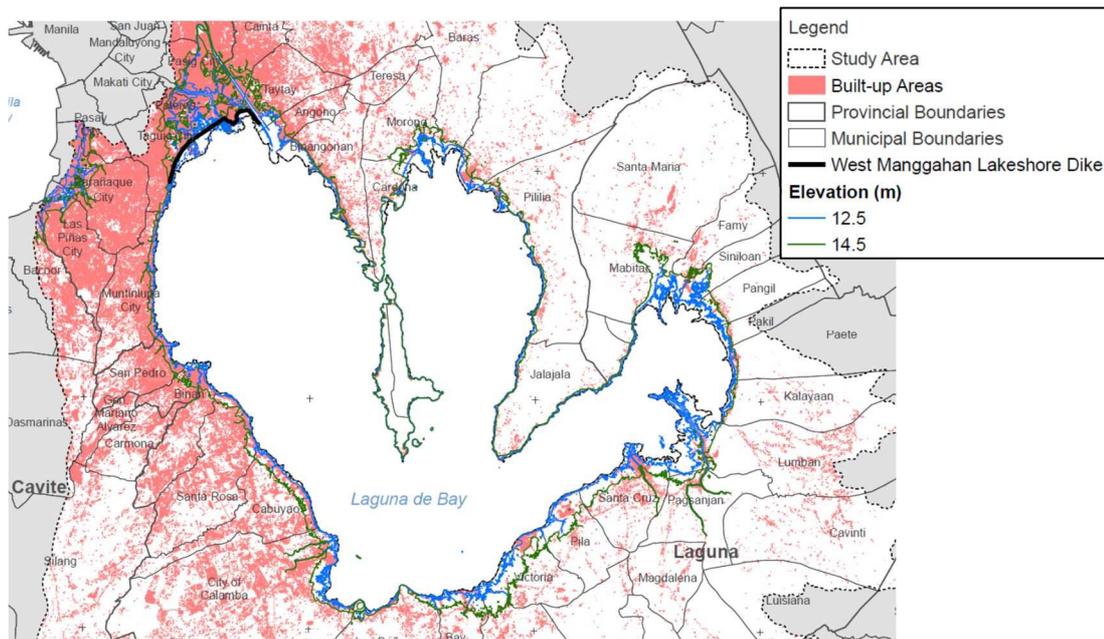
例えば、洪水の最高水位が 13.0m になった場合、居住地の最低標高 12.0m から 44.6km² が浸水、浸水人口は 179,000 人と想定できる。

表 2.2.8 各水位における浸水面積と浸水人口

洪水水位 (m)	浸水面積*1 (km ²)	想定浸水人口*2 (人)
12.0	0.0	0
12.5	20.8	48,000
13.0	44.6	179,000
13.5	69.6	353,000
14.0	95.6	554,000
14.5	120.9	749,000

*1 : DEM Data (NAMRIA) より JICA 調査チームが試算

*2 : LANDSAT 2016 の Built-up Area と Census 2015 に基づき JICA 調査チームが試算



出典：JICA 調査チーム

図 2.2.5 ラグナ湖沿岸地域と洪水時浸水想定エリア (12.5m, 14.5m の等高線)

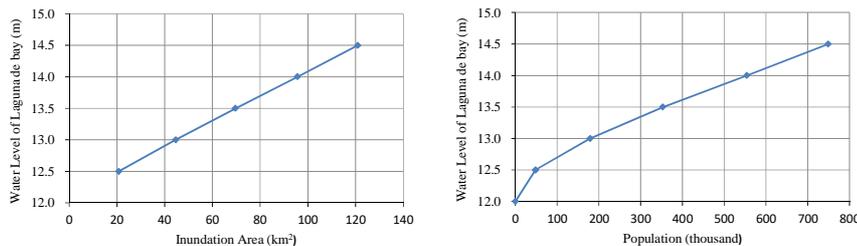


図 2.2.6 ラグナ湖沿岸地域の洪水時浸水想定面積と人口

2.3 既往の洪水対策事業の評価

パッシング・マリキナ川流域を含むラグナ湖流域における、実施済みの大規模な構造物対策及び非構造物対策には以下のような事業がある。ADB 支援による (2) 以外は、日本の ODA によって完成したものである。

- (1) マンガハン放水路建設事業（ロザリオ堰を含む）
- (2) ナピンダン調整水門建設事業
- (3) パッシング・マリキナ川河川改修事業（フェーズ I、II 及び III）
- (4) メトロマニラ西マンガハン地区洪水制御事業
- (5) メトロマニラ洪水制御及び警報システム（EFCOS）



図 2.3.1 既往の洪水対策事業位置図

また、他のドナーの支援及びフィリピン政府独自の取り組みで実施された非構造物対策がある。

- (6) KOICA Project
- (7) Resilience Project（UNDP 及びカナダ国際開発庁（Canadian International Development Agency（以下、CIDA）））
- (8) Ready Project (Hazard Mapping and Assessment for Effective Community-based Disaster Risk Management)（国際連合開発計画（United Nations Development Program（以下、UNDP））及びオーストラリア国際開発庁（Australian Agency for International Development（以下、AusAID）））
- (9) Project NOAH（フィリピン政府独自(DOST)の取り組み）

これらの事業の内、実際に実施済み及び実施中の主な事業について、事業内容、事業効果の状況、運用・維持管理状況について調査を行った。結果を表 2.3.1 及び表 2.3.2 に示す。

表 2.3.1 実施済みの主要構造物対策

No.	事業名	事業内容	事業効果の状況	運用維持管理状況
1	マンガハン放水路建設事業	1975年にF/Sを実施し、1988年のマリキナ川の洪水の分流が最初の運用となった。これまではマリキナ川の洪水は、メトロマニラの中心部を流れるパッシング川を通してマニラ湾に流出していた。 パッシング川の流下能力が限られていることから、マリキナ川の洪水の一部をマンガハン放水路を通してラグナ湖に分流することで、メトロマニラ中心部をパッシング川の洪水越流から防止することを目的とする。 放水路の計画流量は2400m ³ /s、延長9km。放水路流入部に設置されたロザリオ堰では、マリキナ川洪水の分流、ラグナ湖の洪水を放流する目的でゲート操作を行っている。(ゲート幅18.75m x t高さ3.0m x 8門、敷高EL.10.5m)	完成後、パッシング川の洪水越流は発生しておらず、効果は大きい。 但し、マリキナ川の計画流量2900m ³ /sに対して、当初計画通りの分流量を確保するためには、ロザリオ堰のみでは不十分なため、マリキナ堰の建設が計画されている。	運用維持管理はMMDAが実施。放水路内に不法居住が多く、運用上問題である。 放水路内の不法居住民の移転を徐々に実施中である。
2	ナピンダン調整水門建設事業	ラグナ湖の淡水化、パッシング川から逆流時の塩水遡上と汚濁水の流入防止、水資源開発・洪水対策を目的として、ADBの資金支援で1983年完成。水門ゲート幅15m x 高さ9m x 4門。舟運用ロックゲート(幅18m x 高さ9.0m)。敷高EL.6.0m	ゲートの開閉は、ラグナ湖の汽水漁業に影響があるということで漁民側はゲートの常時締め切りに反対していることから、維持管理用のゲート開閉以外は、建設以来ほとんどゲートは開けたままである。	MMDAが、マンガハン放水路・ロザリオ堰と一体に行っている。
3	パッシング・マリキナ川河川改修事業(I、II、III)	1990年のJICA調査「メトロマニラ洪水対策計画」の中でM/PとF/Sを実施。約3kmの河道改修を4期で実施中。フェーズIはパッシング川の詳細設計、フェーズIIはパッシング川の改修工事、フェーズIIIはマリキナ川下流区間の詳細設計と改修工事で完了済み(対象はパッシング川及びマリキナ川下流部、延長約22km)。今後、フェーズIVとしてマリキナ堰建設を含むマリキナ川中流部(8.0km、計画流量2,900m ³ /s)の改修が計画されている。なお、マリキナ川上流区間の下流部(5.8km、計画流量2,900m ³ /s)の改修工事は、フィリピン政府資金でDPWHによって実施中である。	パッシング川及びマリキナ川の計画規模30年確率洪水を安全に流下させ、越流被害を防止することが期待されている。 現在計画中のマリキナダム事業が実現すると100年確率規模でメトロマニラを洪水から防御することになる。	完成後、DPWHからMMDAに維持管理業務を移管することが合意されている。
4	メトロマニラ西マンガハン地区洪水制御事業	1990年のJICA調査「メトロマニラ洪水対策計画」の中でM/PとF/Sを実施。 湖岸堤システム(約10kmの湖岸堤、4排水機場、1橋梁の建設)及び流出河川ナピンダン水路沿いに洪水防御壁(5.2km)の建設から成る。湖岸堤はコミュニティ用道路(2車線)を併設。2007年完成。	ラグナ湖沿岸の低地タギッグ市、パッシング市及びバテロス町の約39km ² をラグナ湖の洪水から防御する。計画洪水位はEL.13.80m、堤防天端高EL.15.0m。受益者は約60万に上る。完成後、2009、2012年のラグナ湖の洪水で有効性を発揮した。 2009年のオンドイ、ペペンによる洪水では、この防御地域もマリキナ川からの越水で冠水したが、排水機場の活躍で数週間で湛水を解消(他の無対策の湖沿岸地域は数か月間湛水が継続)した。	DPWHからMMDAに運用維持管理業務を移管済み。

表 2.3.2 実施済みの主要な非構造物対策

No.	名称	事業内容	事業効果の状況	運用維持管理状況
1	メトロマニラ洪水制御及び警報システム (EFCOS)	マンガハン放水路の適切な運用と放水路沿いの住民へ放水に関する警報を行うため1993年に設置された。パッシング・マリキナ川流域に無線テレメーター雨量計と水位計、ラグナ湖北側に無線テレメーター水位計、放水路沿いに警報サイレンを有する。観測データはPAGASAにも送信され、洪水予警報に活用されている。	EFCOSの観測データはマンガハン放水路のロザリオ堰の運用に活用されている。放水路沿いの住民への放水警報も適切に発令されている。また、観測データはPAGASAの予警報システムで活用されている。	当初はDPWHが管理していたが、MMDAに移管され現在はMMDAが管理している。2001年と2016年にJICA無償により機器の補修等が行われている。
2	KOICA Project	KOICAによりパッシング・マリキナ川流域に無線・SMSテレメーター雨量計と水位計、洪水警報サイレンが2010～2012年に設置された。観測システムはPAGASAに属し、洪水予警報システムに活用されている。	PAGASAによるパッシング・マリキナ川の洪水予警報にEFCOSデータとともに活用されている。	PAGASAにより維持管理がされているが欠測が散見される。
3	Resilience Project	OCD-NDRRMCに対するUNDPとCIDAの支援により地方自治体の災害リスク削減能力の向上を目的とするプロジェクト。パッシング・マリキナ川流域とマラボン・トゥリャハン川流域を対象にGSMテレメーター雨量計と水位計の設置による洪水予警報システムの開発の実施を含み、2010年～2013年に実施された。	ラグナ湖流域には直接的には関係しない。	ラグナ湖流域には直接的には関係しない。
4	Ready Project	OCD-NDRRMCに対しUNDPとAusAIDの支援による災害削減のための制度的能力の向上を目的とするプロジェクトでラグナ湖流域北東支川のタナイ川流域と周辺地域へのSMSによるテレメーター雨量、水池の設置を含む。同観測所のデータはPAGASAの洪水予警報センターに送信されている。	タナイ川流域及び周辺地域の洪水予警報に活用されている。	雨量計の盗難や、機器の故障により一部の観測所が機能していない状況である。
5	Project NOAH (Nationwide Operational Assessment of Hazards)	気候変動に関連する災害に対する対応と予防・軽減システムの向上を目的とするプロジェクトである。DOST-ASTI、DOST-PAGASA、PHIVOLCSがUPと協力し、2013年を目標年とし、18主要河川流域に対する水文・気象観測システムの設置、より正確な洪水ハザードマップの作成などの災害アセスメントを含む。	同事業によりラグナ湖流域のLGUに水文・気象観測システムが設置されている。	同事業で設置された水文・気象観測システムの維持管理は基本的にはLGUが行う。

また、実施中及び計画中のプロジェクトには以下のものがある。

- (1) パッシング・マリキナ川河川改修事業 (V) (DPWHは自己の予算で実施中)
- (2) マリキナダムの詳細設計 (マリキナ川の洪水制御のために世銀の資金支援でDPWHが実施中)
- (3) パッシング・マリキナ川河川改修事業 (IV) (DPWH が建設を計画。マリキナ川中流部東側河岸からの洪水越流がカインタ川流域へ流入する洪水被害防止を期待)
- (4) マリキナ川上流部の調整地建設計画 (マリキナ川の洪水制御のために DPWH が調査・計画のコンサルタント選定進行中)
- (5) 東マンガハン地区洪水対策計画 (ラグナ湖に面するマンガハン放水路の東側地区の洪水対策の事業化を DPWH が計画)

2.4 ラグナ湖流域の水資源利用状況

2.4.1 ラグナ湖における地域資源利用の状況

ラグナ湖は様々な形で周辺地域に恩恵をもたらしている。ラグナ湖は内水面漁業（漁獲、養殖）のほか、湖水は農業用水、水力発電用水、工業用水（冷却水）及び水運等に利用されている。

(1) 漁業

1) 漁業生産高

ラグナ湖マスタープラン³ (2016 年, LLDA) によれば、ラグナ湖内行われている漁業は、漁獲 (Open Lake Fishery) と養殖 (Aquaculture) に分けられる。近年の漁獲高は年々増加しており、2008年に 80,684 MT (Metric Ton) であったものが、2013年には 89,985 MT まで増加した。ラグナ湖における漁獲は、ラグナ州の 18 町、リサール州の 9 町、及び NCR の 2 市における 20,326 の小規模漁業者により行われており、重要な生計手段であり、地域経済に大きく貢献している。

一方、ラグナ湖における養殖は、fish pen 及び fish cage によって行われている。fish pen は、養魚のために水域の中に設置された囲いであり、主に竹の棒で作られている。また fish cage は、水面に固定、または浮かせた状態の網やネットである。fish pen 及び fish cage の面積は、2015 年において 12,064.63ha であり、これは湖全体 (900km²) の約 13%を占めている。内訳は、fish pen が 10,386.86ha (86.1%)、fish cage が 1,677.77ha (13.9%)である。これらによる生産高は、2008年に 149,271 MT であり、2013年には 155,518 MT とわずかな上昇に留まっている。養殖されている魚種は、Milkfish (Bangus)、Tilapia 及び Carp 等である。

2) ゾーニング及び管理計画 (ZOMAP)

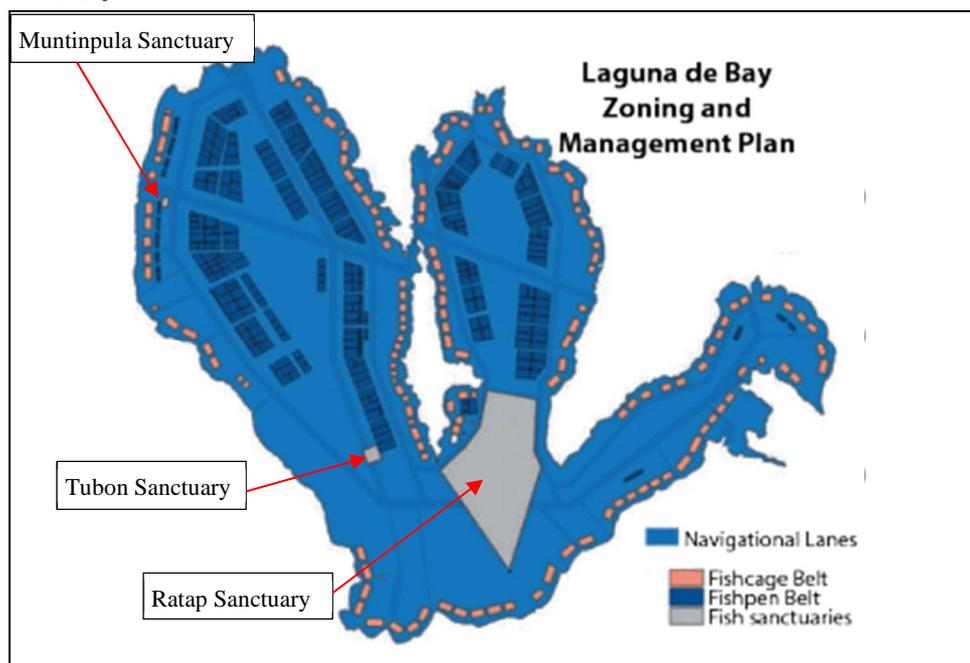
1973 年に fish pen が導入され、その高い生産性のため急速に拡大していった。そして fish pen や fish cage が乱立状態になり、逆に生産性が減少していった。また零細漁民と fish pen 操業者との間に軋轢が生まれるに至った。

そのような状況の中で LLDA は、1996 年 1 月にゾーニング及び管理計画 (Zoning and Management Plan : ZOMAP)を策定した。ZOMAPは湖の自然の環境容量に考慮して、持続可能

³ Laguna de Bay Basin Master Plan 2016 and Beyond towards Climate-Resilience and Sustainable Development, December 2015, LLDA

な漁業資源の活用を可能にするための養殖場の配分である。これにより、ラグナ湖の漁業資源は様々な関係者、すなわち養殖業者、水運業者、そして地元漁民の間に公平に配分され利用されることとなった。図 2.4.1 は、1999 年における ZOMAP の状況を示す。これによれば、fish cage が湖岸線に沿って分布し、その内側に fish pen が立地していることが分かる。しかし、fish pen は主に West Bay 及び Central Bay にあるのみで、East Bay にはほとんど設置されていない(以上、Website of LLDA)。

LLDA によれば、現在、ZOMAP の見直しが行われ、2018 年 1 月を目途に改定される予定である。背景には現在の ZOMAP はラグナ湖の環境容量を超えた過剰利用が行われているという指摘がある。改定後の ZOMAP は、fish pen 及び fish cage の合計面積が約 9,000ha となることである。



出典：Web site of LLDA

図 2.4.1 Zoning and Management Plan (ZOMAP) (1999 年時点)

3) 保護区 (Fish Sanctuary)

ラグナ湖内には、漁業資源を保護する目的で、保護区 (Fish Sanctuary) が設定されている。保護区は、LLDA Board Resolution No. 136 (2000) により規定されており、現在、3 か所設定されている (図 2.4.1)。それらの詳細は表 2.4.1 に示す通りである。

表 2.4.1 ラグナ湖における保護区 (Fish Sanctuary) の設定状況

No.	Name	Location	Area (ha)
1	Rayap Sanctuary	Central Bay	5,000
2	Tabon Sanctuary	West Bay	126.27
3	Muntinlupa Sanctuary	West bay	30.12

出典: LLDA Board Resolutin No. 136 (2000)

これらのほか、LGU レベルの保護区として、Calamba 市が City Ordinance No. 495 により設定した保護区 (Protected area) 及び Fish Sanctuary (Yankaw Fish Garden Sanctuary) が、ラグナ湖 South Bay の Calamba 市の沖合に設置されている (図 2.4.2 参照)。



出典: EIS for Laguna Lakeshore Expressway Dike Project (LLEDP), 2014

図 2.4.2 Calamba 市が設定した保護区 (Fish Sanctuary) の状況

(2) 農業用水、発電用水及び工業用水

調査地域において、ラグナ湖の湖水を対象とした取水権 (Water Permit) が設定されている。それらを要約すると表 2.4.2 の通りである。ラグナ湖からの取水権は、National Water Resources Board (NWRB) によって一元的に管理されており、現在、40 件の取水権が発行されている。水利用の目的は、37 件が灌漑用水であり、他には、上水、工業用水及び発電用水がそれぞれ 1 件ずつある。取水権の内容は、マニラ首都圏の Muntinlupa 市が 2 件 (上水及び灌漑用水各 1 件)、ラグナ州が 3 件 (灌漑 2 件、水力発電 1 件) で取水地点はラグナ湖の東岸、またリサル州が 35 件 (灌漑用水 34 件、工業用水 1 件) で、取水地点はいずれもラグナ湖の北岸となっている。

表 2.4.2 ラグナ湖からの取水権数と用途

Location		No. of Water Permits Issued for Water Intake from Laguna Lake	Purpose			
Province	City / Municipality		Laguna Lake	Irrigation	Domestic water supply	Industrial water
Metro Manila	Muntinlupa	2	1	1		
Laguna	Kalayaan	1				1
	Pangil	2	2			
Rizal	Jala-jala	8	8			
	Pililla	3	2		1	
	Baras	3	3			
	Morong	5	5			
	Cardona	2	2			
	Binagonan	8	8			
	Angono	1	1			
	Taytay	5	5			
Total		40	37	1	1	1

出典 : National Water Resources Board (NWRB)

(3) 水運

ラグナ湖では古くから水運が行われてきた。5,000 を超える動力/非動力の船が沿岸の集落間で運行されている。また、平均 75,640 バレルの石油及び石油製品を運ぶため、23 隻のバージが毎日定期運行している。石油輸送のための航路としては、Pasig River と Sucat、Muntinpula (Metro Manila)、Malaya、Pililla (Rizal) の往復するものがある (ラグナ湖マスタープラン、2016)。

LLDA は陸上交通の混雑を緩和するため Board Resolution (BR) No. 66 / 1998 により、ラグナ湖内フェリー航路を設定した。航路は以下の 3 つに区分されており、これらの航路を現状の石油輸送のための航路 (Pasig River と Sucat、Muntinpula (Metro Manila)、Malaya、Pililla (Rizal) の往復) に加える、と規定している。

- a. 幅 500m の急行レーンとして、Los Banos (ラグナ州)、更に Pagsanjan (ラグナ州) へ向かう航路
- b. 幅 400m の第二航路として、Talim Island を含めた、湖周囲の町 (Municipality) へのアクセスを目的とした航路
- c. 幅 200m の第 3 航路で、特定の町へ向かうもの

また、ラグナ湖の湖岸には公共、私有を問わず多くの係留施設が設置されており、周辺地域の住民によって漁業、水運及び水生植物 (空心菜等) の収穫等に使われている。これらの活動や諸施設は本プロジェクトの実施に伴い影響を受ける恐れがある。

2.4.2 地下水利用の状況

調査地域における地下水利用を含めた水利用は NWRB (National Water Resources Board) により一元的に管理されている。National Water Resources Board (NWRB) は地下水利用に対して取水権 (Water Permit) を発行し料金を徴収している。この場合、深層地下水を取水の対象としている Deepwell は審査の上取水権を発行しているが、表層地下水を対象とした浅井戸については原則として取水権発行はしておらず、井戸所有者による登録申請が義務付けられているのみである。NWRB によれば、NWRB Resolution No.001-0904 及び No. 020-1209 に基づき、地下水枯渇や塩水侵入等の影響を回避する目的で、現在、Muntinlupa、Parañaque、Las Piñas の 3 市を含むマニラ首都圏において地下水利用に関する新たな取水権を発行していない。

表 2.4.3 は、調査地域における既存の取水権発行数を示す。パラニャーク放水路の対象地域であるメトロマニラの 4 市においては、地下水利用に対する取水権が Paranaque 市で 210 件、以下、Muntinpula 市で 152、Las Pinas 市で 98、そして Tagui 市で 63 件発行されている。また、ラグナ湖周辺の地域では、湖西岸に位置する LGU (San Pedro から Calamba の区域) においては地下水利用に対する取水権が 85 から 160 件で推移しているが、Los Banos 以降は多くても 30 件程度と少ない。また、ラグナ湖北岸に位置するリサル州では、40 件以下の件数となっている。

なお、取水権発行の大部分は深井戸が対象であるが、河川やラグナ湖からの取水に対する件数も含まれている。ラグナ湖からの取水は、Muntinpula 市で 2 件あるほか、ラグナ湖北岸の地域において多くなっている (ラグナ湖からの取水については、前節参照)。

表 2.4.3 調査地域における既存の取水権数

Location		No. of Water Permits Issued	No. of WPs (cancelled)	No. of WPs (existing)	Groundwater		Surface Water		
Province	City / Municipality				Deepwell	Other	River	Laguna Lake	Other
Metro Manila	Paranaque	248	35	213	207	3	3	0	0
	Las Pinas	108	9	99	98	0	1	0	0
	Taguig	67	1	66	63	0	3	0	0
	Muntinlupa	164	10	154	152	0	0	2	0
Laguna	San Pedro	93	1	92	91	1	0	0	0
	Binan	91	4	87	83	2	2	0	0
	Santa Rosa	136	0	136	132	1	3	0	0
	Cabuyao	96	1	95	91	4	0	0	0
	Calamba	167	3	164	155	5	3	0	1
	Los Banos	11	0	11	9	0	1	0	1
	Bay	11	0	11	7	0	3	0	1
	Calauan	31	0	31	7	19	3	0	2
	Victoria	2	1	1	0	0	1	0	0
	Pila	10	0	10	7	1	2	0	0
	Santa Cruz	14	0	14	13	0	1	0	0
	Pagsanjan	12	0	12	7	3	2	0	0
	Lumban	9	0	9	2	0	7	0	0
	Kalayaan	3	0	3	2	0	0	1	0
	Paete	5	0	5	1	0	4	0	0
	Pakil	14	0	14	0	11	3	0	0
	Pangil	12	0	12	4	1	5	2	0
	Siniloan	4	0	4	0	0	4	0	0
	Famy	2	0	2	0	0	2	0	0
Mabitac	2	0	2	0	1	1	0	0	
Rizal	Jala-jala	17	0	17	1	1	7	8	0
	Pililla	21	0	21	8	1	8	3	1
	Tanay	44	1	43	17	15	10	0	1
	Baras	24	0	24	19	0	2	3	0
	Morong	31	0	31	13	1	10	5	2
	Cardona	6	0	6	4	0	0	2	0
	Binagonan	45	0	45	33	1	2	8	1
	Angono	16	1	15	12	0	2	1	0
	Taytay	51	3	48	38	2	2	5	1

出典：National Water Resources Board (NWRB), 2017

2.5 関連する開発計画、既往事業

ラグナ湖周辺の関連する開発計画、既往事業として、下記の事業について整理する。

- ラグナ湖高速道路堤防事業
- LRT-1 カビテ延長事業
- Maynilad による Muntinlupa 市の上水関連施設建設事業
- 南北鉄道事業（南側路線）
- マニラ首都圏地下鉄事業
- マニラ-ケソン高速道路事業
- インフラ準備及び革新的施設のための事業
- CBK Power Company による発電事業

2.5.1 関連する開発計画

(1) ラグナ湖高速道路堤防事業

DPWH が計画しているラグナ湖高速道路堤防事業（the Laguna Lakeshore Expressway - Dike Project, LLEDP）は、マニラ首都圏の Taguig 市（Bicutan 地区）から Laguna 州 Los Banos 町まで

の区間で、ラグナ湖上に約 47 km の湖岸道路堤防建設及び都市開発事業の 2 つのコンポーネントを PPP 事業で計画したものである。実施機関は DPWH である。その F/S は 2012 年に行われた。100 年確率湖水位 14.0m を計画高水位とし、余裕高 1.0m を加え天端標高 15.2 m の堤防とし、その上に高速道路を建設するものである。堤防はラグナ湖底の土砂を利用して造成する。また、マニラ首都圏域内では、ラグナ湖を埋め立てて都市開発地区（最大 700 ha）を建設する計画である。LLEDP の概要を表 2.5.1、図 2.5.1 に示す。

表 2.5.1 ラグナ湖高速道路堤防事業（LLEDP）概要

項目		施設	数量	備考
Component	Component 1 Expressway - Dike (2 x 3 Lanes)	堤防道路	47km	湖岸から約 500m 湖側に設定 Taguig から Los Banos まで
		インターチェンジ	8ヶ所	
		橋梁	16橋	
		排水機場	16ヶ所	
	天端標高	15.2m	100年確率	
Component 2 Reclamation	埋立	700ha	100ha/ヶ所 x 7ヶ所、幅 450m	
建設費	Component 1		Php 64.9 B	2013年時点
	Component 2		Php 57.9 B	2013年時点
	計		Php 122.8 B	2013年時点
便益	洪水対策		Php 20.0 B	80万人の被災防止
	交通		Php 5.4 B	
	埋立		Php 118.8 B	
	計		Php 144.2 B	

出典：Laguna Lakeshore Expressway - Dike Project (LLEDP), Public - Private Partnership Project, Presentation to UK Transport Solutions, September 18, 2014, DPWH in cooperated with LLDA



出典：Laguna Lakeshore Expressway - Dike Project (LLEDP), Public - Private Partnership Project, Presentation to UK Transport Solutions, September 18, 2014, DPWH in cooperated with LLDA

図 2.5.1 LLEDP の位置及び線形計画

PPP 事業として 2017 年初めに入札会が行われたが、業者選定は不成立に終わった。DPWH は事業の内容を見直し、洪水対策は DPWH が実施する方針とした。

(2) LRT-1 カビテ延長事業

1984 年にマニラにおいて開業した Light Rail Transit Line 1 (LRT-1) は、マニラにおける初の LRT 路線であり、市民の通勤や生活手段の基礎となっている。2011 年 5 月に公表された「フィリピン開発計画 2011-2016」では、フィリピンにおける開発促進の原動力として、民間からの資金や人材を活用し、路線の拡張、組織や運営・維持管理面の合理化の必要性が述べられている。

上記の背景を踏まえ、LRT-1 カビテ延長事業 (LRT-1 Cavite Extention) は、官民連携事業として、民間の資金やノウハウを活用し、LRT-1 路線をマニラ首都圏の南部において延長し、交通状況を改善することを目的とする。同時に LRT-1 路線の運営・維持管理を民間に託し、運営・維持管理の効率化やサービスの水準の向上を目指す。当事業の位置図を図 2.5.2 に、事業概要を表 2.5.2 に示す。



出典：LRMC

図 2.5.2 LRT-1 路線延長計画位置図

表 2.5.2 LRT-1 カビテ延長事業概要

項目	内容
予算	649 億ペソ
建設期間	4 年間
運用開始時期	2021 年
路線延長	11.5 km (Baclaran から Bacoor まで。内 10.5 km は高架)
その他の建設・調達対象	新設駅舎 (8 駅)、車両 (日本)、既存車庫の拡張、新設の車庫
効果	日輸送人員を 50 万人から 80 万人に改善、移動時間の短縮

出典：LRMC の情報を JICA 調査チームが整理

パラニャーケ放水路排水施設は LRT-1 路線付近に建設されることが予想される。線路は高架として計画されていることから、放水路と線路の交差も基本的に問題はない。駅舎の位置と放水路の関係について留意する必要がある。

(3) Maynilad による Muntinlupa 市の上水関連施設建設事業

ラグナ湖の西部に位置する Muntinlupa 市は、人口約 50 万人を抱え、Alabang や Sucat といった巨大な商業地を有するが、依然、上水を深井戸に頼る地域が少なくない。郊外では Subdivision の開発が進み、特に、標高が高い地域では上水の供給が追いついておらず、安全な上水の供給が喫緊の課題であった。

当事業は、上記の背景を踏まえ Muntinlupa 市及び周辺地域における安全で安定した上水供給を目的とするものである。事業概要を表 2.5.3 にまとめる。

表 2.5.3 上水関連施設建設事業概要

項目	Victoria Homes ポンプ場	Putatan 第2浄水場
予算	2.5 億ペソ	67.5 億ペソ
運用開始時期	2017 年 11 月運用開始	2018 年 5 月予定
取水位置	中継ポンプ場のため、取水はない	ラグナ湖 (EL.10.5 m)、ただし、乾期はラグナ湖の水質が悪化しており取水を制限している。
取水量	—	第1浄水場と合わせて 300 MLD (3.5m ³ /s)
建設対象	ポンプ場と調整池	浄水施設、取水施設は既存のものを使用
施設位置	Barangay Tunasan, Muntinlupa	Barangay Putatan, Muntinlupa (第1浄水場の隣)
取水位置	—	Barangay Putatan, Muntinlupa City  出典：Google
効果	Tunasan 町及び Poblacion 町への送水、Victoria Homes Subdivision への送水、110kPa での送水	Muntinlupa, Las Pinas 及び Cavite における 1.2 百万の Maynilad 利用者への安定した上水供給、110kPa での送水

出典：Mynilad の情報を JICA 調査チームが整理

Victoria Homes ポンプ場に関しては、Barangay Tunasan の内陸に設けられるためポンプ場建設・運用による影響はないと考えられる。一方、Putatan 第2浄水場は、ラグナ湖から取水しており、その取水口の最低取水標高は EL.10.5m であるが、実際、乾期にはラグナ湖の水質が悪化しており取水を制限している。また、Putatan 第1、第2浄水場の取水施設と湖岸堤の法線が交わるため、湖岸堤にかかる将来の検討においては交差部の構造において注意が必要である。

(4) 南北鉄道事業（南側路線）

フィリピン国有鉄道（Philippine National Railways: PNR）は、イロコス地方の La Union から Bicol までルソン島を南北方向に走る延長 797 km の主幹路線を所有していたが、維持管理不足や自然災害、また不法居者の侵入によりその機能は大きく損なわれている。2007 年及び 2009 年には鉄道敷地用地の確保、鉄橋や線路の付替え、駅舎の改修等を行い、2011 年には Bicol 特急を導入したが、それ以降、整備不足により現時点で長距離輸送は実施できておらず、ラグナ湖南西部の Calamba からビコール地方の Sipocot の間で業務が停止状態となっている。

当事業は、上記の背景を踏まえ、官民連携事業として 1) 既存路線であるマニラから Legaspi までの路線の改善、Calamba から Batangas、Legaspi から Matnog までの路線延長、及びそれらの長距離旅客輸送運営、2) マニラから Calamba 間における安定した通勤路線サービスの提供を目的とする。事業概要を表 2.5.4 にまとめる。

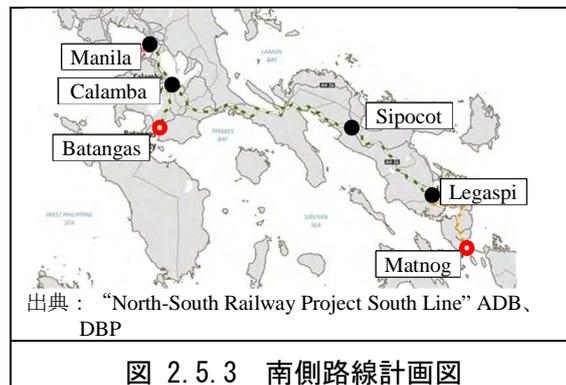


図 2.5.3 南側路線計画図

表 2.5.4 南北鉄道事業（南側路線）概要

項目	内容
予算	1,452 億ペソ（用地取得費除く）
建設期間	4 年間
運用開始時期	2022 年（ただし、(7) に示す通り ADB 案件として FS の見直しを計画中）
路線延長	653 km（既存路線の改善：478 km、路線の延長：175 km）
建設・調達対象	線路の改修（交換、複線化、高架化）新設駅舎、車両、信号システム、自動出改札装置、車庫、その他機材
効果	日通勤輸送量：2020 年 31.6 万トリップ、2030 年 48.5 万トリップ

既存路線の改修計画を図 2.5.4 に示す。路線はラグナ湖から数百メートル離れているため、湖岸堤への直接的な影響はなく、工事時の搬入経路等、施工方法に関して注意を払えば大きな問題はない。放水路は線路と交差するため、放水路が地表近くの構造になる場合は、今後、交差部の構造に関し対応及び協議が必要となる。

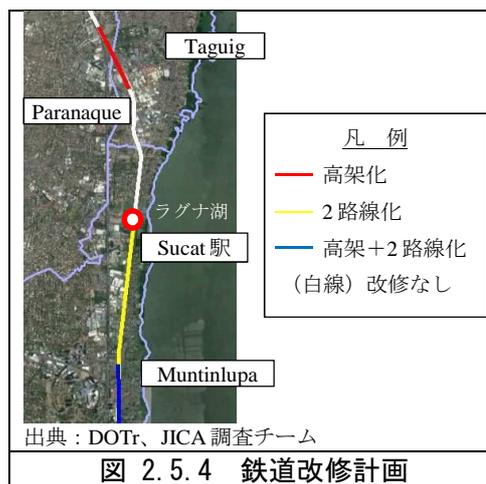


図 2.5.4 鉄道改修計画

(5) マニラ首都圏地下鉄事業

「フィリピン開発計画 2011-2016」が 2011 年 5 月に公表され、運輸分野のインフラ開発を加速させることが優先課題と位置づけられた。これを受け、JICA 援助により「マニラ首都圏の持続的発展に向けた運輸交通ロードマップ作成支援調査」（2013 年度）が実施され、円借款供与見込みの「南北通勤鉄道事業（マロロス-ツツバン）」と共に地下鉄事業を南北の人の移動の軸とすることが提案された。当事業は、マニラ首都圏北部カローカン市又はブラカン州メイカウヤンと南部カビテ州ダスマリニャスの地下鉄を含む都市鉄道を整備することにより、メガマニラ圏の拡大により増加する輸送需要への対応及びマニラ首都圏の深刻な交通渋滞の緩和を図り、もって同国の持続的経済成長に寄与する事を目的とする。

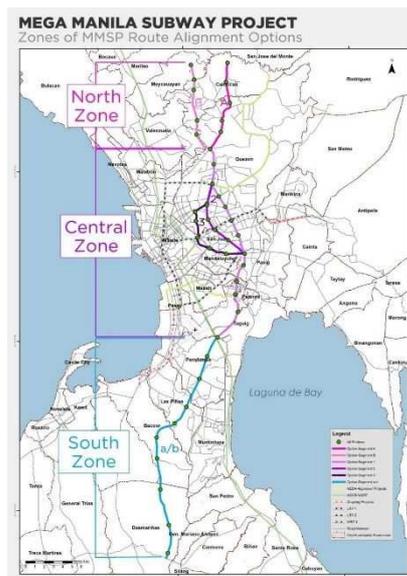
当事業に関し、2015 年に JICA による情報収集・確認調査が実施された。当調査では、延長約 60 km となる都市鉄道を北ゾーン（2 オプション）、中央ゾーン（3 オプション）、南ゾーン（2 オプション）の 3 ゾーンに分け、合計 12 のオプションにつき検討した。マニラ首都圏地下鉄事業情報収集・確認調査の結果概要を表 2.5.5 に整理する。なお、DOTr へのヒアリングでは、この調査以降、検討は進んでいない。

本調査に係る軌道は、当事業において南ゾーンに区分される。南ゾーンでは、全延長において高架構造のみのオプションと、地下構造のみのオプションが検討されている。高架構造の場合、地下部を放水路として上部を地下鉄の路線にする対応が可能である。地下構造の場合でも、レール高が EL.-5m 程度と浅い位置に計画されているため、放水路がそれより深い地下構造である場合、問題は無い。放水路が地表近くの構造になる場合は、今後、交差部の構造に関し対応及び協議が必要となる。

表 2.5.5 マニラ首都圏地下鉄事業情報収集・確認調査の結果概要

項目	内容
予算	3,570 億ペソ～4,410 億ペソ
施工期間	約 5 年 (2 フェーズに分けて実施)
建設内容	高架構造物、高架駅、地下構造物、地下駅、車両基地、軌道、車両、信号等の鉄道システム
効果	EIRR : 16.6%～17.6% 概略需要予測 : 40～50 万人、想定完成年 : 2025 年 想定利用者 : 200 万～240 万人 (2045 年)

出典 : マニラ首都圏地下鉄事業情報収集・確認調査報告書、2015 年、JICA



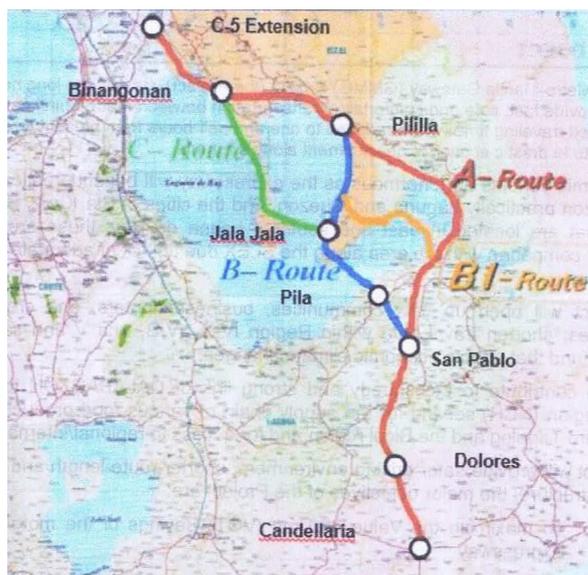
出典 : マニラ首都圏地下鉄事業情報収集・確認調査報告書

図 2.5.5 地下鉄ゾーン区分図

(6) マニラ-ケソン高速道路事業

マニラ-ケソン高速道路事業は、延長約 100 km の長距離高速道路事業で、マニラ首都圏とルセナ市間を、速く安全で快適につなぐ交通事業である。この事業の目的は以下の通りである。

- マニラ首都圏とルセナ市管の移動時間を現在の 3 時間から 1.5 時間に短縮
- 南タガログ地方やビコール地方からの食品・物品供給経路を確保し、また、地方・国際空港へのアクセスを確保する
- CALABARZON 地域において、バランスの取れた地域振興を実現する
- 新たな経済特区の誘致
- SLEX の交通渋滞緩和



出典 : Feasibility Study on Manila-Quezon Expressway Project Final Report (August 2011 and August 2016)

図 2.5.6 マニラ-ケソン高速道路事業位置図

2010 年、マニラ-ケソン高速道路の概略ルート選定が実施され、B ルートが最適案として選定され、プレ FS が実施された。2016 年にはこの検討結果に対し、物価上昇を考慮して経済性評価が再検討された。現在、Grand Metro-Manila Gateway Company, Inc. (GMMGCI) により、PPP 事業として詳細 FS 検討の提案が DPWH に提案されており、DPWH により提案の審査が進められている。

表 2.5.6 マニラ-ケソン高速道路事業の特徴

項目	内容
予算	667 億ペソ
施工期間	5 年 (3つのセグメントに分割して実施。C5 からピリラ (セグメント 1:、33km)、ピリラからピラ (セグメント 2、29 km) ピラからキャンデラリア (セグメント 3、40.3 km)
建設内容	道路 (102 km、主に盛土道路、高架橋、橋梁を含む)、インターチェンジ、休憩場、サービスエリア、料金場。道路仕様は以下の通り。 車線数：ケース 1 及びケース 2：3 車線+3 車線、2 車線+2 車線、 ケース 3：3 車線+3 車線、1 車線+1 車線 道路幅 (1 車線)：3.5m ROW 幅：60m 中央分離帯幅：1.5m (最小) 舗装：アスファルト
効果	EIRR: 15.2 % から 16.5 %

出典： Feasibility Study on Manila-Quezon Expressway Project Final Report (August 2011 and August 2016)

B ルートはラグナ湖やマンガハン放水路を横断するが、マンガハン放水路の堤防沿い、あるいは堤防上に、6 車線、道路幅 26m の高速道路建設が提案されている。

今後の検討においては、この構造がマンガハン放水路の流下能力を阻害しないようにするため、また、パラニャーケ放水路や湖岸堤の提案により設定されるラグナ湖の水位が本事業に反映されるようにするため、十分な情報の共有が必要である。

(7) インフラ準備及び革新的施設のための事業

フィリピン政府は、インフラ投資の目標を具体化するため、インフラ準備及び革新的施設のための事業 (Infrastructure Preparation and Innovation Facility: IPIF) を ADB に要請、2017 年 10 月、ADB は IPIF に対して 1 億ドルの融資を承認した。IPIF は 3 つの設計コンサルタント業務と DPWH や DOTr 等の関連機関に対する能力強化業務からなり、その 3 つの設計コンサルタント業務の対象分野は、1) 道路及び橋梁、2) 洪水対策並びに 3) 鉄道、公共交通機関、港湾及び空港である。内、1) の道路及び橋梁の設計業務に関しては、2018 年 2 月に DPWH と Ove Arup & Partners Hong Kong Ltd.が契約を結んでおり、残る 2 分野においても数ヶ月内に確定される予定である。

表 2.5.7 に、各設計業務の対象と内容、投資規模に関してまとめる。この中で本調査に関係すると考えられるコンポーネントは、1) の「ラグナ湖道路網事業」及び 3) の「PNR South Commuter」であるが、1) の事業が検討される位置に関しては、コンサルタント業務の TOR にも記載がなく、詳細は不明である。しかしながら、これら 2 業務は F/S の準備及び F/S の見直し段階であるため、今後 DPWH 及び DOTr と協議することにより、現時点では把握できていない問題も回避可能であると考えられる。

表 2.5.7 インフラ準備及び革新的施設のための事業 (IPIF)

コンポーネント	内容	概略投資額
アウトプット 1) 道路及び橋梁		
北東ルソン高速道路	トンネル 10km の F/S	184 億ペソ (US\$3.7 億ドル)
継続的な経済成長のための全国島州間橋梁 (Sorsogon-Samar 間)	Sorsogon と Samar 間の 4 橋の FS (1.2 km、7.0 km、6.0 km、4.0 km)	922.3 億ペソ (18.4 億ドル)
ラグナ湖道路網	F/S	500 億ペソ (10 億ドル)
Panay-Guimaras-Negros 島間接続橋梁 (長径間橋)	F/S	975 億ペソ (19.5 億ドル)
Negros-Cebu 間橋梁	Negros - Cebu 間の長径間橋梁の FS	275.9 億ペソ (5.6 億ドル)
Cebu-Bohol 間橋梁	Cebu - Bohol 間の長径間橋梁の FS	1,227.5 億ペソ (24.8 億ドル)
Samal 島-Davao 市間橋梁	1km の橋梁と 3.4km のアプローチ道路の F/S	178.2 億ペソ (3.6 億ドル)
アウトプット 2) 洪水対策		
Apayao-Abulug 川流域	河道延長 175km、集水面積 3,372km ² の流域における優先インフラ構造物の M/P 及び F/S の見直しと D/D	48.7 億ペソ (1 億ドル)
Abra 川流域	河道延長 181km、集水面積 5,125km ² の流域における優先インフラ構造物の M/P 及び F/S の見直しと D/D	48.6 億ペソ (1 億ドル)
Jalaur 川流域	河道延長 123km、集水面積 1,503km ² の流域における優先インフラ構造物の M/P 及び F/S の見直しと D/D	52.9 億ペソ (1.1 億ドル)
Buayan-Malungon 川流域	河道延長 64km、集水面積 1,435km ² の流域における優先インフラ構造物の M/P、F/S 及び D/D	8.6 億ペソ (0.2 億ドル)
Agus 川流域	河道延長 36km、集水面積 1,645km ² の流域における優先インフラ構造物の M/P、F/S 及び詳 D/D	11.1 億ペソ (0.2 億ドル)
Tagum-Libuganon 川流域	河道延長 89km、集水面積 3,064km ² の流域における優先インフラ構造物の M/P 及び F/S の見直しと D/D	57.3 億ペソ (1.1 億ドル)
アウトプット 3) 鉄道、公共交通機関、港湾及び空港		
南北鉄道事業 (南側路線-通勤路線部分)	Manila と Los Banos 間における 72km 延長の鉄道の F/S の見直しと設計・施工一括発注方式のための入札図書作成	1,337 億ペソ (27 億ドル)
南北鉄道事業 (南側路線-長距離輸送部分)	Los Banos - Legazpi 間、Calamba - Batangas 間及び Legazpi - Matnog 間における 581km 延長の鉄道の F/S の見直しと設計・施工一括発注方式のための入札図書作成	1,510 億ペソ (30 億ドル)
ミンダナオ鉄道 (Tagum-Davao 市-Digos 区間)	軌道延長 102km の鉄道の M/P 及び F/S の見直しと設計・施工一括発注方式のための入札図書作成	360 億ペソ (6.4 億ドル)
M'lang 空港	既存空港施設改善にかかる F/S 見直し、D/D および入札図書作成	40 億ペソ (0.8 億ドル)
歩行者自転車専用道路交通開発	マニラ首都圏、セブ、ダバオ及びその他主要都市における、歩行者並びに非電動装置交通手段のための交通手段に関する F/S 見直し、D/D および入札図書作成	100 億ペソ (2 億ドル)
国立高度交通センター	全国を対象とした高度交通システムの M/P、F/S 並びに設計・施工一括発注方式のための入札図書作成	193 億ペソ (3.9 億ドル)

出典： Project Administration Manual, Infrastructure Preparation and Innovation Facility (RRP PHI: 50288, October 2017)

2.5.2 関連する既往事業

(1) CBK Power Company による発電事業

1936年に国家電力公社（National Power Corporation: NPC）が設立されて以降、1980年代まで発電及び配電は全てNPCにより所有、管理されていた。電力分野における民営化の動きは、2001年6月に一般に「電力工業構造改革共和国令」と称される Republic Act 9136 が施行された事により後押しされた。ラグナ東部に位置するカリラヤ（C）、ボトカン（B）、カラヤン（K）の3つの発電所における新規施設建設や既存施設の維持管理権がNPCからCBK Power Company Limited（CBKPCL）に渡されたのも同時期であり、更にその後、2005年には、日本企業がCBKPCLを買収し、現在に至っている。

当事業は、メトロマニラを含むルソン地域に、電力を供給している。CBK 発電所の内、1982年完成のカラヤン揚水発電所は流域の河川水をカリラヤ貯水池（上池）に貯留するとともに夜間にラグナ湖（下池）から揚水して発電している。カラヤン揚水発電所の諸元及び特徴を表 2.5.8 にまとめる。



出典：CBKPCLパンフレット

図 2.5.7 CBK 発電所位置図

表 2.5.8 カラヤン揚水発電所諸元及び特徴

項目	内容
設備	水圧鉄管（2本、D5.5m～6m、通常1本稼働）、発電機（総出力685MW、4機、通常2機稼働）、小水力発電システム（停電時対応、1機1MW）、ディーゼル発電機（停電時対応、1機1MW）
特徴	<ul style="list-style-type: none"> - CBKPCLは発電施設の維持管理及び運営権を持ち、カリラヤ貯水池の水利権はPNRが持つ。 - カリラヤ貯水池の満水位は海拔288.0m、ラグナ湖水位は最高水位13.72m、最低水位10.12mで計画されており、設計発電水頭は286.5～289.5mである。 - 発電機の使用水量は1機あたり60m³/s。 - 河川水量は発電に対し充分でないため、ラグナ湖から上池であるカリラヤ貯水池（有効貯水量22百万m³）への揚水を毎晩実施している。 - 1995年以降、数年に一度の頻度でラグナ湖（湖岸から1.5km程度の箇所）において堆砂位計測を実施している。この10年で大きな変化はない。

出典：CBKPCLパンフレット等

カラヤン発電所において、ラグナ湖水位は最高水位 EL.13.72m、最低水位 EL. 10.12m で設計されている。JICA 治水計画により湖水位 10.12m 以下とならなければ問題ない。一方、ラグナ湖水位が低下すれば発電水頭が大きくなり発電にはやや有利となる。

第3章 水理水文解析

3.1 水文・地形に係る基礎情報の収集・整理

3.1.1 水文データ

(1) 雨量データ

下記に示す6機関によりラグナ湖周辺の雨量観測が実施されている。日雨量を PAGASA、PRBFFWC、NPC、MWSS より収集した。時間雨量については、EFCOS により時間雨量の観測及び記録を 2003 年から実施している。また、2015 年から DOST-ASTI により時間雨量の観測が開始されている。

1. PAGASA (Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration)
2. EFCOS, MMDA (Effective Flood Control Operating System)
3. PRBFFWC (Pampanga River Basin Flood Forecasting and Warning Center, PAGASA)
4. NPC (National Power Corporation)
5. MWSS (Metropolitan Waterworks and Sewerage System)
6. DOST-ASTI (Advanced Science and Technology Institute)

ラグナ湖流域における雨量観測データの概要を表 3.1.1 に、雨量観測資料の整備状況を表 3.1.2、表 3.1.3 に、雨量観測所位置図を図 3.1.1 に示す。ラグナ湖流域周辺に 38 カ所の雨量観測所が存在しているが、通年で雨量観測データが存在する観測地点は年により異なる。日雨量の観測が最も長い地点は、Port Area で 1949 年から観測開始している。

時間雨量観測は、2003 年から EFCOS による観測が行われているが、パッシング・マリキナ川流域内のみであり、ラグナ湖周辺においてはまだ時間雨量観測所が整備されていない。また、2015 年から DOST-ASTI により時間雨量・水位の観測が開始されているが、観測期間が短く、治水計画に用いる時間データとしては、観測期間が十分ではない。

表 3.1.1 雨量観測データの概要

No.	Organization	Department	観測所数	日雨量	時間雨量	備考
1	PAGASA	DOST	24	●	▲	大きな洪水時において、6時間雨量が入手可能である。
2	EFCOS	MMDA	7		●	2003 年より観測開始
3	PRBFFWC	DOST	3		●	
4	NPC	-	2	●		
5	MWSS	-	2	●		
6	ASTI	DOST	15		●	2015 年より観測開始

●：収集可能、▲：一部収集可能

表 3.1.3 雨量観測資料の整備状況 (時間雨量)

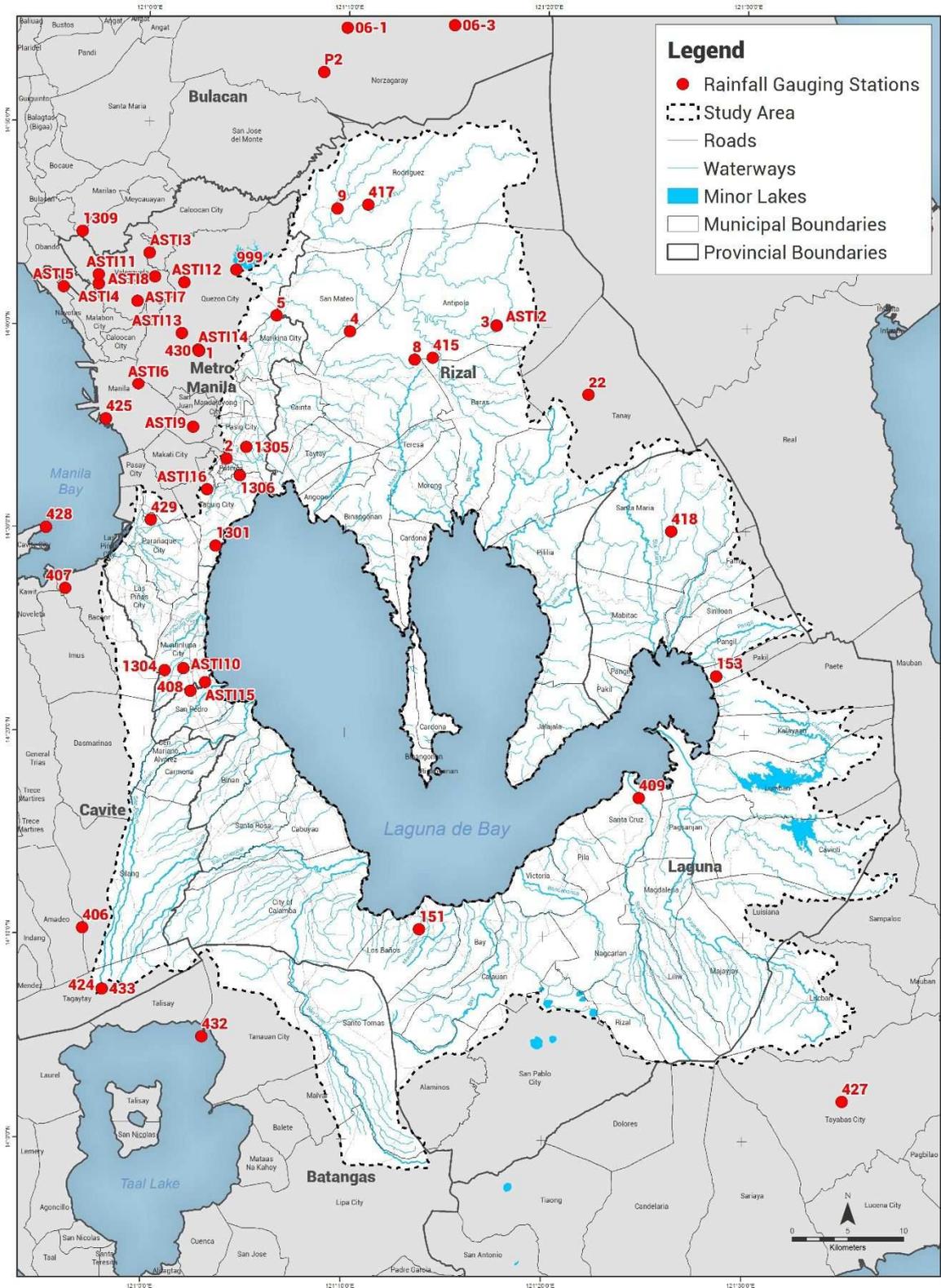
No.	Name	Code	Operation	Type	Latitude	Longitude	Data Type
1	Science Garden		EFCOS	Telemetry	14.646	121.003	EFCOS Hourly
2	Napindan	1	EFCOS	Telemetry	14.557	121.067	EFCOS Hourly
3	Mt. Campanan	3	EFCOS	Telemetry	14.608	121.20	EFCOS Hourly
4	Araes	4	EFCOS	Telemetry	14.663	121.169	EFCOS Hourly
5	Nangka	5	EFCOS	Telemetry	14.675	121.108	EFCOS Hourly
6	BoasBoas	8	EFCOS	Telemetry	14.640	121.221	EFCOS Hourly
7	Mt. Oro	9	EFCOS	Telemetry	14.763	121.158	EFCOS Hourly
8	Stulpun	P1	PRBFWC	Telemetry	14.939	120.759	hourly
9	Ipo Dam	P2	PRBFWC	Telemetry	14.875	121.146	hourly
10	San Rafael	F3	PRBFWC	Telemetry	14.959	120.965	hourly
11	Mister Station	AST1		Climatic	14.590	121.092	AST1 Hourly
12	Mt. Campanan	AST2		Climatic	14.667	121.293	AST1 Hourly
13	Bughagin	AST3		Climatic	14.724	121.003	AST1 Hourly
14	Dalindagan	AST4		Climatic	14.699	120.960	AST1 Hourly
15	Dampalit Elementary School	AST5		Climatic	14.696	120.951	AST1 Hourly
16	E. Quinas Street	AST6		Climatic	14.611	120.994	AST1 Hourly
17	Gen. T. De Leon	AST7		Climatic	14.685	120.993	AST1 Hourly
18	Mangilant Lara	AST8		Climatic	14.705	121.007	AST1 Hourly
19	National Center For Mental Health	AST9		Climatic	14.581	121.009	AST1 Hourly
20	New Bilibid Prison Brno Publication	AST10		Climatic	14.584	121.054	AST1 Hourly
21	Pro. Valdezuela Elementary School	AST11		Climatic	14.706	120.946	AST1 Hourly
22	Ogpan	AST12		Climatic	14.700	121.022	AST1 Hourly
23	Quizon City Science High School	AST13		Climatic	14.659	121.030	AST1 Hourly
24	Science Garden Pagsanjan	AST14		Climatic	14.645	121.044	AST1 Hourly
25	Tanunan	AST15		Climatic	14.372	121.052	AST1 Hourly
26	Ususan	AST16		Climatic	14.530	121.061	AST1 Hourly

☐ : Completely available

◻ : Partly available

□ : Not available

Data Collection Survey on Parañaque Spillway Rainfall Gauging Stations



出典：JICA 調査チーム作成

図 3.1.1 雨量観測地点

(2) 河川水位データ

パッシング・マリキナ川流域では、EFCOS による河川水位の観測が 1994 年より開始されており、ラグナ湖流域においては、BRS により河川水位の観測が行われている。水位観測資料の整備状況を表 3.1.4 に、観測位置を図 3.1.2 に示す。

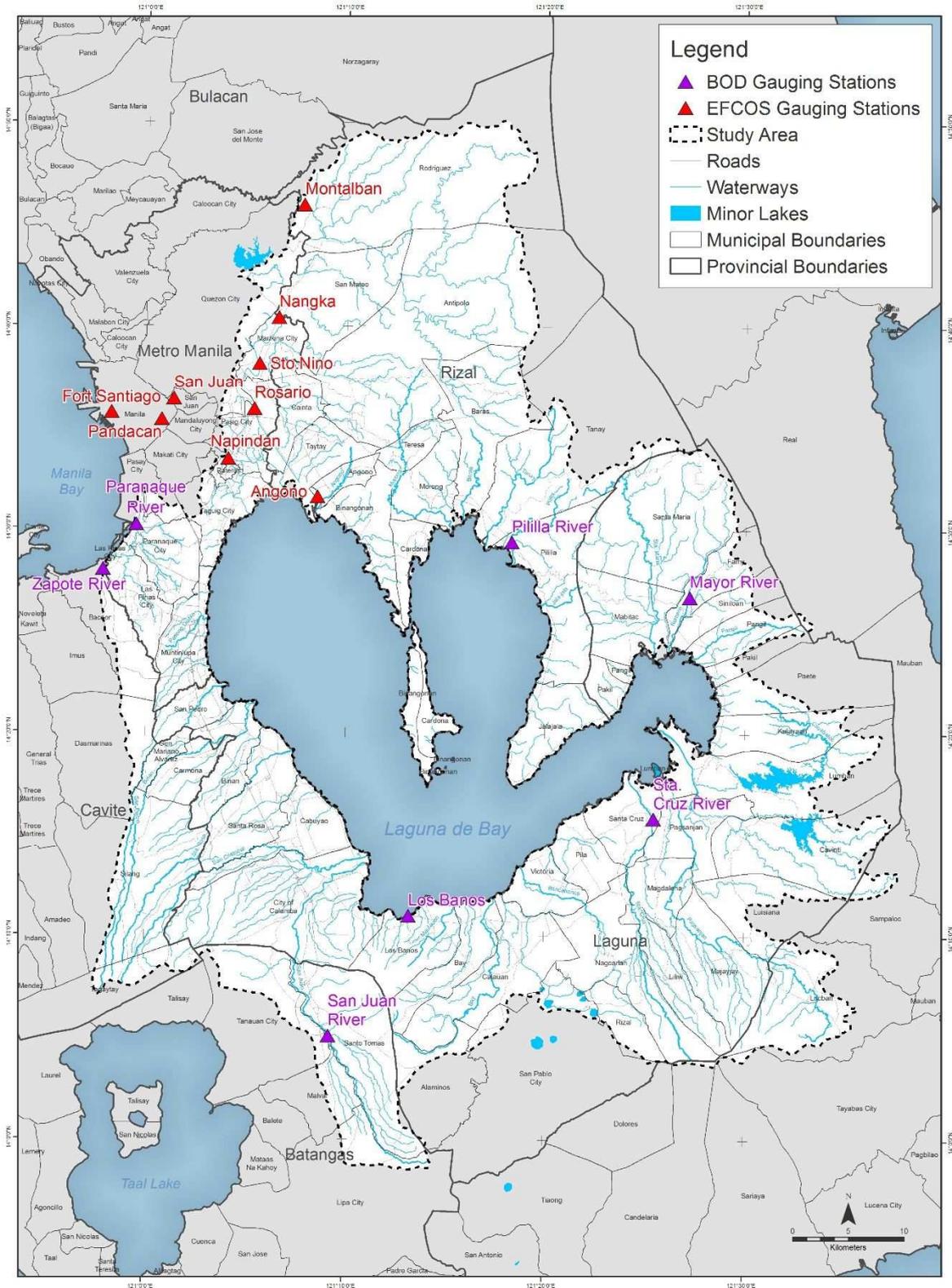
マリキナ川流域の Sto.Nino 地点（マリキナ橋）においては、HQ 曲線（図 3.1.3）が存在している。Sto.Nino 地点の年最大水位及び推定流量を表 3.1.5 に示す。Sto.Nino 地点の HQ 式については、パッシング・マリキナ川河川改修事業（Ⅲ）協力準備調査（2011 年、JICA）、Master Plan for Flood Management in Metro Manila and Surrounding Area（2011 年、WB）及びマニラ首都圏治水計画情報収集・確認調査（2014 年、JICA）でそれぞれ作成されている。

表 3.1.4 水位観測資料の整備状況（パッシング・マリキナ川流域）

Name	River	Operation	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Rosario JS	Marikina	EFCOS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Rosario LS	Marikina	EFCOS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	P	P	P					P	A	A	A	A
Napindan JS	Pasig	EFCOS	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	P	A	A					P	P	A	A
Napindan LS	Pasig	EFCOS	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A	A	P	P	P						P	P	A	A
Nangka	Marikina	EFCOS										A	A	A	A	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A
San Juan	San Juan	EFCOS									A	A	A	P	A	A	P	P	P	A	A	A	A	A	A
Montalban	Marikina	EFCOS	A	P	P	P	A	A	A	A	P	A	A	P	A	A	P	P	P	A	A	A	A	A	A
Sto. Nino	Marikina	EFCOS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	P	A	A	A	P	P	A	A	A	A	A
Pandacan	Pasig	EFCOS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	P	P	P	A	A	A	A	A	A
Fort Santiago	Pasig	EFCOS	A	A	A	P	A	A	A	P	A	A	A	P	A	A	P	P	P	A	A	A	A	A	A
PARANAQUE RIVER	PARANAQUE	BRS													PA	FA	A	A	A						
ZAPOTE RIVER	ZAPOTE	BRS													PA	FA	A	A	A						
LAGUNA LAKE Los Banos		BRS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	P		P			P	N	A	A
MAYOR RIVER	MAYOR	BRS													A	A	A	A	A	A	A	A	A	F	A
PILILIA RIVER	PILILIA	BRS																					A	A	P
SAN JUAN RIVER	SAN JUAN	BRS													PA	FA	A	A	A						
STA. CRUZ RIVER	STA. CRUZ	BRS												A	A	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A

A: Fully available
 P: Partially available
 FA: Fully average
 PA: Partially average
 “”: No Data

Data Collection Survey on Parañaque Spillway BOD and EFCOS River Water Level Gauging Stations



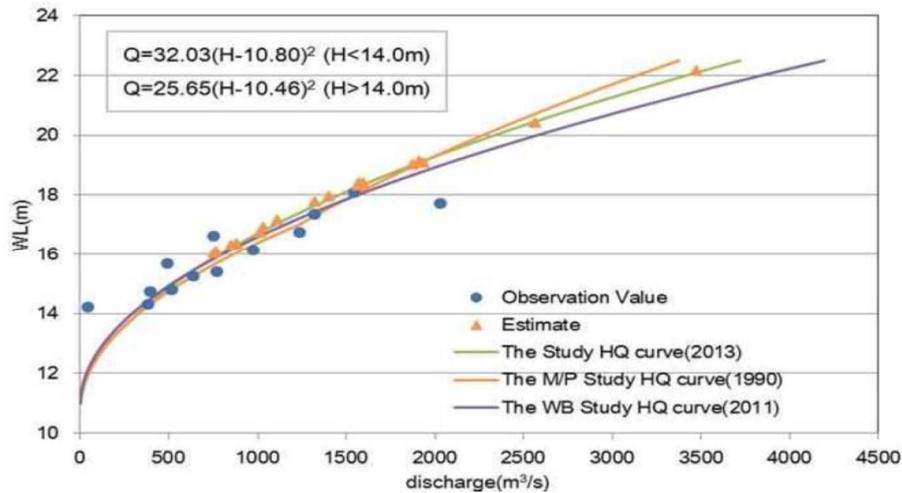
出典：EFCOS データ等より JICA 調査チーム作成

図 3.1.2 水位観測地点

表 3.1.5 Sto.Nino 地点の年最大水位及び推定流量

Year	Sto.Nino	
	WL(m)	Discharge(m ³ /s)
1994	16.33	890
1995	18.40	1,600
1996	16.08	770
1997	17.16	1,120
1998	18.41	1,580
1999	18.30	1,570
2000	19.02	1,880
2001	16.31	860
2002	17.94	1,410
2003	17.76	1,330
2004	19.08	1,940
2005	16.03	760
2006	16.37	890
2007	16.90	1,040
2008	16.74	1,020
2009	22.16	3,480
2010	NA	NA
2011	19.13	1,920
2012	20.42	2,570

出典：マニラ首都圏治水計画情報収集・確認調査（2014年、JICA）P3-16



出典：マニラ首都圏治水計画情報収集・確認調査（2014年、JICA）P3-17

図 3.1.3 Sto.Nino 地点における HQ 曲線

(3) ラグナ湖水位データ

ラグナ湖水位データは、DPWH、LLDA、EFCOS 及び NPC の 4 機関により日水位データ観測されている。ラグナ湖水位観測データの整備状況を表 3.1.6 に、湖水位観測位置図を図 3.1.4 に示す。

表 3.1.6 ラグナ湖水位観測データの整備状況

Name	Code	Operation	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	
Los Banos	114	BRS	P																								P												
Looc	201	LLDA																																					
Angono	017	EFCOS																																					
Caliraya	301	NPC																																					

Name	Code	Operation	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
Los Banos	114	BRS																											P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
Looc	201	LLDA	P								P		P				P	P	P										P	P	P	P	P	P	P	P	P		
Angono	017	EFCOS															P	P								P	P	P									P	P	
Caliraya	301	NPC																						P		P													

: Completely available
 : Partly available
 : Not available

Data Collection Survey on Parañaque Spillway
Lake Water Level Gauging Stations

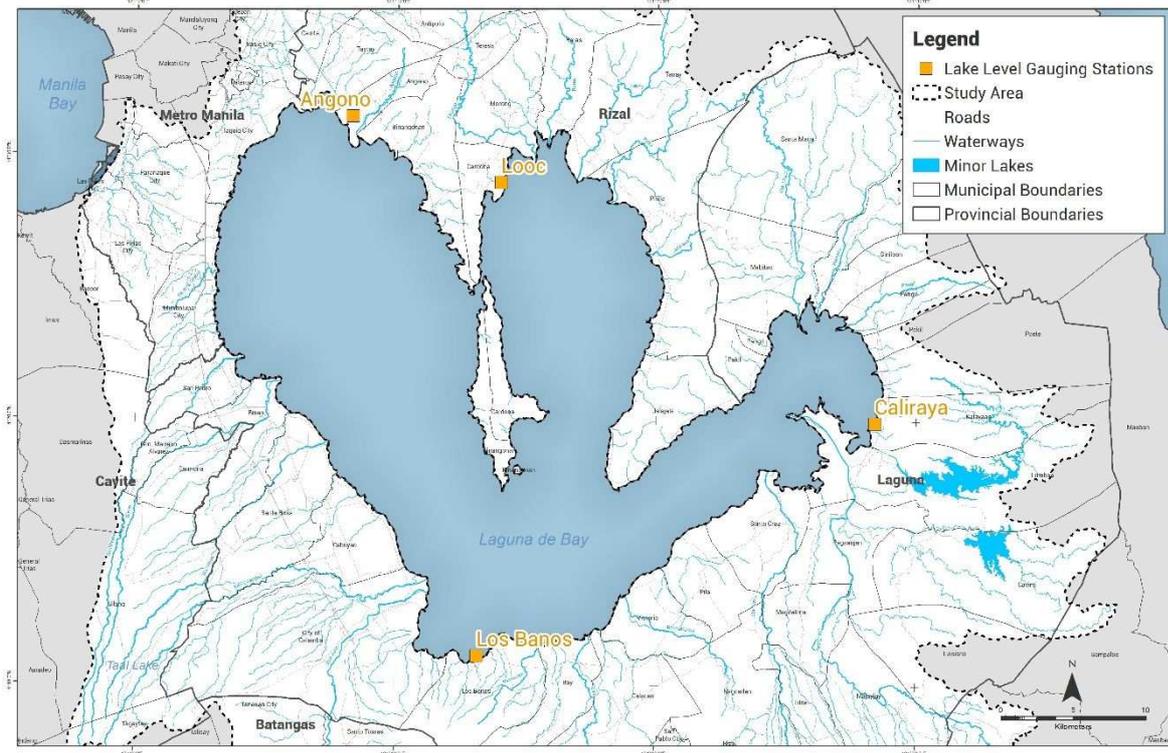


図 3.1.4 ラグナ湖水位観測位置図

ラグナ湖の年最大湖水位の経年変化を図3.1.5、表3.1.7に示す。1946年から2016年の71年における最大湖水位は1972年の14.03m（マンガハン放水路建設前）であり、2009年台風オンドイ時の湖水位は13.85mであった。また、2012年のモンスーン性降雨の影響においても2009年同様に高い水位（13.83m）を記録している。年最大湖水位の上位10年において、湖水上昇に起因する台風またはサイクロンを表3.1.8に、過去の主要洪水時におけるラグナ湖流域の等雨量線を図3.1.6に整理する。

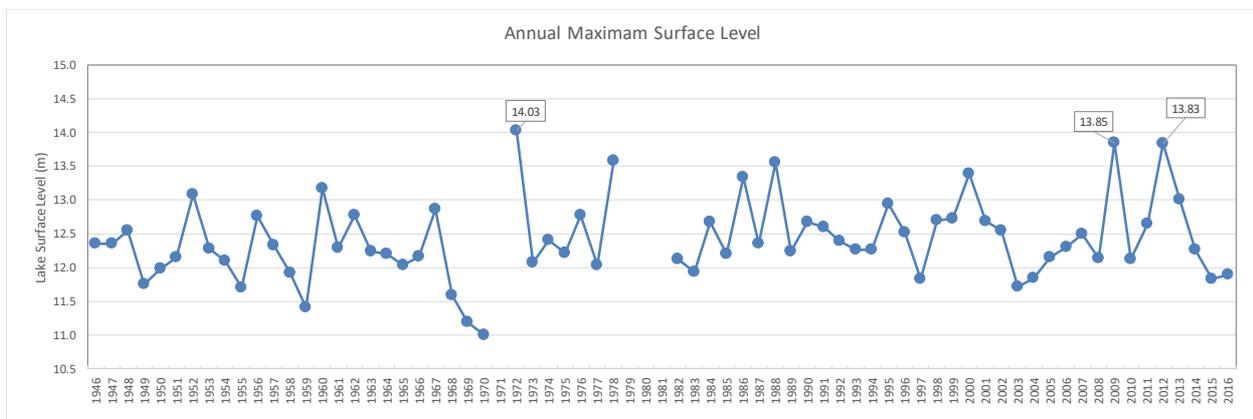


図 3.1.5 年最大湖水位の経年変化

表 3.1.7 ラグナ湖年最大湖水位（1946年～2016年）

Year	Surface water level m	Days of above 12.5m	Year	Surface water level m	Days of above 12.5m
1946	12.36	0	1983	11.94	0
1947	12.36	0	1984	12.67	16
1948	12.54	19	1985	12.20	0
1949	11.76	0	1986	13.34	93
1950	11.98	0	1987	12.35	0
1951	12.15	0	1988	13.55	48
1952	13.08	68	1989	12.24	0
1953	12.28	0	1990	12.67	21
1954	12.10	0	1991	12.60	26
1955	11.71	0	1992	12.39	3
1956	12.76	38	1993	12.27	0
1957	12.33	0	1994	12.27	0
1958	11.92	0	1995	12.94	81
1959	11.41	0	1996	12.52	0
1960	13.17	64	1997	11.83	0
1961	12.29	0	1998	12.70	20
1962	12.77	36	1999	12.72	37
1963	12.24	0	2000	13.39	65
1964	12.20	0	2001	12.69	6
1965	12.04	0	2002	12.55	5
1966	12.16	0	2003	11.72	0
1967	12.87	3	2004	11.85	0
1968	11.59	0	2005	12.15	0
1969	11.19	0	2006	12.30	0
1970	11.00	246	2007	12.49	0
1971	No data	-	2008	12.14	0
1972	14.03	88	2009	13.85	108
1973	12.08	0	2010	12.12	0
1974	12.40	0	2011	12.65	21
1975	12.22	0	2012	13.83	111
1976	12.77	16	2013	13.01	61
1977	12.03	0	2014	12.26	0
1978	13.58	62	2015	11.83	0
1979	No data	-	2016	11.89	0
1980	No data	-	Min	11.00	0
1981	No data	-	Ave	12.41	22
1982	12.13	119	Max	14.03	246

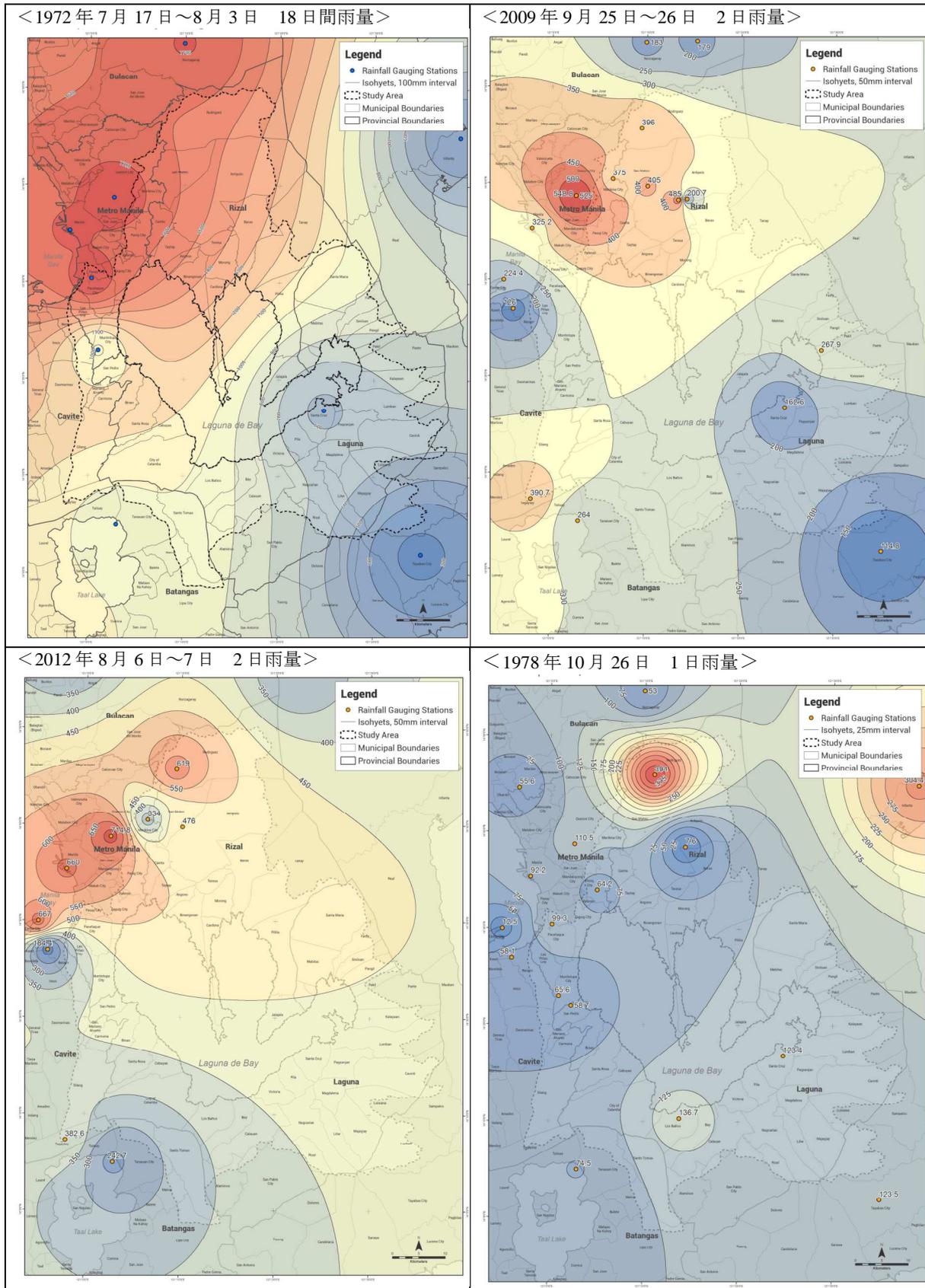
*湖水位は、4地点の水位観測結果の平均より、年最大湖水位を算出した。

表 3.1.8 年最大湖水位の上位10年

No.	Year	Month	Day	Surface water level m	Typhoon or Cyclone	Date	
						Start	End
1	1972	8	3	14.03	Tropical Storm Winnie	1972/7/29	1972/8/3
2	2009	10	4	13.85	Typhoon Ondoy	2009/9/25	2009/9/30
3	2012	8	11	13.83	2012 Hagagat		
4	1978	10	28	13.58	Super Typhoon Rita	1978/10/15	1978/10/29
5	1988	11	9	13.55	Tropical Storm Tess	1988/11/1	1988/11/6
6	2000	11	5	13.39	Tropical Storm Bebinca	2000/10/30	2000/11/7
7	1986	10	20	13.34	Typhoon Ellen	1986/10/11	1986/10/19
8	1960	10	15	13.17	Typhoon Lola	1960/10/8	1960/10/17
9	1952	10	30	13.08	Typhoon Trix	1952/10/15	1952/10/26
10	2013	10	3	13.01	2013 Hagagat		

出典：Pacific typhoon climatology (https://en.wikipedia.org/wiki/Pacific_typhoon_climatology) より、JICA 調査チームが整理した。

*Hagagat: モンスーン性の降雨



出典：本業務で収集した日雨量観測データを使用し、JICA 調査チームが等雨量線を作成

図 3.1.6 過去の主要洪水時の等雨量線

ラグナ湖水位とラグナ湖周辺流域の雨量との関係を把握するため、年最大湖水位と1か月～6か月の流域平均雨量との相関を算定した。ラグナ湖水位とラグナ湖流域の流域平均雨量の相関図を図3.1.7に示す。

相関図より、ラグナ湖水位上昇と周辺流域の流域平均雨量においては、あまり相関が認められなかった。これは、ラグナ湖周辺流域内に十分な雨量観測所が存在しておらず、広い流域面積を有するラグナ湖周辺における雨量の地域分布が把握できていないためと推察される。

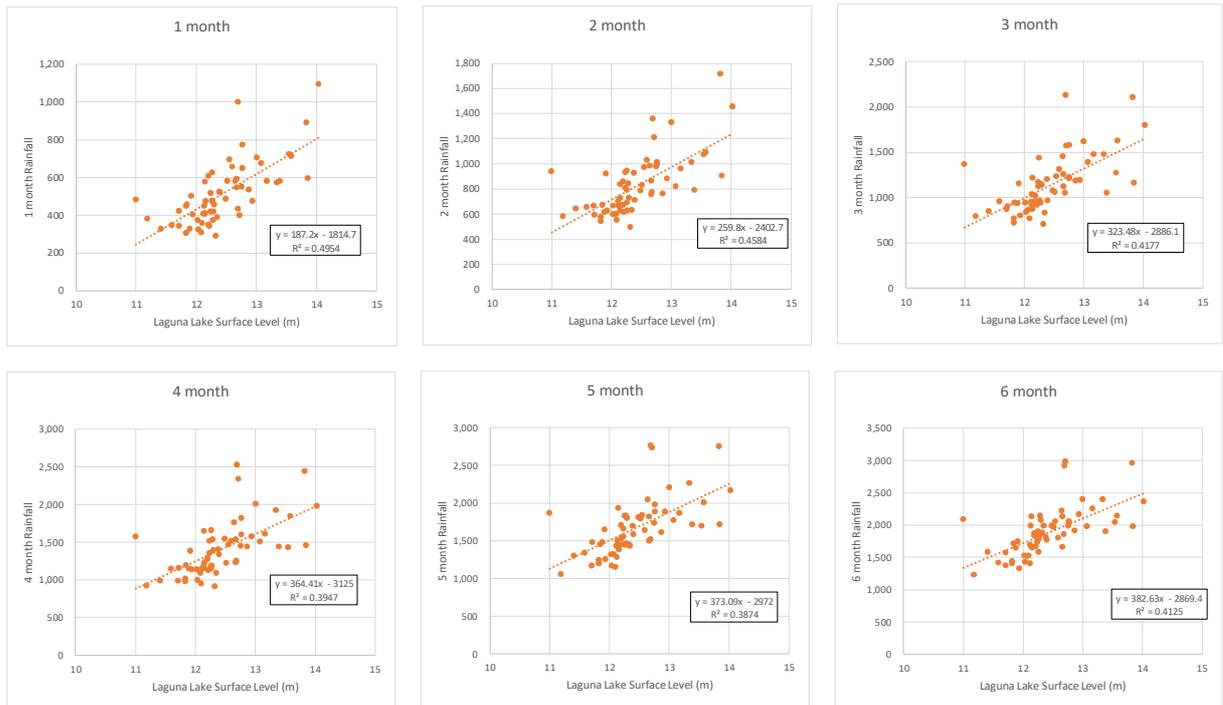


図 3.1.7 ラグナ湖年最大水位と流域平均雨量の相関

3.1.2 地形・測量データ

(1) 使用データの概要

本業務で入手した地形・測量データを表3.1.9に示す。

表 3.1.9 使用したデータの概要

資料名	入手先	使用方法
LiDAR (5m)	NAMRIA	<ul style="list-style-type: none"> ● ラグナ湖洪水浸水エリアの把握 ● 主要 21 河川の河道特性整理
LiDAR (1m)	NAMRIA	<ul style="list-style-type: none"> ● パラニャーケ、ラスピニャス地区の解析

(2) ラグナ湖の地形測量

ラグナ湖内の地形データについては、表3.1.10に示すラグナ湖内水深データを収集・整理した。最新データ Lagna de Bay Map,2017（紙ベースの地図）を調査チームが電子化し、ラグナ湖内のH-A-Vを作成した。ラグナ湖内の地形データについて表3.1.10に、2016年NAMRIA

ラグナ湖水深データより作成した H-A-V を表 3.1.11 に、1997 年と 2016 年におけるラグナ湖内地形状況について図 3.1.9 及び図 3.1.10 に示す。

表 3.1.10 ラグナ湖内における地形データ

No.	データ名	発行年	発行元	観測項目	Datum	備考
1	Lagna de Bay Map,1963	1963 年	NAMRIA	水深	Mean Lower Lake Level ^{*1}	紙ベース地図
2	LLDA Spot elevation data	1997 年	LLDA	標高	LLDA Datum	
3	Lagna de Bay Map,2009	2009 年	NAMRIA	水深	Mean Lower Lake Level ^{*1}	ラグナ湖東側一部欠損あり
4	Lagna de Bay Map,2016	2016 年	NAMRIA	水深	Mean Lower Lake Level ^{*1}	紙ベース地図

*1 : 0.799 m above the MLLW

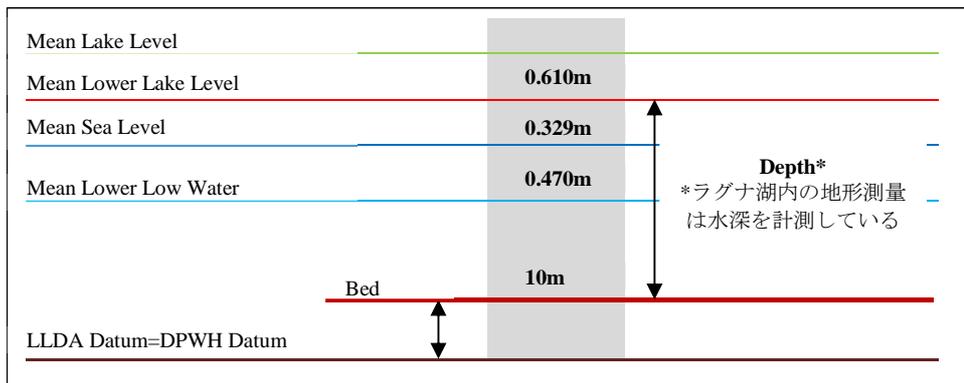


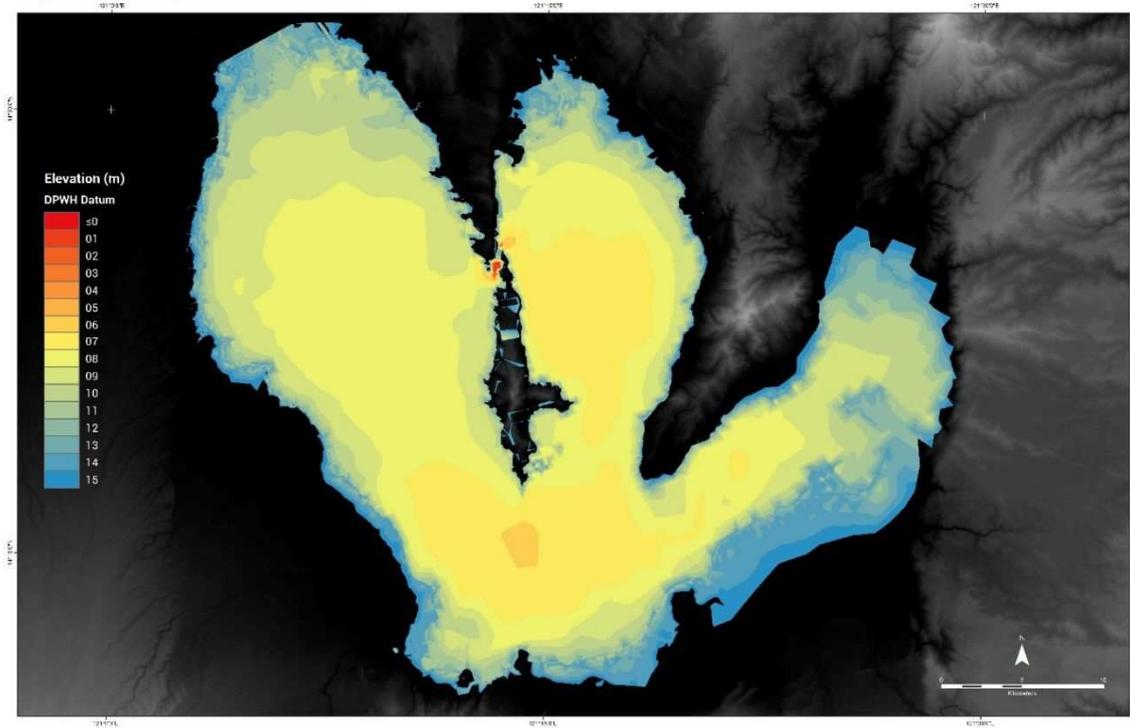
図 3.1.8 DPWH Datum、LLDA Datum と Mean Sea Level 等の関係

表 3.1.11 2016 年の地形データを使用し、算出したラグナ湖 H-A-V

H (m)	A (km ²)	V (MCM)
6.00	0.37	0.90
6.50	4.86	2.21
7.00	66.06	19.94
7.50	167.18	78.25
8.00	240.24	180.11
8.50	331.20	322.97
9.00	493.95	529.26
9.50	609.75	805.18
10.00	670.89	1,125.34
10.50	740.44	1,478.17
11.00	789.43	1,860.64
11.50	842.47	2,268.62
12.00	892.24	2,702.29
12.50	913.00	3,153.60
13.00	936.87	3,616.07
13.50	961.87	4,090.75
14.00	987.87	4,578.19
14.50	1,013.14	5,078.44
15.00	1,035.26	5,590.54

出典：JICA 調査チーム作成

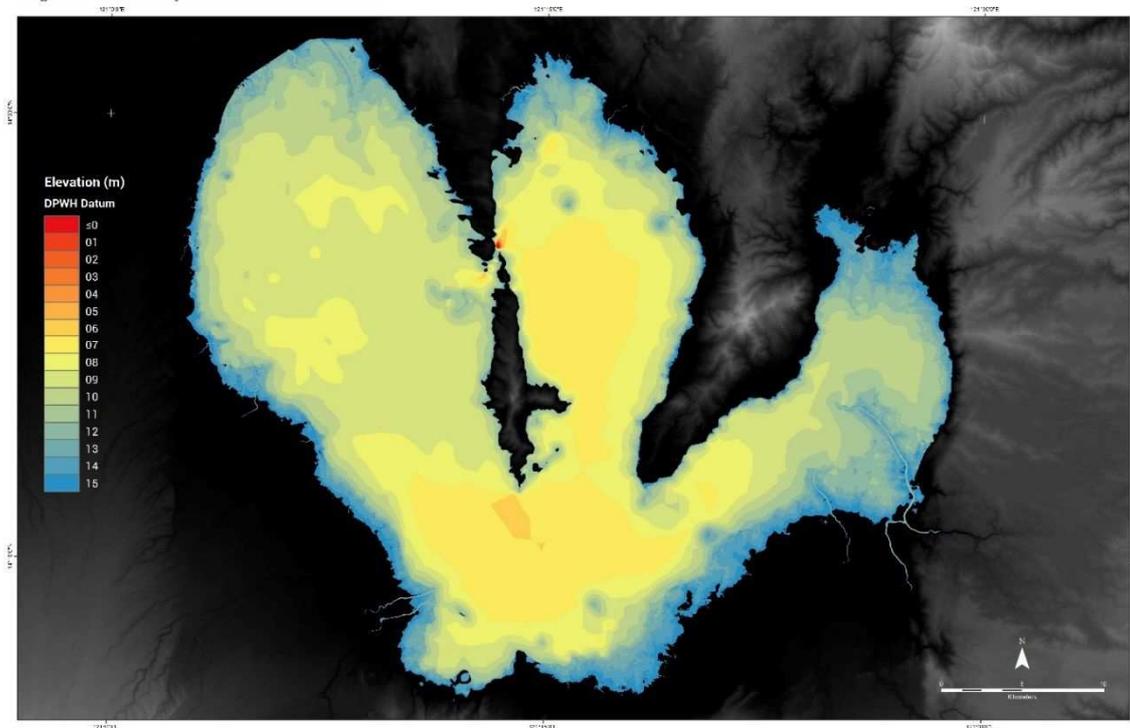
Data Collection Survey on Parañaque Spillway
Laguna Lake Bathymetric Condition 1997



出典：LLDA Spot Elevation data,1997 より、JICA 調査チームがデジタル地形データを作成

図 3.1.9 Laguna de Bay Map 1997, LLDA

Data Collection Survey on Parañaque Spillway
Laguna Lake Bathymetric Condition 2016



出典：Laguna de Bay Map 2016,NAMRIA より、JICA 調査チームがデジタル地形データを作成

図 3.1.10 Laguna de Bay Map 2016, NAMRIA

3.2 計画規模の検討

3.2.1 計画規模、計画対象降雨の設定

(1) 既往検討の治水事業の整理

本業務の対象範囲において実施された、既往治水事業に係る検討について表 3.2.1、表 3.2.2 に整理する。

表 3.2.1 既往の治水事業の整理（マスタープラン）

プロジェクト名	マニラ洪水対策計画調査		Master Plan for Flood Management in Metro Manila and Surrounding Areas
機関	JICA		World Bank
実施年	1991		2013
対象範囲	マニラ首都圏及びその周辺 (981km ²)		マニラ首都圏及びラグナ湖沿岸地域
MP 完成目標年	2020 年		2035 年
計画規模	河川改修	100 年	100 年
	構造物	100 年	100 年
	湖岸堤	計画湖水位=13.8m 湖岸堤天端高=15.5m	計画湖水位=14.03m 湖岸堤天端高=15.23m 60 年確率相当
提案している洪水対策事業	<ul style="list-style-type: none"> マリキナダム、MCGS、河川改修（パッシング川、マリキナ川、ナピンダン川）が提案されている。 パラニャーケ放水路は、多大な建設費を要することより、MP には含まない。 	<ul style="list-style-type: none"> 河川改修、マリキナダム建設、パッシング川及びマリキナ川の再改修、サンファン川及びナピンダン水路の改修が提案されている。 	

表 3.2.2 既往の治水事業の整理（円借款事業）

プロジェクト名	メトロマニラ西マンガハン地区 洪水制御事業	パッシング・マリキナ川河川改修事業 フェーズ I, II, III
機関	JICA	JICA
実施年	1997 年～2007 年	1999 年～※現在フェーズ III 実施中
対象範囲	西マンガン地区	パッシング・マリキナ川流域
事業内容	湖岸堤：10km、排水機場：4 箇所 橋梁等の建設：2 箇所	河川改修：42.2km 区間：Delpan Bridge – San Mateo Bridge
湖水位条件	計画湖水位=13.8m 湖岸堤天端高=15.0m	マンガハン放水路最下流の計画水位=14.0m マンガハン放水路最下流の堤防天端高=15.0m
備考	<ul style="list-style-type: none"> 当時の安全度は 40 年確率相当としている 	<ul style="list-style-type: none"> パッシング・マリキナ川流域の計画規模は 100 年確率である。 マリキナダム及びマリキナ遊水地建設後の治水安全度が 100 年確率となる。

(2) 既往の水文・水理解析モデルの概要

ラグナ湖周辺のパッシング・マリキナ川流域においては、いくつかの治水事業及び計画が実施されている。現在、パッシング・マリキナ川河川改修事業フェーズIV区間のF/SとフェーズV区間のD/Dが終了している。

既往調査において、パッシング・マリキナ川の流量配分も変化してきた経緯があるため、既往調査における水文・水理解析モデルの概要を以下に整理する。これらの状況を勘案し、本業務において設定する計画規模、流出・氾濫解析に用いる境界条件設定において、既往調査で用いた水文・水理解析と齟齬が生じないように留意した。

表 3.2.3 パッシング・マリキナ川における既往調査の水文・水理解析モデルの概要

調査名	1990年 JICA 調査	フェーズ III 協力準備調査 (2011)	2014年 JICA 調査	フェーズ IV&V
計画降雨波形	中央集中型 2日雨量	中央集中型 2日雨量	台風オンドイ型 1日雨量	台風オンドイ型 1日雨量
流域平均確率雨量	流域同一 1/30=540mm 1/100=660mm	流域同一 1/30=392mm 1/100=446mm	空間分布考慮 1/30=232.4mm 1/100=285.5mm	空間分布考慮 1/30=255.5mm 1/100=309.0mm
降雨流出モデル	貯留関数法	貯留関数法	WEB-DHM モデル	NAM モデル
氾濫解析	未実施	河道 1 次元不定流＋ 氾濫原 2 次元不定流	河道 1 次元不定流＋ 氾濫原 2 次元不定流	河道 1 次元不定流＋ 氾濫原 2 次元不定流
ラグナ湖水位	12.50m 平均年最大 13.80m	12.20m 主要洪水時の 平均水位	13.90m マンガハン放水路完成後 の最大水位	13.90m マンガハン放水路 完成後の最大水位
マニラ湾潮位	11.4m 朔望平均満潮位	11.4m 朔望平均満潮位	11.4m 朔望平均満潮位	11.4m 朔望平均満潮位
流量配分図	1990M/P		JICA2014A	JICA2014B

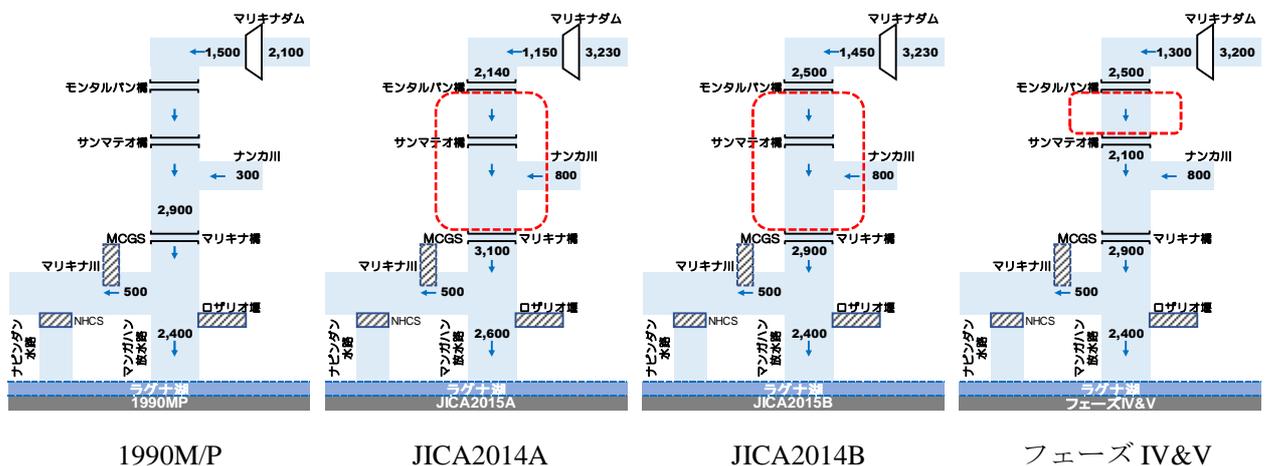


図 3.2.1 流量配分の変遷

(3) 計画規模

計画規模の設定においては、対象流域の重要度、既往洪水被害の実態、近傍の既存計画及び DPWH 標準ガイドライン 2015 (Design Guideline, Criteria and Standards:DGCS) に指定された計画規模を総合的に考慮し検討した。

- パッシング・マリキナ川流域の計画規模は 100 年である。また、パッシング・マリキナ川流域を含めたラグナ湖流域に甚大な被害をもたらした 2009 年の台風オンドイ (Ondoy) は、マリキナ川流域の流域平均雨量 290.8mm (1 日) であり、概ね 100 年規模に相当する。
- JICA 技プロ Project-ENCA¹で作成したマニュアルの一つである、「Manual on Flood Control Planning 2003.3」では、フィリピンにおける主要 18 流域に、パッシング・ラグナ湖流域 (Pasig-Laguna Bay) としてラグナ湖を含めた流域を指定している。
- DPWH DGCS 2015 では、河川 (表 3.2.4) 及び排水 (表 3.2.5) に対する計画規模を指定している。また、DPWH DGCS の他に 2011 年の覚書では、表 3.2.6 に示す計画規模が指定されている。
- ラグナ湖流域面積は 3,280km²であり、DPWH DGCS 2015 (河川) に対する計画規模は 100 年となる。

本業務において設定した計画規模を表 3.2.7 に整理する。

表 3.2.4 DPWH DGCS 2015 で指定されている河川に対する計画規模

River Type	Design Flood
Principal and Major Rivers (40km ² drainage area and above)	100-year
For Small Rivers (below 40km ² drainage area)	50-year

出典：DPWH DGCS 2015 より抜粋

表 3.2.5 DPWH DGCS 2015 で指定されている排水に対する計画規模

Land-use	Minor System		Major Drainage System Drainage Capacity (Note2)
	Design Capacity	Check Capacity	
Drainage Pipes	15-year flood	25-year flood	100-year flood
Culverts	25-year flood	50-year flood	
Esteros/ creeks/ drainage channels	15-year flood	25-year flood	

出典：DPWH DGCS 2015 より抜粋

表 3.2.6 2011 年の覚書 (Memorandum) で示された計画規模

Type		Target Level	Design Flood
River	Principal and Major Rivers (40 km ² drainage area and above)	D.F.L.* ¹	50-year
		D.F.L + Freeboard	100-year
	For Smaller Rivers (below 40 km ² drainage area)	D.F.L.	25-year
		D.F.L + Freeboard	50-year
Drainage	Drainage Pipes* ² , Esteros/creels, Pipe Culverts	D.F.L.	15-year
		D.F.L + Freeboard	25-year
	Box Culverts	D.F.L.	25-year
		D.F.L + Freeboard	50-year
	Drainage Channels	D.F.L.	-
		D.F.L + Freeboard	-

*1 Desing Flood Level

*2 Minimum size of draiage pipes shall be 910 millimeters in diameter

¹ Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH 2003,JICA

表 3.2.7 計画規模の設定

区分	評価指標	計画規模	設定根拠
ラグナ湖水位	水位	100年	<ul style="list-style-type: none"> ラグナ湖は、パッシング・ラグナ湖流域として、フィリピンで重要流域の一つとして考えられているため、パッシング・マリキナ川流域と同等の計画規模100年とする。 ラグナ湖水位データは雨量より長期間の観測データが蓄積されているため、水位確率規模を採用する。
ラグナ湖沿岸地域 (21流域)	雨量	【河川】 A=40km ² 以上 : 50年 A=40km ² 未満 10km ² 以上 : 25年 A=10km ² 未満 : 15年	<ul style="list-style-type: none"> ラグナ湖沿岸の21流域内には、複数の河川が含まれていることより、各河川の流域面積により計画規模を設定する。 DPWH 標準ガイドライン 2015 で設定された計画規模では、過大な計画規模を設定してしまう恐れがあるため、2011年の覚書を参考に流域面積ごとの計画規模を設定する。
		【排水路】 排水路 : 15年	<ul style="list-style-type: none"> 内水(排水)対策が対象となる場合の計画規模となる。
ラスピナス・ パラニャーケ地区	雨量	【河川】 A=40km ² 以上 : 50年 A=40km ² 未満 10km ² 以上 : 25年 A=10km ² 未満 : 15年	<ul style="list-style-type: none"> 外水対策が対象となる場合の計画規模となる。
		【排水路】 排水路 : 15年	<ul style="list-style-type: none"> 内水(排水)対策が対象となる場合の計画規模となる。

(4) 計画降雨継続時間の検討

本業務対象範囲内の一部地域(パッシング・マリキナ川流域)において、1994年よりEFCOSによる時間雨量観測が開始されている。しかし、ラグナ湖周辺流域においては、日雨量しか観測されておらず、時間雨量観測所は存在していない。このような雨量観測状況を勘案し、ラグナ湖周辺流域及びラスピナス・パラニャーケ地区における計画降雨継続時間は日単を基本とする。

流域面積が100km²未満の流域においては、一般的に計画降雨継続時間の設定は、洪水到達時間~1日を設定される。河川砂防技術基準にも記載されている通り、水文データ状況、流域の状況、洪水時の計測時間等を検討し、計画降雨継続時間を設定するが、日本においても継続時間の検討について資料が十分であるとは限らないので、統計解析等の理由からやむをえず1日~3日を採用している場合がある。

ラグナ湖周辺流域及びラスピナス・パラニャーケ地区の水文データに制約がある(日雨量観測データしか存在しない)並びに日本における基準を勘案し、計画降雨継続時間は1日と設定した。

(5) 計画対象降雨波形の検討（ラグナ湖沿岸地域及びラスピニャス・パラニャケ地区）

計画対象降雨の設定については、ラグナ湖沿岸地域（21 流域）及びラスピニャス・パラニャケ地区を対象とする。ラグナ湖水位上昇に伴う洪水については、計画規模の評価指標が『水位』となるため、別途計画水位波形を設定した。

計画対象降雨は、被害が大きかった 2009 年台風オンドイの実績降雨を基本とするが、DPWH が所有している降雨強度式（Specific Discharge Curve Rainfall Intensity Duration Curve Isohyet of Probable 1-day Rainfall）を使用したモデル降雨波形も作成し、計画降雨量まで引き延ばした際、引き延ばしにより短時間雨量に評価・算定されていないか確認を行った。

降雨波形の時間分布及び空間分布は、下表に示す通り実績降雨（2009 年台風オンドイ）の引き延ばしとモデル降雨波形の 2 種類により設定し、計画降雨波形の妥当性を検討した。なお、本業務ではラグナ湖周辺流域において洪水対策案の種類、規模を概略的に検討することより、近傍流域であるパッシング・マリキナ川における既往検討を踏襲し、河川におけるピーク流量が最大となる波形である台風オンドイ型の実績洪水を採用した。

表 3.2.8 時間分布と地域分布の設定

区分	2009 年台風オンドイ実績波形	モデル降雨波形
時間分布	実績時間雨量の引き延ばし	降雨強度式*よりモデル降雨波形を作成し、引き延ばしを行う
地域分布	実績時間雨量の空間分布をティー線分割により与える	なし

*DPWH 所有の降雨強度式（Specific Discharge Curve Rainfall Intensity Duration Curve Isohyet of Probable 1-day Rainfall）より

計画降雨波形の妥当性検討方法

- 計画降雨波形を 2 種類（実績降雨引き延ばし、モデル降雨波形引き延ばし）算出
- 短時間雨量が過大な降雨量になっている場合、対象降雨から棄却

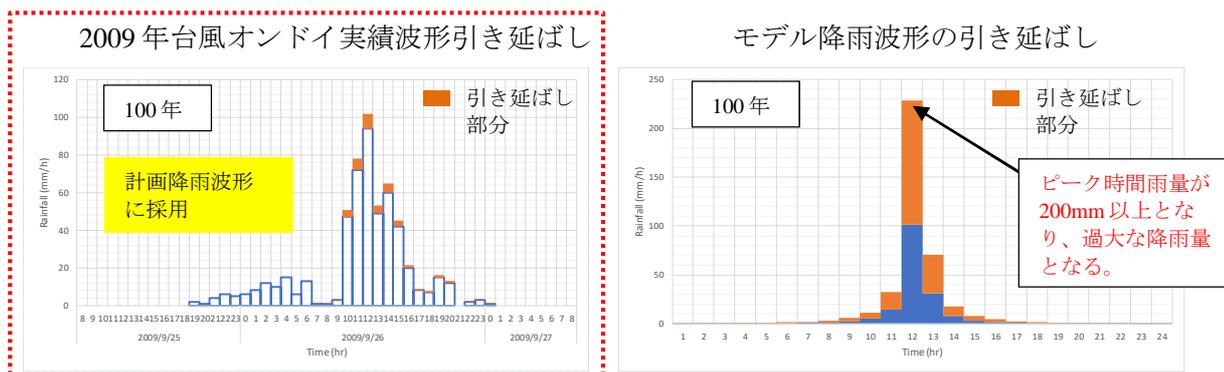


図 3.2.2 計画降雨波形（実績波形引き延ばし、モデル降雨波形引き延ばし）

本業務において設定した計画降雨波形を下表に整理する。

表 3.2.9 設定した計画降雨波形

区分	計画降雨波形
ラグナ湖沿岸	2009 年台風オンドイ実績降雨波形
ラスピニャス・パラニャケ地区	2009 年台風オンドイ実績降雨波形

(6) 計画対象水位波形の検討（ラグナ湖湖面上昇）

ラグナ湖水位上昇に伴う洪水については、計画対象水位波形を設定した。マンガハン放水路建設後（1989年完成）から2016年までの28カ年で、ラグナ湖水位が最も上昇したのは、2009年（WL.13.85m）、次いで2012年（WL.13.83m）である。

2009年、2012年のラグナ湖水位の経日変化を図3.2.4に示す。最高水位に到達するまでの水位上昇を見ると、2009年は1か月で1.35mの上昇に対して、2012年は2.33mと水位上昇量が大きい。本業務においては、2009年と2012年の水位波形から計画対象水位波形を作成し、パラニャーケ放水路による湖水位の低減効果を評価し、被害が大きくなる波形（パラニャーケ放水路による水位低減効果が少ない波形）を採用することで、安全側の評価を行うこととした。

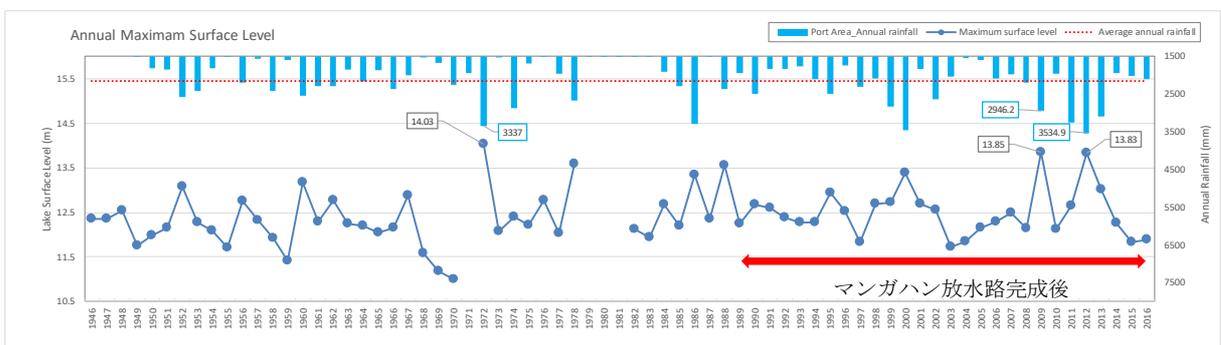


図 3.2.3 ラグナ湖年最大水位の経年変化（1946年～2016年）

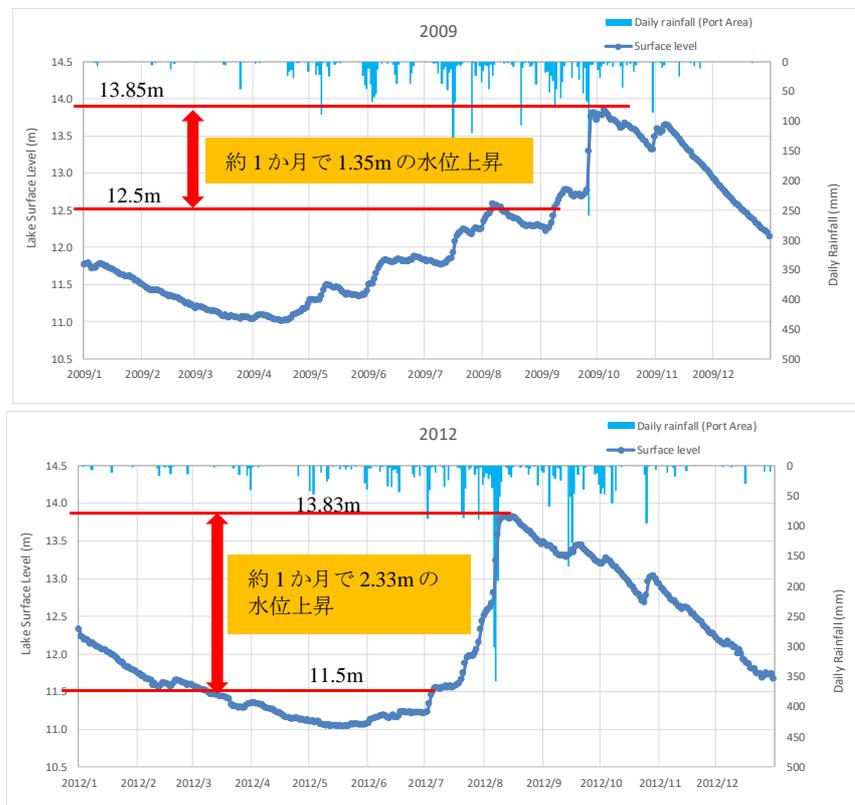


図 3.2.4 ラグナ湖水位変化（2009年、2012年）

3.2.2 マニラ湾潮位

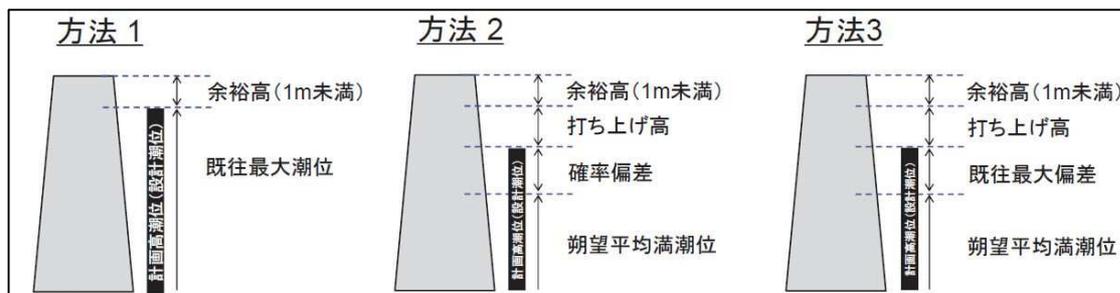
(1) 計画潮位の設定方法

日本において計画潮位は、以下の3通りの方法で検討される。

方法1：既往最大潮位（HHWL）

方法2：朔望平均満潮位（HWL）+ 平均確率偏差

方法3：朔望平均満潮位（HWL）+ 既往最大偏差

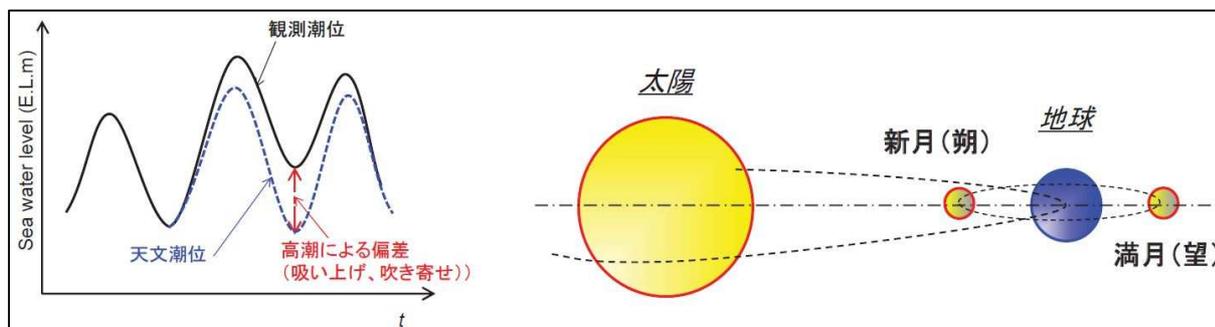


出典：河川砂防技術基準

図 3.2.5 計画潮位及び海岸堤防高の設計方法（日本）

偏差とは、台風や熱帯性低気圧によって発生する吸い上げと吹き寄せによる海面上昇である。この上昇量を一般的に高潮と呼ぶ。偏差は観測潮位と天体潮位の差をとることができる。

朔望平均満潮位とは、潮位の上昇する新月（朔）と満月（望）の潮位を平均した高さであり、日本では近年5カ年分の平均値を採用する。



出典：産業集積地（カビテ州）洪水対策事業準備調査

図 3.2.6 偏差の推定方法（左）と朔望（右）

本業務では、国家地理資源情報庁（NAMRIA）より収集したデータを用いて、上述した3つの方法の適用可能性を検討し、収集した資料を元に潮位偏差をとりまとめた。収集データの概要は表 3.2.10 の通りである。基本的には 2015 年 JICA 調査²で収集した資料を活用し、最新の 2015 年及び 2016 年のデータに追加した。

² 産業集積地（カビテ州）洪水対策事業準備調査 JICA, 2015

表 3.2.10 収集した潮位データ

No.	項目	データの概要
1	観測潮位 (月データ)	<ul style="list-style-type: none"> 1947年～2016年(67年) 月最高水位/月最低水位(1947年～2016年)、 平均海面:1947年から2006年はMSL 平均海面:2007年から2016年までの平均海面データは水位標からの読み値となる。
2	観測潮位 (時間データ)	<ul style="list-style-type: none"> 1995年～2016年(22年) 時系列データ 観測値は水位標の読み取り値である。既往調査(JICA カビテ州ローランドにおける総合治水対策調査)で実施した潮位観測の結果から、観測値から3m差し引いた値がMSLに相当することが判明している。本業務においては、1月～4月は観測潮位と天文潮位が一致すると仮定し、データ補正を行った。
3	天文潮位 (時間データ)	<ul style="list-style-type: none"> 2007年～2016年(10年) 基準高はMean Lower Low Water (MLLW)。NAMRIAの資料によると、潮位データから47cm(2007年から2010年)もしくは49cm(2011年以降)引いた値がMSLからの高さとなる。

*資料は全てNAMRIAより入手

(2) 潮位観測所

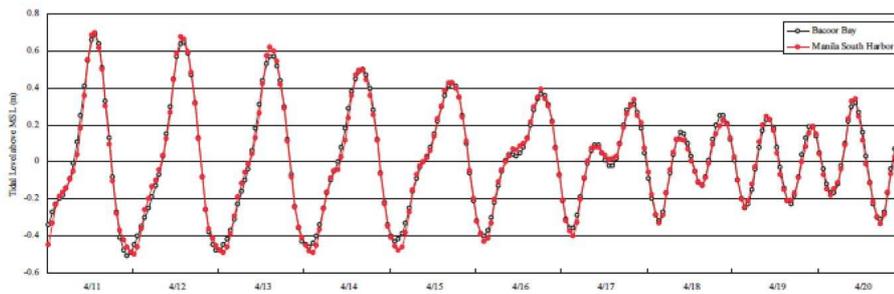
マニラサウスハーバーから、パラニャーケ放水路の排水予定河川であるパラニャーケ川、ザポテ川の河口との距離は約10kmである。2009年JICA調査³においてマニラサウスハーバーとイムス川河口の潮位は同一であることが確認されている。このことから、本業務ではマニラサウスハーバーの潮位を用いて計画潮位を設定した。



出典：Google Earth を基に調査チームが作成

図 3.2.7 パラニャーケ川、ザポテ川、イムス川の河口とサウスハーバーの位置関係

³ カビテ州ローランドにおける総合的治水対策調査 JICA, 2009

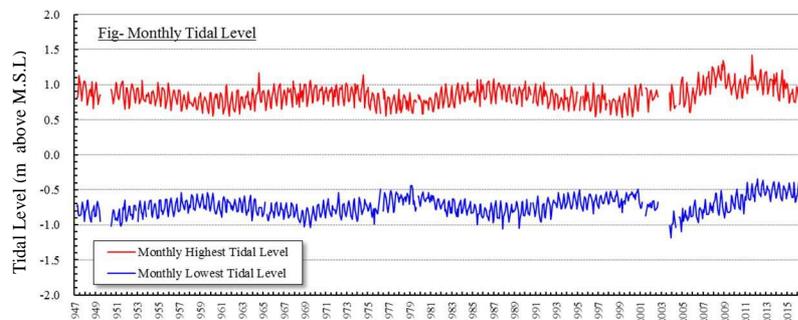


出典：カビテ州ローランドにおける総合的治水対策調査 JICA, 2009
(NAMRIA のデータに基づいて 2015 年、2016 年のデータを JICA 調査が追加)

図 3.2.8 イムス川河口水位とマニラサウスハーバーの観測潮位の比較

(3) 既往最大潮位

収集した観測潮位データを元に、既往最高潮位の整理を行った。下図に月最高潮位を示す。2003 年以降はそれ以前に比べて全体的に潮位が上昇しており、基準面となる平均潮位の設定を誤っている可能性がある。しかしながらそれを明確に示す根拠はないため、本業務では既往最大潮位としては 2011 年 9 月の MSL + 1.4 m を採用する。

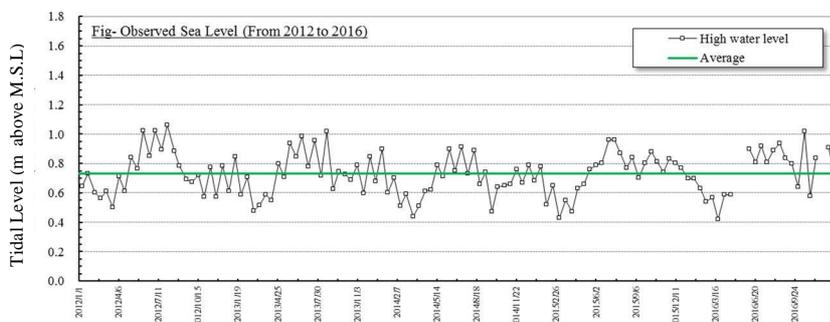


出典：カビテ州ローランドにおける総合的治水対策調査 JICA, 2009
(NAMRIA のデータに基づいて 2015 年、2016 年のデータを JICA 調査が追加)

図 3.2.9 月最高／最低潮位（マニラサウスハーバー）

(4) 朔望平均満潮位

2012 年から 2016 年の 5 カ年の時間潮位データを用いて、朔望平均満潮位を算定した。下図に朔望平均満潮位を示す。平均値は 0.73 m above MSL である。この値はイムス川河口の計画潮位 0.8 m above MSL に近い。なお、日本では台風シーズンの朔望平均満潮位とする場合もある。マニラサウスハーバーの台風シーズンである 4 月から 12 月の朔望平均満潮位は 0.77 m above MSL である。本業務では安全側となる 0.77 m above MSL を朔望平均満潮位とする。



出典：産業集積地（カビテ州）洪水対策事業準備調査
(NAMRIA のデータに基づいて 2015 年、2016 年のデータを JICA 調査が追加)

図 3.2.10 朔望満潮位（マニラサウスハーバー 2012-2016）

(5) 潮位偏差

1) 台風の影響

潮位偏差について解析結果を示す前に、台風による潮位偏差への影響について説明する。潮位偏差は i) 「沿岸からの風による吹き寄せ」と、ii) 「低気圧による吸い上げ」により発生する。このため、潮位偏差は台風の経路・規模に依存する。北半球であれば、コリオリの力により台風は反時計回りに回転することから、台風が北上する場合は台風進行方向の右側の潮位が高くなる。吸い上げについては、気圧が 1 hPa 低下すると 1 cm 水位が上昇する。しかし、アメリカ海洋大気庁の資料によると、低気圧による潮位上昇は、台風による潮位偏差全体の 5% 程度である。つまり i) 「沿岸からの風による吹き寄せ」による影響が支配的となる。



出典：アメリカ海洋大気庁ホームページ

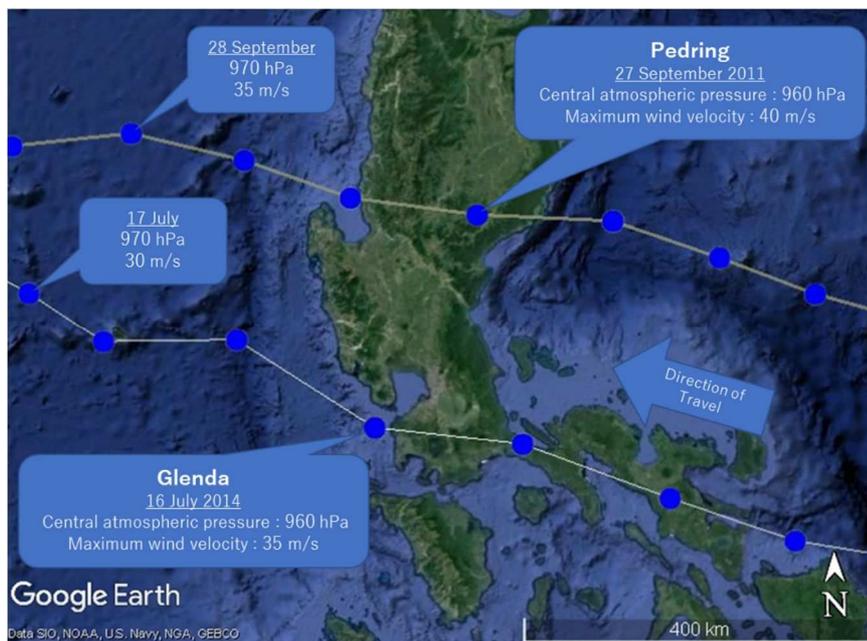
図 3.2.11 台風に寄る高潮の構造

表 3.2.11 にデジタル台風 (<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>) から抽出したマニラ湾周辺を通過した主な台風の諸元と経路を示す。マニラ湾へ接近した時の最低気圧でみると、近年では 2011 年の Pedring、2014 年の Glenda が強く、960 hPa を記録している。1 気圧が 1013 hPa であることから、吸い上げのみで 53 cm 水位 (1013 - 960 = 53) を上昇させるポテンシャルがあったと推察される。以降にこれら 2 つの台風が潮位偏差に与えた影響を確認する。図 3.2.12 に Pedering と Glenda の経路、最低気圧、最大風速を示す。

表 3.2.11 マニラ湾付近を通過した主な台風

No.	名前	フィリピン名	発生年月日 (UTC)	消滅年月日 (UTC)	寿命	最低気圧 (hPa)
1	Iris	-	1951/4/29	1951/5/11	11Days 18Hours	909
2	Emma	Welming	1967/10/31	1967/11/8	8Days 0Hours	908
3	Joan	Sening	1970/10/10	1970/10/18	8Days 0Hours	905
4	Patsy	Yoling	1970/11/14	1970/11/22	8Days 0Hours	910
5	Ora	Konsing	1972/6/23	1972/6/27	4Days 0Hours	980
6	Mac	Pepang	1979/9/16	1979/9/23	5Days 0Hours	985
7	Vera	Loleng	1983/7/12	1983/7/19	6Days 6Hours	965
8	Sibyl	Mameng	1995/9/28	1995/10/3	5Days 6Hours	985
9	Angela	Rosing	1995/10/26	1995/11/6	10Days 18Hours	910
10	Xangsane	Reming	2000/10/26	2000/11/1	6Days 6Hours	960
11	Bebinca	Seniang	2000/11/1	2000/11/7	6Days 0Hours	980
12	Xangsane	Milenyo	2006/9/26	2006/10/2	6Days 0Hours	940
13	Conson	Basyang	2010/7/12	2010/7/18	6Days 0Hours	970
14	Nesat	Pedring	2011/9/24	2011/9/30	6Days 18Hours	950
15	Rammasun	Glenda	2014/7/12	2014/7/19	7Days 12Hours	935
16	Fung-Wong	Mario	2014/9/17	2014/9/24	6Days 12Hours	985
17	Hagupit	Ruby	2014/12/1	2014/12/11	10Days 6Hours	905
18	Koppu	Lando	2015/10/13	2015/10/21	7days 18hours	925
19	Nock-Ten	Nina	2016/12/21	2016/12/27	6days 0hours	915
20	Doksuri	Maring	2017/9/12	2017/9/16	3days 12hours	955

出典：<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>



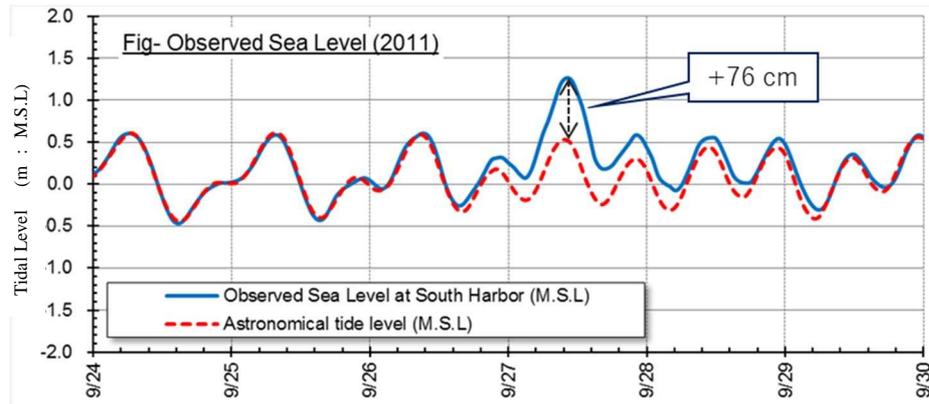
出典：<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>

図 3.2.12 台風 Pedring (2011 年) と Glenda (2014 年) の経路

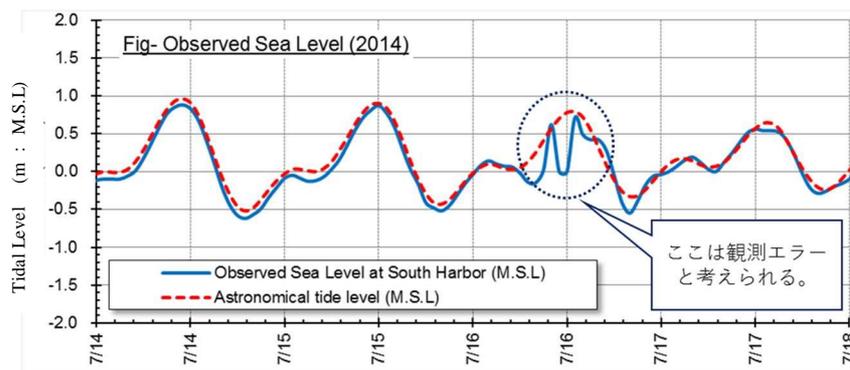
図 3.2.13 に Pedring (2011 年 9 月)、Glenda (2014 年 7 月) の 2 つの台風が通過したときの潮位偏差を示す。Pedring がルソン島を横断した 27 日から 28 日にかけて、50cm 以上の潮位偏差が発生している。一方で Glenda が通過したときには大きな潮位偏差は発生していない。この原因の一つとして、観測地点における吹き寄せの影響が考えられる。台風が反時計りであることから、マニラ湾より南側を通過する台風は観測所であるマニラサウスハーバーから離

れる方向に強い風を吹かせる。一方、マニラ湾より北側を通過する台風は、マニラサウスハーバーに向かって強い風を吹かせることになる。これにより、観測地点においては台風がマニラ湾南側を通過する場合は、言うなれば吹き離れが吸い上げの影響を打ち消す働きをし、逆に北側を通過する場合は吹き寄せが吸い上げを増大させることになる。このため、Pedringが北側を通過した際にはマニラサウスハーバーで大きな潮位偏差が観測され、Glendaが南側を通過したときには目立った潮位偏差が観測されなかったと考えられる。

【2011年9月 台風 Pedring】



【2014年7月 台風 Glenda】



出典：産業集積地（カビテ州）洪水対策事業準備調査

図 3.2.13 台風による潮位偏差の発生状況

2) 既往最大潮位偏差

収集した観測潮位と天文潮位を用いて、潮位偏差を算定した。天文潮位の時間データは2007年から2016年までの10年分であり、基準高はMLLWである。一方、同期間の観測潮位データは水位標の読み取り値であるが、水位標のゼロ点高とMLLWとの関係が明らかではない。そこで、1月～4月の間は天文潮位と観測潮位は一致すると仮定し、観測潮位をMLLW基準に修正するための補正值を設定した。これは、既往の台風や洪水記録から、高潮の原因となる熱帯性低気圧が1月～4月の間に発生することは稀であることによる。

表 3.2.12 に観測潮位を MLLW 基準に直すための補正值と MLLW 基準から MSL 基準へと変

換するための値を、表 3.2.13 に潮位偏差の推定値を示す。例えば 2014 年の観測潮位が 293.3 cm であった場合、観測潮位 (293.3cm) から MLLW への補正值 (244.9 cm) と MLLW から MSL への変換値 (49 cm) を差し引いた値が MSL からの高さとなる。

表 3.2.12 観測潮位データの補正值

No.	観測年	MLLW への 補正值 (cm)	MLLW から MSL への変換値 (cm)
1	2007	238.4	48
2	2008	250.9	48
3	2009	241.5	48
4	2010	239.5	48
5	2011	250.6	49
6	2012	255.7	49
7	2013	250.3	49
8	2014	244.9	49
9	2015	241.9	49
10	2016	245.2	49

出典：産業集積地（カビテ州）洪水対策事業準備調査
(NAMRIA のデータに基づいて 2015 年、2016 年のデータを JICA 調査が追加)

表 3.2.13 潮位偏差の推定値

No.	観測年	年最大 潮位偏差 (cm)	発生日時	備考
1	2007	40	11/27 1:00	
2	2008	45	10/17 2:00	
3	2009	40	8/2 5:00	
4	2010	63	12/22 22:00	
5	2011	76	9/27 11:00	Pedring, 洪水あり
6	2012	71	7/30 0:00	
7	2013	51	10/12 0:00	
8	2014	31	9/19 23:00	洪水あり
9	2015	57	10/18 4:00	
10	2016	42	12/20 2:00	
平均値 (cm)		52		
最大 (cm)		76		最大潮位偏差として採用
最小 (cm)		31		

出典：産業集積地（カビテ州）洪水対策事業準備調査
(NAMRIA のデータに基づいて 2015 年、2016 年のデータを JICA 調査が追加)

3) 確率偏差

前節で求めた年最大潮位偏差をもとに、統計解析を実施して確率偏差を求める。なお、潮位偏差の標本数は 10 標本であるため、統計解析には十分な標本数とはいえない。統計解析には水文統計ユーティリティ Ver1.5 (国土技術センター) を用いた。

解析結果より、 $SLSC \leq 0.04$ を満たすものの中で、日本で計画潮位設定に用いられる 50 年確率の潮位偏差が最も危険側となる Gumbel を採用することとした。GEV、Gumbel、LN2LN はいずれも 50 年確率の潮位偏差は 95cm 台であり、表 3.2.14 の通り結果も似通っていたため、この中で最も高い 95.7 cm となる Gumbel を採用した。

表 3.2.14 確率潮位偏差

単位：cm

Return Period (Year)	Probability Density Function						
	Gumbel	Gev	Iwai	IshiTaka	LN3PM	LN2LM	LN2PM
2	49.1	49.2	50.3	50	49.9	49.9	49.9
3	56.2	56.3	57.1	56.8	56.6	57.1	56.7
5	64.1	64.1	64.1	63.9	63.7	64.9	64
10	73.9	73.9	72.5	72.3	72.3	74.6	72.9
20	83.4	83.3	80.1	80	80.1	83.6	81.2
30	88.9	88.6	84.3	84.3	84.5	88.7	85.9
50	95.7	95.3	89.4	89.5	89.9	95.0	91.6
80	101.9	101.4	93.9	94.2	94.8	100.7	96.9
100	104.9	104.2	96.1	96.4	97.1	103.5	99.4
150	110.3	109.4	99.9	100.4	101.2	108.4	103.8
200	114.1	113.1	102.6	103.2	104.1	111.9	107
400	123.2	121.8	109	109.8	111	120.3	114.6
P-COR(99%)	0.987	0.987	0.984	0.985	0.985	0.987	0.986
X-COR(99%)	0.977	0.977	0.979	0.979	0.979	0.978	0.979
SLSC(99%)	0.039	0.039	0.040	0.040	0.040	0.036	0.039

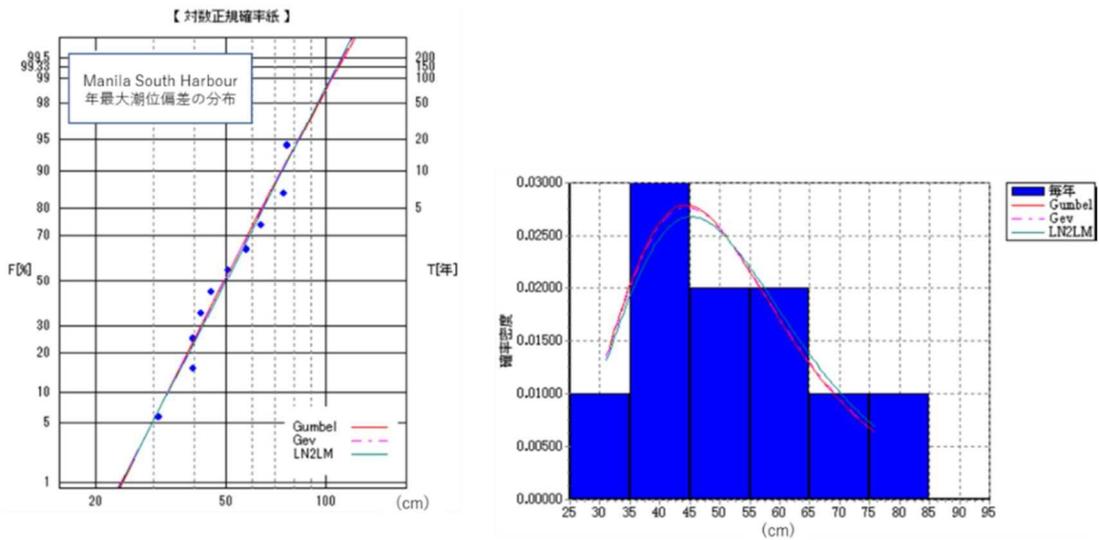


図 3.2.14 確率密度関数とデータプロット及びヒストグラム

(6) 計画潮位の設定

前述の検討結果及び表 3.2.15 で示した方法を基に、計画潮位を設定する。下表に計画潮位の設計案を示す。3つの方法を比較した結果、方法2及び方法3は標本数が不足していることから採用は難しいと判断した。したがって、方法1から求めた既往最大潮位 1.4 m (above MSL) を計画潮位として設定する。

表 3.2.15 計画潮位の設定案

No.	方法	設定	計画潮位	概要
1	既往最大潮位	<ul style="list-style-type: none"> NAMRIA の最高潮位データから最高潮位は1.4 m (2011年9月) 	1.4 m above MSL	<ul style="list-style-type: none"> 1947年から現在までの長期観測結果であり信頼性は高い。計画値として採用。
2	朔望平均満潮位 + 確率偏差	<ul style="list-style-type: none"> 朔望平均満潮位 : 0.77 m above MSL 4月から12月の朔望潮位を用いて平均値を算出 確率偏差 : 0.96 m 日本では、50年確率の偏差が採用される。表3.2.14より50年確率の潮位偏差は0.957 m 	1.73 m above MSL	<ul style="list-style-type: none"> 年最大偏差は10年分であり、統計解析に用いる標本数としては少ないため、この値は不採用。
3	朔望平均満潮位 + 既往最大偏差	<ul style="list-style-type: none"> 朔望平均満潮位 : 0.77 m above MSL 4月から12月の朔望潮位を用いて平均値を算出 既往最大偏差 : 0.76 m 2011年9月の台風 Pedring の値を採用 	1.53 m above MSL	<ul style="list-style-type: none"> 年最大偏差は10年分であり、データ数が不十分であることから、この値は不採用。

3.3 水文統計解析

ラグナ湖における計画規模は水位による確率評価、ラグナ湖沿岸地域及びラスピニャス・パラニャーケ地区においては流域平均雨量、もしくは地点雨量観測所雨量の確率評価を行った。水文統計解析に用いたデータを下表に整理する。

表 3.3.1 水文統計解析に用いたデータ

対象	指標	使用データ
ラグナ湖水位	水位	・1946年～2016年の観測湖水位データより、年最大水位を算出する。 ・年最大水位を用いて確率処理を行う。
ラグナ湖沿岸地域	雨量	・各流域平均雨量を算出する。 ・流域平均雨量の算定においては、雨量観測データの整備状況を鑑み、年別にティーセン分割を行い、流域平均雨量を算出した。
ラスピニャス・パラニャーケ地区	雨量	・流域平均雨量を算出する。 ・流域平均雨量の算定においては、雨量観測データの整備状況を鑑み、年別にティーセン分割を行い、流域平均雨量を算出した。

統計解析は財団法人国土技術センター（日本）により開発された水文統計ユーティリティver1.5を用いた。以下に、確率水位及び確率雨量の算定方法を示す。

《確率水位・雨量の算定方法》

- 下記に示す13モデルにより確率水文量を算定する。
- 極値理論に基づくグンベル分布（Gumbel）、一般化極値分布（Gev）、平方根指数型最大値分布（Sqrt-Et）の3分布についてSLSCによる適合度評価を実施し、選定基準を満足する分布（ $SLSC^4 \leq 0.04$ ）を選定する。3分布とも選定基準を満たさない場合は残りの7分布より選定する。
- 選定された分布について、リサンプリング（Jackknife法）による安定性評価を実施し、推定誤差が最小となる分布を計画に用いる確率分布モデルとする。
- Jackknife法による不偏推定値を計画に用いる確率水文量とする。

表 3.3.2 確率分布モデル

No.	確率分布モデル	
1	Exp	指数分布
2	Gumbel	グンベル分布
3	SprtEt	平方根指数型最大値分布
4	Gev	一般化極値分布
5	LP3Rs	対数ピアソン III 型分布（実数空間法）
6	LogP3	対数ピアソン III 型分布（対数空間法）
7	Iwai	岩井法
8	IshiTaka	石原・高棹法
9	LN3Q	対数正規分布 3 母数クォンタイル法
10	LN3PM	対数正規分布 3 母数（Slade II）
11	LN2LM	対数正規分布 2 母数（Slade I、L 積率法）
12	LN2PM	対数正規分布 2 母数（Slade I、積率法）

⁴ Standard Least Square Criterion（SLSC）：標本と確率分布の適合度を判定するための指標

3.3.1 ラグナ湖水位統計解析

ラグナ湖の水位統計解析は、4つの湖水位観測所の平均値より、年最大湖水位を算出（表 3.1.7）し、統計処理を行った。湖水位データは 1946 年～2016 年（1971 年、1979～1981 年は欠測）の観測値を使用した。ラグナ湖における水位確率評価結果を表 3.3.3、図 3.3.1 に示す。

ラグナ湖における 100 年確率水位は 14.3m となる。既往最大水位（14.03m、1972 年）は 50 年相当の水位となる。また、2009 年台風オンドイ時の最高水位 13.85m は 40 年相当になる。

表 3.3.3 ラグナ湖における確率水位

Return Period (year)	Water Level (m)
2	12.3
3	12.6
5	12.9
10	13.2
20	13.6
30	13.7
50	14.0
80	14.2
100	14.3
200	14.7

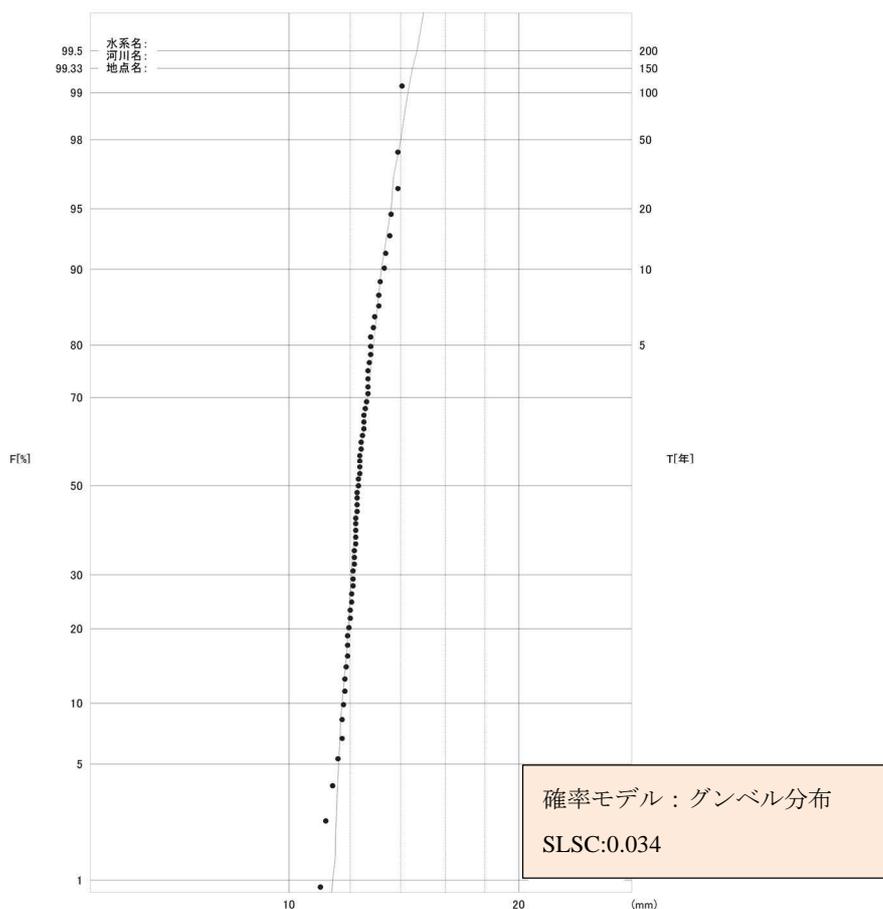


図 3.3.1 確率水位算定結果__ラグナ湖

3.3.2 降雨解析

(1) ラグナ湖流域の概要

ラグナ湖流域の各小流域の流域諸元を表 3.3.4、図 3.3.2 に示す。下記に示す小流域内にはいくつかの河川が含まれているが、下表には代表的な河川名を記載する。

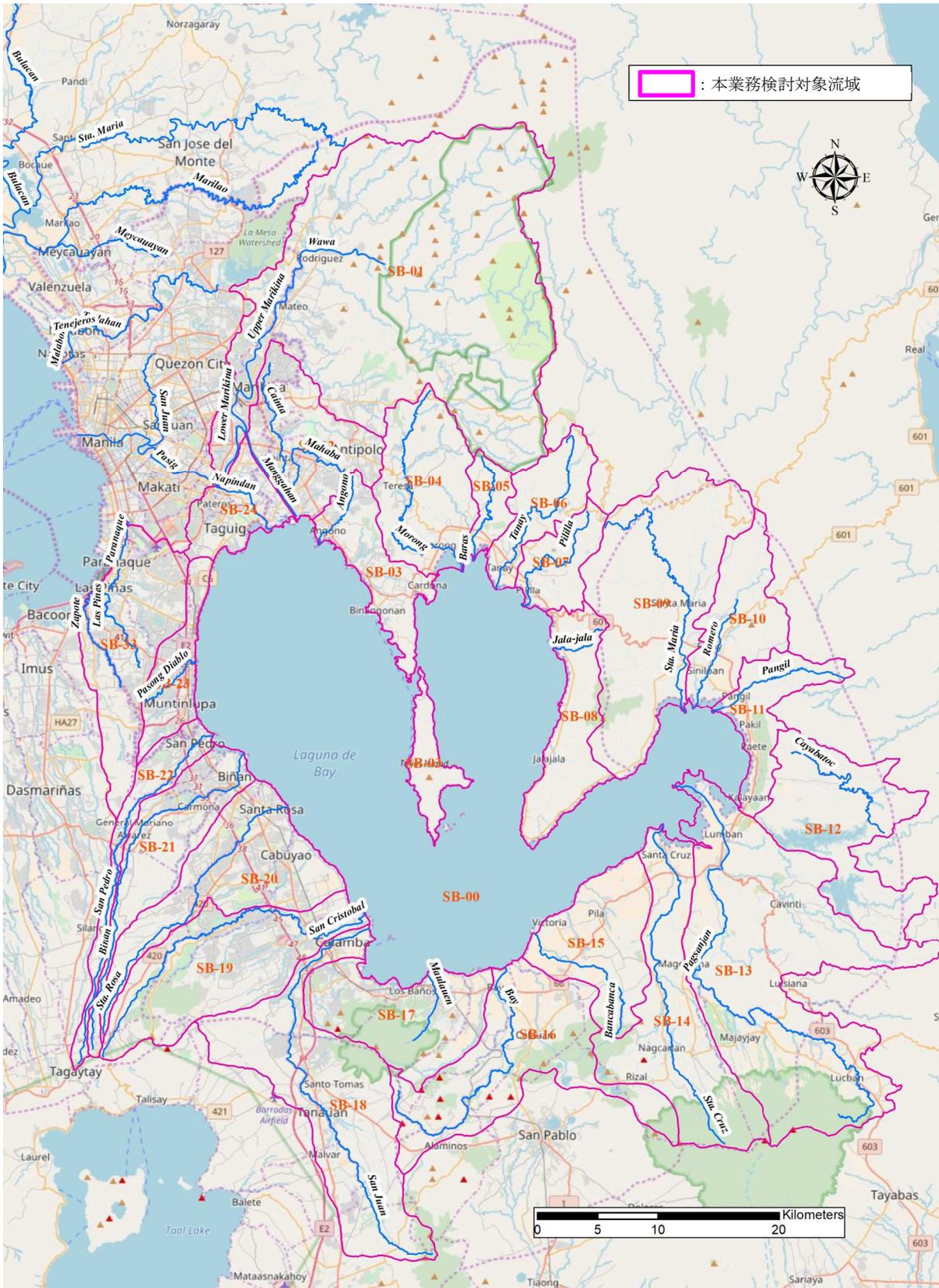
ラグナ湖流域（ラグナ湖湖面含む）は、約 3,280km² であり、本業務で検討対象とするラグナ湖流域（SB-03～SB-23）（以下、「ラグナ湖流域」とする）全体の流域面積は、2,241km² である。

表 3.3.4 ラグナ湖流域の流域諸元

SB_ID	NAME	Main River Name ^{*1}	Area (km ²) ^{*2}
SB-00	Laguna Lake Surface	-	904.0
SB-01	Marikina	Marikina River	538.1
SB-02	Mangahan	Mangahan Flood way	91.8
SB-03	Angono	Angono River	86.6
SB-04	Morong	Morong River	95.9
SB-05	Baras	Baras River	21.7
SB-06	Tanay	Tanay River	52.2
SB-07	Pililla	Pilila River	40.4
SB-08	Jala-jala	Jala-jala River	70.6
SB-09	Sta. Maria	Sta Maria River	202.2
SB-10	Siniloan	Romeo River	71.7
SB-11	Pangil	Pangil River	50.1
SB-12	Caliraya	Caliraya River	128.8
SB-13	Pagsanjan	Pagsanjan River	301.2
SB-14	Sta. Cruz	Sta. Cruz River	146.7
SB-15	Pila	Pila River	89.3
SB-16	Calauan	Calauan River	154.5
SB-17	Los Banos	Los Banos River	102.1
SB-18	San Juan	San Juan River	191.7
SB-19	San Cristobal	San Cristobal River	140.6
SB-20	Sta. Rosa	Sta. Rosa River	119.8
SB-21	Binan	Binan River	84.8
SB-22	San Pedro	San Pedro River	46.0
SB-23	Muntinlupa	Alaban River	44.1
SB-24	Taguig	Napindan Channel	44.5
合計 (SB00-SB23)			3,774.9
本業務で検討対象となるラグナ湖流域 (SB-03～SB-23)			2,241.0
ラグナ湖(SB-00)及びラグナ湖流域 (SB-02～SB-24)			3,281.3

*1:小流域分割した流域内の代表的な河川を示す。

*2:流域面積は、河川の流域面積ではなく、小流域分割した流域の面積である。



出典：Open Street Map を基に調査チームが作成

図 3.3.2 ラグナ湖流域における流域界

(2) ラグナ湖流域における流域平均雨量の算定

ラグナ湖流域における流域平均雨量の算定においては、1951年～2016年の観測日雨量データを使用した。また、毎年観測状況が変化するため、各年において1年間の日雨量データが存在する地点を選定し、ティーセン分割を行い、ラグナ湖流域（SB03～SB23）の流域平均雨量を算出した。各流域における年最大流域平均雨量を表 3.3.6 に示す。本業務で使用したティーセン分割パターンを表 3.3.7 に示す。

算出したラグナ湖流域の流域平均雨量より、年最大流域平均雨量を求め降雨解析を実施した。ラグナ湖流域における規模別雨量を表 3.3.5 に示す。

表 3.3.5 ラグナ湖流域_SB03～SB23 における確率規模別雨量

単位：mm/day

Sub-Basin ID	SB03	SB04	SB05	SB06	SB07	SB08	SB09	SB10	SB11	SB12	SB13
Name	Angono	Morong	Baras	Tanay	Pililla	Jala-jala	Sta. Maria	Simloan	Pangil	Caliraya	Pagsanjan
Area(km ²)	86.6	95.9	21.7	52.2	40.4	70.6	202.2	71.7	50.1	128.8	301.2
Statistical model	Gev	Gumbel	Gev	Gev	Gev	Gev	Gev	Gumbel	Gev	Gev	Gev
SLSC	0.024	0.031	0.035	0.029	0.031	0.022	0.025	0.036	0.018	0.025	0.027
2	117.4	154.2	150.6	141.9	135.3	114.6	128.3	135.7	137.8	135.8	122.9
3	140.4	185.2	181.5	169.2	162.8	136.1	150.5	161.1	170.0	165.2	144.9
5	168.9	219.8	217.6	201.7	194.7	162.8	175.4	189.3	208.6	199.4	171.1
10	209.4	263.3	265.8	246.0	236.6	200.7	207.0	224.9	261.6	244.6	206.6
15	234.9	287.8	294.5	272.8	261.2	224.5	225.0	244.9	293.9	271.3	228.1
20	254.0	305.0	315.2	292.4	278.9	242.2	237.6	259.0	317.6	290.4	243.7
25	269.4	318.2	331.6	308.0	292.8	256.6	247.3	269.8	336.5	305.5	256.2
30	282.5	329.0	345.2	321.0	304.2	268.7	255.3	278.6	352.3	318.0	266.5
50	321.4	359.0	384.2	358.9	336.9	304.7	277.5	303.1	398.4	353.6	296.5
80	360.3	386.4	421.5	395.6	367.8	340.8	298.0	325.5	443.5	387.4	325.6
100	380.1	399.4	439.7	413.8	382.8	359.1	307.7	336.1	465.9	403.9	340.0

Sub-Basin ID	SB14	SB15	SB16	SB17	SB18	SB19	SB20	SB21	SB22	SB23
Name	Sta. Cruz	Pila	Calauan	Los Banos	San Juan	San Cristobal	Sta. Rosa	Binan	San Pedro	Muntinlupa
Area(km ²)	146.7	89.3	154.5	102.1	191.7	140.6	119.8	84.8	46	44.1
Statistical model	Gev	Gev	Gev	Gev	SqrtEt	Gev	Gev	Gumbel	SqrtEt	Gev
SLSC	0.025	0.017	0.029	0.019	0.035	0.024	0.022	0.027	0.027	0.025
2	120.6	115.8	138.3	146.2	138.5	127.2	113.9	109.3	105.5	101.4
3	142.6	139.0	164.5	175.8	167.5	152.4	138.7	133.2	128.9	124.9
5	168.8	167.3	193.8	209.2	202.5	182.4	166.4	159.9	157.3	155.8
10	204.6	207.0	230.9	251.9	250.7	223.1	201.6	193.3	196.5	202.9
15	226.3	231.7	252.0	276.4	279.9	247.7	221.5	212.2	220.3	234.3
20	242.2	250.1	266.8	293.7	301.1	265.6	235.6	225.5	237.7	258.7
25	254.8	264.8	278.3	307.1	318.0	279.8	246.4	235.7	251.5	279.0
30	265.4	277.3	287.6	318.0	332.0	291.7	255.3	244.0	263.0	296.5
50	296.1	313.9	313.8	348.8	372.6	326.1	280.0	267.1	296.2	350.5
80	325.9	350.4	337.8	377.4	411.6	359.4	302.8	288.2	328.2	407.5
100	340.7	368.7	349.3	391.0	430.6	375.9	313.7	298.2	343.8	437.4

表 3.3.6-1 各流域における年最大流域平均雨量 (1/2)

単位 : mm

Year	SB-02	SB-03	SB-04	SB-05	SB-06	SB-07	SB-08	SB-09	SB-10	SB-11
1951	87.6	82.9	84.3	84.3	92.4	83.5	84.7	155.2	199.1	199.1
1952	177.4	221.5	228.6	228.6	209.0	224.7	194.9	105.2	107.7	107.7
1953	158.4	136.3	140.0	140.0	127.7	137.5	122.4	133.3	199.4	199.4
1954	111.5	114.0	117.9	117.9	112.9	116.9	99.3	86.3	110.5	110.5
1955	109.3	83.1	84.1	84.1	77.2	82.7	79.5	164.8	227.6	227.6
1956	157.2	145.5	146.6	146.6	133.9	144.1	141.6	111.3	159.0	159.0
1957	105.0	115.3	119.1	119.1	108.2	116.9	101.1	107.1	109.7	109.7
1958	293.7	339.7	353.8	353.8	322.5	347.5	286.8	156.4	103.9	103.9
1959	116.7	108.7	111.5	111.5	104.9	110.2	98.0	74.3	95.3	95.3
1960	226.2	225.7	229.1	229.1	213.8	226.0	213.1	132.8	172.5	172.5
1961	126.1	144.2	137.2	128.1	163.6	215.9	215.9	209.8	215.9	215.9
1962	187.9	136.5	174.5	190.5	122.1	113.5	113.5	110.2	113.5	113.5
1963	113.4	145.6	107.4	114.4	122.9	166.1	166.1	161.2	166.1	166.1
1964	195.9	195.6	206.9	194.7	97.4	94.2	94.2	91.5	94.2	94.2
1965	157.0	76.7	144.7	158.9	151.3	126.7	61.3	119.5	164.9	164.9
1966	167.6	121.2	157.8	170.6	156.6	149.8	149.8	154.7	149.8	149.8
1967	325.4	94.2	285.9	331.5	307.2	228.3	119.8	80.5	99.0	99.0
1968	143.4	105.0	134.3	144.8	139.2	121.0	100.4	137.7	223.0	223.0
1969	100.8	61.1	92.0	102.2	60.2	82.8	82.8	80.6	82.8	82.8
1970	274.1	151.8	263.5	275.9	150.3	176.0	176.0	174.8	176.0	176.0
1971	85.3	97.2	88.5	85.0	124.9	157.5	157.5	162.8	157.5	157.5
1972	216.9	339.1	211.9	218.1	168.5	179.6	179.6	174.4	179.6	179.6
1973	127.5	93.9	112.5	130.6	106.0	105.2	105.2	110.6	105.2	105.2
1974	212.2	113.6	203.1	214.4	136.4	151.1	151.1	149.5	151.1	151.1
1975	209.6	138.3	210.7	210.2	123.4	110.5	110.5	110.6	110.5	110.5
1976	240.1	278.5	275.0	242.2	261.9	128.1	118.1	115.7	118.1	118.1
1977	136.6	131.3	150.7	139.5	146.2	79.4	86.4	83.8	86.4	86.4
1978	97.6	120.5	93.5	88.1	142.2	266.0	315.0	312.6	315.0	315.0
1979	122.8	82.3	112.5	110.4	123.8	67.2	84.0	83.0	84.0	84.0
1980	56.3	58.3	56.8	53.1	68.2	55.8	162.1	157.4	234.7	210.4
1981	128.7	82.2	128.2	134.3	117.8	82.0	103.4	101.2	103.4	103.4
1982	108.6	83.9	102.6	106.8	104.3	67.5	69.8	67.8	69.8	69.8
1983	137.8	114.7	132.4	140.3	122.3	67.1	76.7	75.1	76.7	76.7
1984	84.2	77.6	86.5	87.6	79.5	107.2	126.4	127.6	126.4	126.4
1985	134.1	159.8	335.2	342.4	342.4	336.9	131.4	168.5	131.0	132.3
1986	189.5	185.8	89.8	87.6	87.6	88.2	117.3	106.5	116.4	117.6
1987	97.4	87.2	163.3	168.1	168.1	168.1	103.9	168.1	166.4	85.8
1988	92.1	172.5	263.8	266.0	266.0	263.3	133.4	181.6	130.8	132.1
1989	70.4	71.1	102.4	100.2	113.8	113.8	68.6	87.9	81.9	62.2
1990	130.1	150.0	63.6	74.7	108.1	108.1	85.4	87.4	79.2	92.0
1991	158.5	133.7	121.0	110.3	116.8	116.8	52.7	79.3	71.0	58.9
1992	161.1	122.7	134.7	135.5	141.8	141.8	71.6	112.2	99.5	57.2
1993	149.4	73.9	112.7	88.2	151.9	178.5	100.2	172.9	194.4	138.5
1994	140.4	69.2	147.4	145.2	263.6	199.0	97.2	184.6	229.4	384.3
1995	117.8	121.7	164.6	103.6	142.6	137.7	125.8	173.8	170.9	462.0
1996	75.1	98.3	105.0	107.0	74.4	77.0	100.6	84.5	97.2	150.2
1997	92.0	79.7	192.6	194.0	158.4	129.2	113.0	122.3	114.8	108.3
1998	190.7	245.9	271.0	271.0	224.9	246.1	251.0	213.4	229.3	334.1
1999	249.1	131.7	341.8	351.3	215.9	83.0	80.4	75.7	83.0	64.4
2000	250.7	135.8	221.5	221.0	221.0	213.6	59.0	95.9	59.0	59.0
2001	201.0	115.2	190.3	190.0	190.0	147.4	80.6	83.5	84.3	84.3
2002	144.5	100.1	181.2	182.0	182.0	137.9	111.2	200.1	213.3	213.3
2003	151.4	122.5	231.0	231.0	242.9	237.1	80.2	147.9	88.2	80.2
2004	122.8	95.9	190.0	191.0	135.0	69.8	92.6	68.7	114.6	309.7
2005	101.7	64.8	115.0	115.0	95.7	85.9	121.5	100.2	128.4	201.7
2006	95.7	113.9	106.0	106.0	74.0	105.9	84.7	102.3	113.9	244.8
2007	120.3	72.2	120.0	120.0	126.3	117.9	137.5	214.4	243.6	243.6
2008	128.7	105.9	153.6	155.0	155.0	118.5	158.5	238.6	251.2	251.2
2009	303.2	265.7	352.0	352.0	352.0	243.3	152.3	242.4	255.5	255.5
2010	89.3	73.5	108.0	108.0	102.7	132.1	306.5	130.7	140.5	140.5
2011	182.3	152.2	165.0	165.0	165.0	165.0	150.4	165.0	165.0	165.0
2012	257.3	216.2	245.0	245.0	245.0	245.0	221.1	245.0	245.0	245.0
2013	163.4	155.5	130.0	130.0	130.0	130.0	132.8	130.0	130.0	130.0
2014	236.2	216.7	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0
2015	127.7	148.9	193.0	193.0	246.2	237.4	127.0	148.5	131.5	127.0
2016	98.0	75.5	158.0	158.0	133.3	83.4	54.9	73.8	83.4	57.1

表 3.3.6-2 各流域における年最大流域平均雨量 (2/2)

単位：mm

Year	SB-12	SB-13	SB-14	SB-15	SB-16	SB-17	SB-18	SB-19	SB-20	SB-21	SB-22	SB-23	SB-24
1951	199.1	112.1	117.1	117.1	117.1	117.1	117.1	117.1	107.1	91.9	89.0	84.3	84.3
1952	107.7	129.5	134.6	134.6	134.6	134.6	134.6	134.6	118.4	136.4	159.5	228.6	228.6
1953	199.4	78.5	84.3	84.3	84.3	84.3	84.3	84.3	81.9	91.7	103.8	140.0	140.0
1954	110.5	54.3	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	52.2	67.0	79.8	117.9	117.9
1955	227.6	63.4	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	63.0	71.5	74.7	84.1	84.1
1956	159.0	111.1	120.1	120.1	120.1	120.1	120.1	120.1	123.5	132.8	136.3	146.6	146.6
1957	109.7	78.2	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	74.2	79.3	85.1	119.1	119.1
1958	103.9	238.9	261.1	261.1	261.1	261.1	261.1	261.1	237.3	173.2	216.2	353.8	353.8
1959	95.3	84.0	84.3	84.3	84.3	84.3	84.3	84.3	75.7	74.5	83.8	111.5	111.5
1960	172.5	138.6	144.8	144.8	144.8	144.8	144.8	144.8	155.8	185.3	196.2	229.1	229.1
1961	215.9	215.9	215.9	215.9	159.4	231.0	301.5	301.5	291.6	264.9	255.0	225.3	204.3
1962	113.5	113.5	113.5	113.5	160.0	232.8	270.8	270.8	254.9	212.2	196.4	166.1	151.8
1963	166.1	166.1	166.1	166.1	125.4	75.2	84.3	84.3	88.8	121.8	148.6	228.9	196.9
1964	94.2	94.2	94.2	94.2	103.5	188.6	233.0	233.0	238.8	254.6	260.4	277.9	261.0
1965	164.9	82.5	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7	78.9	54.2	57.0	65.3	84.2
1966	149.8	149.8	149.8	149.8	132.8	106.6	127.0	127.0	126.4	124.7	124.1	145.3	131.1
1967	99.0	189.6	202.5	202.5	202.5	202.5	202.5	202.5	189.2	153.5	140.2	100.4	91.7
1968	223.0	71.5	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3	58.3	75.9	85.5	114.5	104.5
1969	82.8	82.8	82.8	82.8	74.6	78.3	80.3	80.3	78.4	73.3	71.4	81.4	74.1
1970	176.0	176.0	176.0	176.0	175.9	175.7	175.6	175.6	166.3	141.2	140.4	198.5	211.3
1971	156.5	122.9	130.6	157.5	147.9	145.3	141.5	141.5	138.6	130.7	127.8	119.0	111.6
1972	178.8	150.1	156.6	179.6	173.2	185.1	188.3	188.3	225.2	324.7	361.6	472.4	409.2
1973	104.8	123.0	113.9	105.2	105.5	110.6	112.3	111.3	29.7	19.2	34.9	33.4	125.1
1974	151.1	150.7	150.8	151.1	131.9	139.3	152.0	150.5	36.5	21.9	43.8	36.3	158.1
1975	110.0	114.6	107.9	110.5	107.9	107.8	105.6	101.6	101.6	101.6	101.6	62.4	216.5
1976	122.5	276.4	241.2	118.1	254.4	407.7	499.2	444.2	197.5	205.3	200.4	164.8	369.3
1977	85.5	79.6	69.6	86.4	91.2	116.7	129.0	125.2	105.4	104.3	108.2	74.8	175.3
1978	313.5	260.4	261.4	300.5	185.9	182.9	169.3	161.0	131.1	130.6	125.6	149.5	113.9
1979	83.3	87.1	83.6	84.0	86.9	149.0	194.9	173.6	112.3	109.7	118.9	103.3	107.4
1980	224.5	219.9	208.1	195.4	196.9	195.4	165.9	146.8	85.9	92.9	87.7	64.8	51.8
1981	102.5	131.9	104.1	92.7	110.8	114.6	111.9	129.1	58.5	55.1	61.8	50.8	105.9
1982	69.1	104.9	98.0	70.9	145.0	145.0	173.9	114.1	49.7	37.0	64.8	61.1	79.1
1983	76.1	100.4	89.5	68.6	187.4	195.7	196.1	128.4	107.2	100.0	83.4	95.5	101.4
1984	125.6	130.7	128.9	121.2	186.9	196.0	168.7	105.2	48.0	31.2	41.6	56.2	85.4
1985	132.3	132.1	138.1	145.6	243.3	253.0	247.9	209.7	155.2	130.5	131.4	101.1	155.6
1986	118.8	161.9	161.8	137.6	291.4	299.8	223.6	136.8	173.7	194.3	173.6	208.8	271.0
1987	155.4	155.4	155.4	143.6	80.9	78.8	78.8	54.1	133.6	138.5	115.4	105.5	127.0
1988	132.9	161.7	157.6	139.1	194.3	195.3	163.0	127.4	129.0	114.9	110.0	98.4	159.0
1989	62.5	119.2	103.8	62.2	86.0	114.7	131.4	94.6	129.8	126.5	121.6	85.6	77.8
1990	92.0	91.2	88.9	90.0	151.4	157.7	219.4	152.3	144.5	145.3	138.1	124.2	196.3
1991	58.5	83.1	78.0	54.3	141.8	143.6	128.9	94.7	104.8	110.4	105.8	95.3	215.5
1992	57.5	94.2	88.3	85.9	309.1	334.0	189.5	117.4	101.4	69.5	67.4	76.8	152.9
1993	69.2	100.1	93.2	73.5	145.1	149.9	116.3	106.4	80.2	70.6	74.0	55.3	89.7
1994	323.1	94.4	88.6	77.7	159.1	166.1	137.0	127.4	77.0	61.1	67.8	62.7	108.5
1995	388.1	129.2	127.2	99.8	208.2	212.1	166.8	146.0	126.9	90.6	88.0	79.7	91.9
1996	127.2	119.0	112.0	117.8	145.2	150.5	173.4	185.7	150.5	138.2	138.8	98.3	81.5
1997	92.5	96.7	99.9	109.8	133.4	137.2	172.5	137.7	83.8	92.9	89.4	87.4	54.0
1998	329.0	266.2	234.8	205.4	189.5	187.2	158.5	128.5	144.1	118.2	119.4	123.5	131.6
1999	102.7	107.2	110.1	111.7	179.4	185.4	168.4	127.9	106.6	124.5	103.3	99.7	234.5
2000	60.2	143.1	136.8	78.2	286.6	293.2	239.3	156.5	143.6	146.3	125.5	86.1	205.0
2001	82.1	153.6	124.7	95.0	96.7	98.2	83.7	82.0	79.1	55.4	47.2	69.5	166.0
2002	186.8	116.9	118.2	119.7	142.5	144.5	124.9	122.3	132.0	124.6	133.9	113.7	123.4
2003	79.6	69.7	70.8	75.6	91.5	93.0	88.6	102.8	107.6	120.2	121.7	110.3	122.1
2004	260.2	115.5	117.0	134.0	138.6	150.6	83.6	55.7	69.4	98.4	78.3	86.8	103.1
2005	180.5	162.8	142.7	126.2	82.6	80.6	83.6	72.3	59.7	64.4	63.6	68.5	91.0
2006	209.4	101.0	97.8	114.5	291.9	308.0	225.0	158.6	136.1	57.4	59.4	101.8	153.6
2007	215.3	118.3	122.6	154.6	138.7	143.5	123.5	134.6	128.0	131.7	118.4	80.8	114.9
2008	228.5	160.9	149.7	126.4	196.9	196.5	171.6	176.6	191.8	128.8	112.3	83.6	154.2
2009	228.3	105.2	111.3	152.4	116.1	181.3	214.5	252.3	249.6	216.9	190.8	123.6	385.8
2010	118.6	297.1	311.3	426.6	124.6	135.4	107.1	169.5	104.6	156.2	129.5	78.1	97.4
2011	140.7	156.0	160.8	160.8	160.8	160.8	160.8	175.6	172.6	140.7	122.6	141.0	158.2
2012	214.4	232.7	242.8	242.8	242.8	242.8	242.8	248.6	219.2	174.8	152.1	114.2	380.9
2013	130.9	165.6	173.0	176.2	176.2	176.2	176.2	176.2	173.2	130.0	126.3	244.0	281.9
2014	220.0	220.0	220.0	220.0	99.8	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	85.1	218.4
2015	125.9	92.1	90.4	117.2	93.1	92.6	103.2	93.9	86.5	113.2	116.5	125.5	127.5
2016	60.7	73.3	67.6	55.9	64.1	69.7	69.7	81.8	67.0	68.2	74.1	88.6	95.3

(3) ラスピナス・パラニャーク地区における確率降雨の算定

1) ラスピナス・パラニャーク地区近傍における雨量観測状況

ラスピナス・パラニャーク地区（ザポテ川流域を含む）近傍の雨量観測所は NAIA 観測所、Mabolo Elem Sch. Bacoor Cavite 観測所、Bagumbayan Taguig MM 観測所及び NPP Research Bu.of Prison Muntinlupa 観測所の 4 観測所が存在している。なお、これらの観測所は日雨量のみ観測している。ラスピナス・パラニャーク地区近傍で、長期間に亘り時間雨量観測所が存在していないため、日雨量観測データを使用した。

各観測所におけるデータ存在状況は表 3.3.8 に示す通り、各年において観測状況が異なるため、前節のラグナ湖流域における流域平均雨量の算定と同様に、各年において 1 年間の日雨量観測データが存在する地点を選定し、ティーセン分割よりラスピナス・パラニャーク地区における流域平均雨量を算出した。

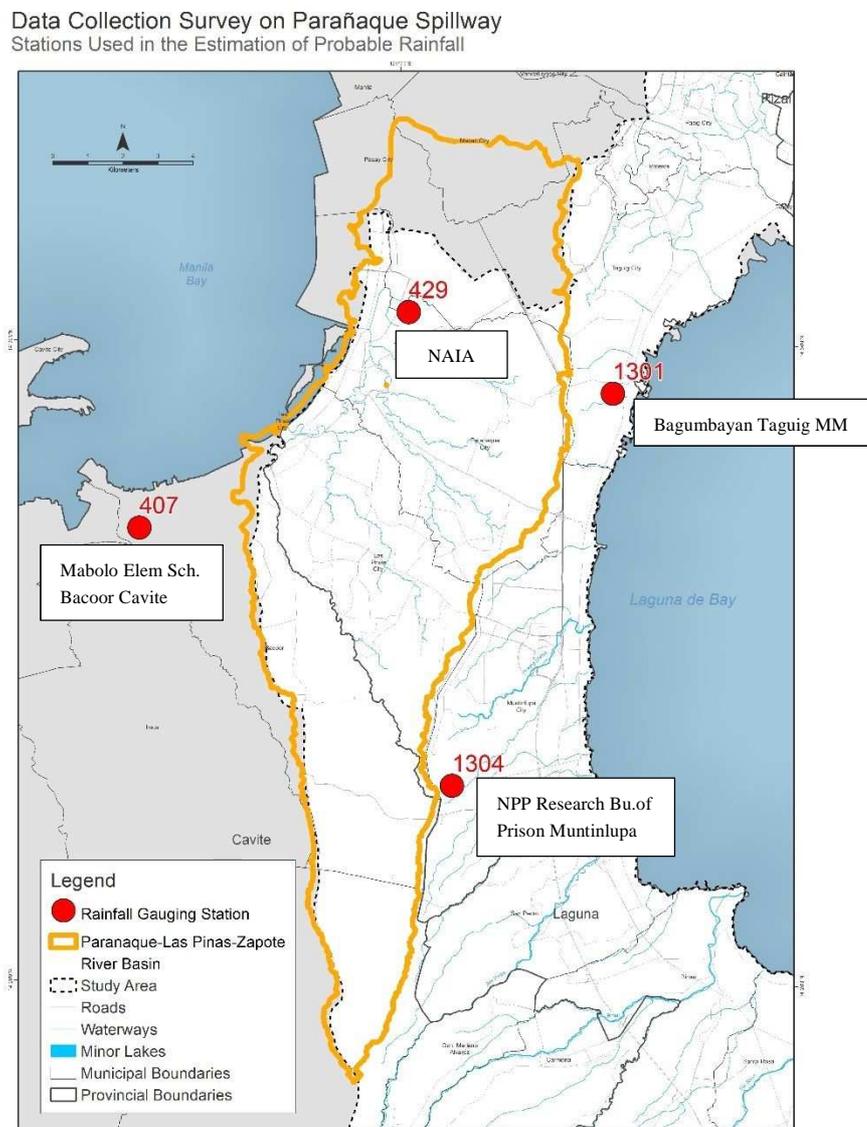


図 3.3.3 ラスピナス・パラニャーク地区周辺の雨量観測所位置

表 3.3.8 雨量観測データの整備状況及びティーン分割パターン

No.	4	10	17	18	年最大日雨量 算定対象年	Type of Thiessen polygon
Name	NAIA	Mabolo Elem Sch. Bacoor Cavite	Bagumbayan Taguig MM	NPP Research Bu. of Prison Muntinlupa		
Code	429	407	1301	1304		
1951	1	0	0	0	●	0
1952	1	0	0	0	●	0
1953	1	0	0	0	●	0
1954	1	0	0	0	●	0
1955	1	0	0	0	●	0
1956	1	0	0	0	●	0
1957	1	0	0	0	●	0
1958	1	0	0	0	●	0
1959	1	0	0	0	●	0
1960	1	0	0	0	●	0
1961	1	0	0	0	●	0
1962	1	0	0	0	●	0
1963	1	0	0	0	●	0
1964	1	0	0	0	●	0
1965	1	0	0	0	●	0
1966	1	0	0	0	●	0
1967	1	0	0	0	●	0
1968	1	0	0	0	●	0
1969	1	0	0	0	●	0
1970	1	0	0	0	●	0
1971	1	0	0	0	●	0
1972	0	0	0	0		
1973	1	0	0	0	●	0
1974	1	0	0	1	●	1
1975	1	0	0	1	●	1
1976	1	1	1	0	●	2
1977	1	1	1	1	●	3
1978	1	1	0	1	●	4
1979	1	1	1	0	●	2
1980	1	1	1	0	●	2
1981	1	1	1	0	●	2
1982	1	1	1	0	●	2
1983	1	1	1	0	●	2
1984	1	1	1	1	●	3
1985	1	1	1	0	●	2
1986	1	1	1	0	●	2
1987	1	0	1	0	●	5
1988	1	1	1	0	●	2
1989	1	1	1	0	●	2
1990	1	1	1	1	●	3
1991	1	1	1	1	●	3
1992	1	1	1	1	●	3
1993	0	1	1	1	●	6
1994	0	1	1	1	●	6
1995	0	1	1	1	●	6
1996	0	1	0	1	●	7
1997	0	1	0	0		
1998	0	1	1	0	●	8
1999	0	1	0	0		
2000	0	1	1	0	●	8
2001	0	1	1	0	●	8
2002	0	1	1	0	●	8
2003	0	1	1	0	●	8
2004	0	1	1	0	●	8
2005	0	1	1	0	●	8
2006	0	1	1	0	●	8
2007	0	1	1	0	●	8
2008	0	1	0	0		
2009	0	1	0	0		
2010	0	1	0	0		
2011	1	1	0	0	●	9
2012	0	0	0	0		
2013	1	1	0	0	●	9
2014	0	1	0	0		
2015	1	0	0	0	●	0
2016	1	1	0	0	●	9
66	45	38	28	12	58	10

: 使用した観測所

1: 通年の日雨量観測データ有り

0: 観測データ無し

2) 流域平均雨量の推定

表 3.3.8 に示す通り 1951 年から 1973 年においては、通年の日雨量観測データが存在するのは NAIA 地点のみであるため、観測所が 2 地点存在する期間で流域平均雨量を算定（ティーセン分割パターンの 1~9 を使用）し、NAIA 地点の年最大雨量と今回算定した流域平均雨量の相関式より、NAIA 地点しか存在しない年の流域平均雨量を推定した。

NAIA 地点と流域平均雨量の相関について、図 3.3.4 に示す。なお、表 3.3.9 に示す流域平均雨量（BMR）は、2 地点以上観測データがある年において、ティーセン分割により推定した値である。

<流域平均雨量の推定方法>

- 日雨量観測データが 2 地点以上存在している場合（年）→ティーセン分割により推定
- NAIA 地点のみ存在している場合（年）→NAIA 地点と流域平均雨量の相関式より推定

上記に示す通り、1951 年から 2016 年において流域平均雨量を推定した結果を表 3.3.10 に示す。なお、観測データが十分でない年、ラスピナス・パラニャーケ地区の外側に位置する Mabolo Elem Sch. Bacoor Cavite 観測所しか観測データがない年（2008~2010、2014 年）については、年最大日雨量の算定対象年から除外した。

表 3.3.9 年最大日雨量

Year	NAIA	BMR
	mm/day	mm/day
1974	144.1	88.8
1975	218.3	134.0
1976	256.0	220.9
1977	199.0	149.6
1978	274.5	196.8
1979	104.0	111.1
1980	87.0	87.8
1981	76.4	68.8
1982	69.4	70.4
1983	112.2	65.9
1984	93.2	82.6
1985	316.8	334.0
1986	321.4	240.1
1987	103.0	101.3
1988	158.2	124.5
1989	102.0	84.6
1990	280.2	200.3
1991	130.8	91.2
1992	191.0	110.4
2011	151.5	138.2
2013	326.0	222.3
2016	92.0	88.2

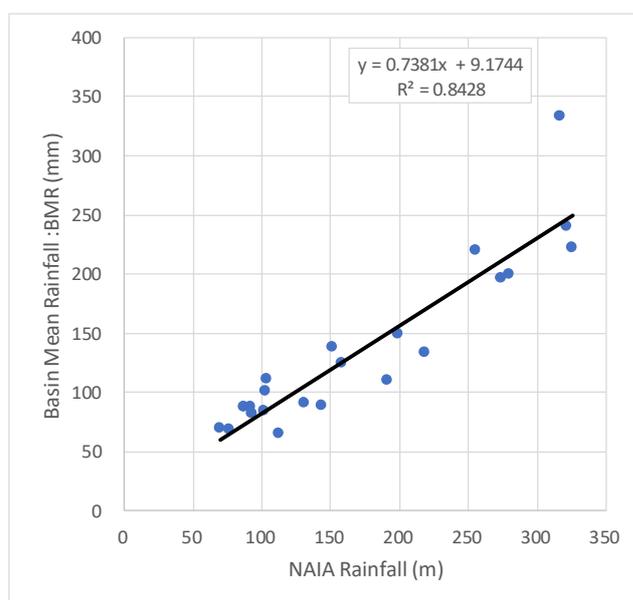


図 3.3.4 NAIA 地点と流域平均雨量（BMR）の相関

表 3.3.10 年最大流域
平均日雨量

Year	Annual Maximum Daily Rainfall
	(mm)
1951	67.4
1952	182.9
1953	112.0
1954	94.3
1955	67.3
1956	117.3
1957	95.3
1958	283.0
1959	89.2
1960	183.3
1961	180.2
1962	132.9
1963	183.1
1964	222.3
1965	52.2
1966	116.2
1967	80.3
1968	91.6
1969	65.1
1970	158.8
1971	95.2
1973	103.2
1974	88.8
1975	134.0
1976	220.9
1977	149.6
1978	196.8
1979	111.1
1980	87.8
1981	68.8
1982	70.4
1983	65.9
1984	82.6
1985	334.0
1986	240.1
1987	101.3
1988	124.5
1989	84.6
1990	200.3
1991	91.2
1992	110.4
1993	60.9
1994	77.3
1995	95.1
1996	120.9
1998	97.7
2000	140.1
2001	67.4
2002	136.2
2003	117.8
2004	71.3
2005	81.8
2006	102.0
2007	90.0
2011	138.2
2013	222.3
2015	100.4
2016	88.2

確率規模別の流域平均日雨量

Return Period	Probale 1 Day Rainfall
	mm
2	108.7
5	153.8
10	187.3
15	207.5
25	233.9
50	271.5
100	311.3

確率モデル :SqrtEt
SLSC :0.038

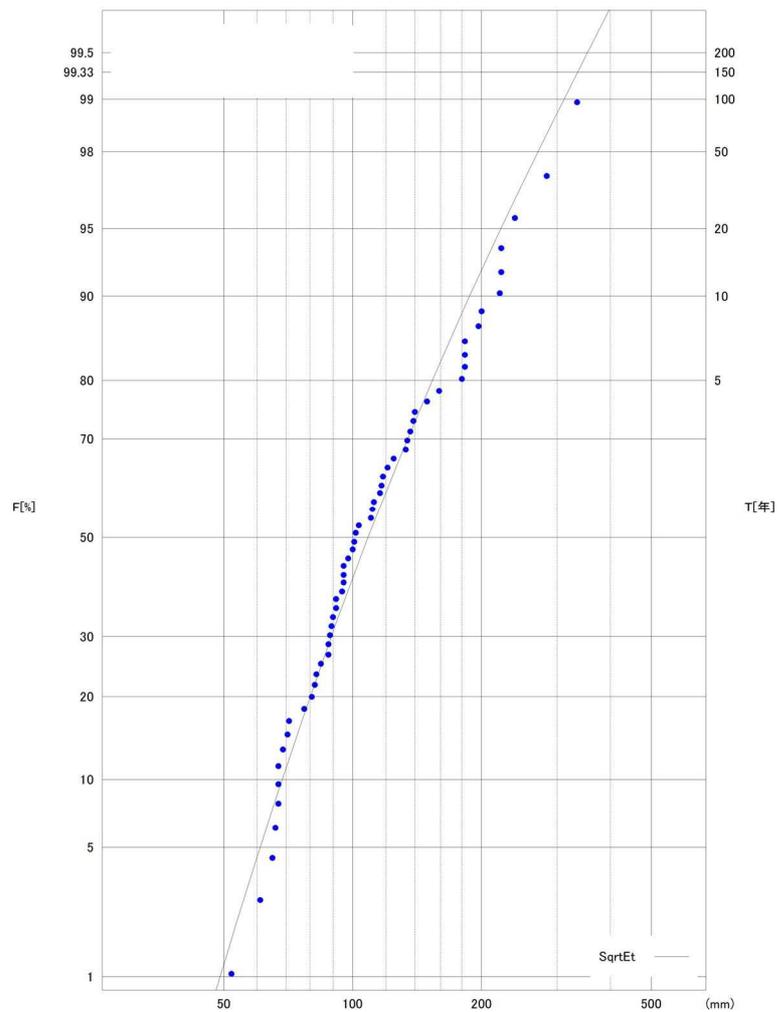


図 3.3.5 確率雨量の算定結果

3.4 流出・氾濫解析及びラグナ湖水位変動解析

本業務においては、下記に示す通り、降雨継続時間も流域面積・形状、氾濫特性も全く異なる2タイプの洪水に対する流出・水文解析を実施した。

No.	特徴	対象
1	数日～数ヶ月に及ぶラグナ湖の水位上昇に伴う洪水	ラグナ湖
2	数時間～1日のラグナ湖流入河川及び内水氾濫	ラグナ湖流入河川 ラスピニャス・パラニャーケ地区

3.4.1 ラグナ湖の水位変動解析（長期検討）

ラグナ湖の水位上昇に伴う洪水は、数日から数ヶ月に及ぶ浸水被害、2012年洪水のような長期のモンスーン性の降雨（現地名：ハバガット）後の湛水時間の影響評価を行う必要がある。

長期的な検討が必要となるラグナ湖の水位変動解析は、広大な流域面積（2,380km²）を有するラグナ湖への水収支（流入と流出のバランス）の検討が可能な解析モデルを構築することを基本とした。

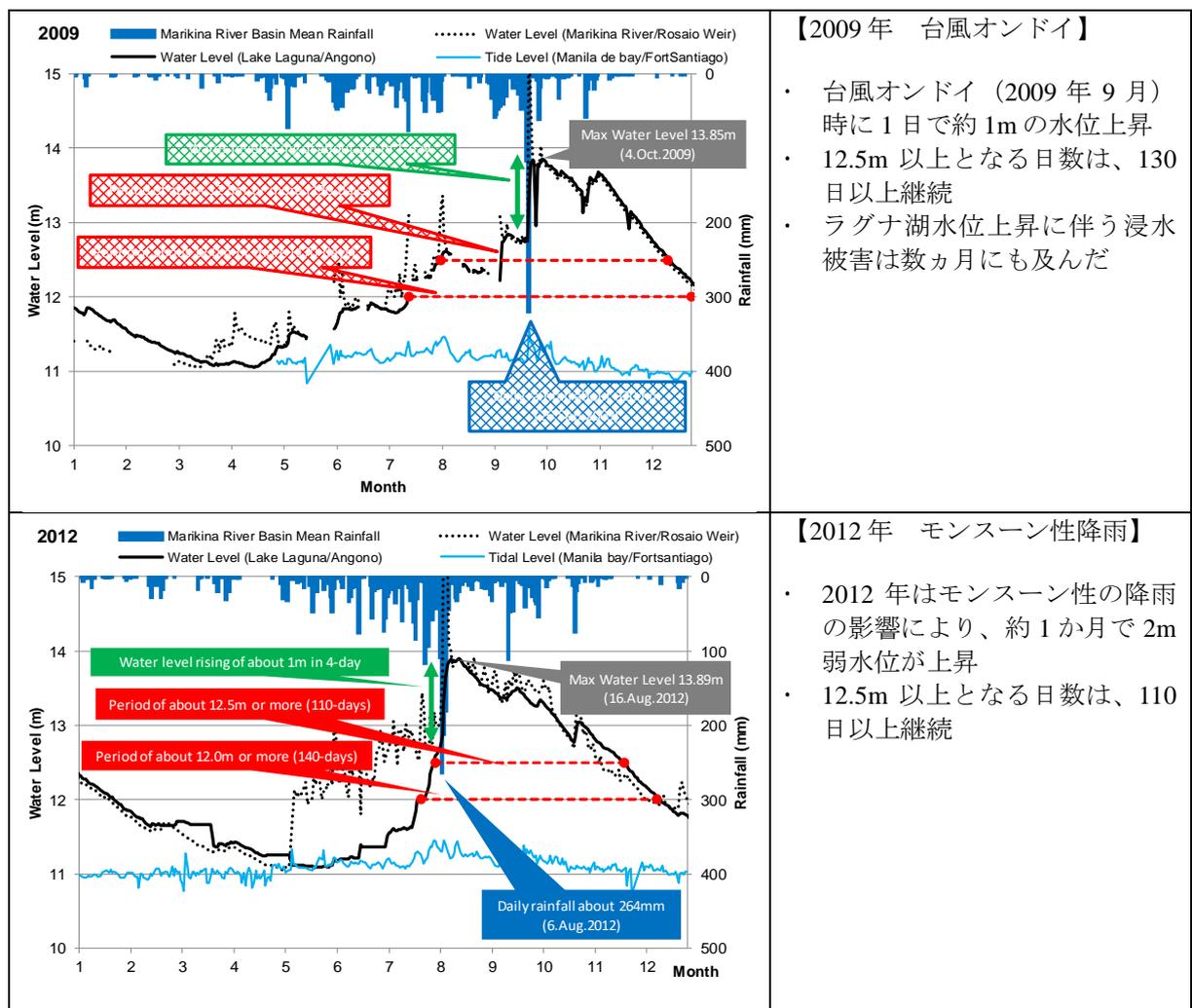


図 3.4.1 2009年及び2012年のラグナ湖水位変動

(1) ラグナ湖水位変動解析モデル作成

ラグナ湖の水位変動に影響する主な流入・流出について、下記に整理する。

- ラグナ湖流域（周辺流域）からの流入
- マリキナ川流域～マンガハン放水路からの流入
- ラグナ湖からマンガハン放水路～マリキナ川への流出
- ラグナ湖面への直接降雨及び蒸発散
- ラグナ湖からナピンダン水路～パッシング川への流出・流入

マンガハン放水路からの流入・流出、ナピンダン水路からの流入・流出は、マリキナ川及びパッシング川の合流点水位とラグナ湖水位の関係により、流下方向が逐次変化する。

長期的なラグナ湖水位変動を表現するため、以下に示すラグナ湖水位変動解析モデルを構築した。水位変動解析モデルは、流出モデル、河道網モデル（洪水追跡モデル）、ラグナ湖浸水モデルの3つの水文・水理モデルから構成される。水文・水理モデルの構築手順を以下に示す。

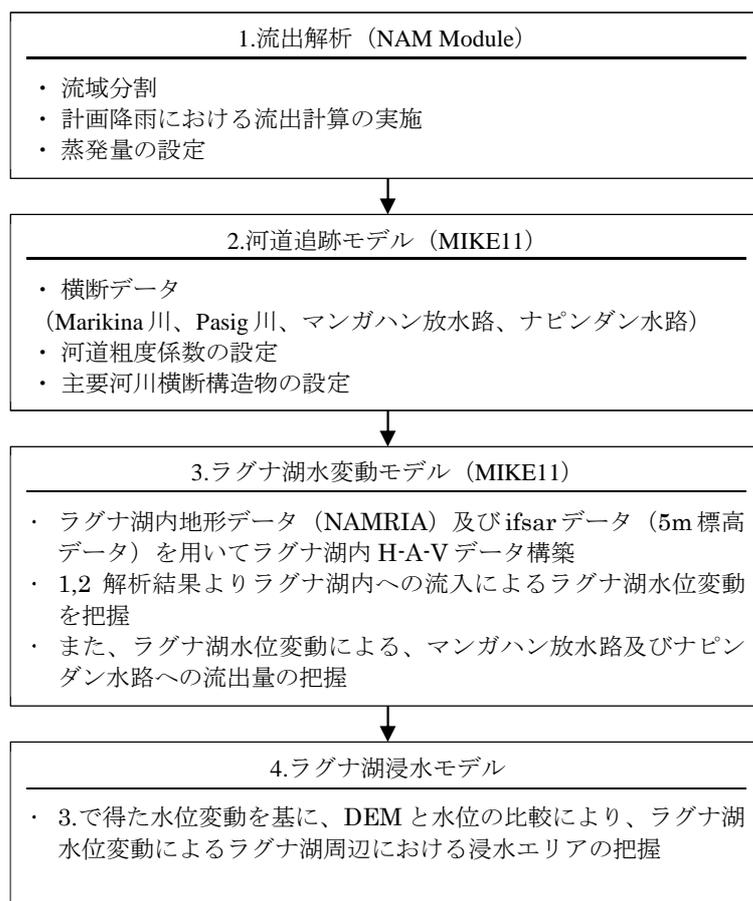


図 3.4.2 水文・水理解析モデル構築の手順

【ラグナ湖への流入】

$$\Delta V = A(P - E) + V_{IN} + V_{M,IN} + V_{N,IN} - (V_{N,OUT} + V_{M,OUT})$$

- ここに、 ΔV = ラグナ湖変化容量
- A = ラグナ湖面面積
- P = ラグナ湖面への降雨量
- E = ラグナ湖面からの蒸発量
- V_{IN} = ラグナ湖流域からの流入量
- $V_{M,IN}$ = マンガハン放水路からの流入量
- $V_{N,IN}$ = ナピンダン水路からの流入量
- $V_{N,OUT}$ = ナピンダン水路からの流出量
- $V_{M,OUT}$ = マンガハン放水路からの流出量

ラグナ湖変化容量及びラグナ湖面面積については、本業務で作成したラグナ湖 H-A-V より算定した。また、ラグナ湖面からの蒸発散量は、既往検討業務より参照した。以下に、蒸発散量の推定式を示す。

$$E = \alpha_1 E_0 \quad (P < 0.5 \text{ mm/day})$$

$$E = \alpha_1 \alpha_2 E_0 \quad (P > 0.5 \text{ mm/day})$$

ここに、 E_0 : パン蒸発量、 $\alpha_1 = 0.6$ 、 $\alpha_2 = 0.5$

表 3.4.1 Los Banos における月平均パン蒸発量

単位：mm/day

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
4.28	5.70	6.72	7.90	7.31	5.66	4.66	4.50	4.48	4.38	4.19	3.80

出典：Detailed Engineering Design of the North Laguna Lakeshore urgent Flood Control and Drainage Project, 1992 DPWH

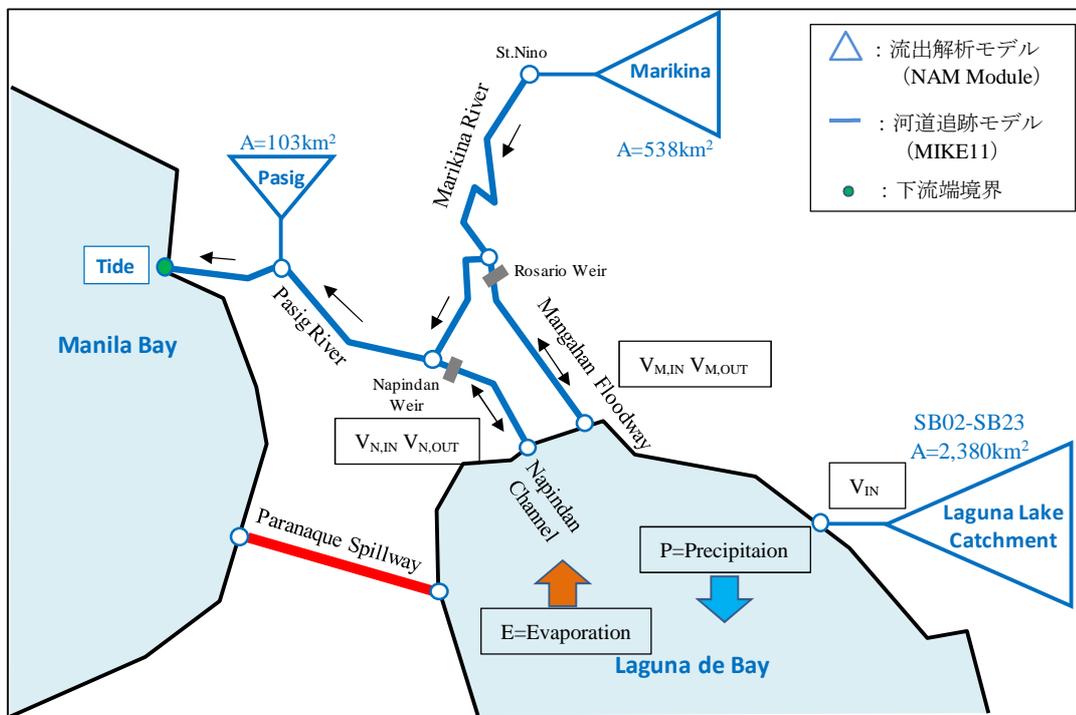


図 3.4.3 水文・水理解析モデルの概念図

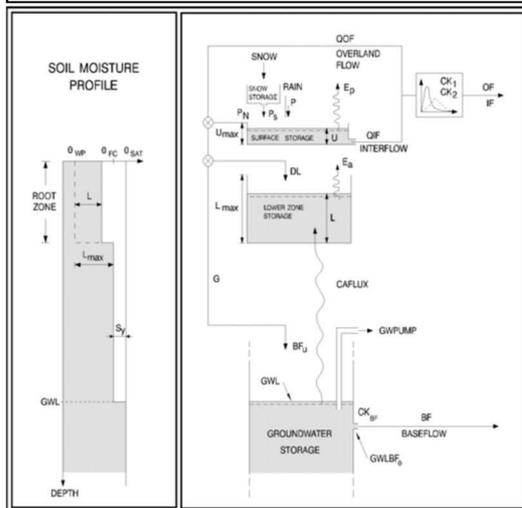
(2) 流出モデル

各流域からの流出量の計算には、DHI1 が提供する NAM (Nedbor-Afstromnings-Model) を用いる。NAM はデンマーク工科大学が開発したタンク型の集中型流出モデルである。表面流、中間流、地下水流を含む 4 つのタンクで流出現象を表現しており、短期及び長期の流出現象を解析できる。NAM の概要及びモデルのパラメータについて図 3.4.4 に示す。また、設定したパラメータを表 3.4.2 に示す。

ラグナ湖水位変動解析に用いる流出モデルは、3つの流域（マリキナ川流域、パッシング川流域、ラグナ湖流域）に分割した。

Run-off Analysis

NAM: A lumped, conceptual rainfall-runoff model, simulating the overland-, inter-flow, and base-flow components as a function of the moisture contents in four storages.



Run-off parameters

Surface and root zone parameters	
U_{max}	Maximum water content in surface storage
L_{max}	Maximum water content in root zone storage
CQOF	Overland flow runoff coefficient
CKIF	Time constant for interflow
CK_{12}	Time constant for routing interflow and overland flow
TOF	Root zone threshold value for overland flow
TIF	Root zone threshold value for interflow
Groundwater parameters	
CK_{BF}	Baseflow time constant
TG	Root zone threshold value for groundwater recharge
CQ_{LOW}	Recharge to lower groundwater storage
CK_{LOW}	Time constant for routing lower baseflow
C_{area}	Ratio of groundwater catchment to topographical catchment area
GWL_{BF0}	Maximum groundwater depth causing baseflow
S_y	Specific yield
GWL_{FL1}	Groundwater depth for unit capillary flux

図 3.4.4 NAM モデルの概要及びパラメータ説明

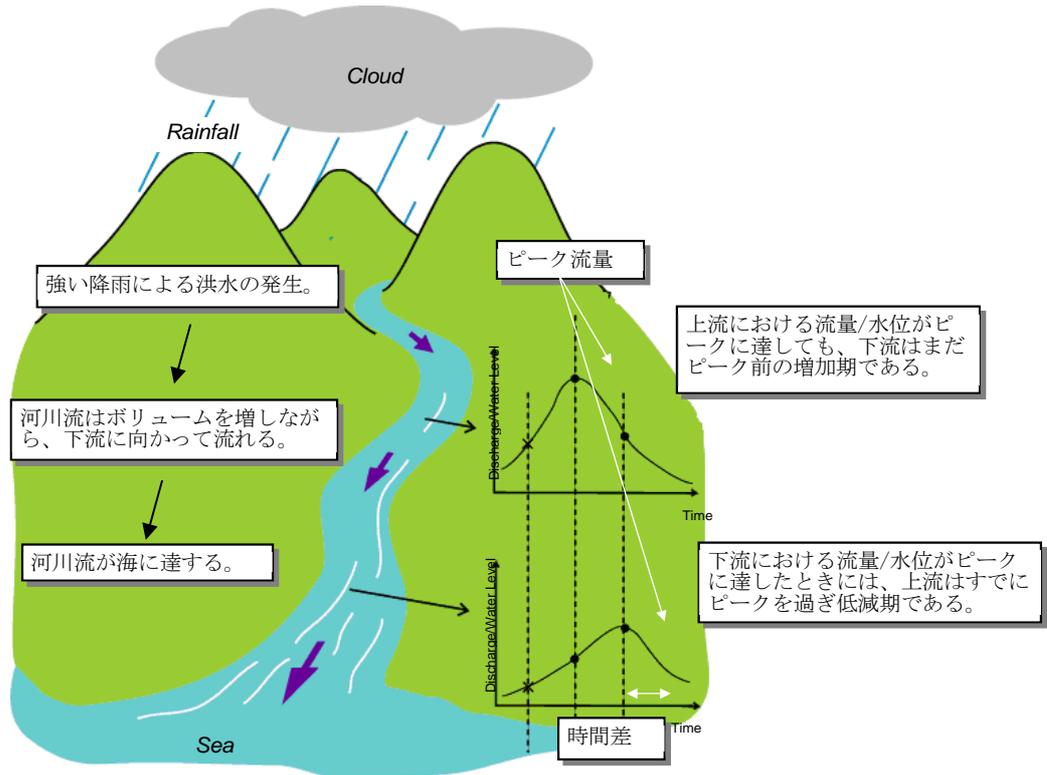
表 3.4.2 設定したパラメーター一覧

No.	流域名	面積 km ²	U_{max}	L_{max}	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF
1	ラグナ湖流域	2,380	2	5	0.95	10	3	0.9	0
2	マリキナ川	538	2	5	0.95	10	3	0.9	0
3	パッシング川	103	2	5	0.6	10	3	0.9	0

(3) 河道網モデル

低平地を流れる河川は、支川の合流や潮汐（背水）の影響を受けることから、流量及び水位の算定にあたっては、水位及び流量の時間的な変化を断面ごとに計算できる 1 次元不定流モデルを用いる。河道網モデル構築には、DHI 社の MIKE11 を用いる。また、本業務の洪水追跡計算では、ダイナミックウェーブモデルを用いる。

不定流の概念を図 3.4.5 に、河道網モデルの概要を表 3.4.3 に示す。

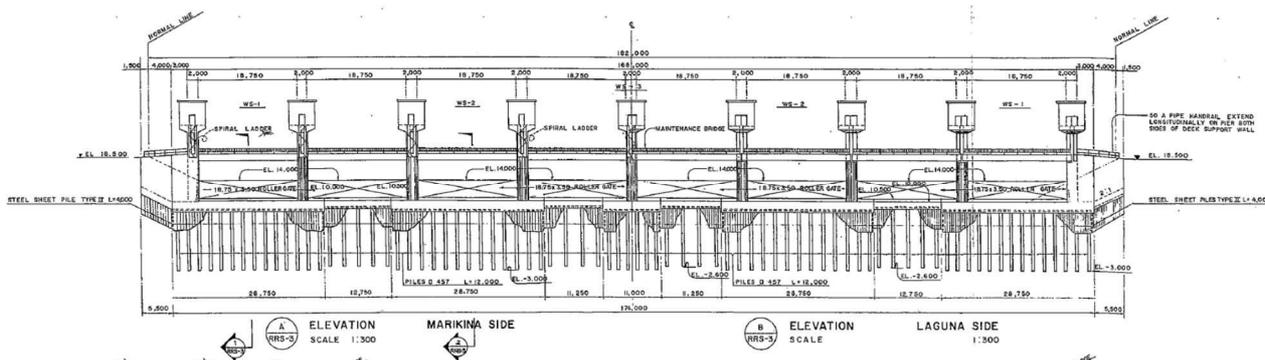


- 1) 河川の流量、水位、流速は洪水イベント中に時々刻々と変化する。
- 2) 河川流が下流に到達するまでに時間を要するため、下流のハイドログラフは上流のそれとは異なる。特に流路が長く勾配が緩い河川では顕著である。

図 3.4.5 不定流の概念

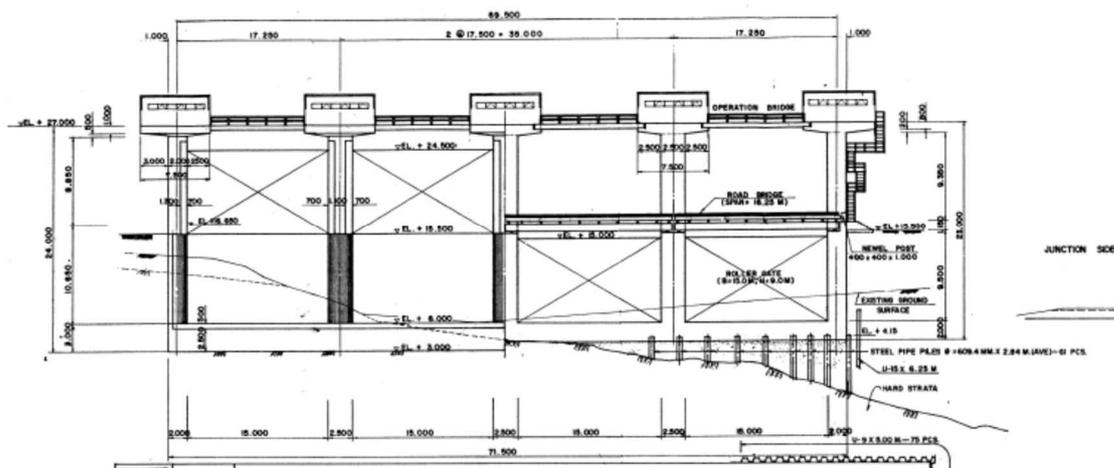
表 3.4.3 河道網モデルの概要

項目	内容
水理モデル	1次元不定流解析 (DHT-MIKE11 HD module)
河道網	図 3.4.3 参照
河道断面	マリキナ川：2002年のD/D測量断面 パッシング川：2002年のD/D測量断面 マンガハン放水路：2002年のD/D測量断面 ナピンダン水路：2002年のD/D測量断面
構造物	ロザリオ堰、ナピンダン堰
湖沼	ラグナ湖 H-A-V NAMRIA2016年のデータより、H-A-Vを作成
計算期間	1年毎 (1月1日～12月31日) ※ただし、連続年を計算する場合は、初期条件を前年12月31日の条件を引き継いで計算する。
境界条件	上流端：流出モデルで計算されたハイドロ 下流端：平均潮位 EL.10.47 (M.S.L)
パラニャーケ放水路	放水路方式：圧力管方式／設計流量：200m ³ /S 放水路延長：ルート未確定のため、10kmとして検討 管路内径：12.0m／管路粗度係数：0.015 流入ゲート：10.0m×3連のスルースゲート ※圧力管方式の管路モデルを構築、流入地点はゲートによる流量制御機構をモデル化。諸元詳細は「4.3 パラニャーケ放水路の検討」を参照



出典：Mangahan Floodway Project,

図 3.4.6 ロザリオ堰正面図



出典：Technical Report on Construction Supervision Napindan Hydraulic Control Structure Project Final Report in 1983

図 3.4.7 ナピンダン堰正面図

表 3.4.4 マニラ湾潮位

Series (1970-1988)	Tide Levels (EL. m)
MLLW	10.00
MLW	10.10
MHLW	10.20
MSL	10.47
MTL ((MHW+MLW)/2)	10.48
MLHW	10.71
MHW	10.86
MHHW	11.00
MHST	11.34
MR (MHW-MLW)	0.76

Definition of Terms:

- MLLW = Mean Lower Low Water: Average of 1st low (lowest) water levels of a tidal day
- MLW = Mean Low Water: Average of the maximum height reached by each rising tide
- MHLW = Mean Higher Low Water: Average of 2nd low water levels of a tidal day
- MSL = Mean Sea Level: The average height of the surface of the sea for all stages of the tide over a 19-year period, usually determined from hourly height readings
- MTL = Mean Tide Level: A plane midway between Mean High Water and Mean Low Water
- MLHW = Mean Lower High Water: Average of 2nd low water levels of a tidal day
- MHW = Mean High Water: Average of the minimum height reached by each falling tide
- MHST = Mean High Spring Tide: Average of monthly 1st and 2nd high water levels (spring tides occurring at full and new moon SYZGY)
- MHHW = Mean Higher High Water: Average of 1st high (highest) water levels of a tidal day
- MR = Mean Range: Difference in height between daily Mean High and Low Water

出典：数値の出典は、DPWH, The Study on Flood Control and Drainage System Improvement for Kalookan-Malabon-Navotas-Valenzuela (KAMANAVA) Areas, 1998

(4) 計算ケース

ラグナ湖水位変動解析の計算ケースを以下に整理する。また、確率規模別によるパラニャーケ放水路の効果検討のための計算ケースを表 3.4.6 に示す。

表 3.4.5 ラグナ湖水位変動解析 計算ケース一覧

ケース	区分	対象年	パラニャーケ放水路の有無	運転開始水位	内容
ケース 1	再現計算	2009 年	無	—	・ 構築した解析モデルにおけるパラメータ設定 ・ ラグナ湖実績水位波形に合うような、現況再現モデルの構築
ケース 2	検証計算	2012 年	無	—	・ 上記ケースで設定したパラメータの妥当性を検討 ・ ラグナ湖の 2012 年実績水位波形との比較
ケース 3	長期再現計算	2002 年 ～ 2013 年	無	—	・ 2002 年～2013 年の 12 年長期再現計算 ・ 長期間におけるパラニャーケ放水路の効果把握するための計算
ケース 4-1	長期予測計算	2002 年 ～ 2013 年	有	11.5m	・ パラニャーケ放水路の効果把握 ・ パラニャーケ放水路の運転開始水位による水位低減効果の把握
4-2			有	12.0m	
4-3			有	12.5m	

表 3.4.6 確率規模別ケース

ケース	パラニャーケ放水路	確率規模							
		2 年	3 年	5 年	10 年	20 年	30 年	50 年	100 年
ケース 5	無	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ケース 6	有	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(5) 過去の洪水によるモデルの妥当性検証

ラグナ湖水位変動解析モデルの妥当性の検証については、降雨パターンが異なる 2009 年台風オンドイ、2012 年のモンスーン性降雨の 2 ヶ年において実施した。解析モデル再現対象年は甚大な洪水被害をもたらした 2009 年とし、検証対象年は 2012 年とした。

《2009 年 再現対象年》

- 実測のラグナ湖最高水位は 13.85m、計算水位は 13.75m と 0.1m 程度の違いである。
- 2009 年 9 月後半において、1m 程度水位が上昇している現象を良く再現できている。
- また、洪水後のラグナ湖水位低減についても、再現できている。
- 通年を通じた、ラグナ湖水位の変動を再現できている解析モデルである。

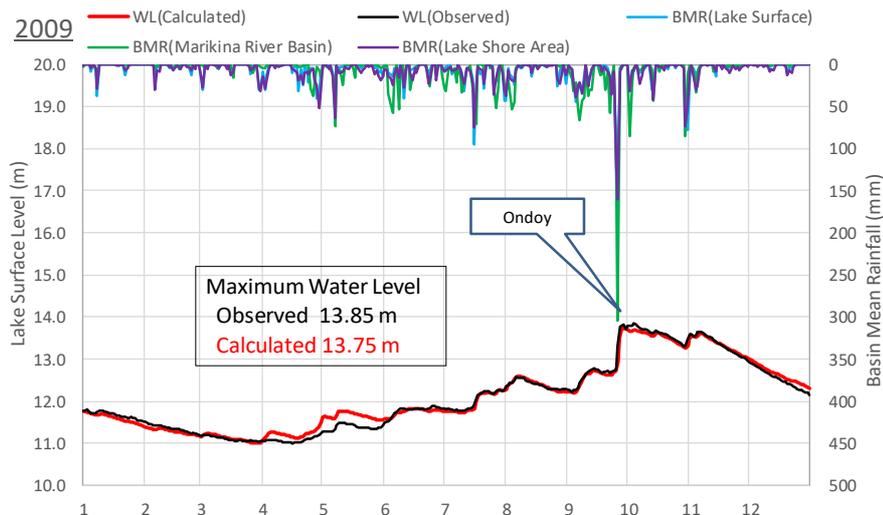


図 3.4.8 ケース 1 2009 年におけるラグナ湖水位変動（観測値及び計算値）
《2012 年 検証対象年》

- 実測のラグナ湖最高水位は 13.83m、計算水位は 13.77m と 0.06m の違いであり、湖水位のピークを良く表現できている。
- また、洪水後のラグナ湖水位低減についても、再現できている。

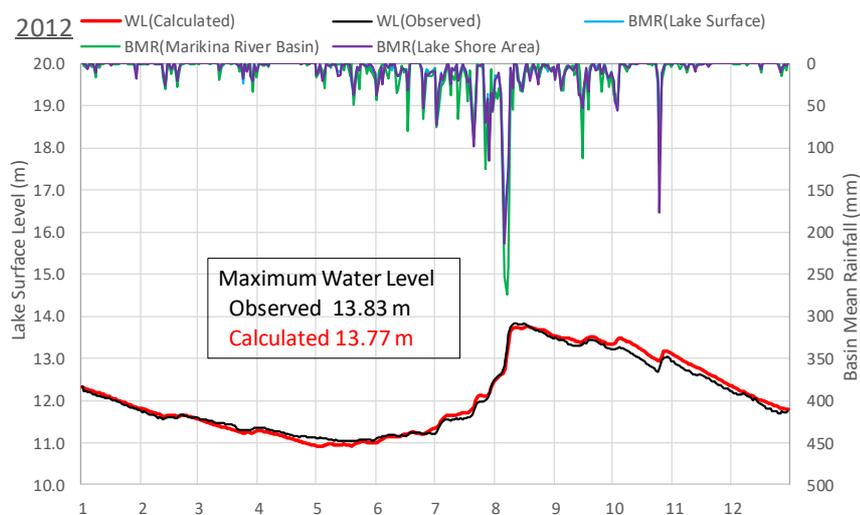


図 3.4.9 ケース 2 2012 年におけるラグナ湖水位変動（観測値及び計算値）

前述の通り、2009 年及び 2012 年の実測洪水において、本業務で構築した水位変動解析モデルはラグナ湖水位変動の挙動を再現できている解析モデルであると考えられる。

(6) 湖面水位上昇の要因及び傾向の解析

2009 年の計算結果より、ラグナ湖の水位上昇の要因について検討する。2009 年台風オンドイ時の水位上昇について整理する。

- 2009 年台風オンドイ時（2009 年 9 月 25 日～9 月 28 日）

2009年9月25日の計算水位 12.70m（実測＝12.77m）、9月28日の水位＝13.84m（実測＝13.81m）であり、1.14m水位上昇があった。計算結果を用い、ラグナ湖への流入・流出ボリュームを以下に整理する。

【ラグナ湖流入・流出の内訳 ※2009/9/25～2009/9/28 合計値を示す】

		流入 V に対する割合
・ ラグナ湖流域からの流入	$V_{IN} = 736.0 \text{ MCM}$	(64.6%)
・ マンガハン放水路からの流入	$V_{M,IN} = 181.0 \text{ MCM}$	(15.9%)
・ ナピンダン水路からの流入	$V_{N,IN} = 11.8 \text{ MCM}$	(1.0%)
・ ラグナ湖湖面への降雨	$V_R = 211.0 \text{ MCM}$	(18.5%)
・ ラグナ湖湖面からの蒸発散量	$V_{EVA} = 4.7 \text{ MCM}$	
・ ナピンダン水路からの流出	$V_{N,OUT} = 53.8 \text{ MCM}$	
・ マンガハン放水路からの流出	$V_{M,OUT} = 8.4 \text{ MCM}$	

$$\begin{aligned} \text{ラグナ湖流入ボリューム} &= V_{IN} + V_{M,IN} + V_{N,IN} + V_R \\ &= 736.0 + 181.0 + 11.8 + 211.0 \\ &= \underline{\underline{1,139.8 \text{ MCM}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{IN} + V_{M,IN} + V_{N,IN} + V_R - (V_{EVA} + V_{N,OUT} + V_{M,OUT}) \\ &= 1,139.8 - 66.9 \\ &= \underline{\underline{1,072.6 \text{ MCM}}} \end{aligned}$$

- ✓ ラグナ湖への流入は、ラグナ湖流域からの流入の割合が大きく（約 65%）、マリキナ川流域からの流入は 16%程度であり、ラグナ湖の水位上昇はラグナ湖流域からの流入ボリュームに影響を受けることがわかる。
- ✓ また、ラグナ湖湖面への降雨量も、ラグナ湖への流入割合で見ると 18.5%であり、マリキナ川流域からの流入より大きいことがわかる。

(7) 長期再現計算結果（2002年～2013年） ケース3

パラニャーケ放水路建設による水位低減効果を把握するため、長期再現計算を実施した。至近 15 年において、2009年、2012年に湖水位 13.8m 以上を観測している。

この 2 年（2009年、2012年）を含み、また、渇水年におけるラグナ湖水位の変動も把握できるように、長期計算は、2002年から 2013年（2012年洪水の翌年まで）を対象とした。長期再現計算結果図を図 3.4.10 に示す。

<長期再現計算結果>

- 2002年～2013年の 12年間の長期再現計算結果より、ラグナ湖の長期水位変動を良く再現できている。
- 2009年及び 2012年の水位上昇についても再現できており、洪水後の水位低下も表現できている。また、渇水年（2004年、2005年、2008年、2010年）における水位変動についても再現できている。

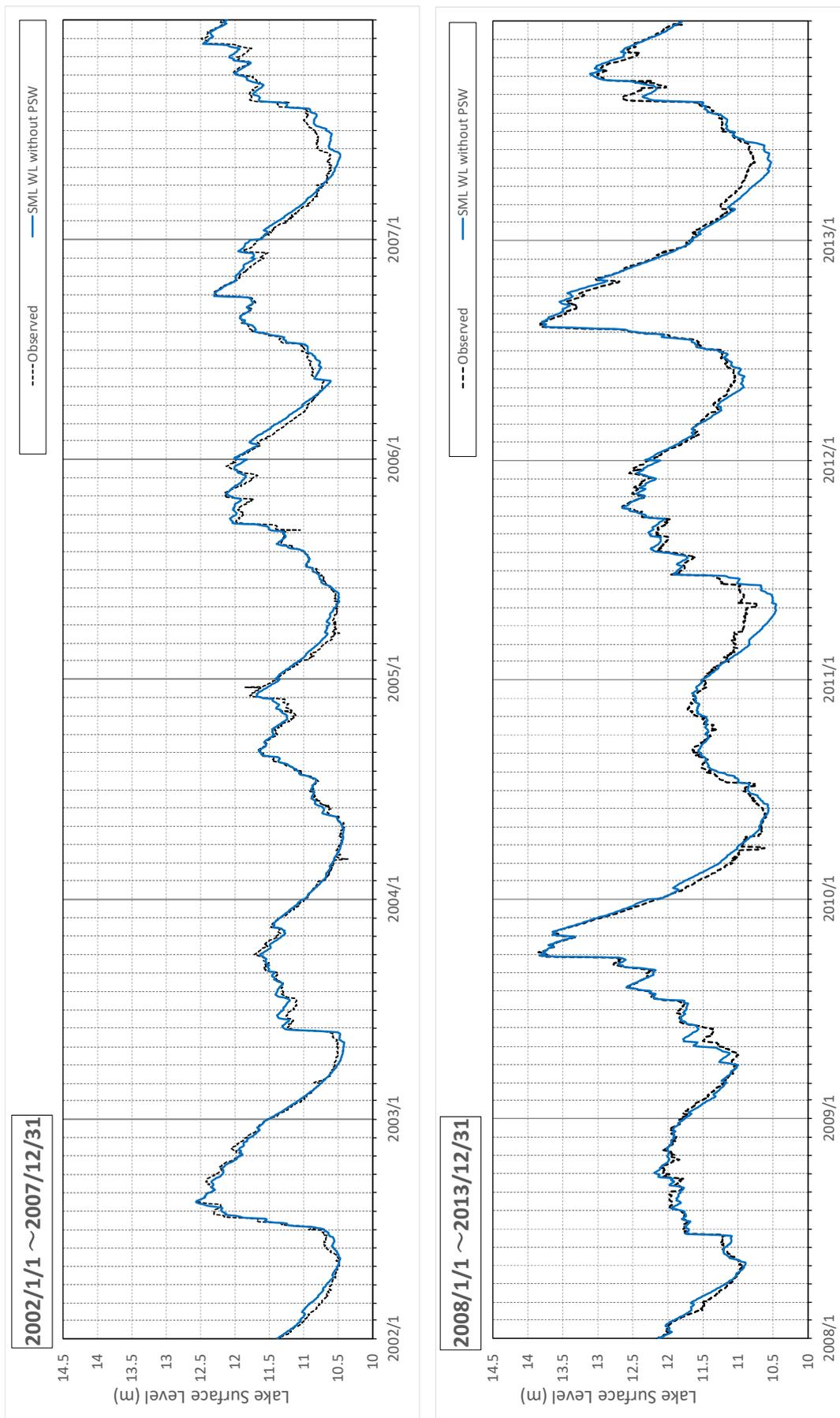


図 3.4.10 ケース 3 長期再現計算結果 (2002 年～2012 年) ラグナ湖水位変動

(8) パラニャーケ放水路建設による水位低下の効果

本業務の検討対象であるパラニャーケ放水路の放流能力、運転開始水位の検討を行う。

1) 放流能力

パラニャーケ放水路の放流能力については、既報告書では最大放流能力 350m³/s 程度（開水路）で検討が行われてきている。本業務において放水路として圧力管方式（地下トンネル）を採用する場合（詳細については 4.3 パラニャーケ放水路の検討を参照）、最大放流能力 350m³/s 程度を確保するには管路内径を 15.0m とする必要がある。

一方、圧力管方式（地下トンネル）を採用する場合、工事費が開水路方式に比べて高額になることが想定される。このことから、パラニャーケ放水路の放流能力によるラグナ湖水位への影響について、管路内径 15.0m のケース、管路内径 12.0m のケースの検討を行った。検討ケース及びラグナ湖最高水位の結果を表 3.4.7、図 3.4.11 に示す。

表 3.4.7 パラニャーケ放水路管路内径 12.0m と 15.0m の場合の水位低下効果

ケース	管路内径	最大放流量	ラグナ湖最高水位	湖水位 12.5m 以上の浸水期間
ケース 0	-	-	14.3m（100年確率）	124日
ケース PSW_12	12m	200m ³ /s	14.0m（0.3m 水位低下） 50年確率水位に相当	79日（45日減）
ケース PSW_15	15m	370m ³ /s	13.7m（0.6m 水位低下） 30年確率水位に相当	54日（70日減）

Water Level of Laguna and Out Flow Discharge From Paranaque Spillway

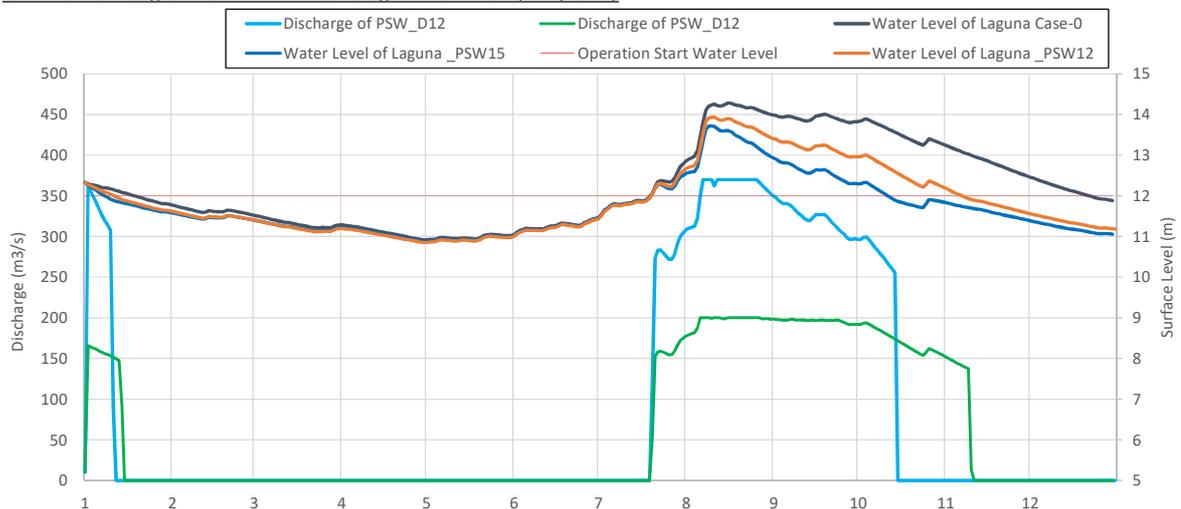


図 3.4.11 パラニャーケ放水路管路内径 12.0m と 15.0m の場合の水位低下効果

管路内径 12.0m と 15.0m の場合に想定される工事金額、年平均被害軽減額、EIRR 概算値を表 3.4.8 に示す。

表 3.4.8 管路内径 12.0m と 15.0m の場合に想定される工事金額

管路内径 (m)	想定されるトンネル延長 (km)	想定される工事金額 (million Peso)	想定される年平均被害軽減額 (million Peso)	EIRR 概算値
12	10	35,000 ~ 50,000	3,200	8.2~10.3%
15	10	55,000 ~ 75,000	4,300	7.5~9.2%

表 3.4.8 に示す通り、管路内径 12.0m の場合の工事金額が 35,000~50,000 million Peso に対して、管路内径 15.0m の場合は 55,000~75,000 million Peso と約 1.5 倍の投資が必要となる。一方、便益は 1.3 倍強程度の増であり、15.0m のケースの EIRR が小さくなる結果となる。

以上のことから、圧力管方式を採用する場合、管路内径 12.0m とすることを基本に検討を進める。

2) 運転開始水位

パラニャケ放水路の運用にあたっては、運転開始水位を決め事前放流を行うことにより、放水路のラグナ湖沿岸地域浸水被害の低減効果を高めることが可能である。ラグナ湖の水位頻度を表 3.4.9 に示す。

表 3.4.9 ラグナ湖の水位頻度 (1946 年~2014 年データ)

Year	Laguna Lake Water Level (m)			Number of Days above Water Level								
	Max.	Min.	Ave.	>10.0 m	>10.5 m	>11.0 m	>11.5 m	>12.0 m	>12.5 m	>13.0 m	>13.5 m	>14.0 m
1946	12.360	10.620	11.315	365	365	215	126	73	0	0	0	0
1947	12.360	10.600	11.428	366	366	256	193	69	0	0	0	0
1948	12.540	10.660	11.435	365	365	233	159	74	19	0	0	0
1949	11.700	10.500	11.061	365	365	195	55	0	0	0	0	0
1950	11.980	10.630	11.289	365	365	249	123	0	0	0	0	0
1951	12.150	10.660	11.316	366	366	244	151	30	0	0	0	0
1952	13.080	10.570	11.686	365	365	265	201	148	68	8	0	0
1953	12.280	10.740	11.476	365	365	310	179	55	0	0	0	0
1954	11.540	10.640	11.078	365	365	210	6	0	0	0	0	0
1955	11.710	10.500	10.977	366	366	157	21	0	0	0	0	0
1956	12.760	10.760	11.626	365	365	269	197	141	38	0	0	0
1957	11.870	10.560	11.082	365	365	189	75	0	0	0	0	0
1958	11.920	10.430	11.112	365	329	189	89	0	0	0	0	0
1959	11.540	10.350	10.904	366	283	186	9	0	0	0	0	0
1960	13.170	10.620	11.627	365	365	267	197	124	64	10	0	0
1961	12.290	10.500	11.341	365	365	238	143	73	0	0	0	0
1962	12.770	10.560	11.361	365	365	203	154	63	36	0	0	0
1963	12.240	10.480	11.096	366	362	179	81	37	0	0	0	0
1964	12.200	10.370	11.380	365	310	255	219	36	0	0	0	0
1965	11.760	10.630	11.095	365	365	203	40	0	0	0	0	0
1966	12.240	10.560	11.322	365	365	295	123	41	0	0	0	0
1967	12.870	10.470	11.268	366	361	211	133	37	3	0	0	0
1968	11.590	10.240	10.758	365	219	118	20	0	0	0	0	0
1969	11.190	10.170	10.694	365	236	84	0	0	0	0	0	0
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	14.030	10.600	11.776	365	365	250	190	121	88	66	40	1
1973	12.080	10.580	11.212	365	365	232	108	25	0	0	0	0
1974	12.400	10.730	11.455	365	365	264	173	83	0	0	0	0
1975	11.670	10.620	11.019	366	366	201	25	0	0	0	0	0
1976	12.770	10.540	11.500	365	365	258	167	117	16	0	0	0
1977	12.030	10.360	11.000	365	289	173	87	7	0	0	0	0
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	12.130	10.450	11.125	335	314	212	77	9	0	0	0	0

Year	Laguna Lake Water Level (m)			Number of Days above Water Level								
	Max.	Min.	Ave.	>10.0 m	>10.5 m	>11.0 m	>11.5 m	>12.0 m	>12.5 m	>13.0 m	>13.5 m	>14.0 m
1983	11.940	10.320	10.957	366	281	154	66	0	0	0	0	0
1984	12.670	10.320	11.164	365	287	176	127	44	16	0	0	0
1985	12.200	10.320	11.221	365	282	207	175	42	0	0	0	0
1986	13.340	10.190	11.689	365	317	242	210	151	93	50	0	0
1987	11.520	10.220	10.912	366	284	179	8	0	0	0	0	0
1988	13.550	10.520	11.479	365	365	294	104	76	48	24	5	0
1989	12.240	10.480	11.281	365	359	231	131	41	0	0	0	0
1990	12.670	10.410	11.470	364	318	258	173	109	20	0	0	0
1991	12.600	10.500	11.291	363	363	192	139	64	26	0	0	0
1992	12.390	10.460	11.248	365	346	202	137	80	0	0	0	0
1993	12.270	10.410	11.225	365	307	233	134	40	0	0	0	0
1994	12.200	10.636	11.326	365	365	235	134	30	0	0	0	0
1995	12.936	10.460	11.586	366	343	261	173	126	81	0	0	0
1996	12.098	10.686	11.332	365	365	214	160	12	0	0	0	0
1997	11.826	10.451	10.951	365	349	137	53	0	0	0	0	0
1998	12.716	10.437	11.398	365	321	198	164	106	30	0	0	0
1999	12.631	11.043	11.820	366	366	366	221	168	27	0	0	0
2000	13.391	10.953	11.936	365	365	352	254	163	71	35	0	0
2001	12.187	10.595	11.347	365	365	285	155	22	0	0	0	0
2002	12.550	10.482	11.398	365	354	211	173	105	5	0	0	0
2003	11.715	10.364	11.050	366	354	217	52	0	0	0	0	0
2004	11.854	10.409	11.035	365	320	190	54	0	0	0	0	0
2005	12.149	10.504	11.309	365	365	232	146	31	0	0	0	0
2006	12.305	10.701	11.377	365	365	237	172	27	0	0	0	0
2007	12.486	10.587	11.453	366	366	238	192	61	0	0	0	0
2008	12.088	10.932	11.590	365	365	344	225	24	0	0	0	0
2009	13.849	10.594	12.070	365	365	334	246	172	108	65	38	0
2010	11.701	10.518	11.191	365	365	261	72	0	0	0	0	0
2011	12.607	10.779	11.854	366	366	350	271	176	35	0	0	0
2012	13.830	11.080	12.028	365	365	365	211	144	114	75	27	0
2013	13.077	10.824	11.703	365	365	303	165	129	91	19	0	0
2014	12.444	10.670	11.395	331	331	233	170	38	0	0	0	0
Maximum	14.030	11.080	12.070	366	366	366	271	176	114	75	40	1
Minimum	11.190	10.170	10.694	331	219	84	0	0	0	0	0	0
Average	12.370	10.548	11.332	364	345	234	133	56	17	6	2	0
①Count (year)	-	-	-	63	63	63	63	63	63	63	63	63
②Count >0 (year)	-	-	-	63	63	63	62	46	22	9	4	1
②/①	-	-	-	100%	100%	100%	98%	73%	35%	14%	6%	2%

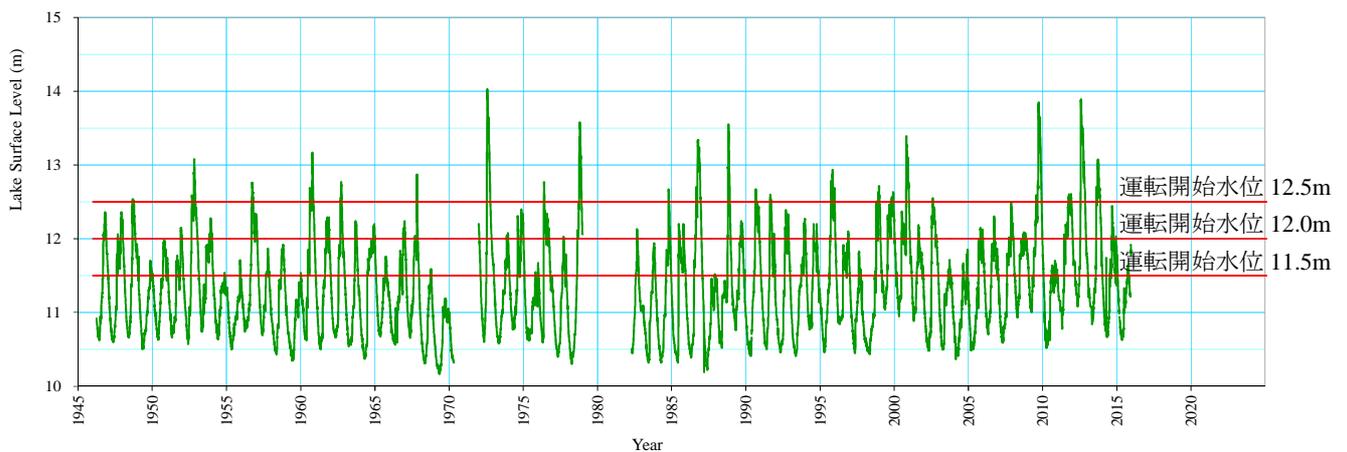


図 3.4.12 ラグナ湖の水位変動と運転開始水位の関係（1946年～2014年データ）

表 3.4.9 及び図 3.4.12 に示す通り、水位が 11.5m まで達するのは 63 年間で 62 年（98%）、12.0m は 46 年（73%）、12.5m は 22 年（35%）である。

上記を踏まえ、パラニャーケ放水路の運転開始水位について異なる3つのケース（11.5m、12.0m、12.5m）について予測計算を実施した。予測計算結果を以降に整理する。なお、計算において、パラニャーケ放水路管路内径は12.0m（最大放流量200m³/s）である。

運転開始水位=11.5m ケース 4-1

- ✓ ピーク水位は、2009年に最大で0.74mの水位低下、12年間平均で0.43mの水位低下効果がみられた。
- ✓ 湖水位12.5mを超過する継続期間は、比較的高い水位が記録された2009年は110日から39日へ、2012年は108日から54日へ、2013年は62日から11日へと大幅な減少がみられた。
- ✓ 運転開始水位が11.5mの場合、パラニャーケ放水路への流入はほぼ毎年であり、比較的雨が少ない（水位が低い）年においても、いわゆる事前放流が行われることにより、翌年の大きな出水に効果が得られるという傾向がある。

表 3.4.10 ケース 4-1 長期予測計算結果 運転開始水位=11.5m

Year	Maximum Water level				Days of more than 12.5m		
	Observed	SML			[4]	[5]	[6]=[4]-[5]
		[1]	[2]	[3]=[1]-[2]			
		WL without PSW	With PSW	Difference	WL without PSW	With PSW	Days
2002	12.55	12.57	12.22	0.35	8	0	8
2003	11.72	11.64	11.54	0.10	0	0	0
2004	11.85	11.69	11.59	0.11	0	0	0
2005	12.15	12.12	11.94	0.18	0	0	0
2006	12.30	12.30	11.97	0.33	0	0	0
2007	12.49	12.47	11.92	0.55	0	0	0
2008	12.14	12.19	11.71	0.48	0	0	0
2009	13.85	13.84	13.10	0.74	110	39	71
2010	12.12	12.12	11.52	0.60	0	0	0
2011	12.65	12.65	11.93	0.72	17	0	17
2012	13.83	13.80	13.37	0.43	108	54	54
2013	13.01	13.11	12.59	0.52	62	11	51
Min	11.72	11.64	11.52	0.10	0	0	0
Ave	12.56	12.54	12.12	0.43	25	9	17
Max	13.85	13.84	13.37	0.74	110	54	71

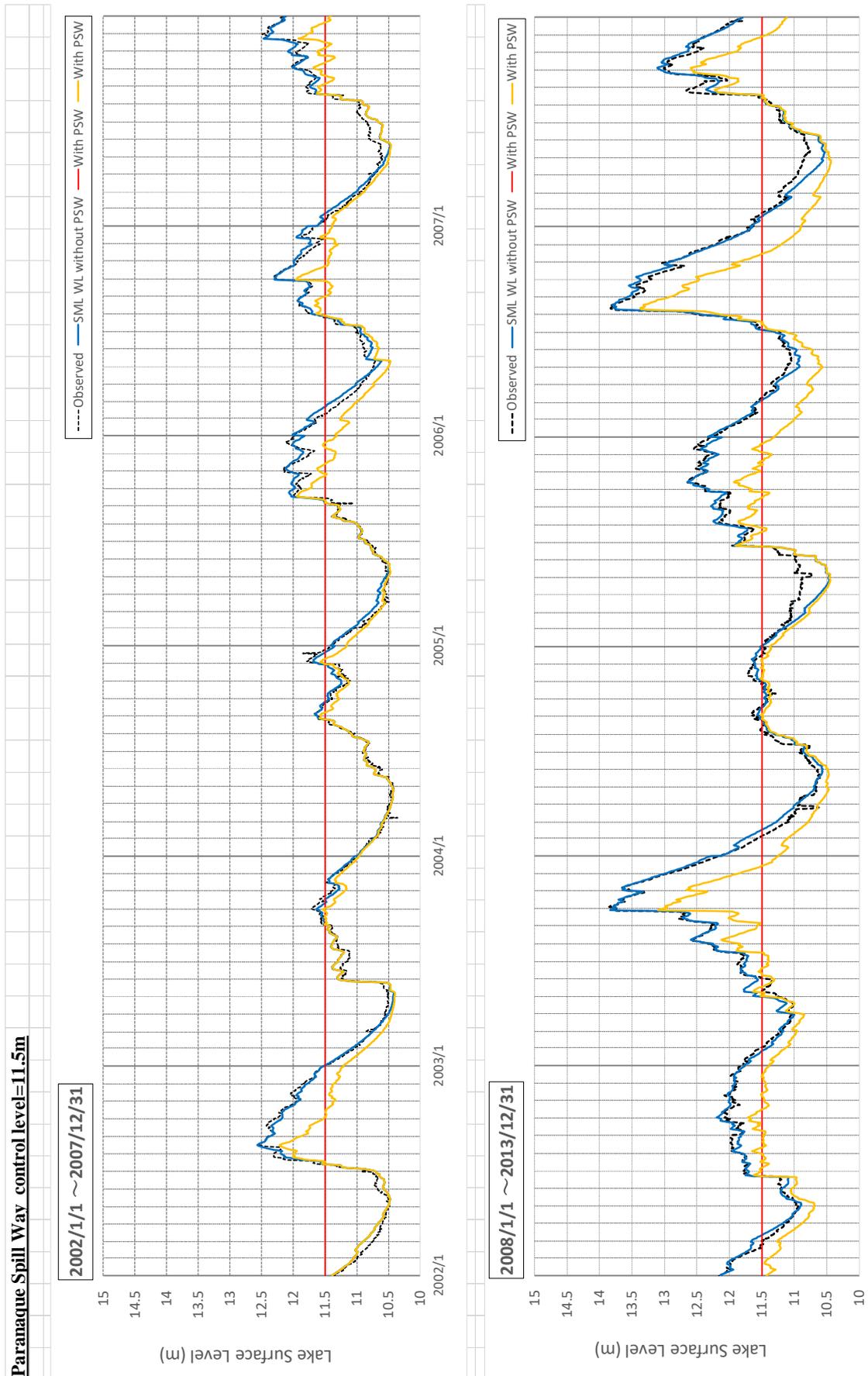


図 3.4.13 ケース 4-1 長期予測計算結果 (2002 年~2012 年) 運転開始水位=11.5m

運転開始水位=12.0m ケース 4-2

- ✓ ピーク水位は、2009年に最大で0.55mの水位低下、12年間平均で0.24mの水位低下効果がみられた。
- ✓ 湖水位12.5mを超過する継続期間は、2009年は110日から46日へ、2012年は108日から63日へ、2013年は62日から15日へと減少がみられた。
- ✓ 運転開始水位12.0mでは、パラニャーケ放水路の運用頻度は、9回/12年であり、運転開始水位11.5mのケースと比較して、効果は小さくなるものの、特に水位超過期間の減少には一定の効果が得られる結果となった。

表 3.4.11 ケース 4-2 長期予測計算結果 運転開始水位=12.0m

Year	Maximum Water level				Days of more than 12.5m		
	Observed	SML			[4]	[5]	[6]=[4]-[5]
		[1]	[2]	[3]=[1]-[2]			
		WL without PSW	With PSW	Difference	WL without PSW	With PSW	Days
2002	12.55	12.57	12.29	0.28	8	0	8
2003	11.72	11.64	11.64	0.00	0	0	0
2004	11.85	11.69	11.69	0.00	0	0	0
2005	12.15	12.12	12.03	0.10	0	0	0
2006	12.30	12.30	12.27	0.03	0	0	0
2007	12.49	12.47	12.33	0.14	0	0	0
2008	12.14	12.19	12.10	0.10	0	0	0
2009	13.85	13.84	13.29	0.55	110	46	64
2010	12.12	12.12	11.64	0.48	0	0	0
2011	12.65	12.65	12.22	0.43	17	0	17
2012	13.83	13.80	13.50	0.30	108	63	45
2013	13.01	13.11	12.66	0.45	62	15	47
Min	11.72	11.64	11.64	0.00	0	0	0
Ave	12.56	12.54	12.31	0.24	25	10	15
Max	13.85	13.84	13.50	0.55	110	63	64

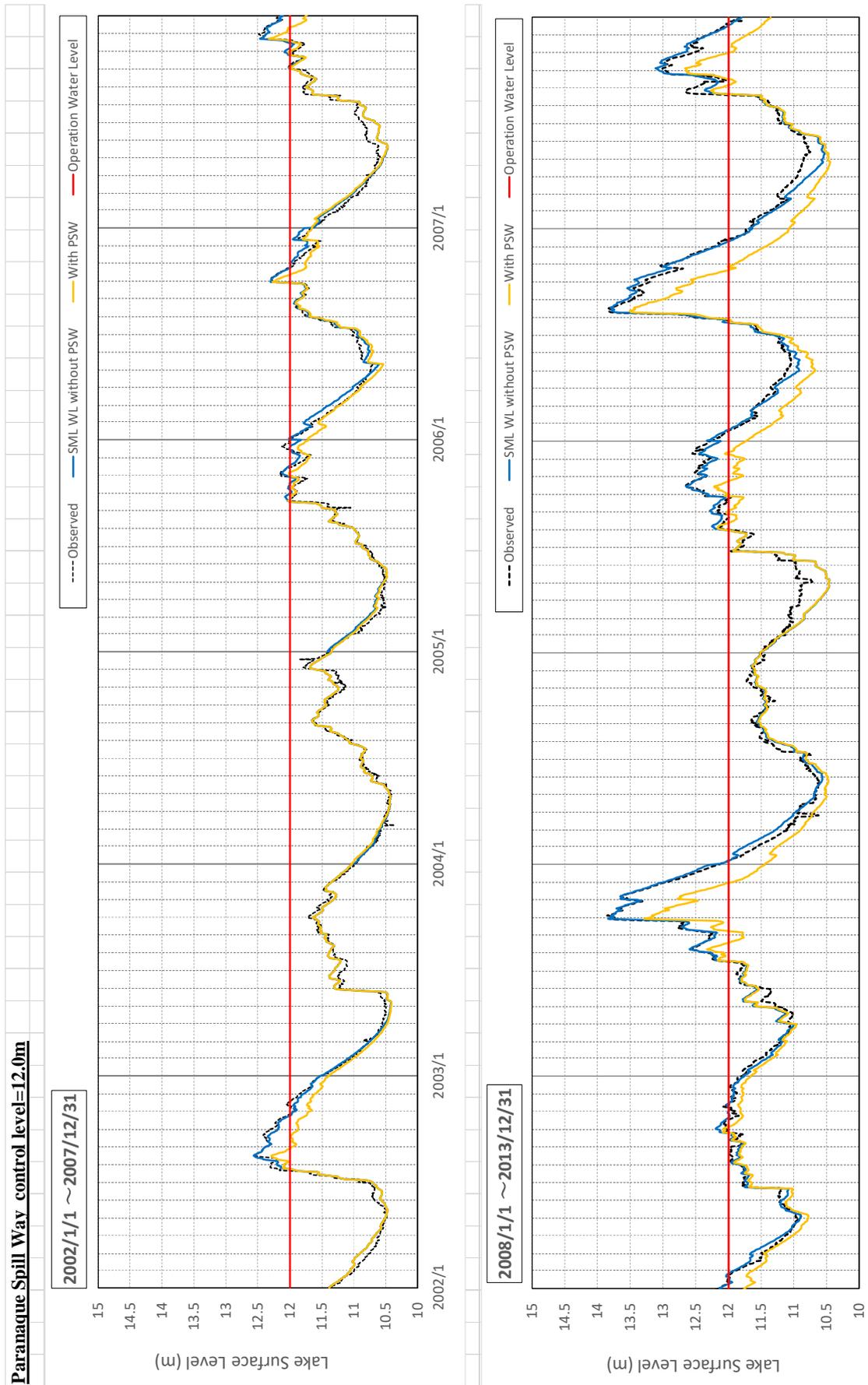


図 3.4.14 ケース 4-2 長期予測計算結果 (2002 年～2012 年) 運転開始水位=12.0m

運転開始水位=12.5m ケース 4-3

- ✓ ピーク水位は、2009年に最大で0.27mの水位低下、12年間平均で0.11mの水位低下効果がみられた。
- ✓ 12.5mを水位超過する継続期間は、2009年は110日から64日へ、2012年は108日から67日へ、2013年は62日から30日へと減少がみられた。
- ✓ 運転開始水位12.5mでは、パラニャーク放水路の運用頻度は、5回/12年であり、他のケースと比較して効果は小さい。運用頻度が少ないため、いわゆる事前放流による効果が得られないことが要因の一つである。

表 3.4.12 ケース 4-3 長期予測計算結果 運転開始水位=12.5m

Year	Maximum Water level				Days of more than 12.5m		
	Observed	SML			[4]	[5]	[6]=[4]-[5]
		[1]	[2]	[3]=[1]-[2]			
		WL without PSW	With PSW	Difference	WL without PSW	With PSW	Days
2002	12.55	12.57	12.52	0.05	8	4	4
2003	11.72	11.64	11.64	0.00	0	0	0
2004	11.85	11.69	11.69	0.00	0	0	0
2005	12.15	12.12	12.12	0.00	0	0	0
2006	12.30	12.30	12.29	0.01	0	0	0
2007	12.49	12.47	12.47	0.00	0	0	0
2008	12.14	12.19	12.19	0.00	0	0	0
2009	13.85	13.84	13.57	0.27	110	64	46
2010	12.12	12.12	11.65	0.47	0	0	0
2011	12.65	12.65	12.50	0.15	17	2	15
2012	13.83	13.80	13.60	0.20	108	67	41
2013	13.01	13.11	12.91	0.21	62	30	32
Min	11.72	11.64	11.64	0.00	0	0	0
Ave	12.56	12.54	12.43	0.11	25	14	12
Max	13.85	13.84	13.60	0.47	110	67	46

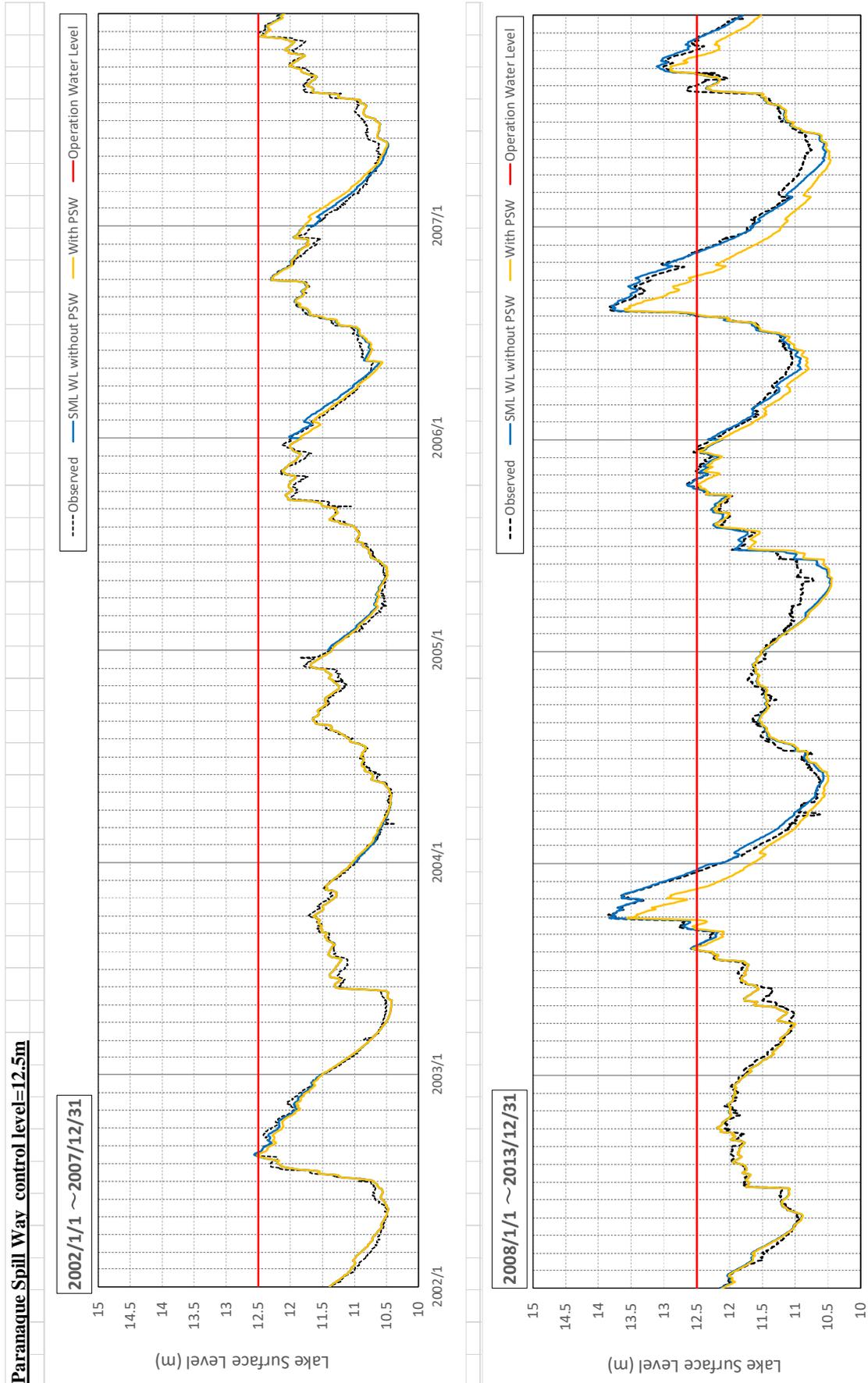


図 3.4.15 ケース 4-3 長期予測計算結果 (2002 年~2012 年) 運転開始水位=12.5m

運転開始水位の決定

運転開始水位を 11.5m、12.0m、12.5m とした場合の 12 年間（2002 年～2013 年）の長期再現計算結果を表 3.4.13、図 3.4.16 に整理する。

表 3.4.13 運転開始水位別の湖水位約 11.5m 以上となる日数への影響

Year	Maximum Water Level Observed	Without PSW	With PSW Operation above 11.5m			With PSW Operation above 12.0m		With PSW Operation above 12.5m	
		[1]	[2]	[3]=[2]/[1]	[4]	[5]=[4]/[1]	[6]	[7]=[6]/[1]	
		Days higher than 11.5m	Days higher than 11.5m	Reduction	Days higher than 11.5m	Difference	Days higher than 11.5m	Difference	
2002	12.55	171	81	47%	156	91%	171	100%	
2003	11.72	40	10	25%	39	98%	40	100%	
2004	11.85	51	21	41%	51	100%	51	100%	
2005	12.15	117	68	58%	117	100%	117	100%	
2006	12.30	208	65	31%	183	88%	199	96%	
2007	12.49	159	91	57%	159	100%	159	100%	
2008	12.14	263	71	27%	232	88%	263	100%	
2009	13.85	270	173	64%	259	96%	270	100%	
2010	12.12	126	15	12%	76	60%	96	76%	
2011	12.65	192	144	75%	192	100%	192	100%	
2012	13.83	244	121	50%	155	64%	193	79%	
2013	13.01	158	102	65%	122	77%	137	87%	
Min	11.72	40	10	25%	39	98%	40	100%	
Ave	12.56	167	80	48%	145	87%	157	94%	
Max	13.85	270	173	64%	259	96%	270	100%	

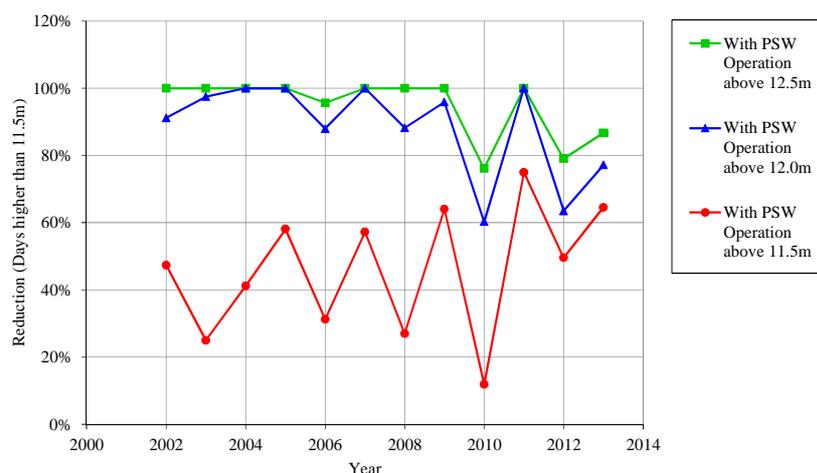


図 3.4.16 運転開始水位別の湖水位約 11.5m 以上となる日数の減少

上記に示す通り、放水路なしの場合、湖水位 11.5m 以上となる日数は 167 日、また、パラニャーケ放水路の運転開始水位を 11.5m とした場合、その平均日数は 80 日（46%）、12.0m の場合、145 日（88%）、12.5m の場合、157 日（95%）となる。このように、運転開始水位を 11.5m とした場合、年平均湖水位を維持する期間が半分以下となる。ラグナ湖は Maynilad 浄水場のための原水取水、漁業、水運など利水目的にも多く活用されており、年平均湖水位以上を維持する期間が半分以下となると、これら利水目的使用に影響を与える恐れがある。

本検討により、運転開始水位を 12.0m とすれば、パラニャーケ放水路の浸水被害低減効果が十分にあること、また、湖水位 11.5m 以上を維持する期間に大きな影響を与えない、という結果が得られた。以上のことから、パラニャーケ放水路の運転開始水位は 12.0m として検討を進める。

(9) 確率規模別の水位変動解析

1) 計算ケース

確率規模別におけるパラニャーケ放水路の効果の検討を行うため、以下に示す計算ケースを実施した。

表 3.4.14 確率規模別ケース（再掲）

ケース	パラニャーケ放水路	確率規模							
		2年	3年	5年	10年	20年	30年	50年	100年
ケース5	無	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ケース6	有	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

2) 計算条件

確率規模別水位変動解析における計算条件を下記に整理する。

表 3.4.15 確率規模別水位変動における計算条件

項目	設定値	根拠														
パラニャーケ放水路 運転開始水位	12.0m	<ul style="list-style-type: none"> 3.4.1(8)にて、運転開始水位を3パターン設定した計算結果より、水位低減効果がありかつ渇水年においても影響が少ないと判断される、12.0mのケースを採用した。 														
計画水位波形	2012年 実績水位 波形	<ul style="list-style-type: none"> 計画水位波形については、3.1.1(6)に記載した方針を基本とし、計画水位波形を設定する。 3.4.1(8)の運転開始水位=12.0mの計算結果より、2009年及び2012年の水位低減効果を確認した。 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">年</th> <th colspan="2">パラニャーケ放水路</th> <th rowspan="2">水位低減</th> </tr> <tr> <th>無</th> <th>有</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2009年</td> <td>13.84m</td> <td>13.29m</td> <td>0.55m</td> </tr> <tr> <td>2012年</td> <td>13.80m</td> <td>13.50m</td> <td>0.30m</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> 以上の通り、2012年波形の方が、パラニャーケ放水路による水位低減効果が少ない波形である。確率規模別の効果検討においては、2012年水位波形を採用することで、安全側の検討を実施した。 	年	パラニャーケ放水路		水位低減	無	有	2009年	13.84m	13.29m	0.55m	2012年	13.80m	13.50m	0.30m
年	パラニャーケ放水路			水位低減												
	無	有														
2009年	13.84m	13.29m	0.55m													
2012年	13.80m	13.50m	0.30m													
計算期間	1年	<ul style="list-style-type: none"> 図3.1.7に示す通り、ラグナ湖年最大水位と降雨継続時間毎の流域平均雨量の相関が良好でない。よってラグナ湖治水計画においては通常の河川治水計画で用いるいわゆる計画降雨継続時間の設定は困難であると判断した。 よって、計算期間を1年とし通年における水位変動を検討・評価することとした。 														
規模別水位波形	—	<ul style="list-style-type: none"> ラグナ湖における確率水位に合うよう、ラグナ湖流域、マリキナ川流域及びラグナ湖面への降雨量をトライアル計算にて算出し、規模別水位波形を作成した。 														

3) 確率規模別の水位変動解析結果

確率規模別の水位変動解析結果の概要を表 3.4.16 に整理する。確率規模別の計算結果を図 3.4.17-1～図 3.4.17-8 に示す。

- 100年確率規模の水位は、パラニャーケ放水路がない場合（現況）は 14.3m であるが、パラニャーケ放水路有りでは、14.0m となり 0.3m の水位低減効果が認められる。
- 3年～5年確率規模では、0.1m の低減、10年～20年では 0.2m 低減、30年～50年では 0.3m の水位低減効果がある。
- 3.4.1(8)で述べた通り、パラニャーケ放水路がある場合、大きな洪水前から事前放流が開始されるため、確率規模別計算で算出された下記に示す予測最高水位よりも低くなる可能性がある。

表 3.4.16 確率規模別におけるラグナ湖最高水位の概要（運転開始水位＝12.0m）

単位：水位（m）

確率規模	ケース 5	ケース 6	水位低減 (m)	湖水位 12.5m 以上の浸水期間		
	PSW ^{*1} :無 (m)	PSW ^{*1} :有 (m)		PSW ^{*1} :無 (日)	PSW ^{*1} :有 (日)	短縮効果
200	14.7	14.3	0.4	141	93	66%
100	14.3	14.0	0.3	124	79	64%
50	14.0	13.7	0.3	116	70	60%
30	13.7	13.4	0.3	103	53	51%
20	13.6	13.4	0.2	97	49	51%
10	13.2	13.0	0.2	74	26	35%
5	12.9	12.8	0.1	62	18	29%
3	12.6	12.5	0.1	18	0	0%
2	12.3	12.3	0.0	0	0	0%

*1: PSW:パラニャーケ放水路（Paranaque Spillway）

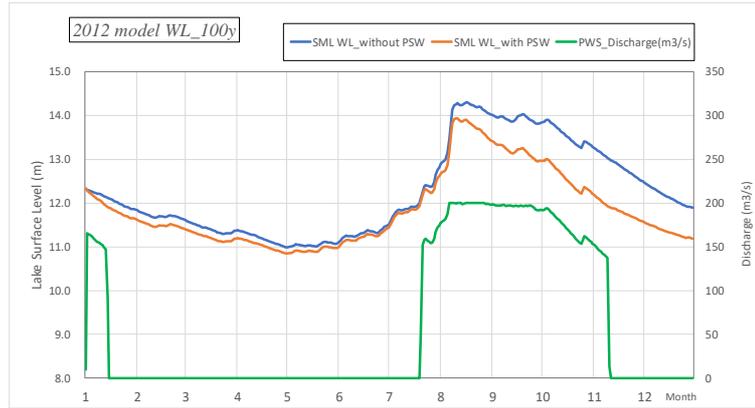
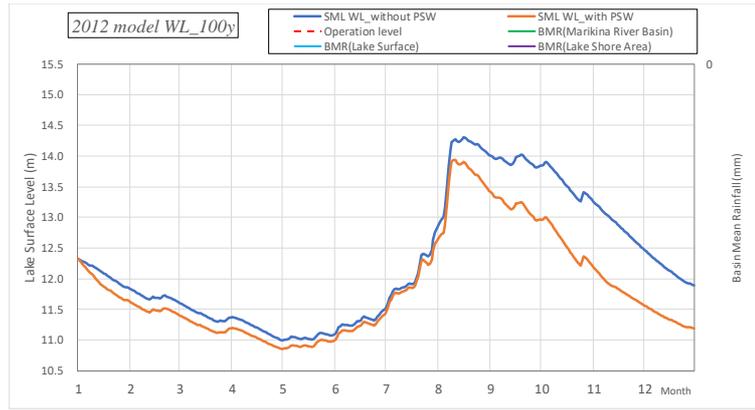


図 3.4.17-1 100年確率 水位変動解析結果 (1/8)

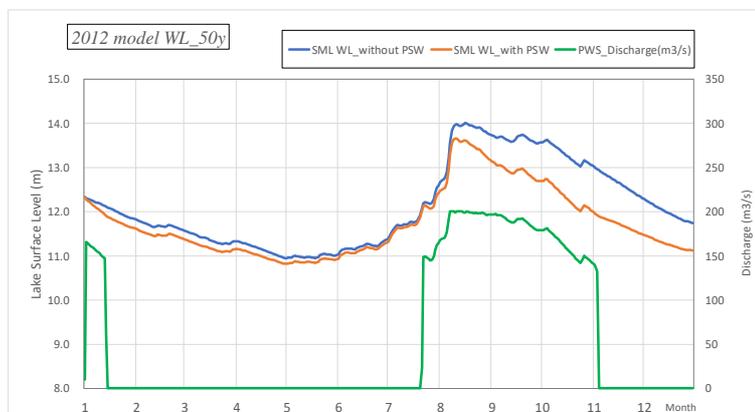
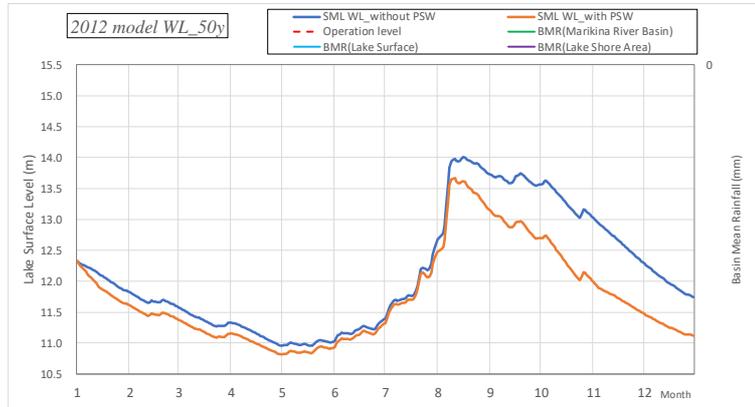


図 3.4.17-2 50年確率 水位変動解析結果 (2/8)

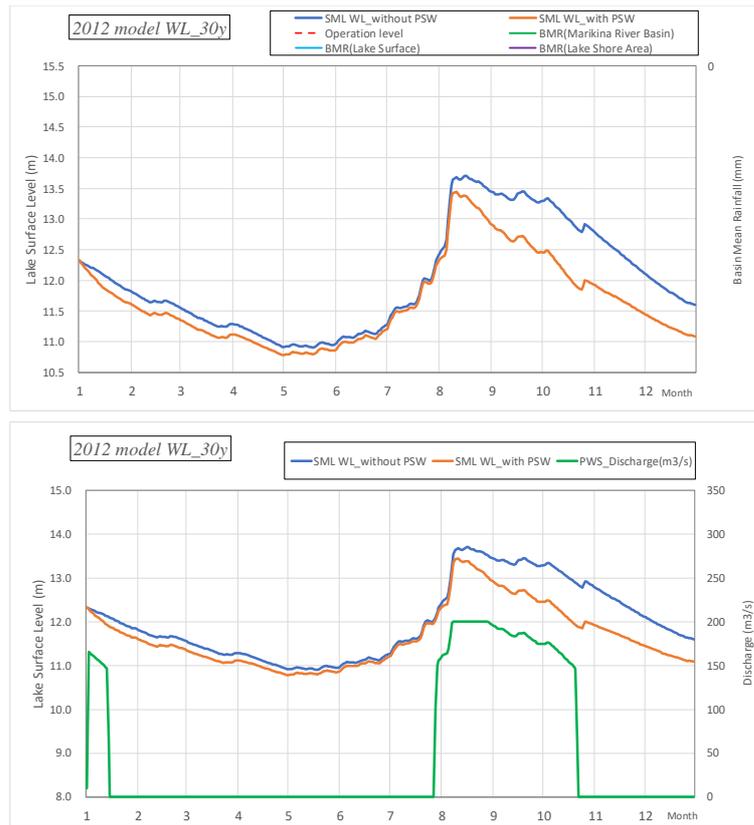


図 3.4.17-3 30年確率 水位変動解析結果 (3/8)

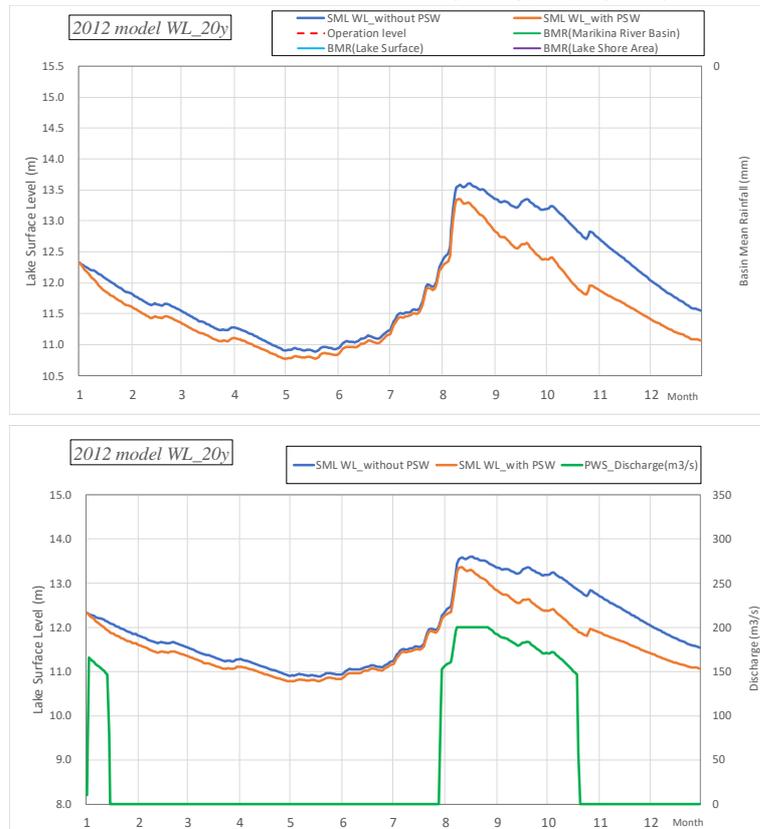


図 3.4.17-4 20年確率 水位変動解析結果 (4/8)

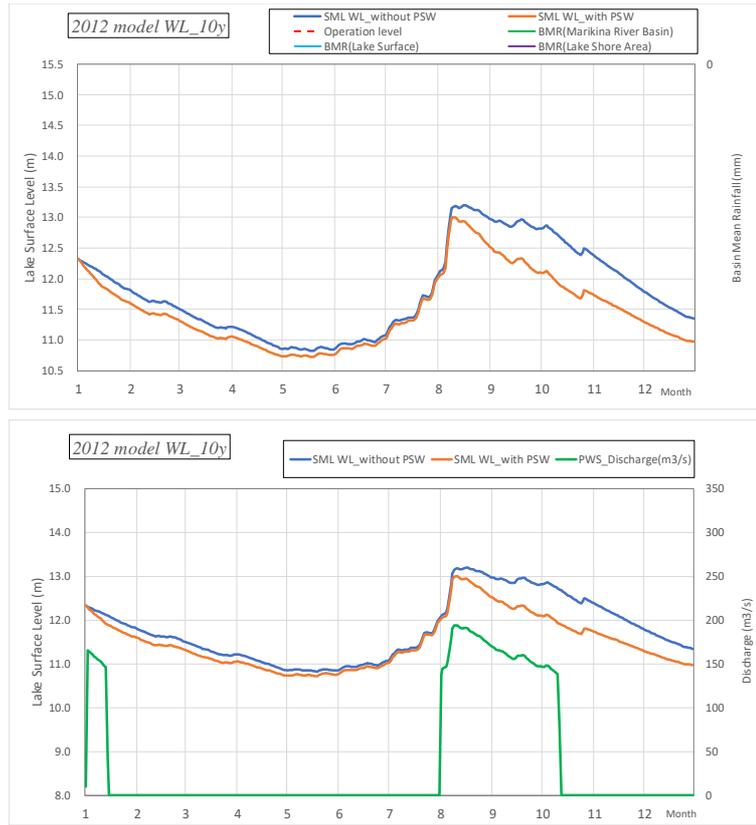


図 3.4.17-5 10年確率 水位変動解析結果 (5/8)

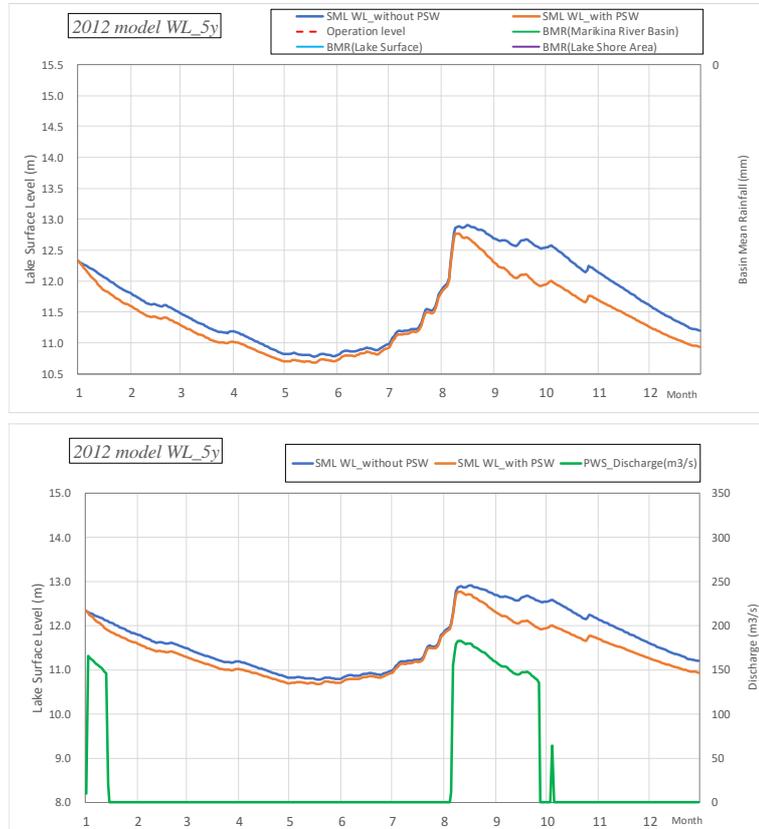


図 3.4.17-6 5年確率 水位変動解析結果 (6/8)

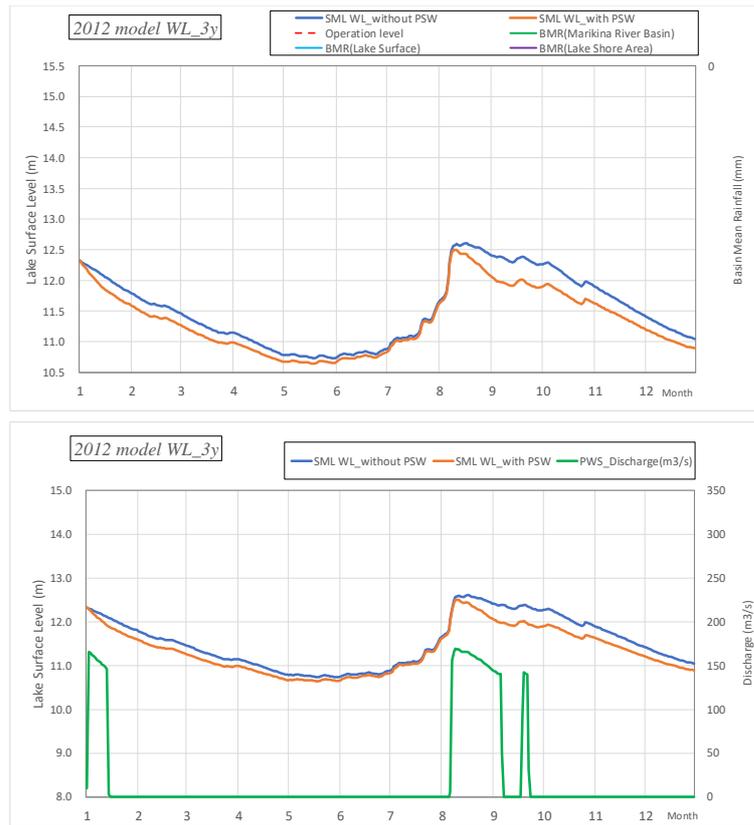


図 3.4.17-7 3年確率 水位変動解析結果 (7/8)

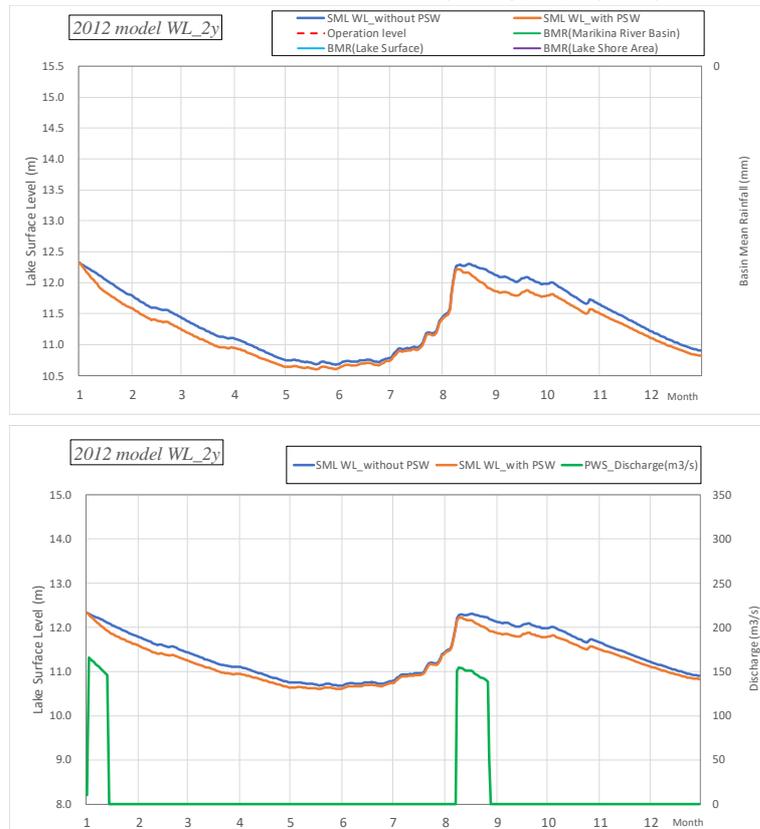


図 3.4.17-8 2年確率 水位変動解析結果 (8/8)

3.4.2 気候変動によるラグナ湖水位への影響

(1) 気候変動による雨量の増減予測と検討ケース

気候変動による計画降雨規模の変化及びラグナ湖水位への影響について検討を行った。本業務においては、PAGASA が実施した地域気候モデル（RCM：Regional Climate Model）の結果を用いて、検討対象地域における将来の雨量変化について整理した。気候変動シミュレーションの概要を表 3.4.17 に示す。

表 3.4.17 気候変動シミュレーションの概要（PAGASA）

項目	内容
気候変動シミュレーション	地域気候モデル（RCM：Regional Climate Model）
実施機関	PAGASA
対象地域	Cavie, Laguna, Quezon, Rizal, NCR
グリット解像度	25km
気候変動シナリオ	A1B シナリオ
雨量予測年	1985 年（1971 年～2000 年）、2020 年（2006 年～2035 年）、2050 年（2036 年～2065 年）

出典：調査チーム

地域気候変動モデル（RCM）の予測結果より、表 3.4.18 に示す 2 ケースの雨量変化について、ラグナ湖水位における影響を検討した。

表 3.4.18 気候変動によるラグナ湖水位影響評価検討ケース

ケース	内容	期間 (月)	本業務で用いた 3 か月雨量増減率	
			将来 (2006～2035)	将来 (2036～2065)
1	PAGASA 実施の地域気候モデル（RCM）6 月～8 月の 3 か月雨量増減率を考慮	6～8	7.2% 増加	15.1% 増加
2	PAGASA 実施の地域気候モデル（RCM）通年の雨量増減率を考慮	12～2	17.3% 減少	6.3% 減少
		3～5	30.8% 減少	36.1% 減少
		6～8	7.2% 増加	15.1% 増加
		9～11	1.3% 増加	0.7% 増加
		平均	9.9% 減少	6.7% 減少

地域気候変動モデル（RCM）の 3 か月雨量予測結果より、本業務対象エリアに含まれる州別に整理したものを表 3.4.19 に、RCM の雨量増減率予測結果より、調査対象エリアの面積加重平均により算出した 3 か月雨量の増減率を表 3.4.20 に示す。なお、表 3.4.20 中の赤枠内の雨量増減率を検討で用いた。

- 6 月～11 月においては、将来雨量が増加される予測になっているのに対し、12 月～5 月は、現状よりも雨量が減少する予測である。
- 通年における雨量増減率の平均は、将来 2006～3025 年では 9.9% 減少、将来 2036～2065 年では、6.7% 減少する予測となっており、現在よりも年総雨量は減少するが、6 月～11 月における降雨量が増加する。

表 3.4.19 地域気候モデル (RCM) の3か月雨量増減率予測結果

Month	Present Condition 1971-2000					Future 2006-2035					Future 2036-2065						
	Rainfall (mm)					Rate of Rainfall change (%)					Rate of Rainfall change (%)						
	Cavite	Laguna	Quezon	Rizal	NCR	Cavite	Laguna	Quezon	Rizal	NCR	Average	Cavite	Laguna	Quezon	Rizal	NCR	Average
12~2	124.9	62.92	827.7	262.4	107.5	-26.1	-20.2	-6.5	-13.1	-12.8	-15.7	-19.1	0.1	6.6	-11.5	-17.3	-8.2
3~5	242.8	386.8	382.7	241.5	198.5	-28.2	-31.5	-18.6	-30.7	-33.3	-28.5	-30.5	-34.8	-20.6	-39.8	-38.5	-32.8
6~8	985.7	845	670	1001.3	1170.2	13.1	2.9	2.9	12.4	8.5	8.0	24.2	6.8	6.5	24.8	21.3	16.7
9~11	597	1065.5	1229.3	821.8	758.7	0.4	2.9	5.2	-0.9	0.0	1.5	5.9	0.4	0.9	-0.8	3.7	2.0
Total	1,950.4	2,360.2	3,109.7	2,327.0	2,234.9	-10.2	-11.5	-4.3	-8.1	-9.4	-8.7	-4.9	-6.9	-1.7	-6.8	-7.7	-5.6

出典：PAGASA の HP (<https://www1.pagasa.dost.gov.ph/index.php/93-cad1/472-climate-projections#climate-projections-for-provinces>) より、本業務対象エリアが含まれる州を、調査チームが集計。

表 3.4.20 対象エリアにおける3か月雨量増減率 (面積加重平均より算出)

Month	Future 2006-2035						Future 2036-2065					
	Rate of Rainfall change (%) Weighted average						Rate of Rainfall change (%) Weighted average					
	Cavite	Laguna	Quezon	Rizal	NCR	Total	Cavite	Laguna	Quezon	Rizal	NCR	Total
12~2	-1.8	-10.0	-0.2	-4.3	-1.0	-17.3	-1.3	0.0	0.2	-3.8	-1.4	-6.3
3~5	-1.9	-15.6	-0.5	-10.2	-2.7	-30.8	-2.1	-17.2	-0.5	-13.2	-3.1	-36.1
6~8	0.9	1.4	0.1	4.1	0.7	7.2	1.6	3.4	0.2	8.2	1.7	15.1
9~11	0.0	1.4	0.1	-0.3	0.0	1.3	0.4	0.2	0.0	-0.3	0.3	0.7
Average	-0.7	-5.7	-0.1	-2.7	-0.8	-9.9	-0.3	-3.4	-0.0	-2.3	-0.6	-6.7

(2) 気候変動を考慮したラグナ湖水位変動モデル

前節で算定した、本業務対象エリアにおける3か月雨量増減率を用い、将来のラグナ湖流域における流域平均雨量を算出し、ラグナ湖水位への影響を検討した。なお、ラグナ湖水位への影響については、ラグナ湖のピーク水位が高くなるケースとして、ケース1の確率規模別のラグナ湖水位変化を検討し、通年の雨量増減率を用いたケース2については、100年確率規模におけるラグナ湖水位への影響のみ検討を行った。

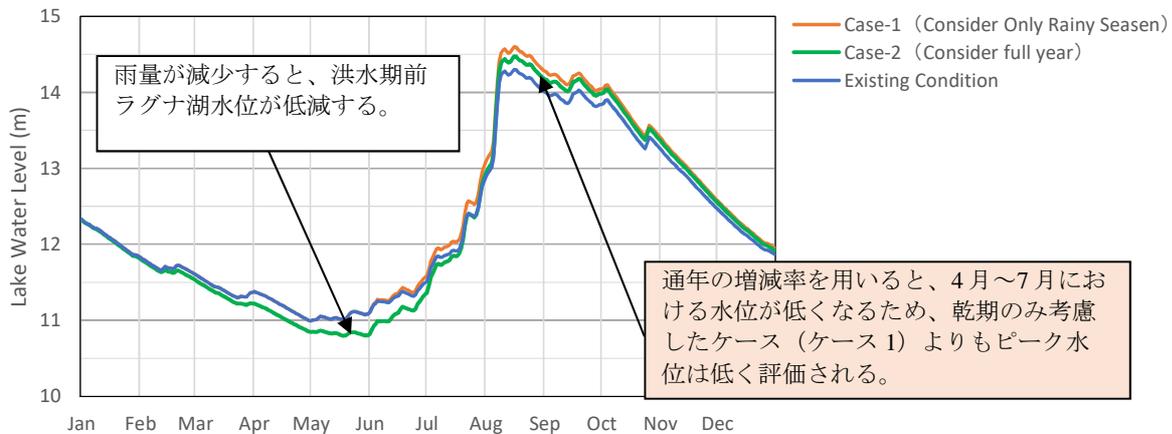


図 3.4.18 ラグナ湖水位変化 ケース1及びケース2 (100年確率規模)

(3) 気候変動のラグナ湖水位への影響

ケース1 (6月~8月のみ雨量増減率を考慮) において、確率規模別のラグナ湖水位の変化を表3.4.21、図3.4.19に示す。

- 現状の100年規模のラグナ湖水位は14.3mであるのに対し、将来 (~2035年) におけるラグナ湖の予測水位は14.6mとなり、30cmの水位上昇が想定される。
- また、将来2036~2065年における100年規模の予測水位は、14.9mとなり、60cmの水位上昇が想定される。

表 3.4.21 気候変動による確率規模別のラグナ湖水位変化（ケース 1）

Return Period	Existing Condition	Future~2035 *1		Future 2050(2036-2065)	
	Water Level (m)	Water Level (m)	Difference (m)	Water Level (m)	Difference (m)
2	12.3	12.5	0.2	12.7	0.4
3	12.6	12.8	0.2	13.0	0.4
5	12.9	13.1	0.2	13.4	0.5
10	13.2	13.4	0.2	13.7	0.5
20	13.6	13.9	0.3	14.1	0.5
30	13.7	14.0	0.3	14.3	0.6
50	14.0	14.3	0.3	14.6	0.6
100	14.3	14.6	0.3	14.9	0.6
*1:	Rainfall will be 7.2% raising from June to August due to Climate change				
*2:	Rainfall will be 15.1% raising from June to August due to Climate change				

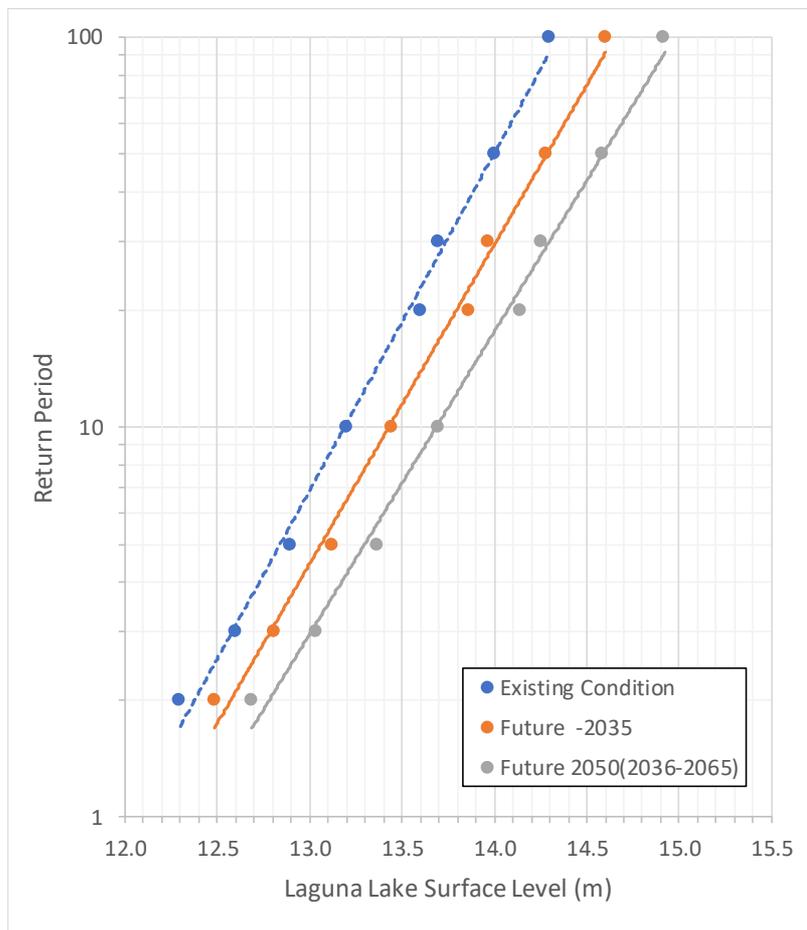


図 3.4.19 気候変動による確率規模別のラグナ湖水位変化（ケース 1）

表 3.4.22 気候変動を考慮した将来におけるラグナ湖水位の変化（ケース 2）

Return Period	Existing Condition	Future~2035		Future 2050(2036-2065)	
	Water Level (m)	Water Level (m)	Difference (m)	Water Level (m)	Difference (m)
100	14.3	14.5	0.2	14.8	0.5

3.4.3 ラグナ湖流域における流出・氾濫解析（短期検討）

(1) 検討対象流域

ラグナ湖流域（SB-03～SB-23）の内、カリラヤ（Caliraya）流域（SB-12）には、CBK Power Company Limited が所有するカラヤン（Kalayaan）揚水発電所が位置する。

カラヤン揚水発電所は 1982 年完成で、カリラヤ貯水池（Caliraya Reservoir）を上池、ラグナ湖を下池とし揚水発電を行っている。カリラヤ貯水池の南側にルモット貯水池（Lumot reservoir）があり、この二つの貯水池は直径 6m のトンネルで繋がり水位差でルモット貯水池の余剰水がカリラヤ貯水池に流れこむ構造である。両貯水池の集水面積の合計は 129km²であり SB-12 の流域面積とほぼ同じであり、SB-12 流域に流れ込む雨水のほとんどを貯留する（両貯水池は合計で 44,000,000m³ の貯水能力を持つ）。このことから、SB-12 流域に対しては洪水対策の必要がなく、今回洪水対策の検討範囲から除外する。



出典：CBK パンフレットより一部抜粋

図 3.4.20 カラヤン揚水発電所の概要

ラグナ湖流域における洪水対策の検討流域は、カリラヤ流域（SB-12）以外の 20 流域を対象とする。検討対象範囲を図 3.4.21 に示す。

表 3.4.23 RRI モデル検討対象流域

流域 ID	流域名	流域面積 (km ²)	流域 ID	流域名	流域面積 (km ²)
SB-03	Angono	86.6	SB-14	Sta.Cruz	146.7
SB-04	Morong	95.9	SB-15	Pila	89.3
SB-05	Baras	21.7	SB-16	Calauan	154.5
SB-06	Tanay	52.2	SB-17	Los Banos	102.1
SB-07	Pililla	40.4	SB-18	San Juan	191.7
SB-08	Jala-jala	70.6	SB-19	San Cristobal	140.6
SB-09	Sta.Maria	202.2	SB-20	Sta.Rosa	119.8
SB-10	Siniloan	71.7	SB-21	Binan	84.8
SB-11	Pangil	50.1	SB-22	San Pedro	46.0
SB-13	Pagsanjan	301.2	SB-23	Muntinlupa	44.1



出典：Google Earth を基に JICA 調査チームが作成

図 3.4.21 ラグナ湖流域における流出・氾濫解析検討範囲

(2) 解析モデル作成

ラグナ湖流域において洪水対策案の種類、規模及びその効果を概略的に検討するための流出・氾濫解析を実施する。ラグナ湖流域における流出・氾濫解析においては、以下の点に留意する必要がある。

- ラグナ湖流域のほとんどは、山地から低平地をへてラグナ湖に流入していることから、山地河川～低平地にかけての洪水流出を適切に表現する必要がある。
- 河道横断データが存在しない河川においても、洪水時の氾濫現象の解析が可能であること。また、水文観測データ（雨量や水位、流量）及び地形情報が不足していること。

上記の要件を考慮し、我が国の水災害・リスクマネジメント国際センター（ICHARM）が開発・保守を行っている降雨流出氾濫モデル（RRI モデル）を使用した。

RRI モデルは、降雨を入力データとして河川流出から洪水氾濫まで一体的に解析する分布型モデルである。降雨流出と氾濫現象を同一の二次元計算グリッド上で一体的に解析することによって、一般的な分布型流出モデルでは再現の難しい低平地における流出氾濫現象の表現が可能である。また、谷底平野を有する山地域においても、計算グリッドサイズを適切に設定することで計算精度の高い解析が可能である。

しかし、河川横断形状を矩形とみなして解析する RRI モデルの特性から、河道内水位の詳細な把握、改修後の詳細な必要河川横断形状等が評価できないケースがあるが、本業務においては、ラグナ湖流域における洪水対策案の種類、規模を概略的に検討するものであるため、概略検討においては特に問題はないと考える。

降雨流出氾濫モデル：RRI モデルの概要

- RRI モデルは河道追跡計算と氾濫解析が可能な分布型流出計算モデルであり、流域を表現するための DEM データ（標高）と河川の流下方向の 2 つの情報を最低でも準備すれば、流出・氾濫解析モデルの構築が可能である。
- RRI モデルは、降雨を入力データとして河川流出から洪水氾濫まで一体的に解析する分布型モデルである。降雨流出と氾濫現象を同一の二次元計算グリッド上で一体的に解析することによって、一般的な分布型流出モデルでは再現の難しい低平地における流出氾濫現象の表現が可能である。また、谷底平野を有する山地域においても、計算グリッドサイズを適切に設定することで計算精度の高い解析が可能である。

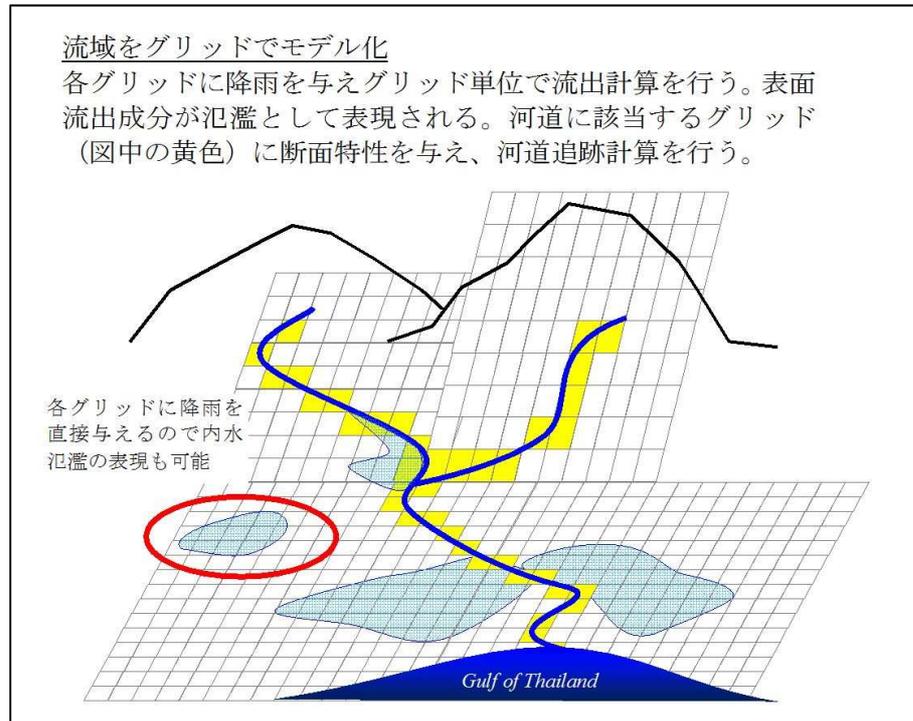


図 3.4.22 RRI モデルを用いた流出・氾濫解析の概念図

RRI モデルにより流出・氾濫解析モデルを構築した。流出・氾濫解析における諸条件を表 3.4.25～表 3.4.27 に示す。

表 3.4.24 流出・氾濫解析における諸条件

項目	内容
流域からの流出	各流域において流域平均雨量を推定し、計算入力データとして流域平均雨量を与えた。
流域下流端の水位	ラグナ湖水位 = 14.0m
氾濫原計算グリットサイズ	流域面積見合いで計算グリットを設定した。計算メッシュ数が膨大になると、計算時間が掛るため、計算時間も確認しながら計算グリットサイズを設定した。以下に、設定した計算グリットサイズを示す。 SB-03～04、SB-08～23 : 100m×100m SB-05～07:25m×25m
氾濫原標高データ	ifSAR の 5m 標高データ (NAMRIA) より、氾濫原標高データを作成した。
河道横断データ	RRI モデルにより自動推定 (流域面積と川幅、深さの関係式より推定) し、その後、現地調査結果もしくは空中写真にて調整する。現地調査結果より、確認できる範囲で設定する。
土地利用データ	Landsat2017年衛星データより、Landcoverを作成した。
土地被覆データ 土壌データ	MODIS data 2008 : 2008年時点の 500m ピッチの全世界土地被覆情報を活用した。
河道粗度	収集写真などで河道の状態を確認した上で、表 3.4.25 を参考に設定した。
堤内地粗度	既往の文献 (河川砂防技術基準 (案) 調査編) を参考とし (表 3.4.26)、流域の土地被覆状況を勘案した値を設定した。
透水係数	既往の文献に基づいた (表 3.4.27)、上記土壌データごとの標準値を用いた。

流域面積と川幅、深さの関係式

上表に示すとおり、RRI モデルでは河道横断形状を矩形と仮定した上で下記に示す経験式に基づき推定している。すなわち対象地点の流出寄与域 A (km²) と川幅 W (m)、深さ D (m) との関係を下式(1)、(2)のとおり表現する。

$$W = C_w A^{S_w} \dots (1)$$

$$D = C_D A^{S_D} \dots (2)$$

ここで C_w、S_w、C_D、S_Dは対象とする河道の特性に応じて定義されるパラメータであり、本業務では現地調査結果及びインターネットから収集可能な空中写真（例えば Google Earth 等）を基に対象流域の川幅を確認しながら設定する。

表 3.4.25 マニングの粗度係数

Description	Minimum	Maximum
1. Some grass & weeds, little or no brush	0.028	0.033
2. Dense growth of weeds, flow depth greater weed height	0.033	0.030
3. Some weeds, light brush on banks	0.035	0.050
4. Some weeds, heavy brush on banks	0.050	0.070
5. Some weeds, dense trees	0.060	0.080
channel, with branches submerged at high flood increase all above values by	0.010	0.020
6. Winding, some pools & shoals, clean (1.)	0.035	0.045
7. Winding, some pools & shoals, clean, lower stages, more ineffective sections	0.045	0.055
8. Winding, some pools & shoals, clean, some weeds & stones (3.)	0.040	0.050
9. Winding, some pools & shoals, clean, lower stages, more ineffective sections, stony sections	0.050	0.060
10. Sluggish river reaches, rather weedy or with deep pools (4.)	0.060	0.080
11. Very weedy reaches (5.)	0.100	0.150

出典：DPWH Design Guideline, Criteria and Standards 2015

表 3.4.26 流域の状態と粗度係数

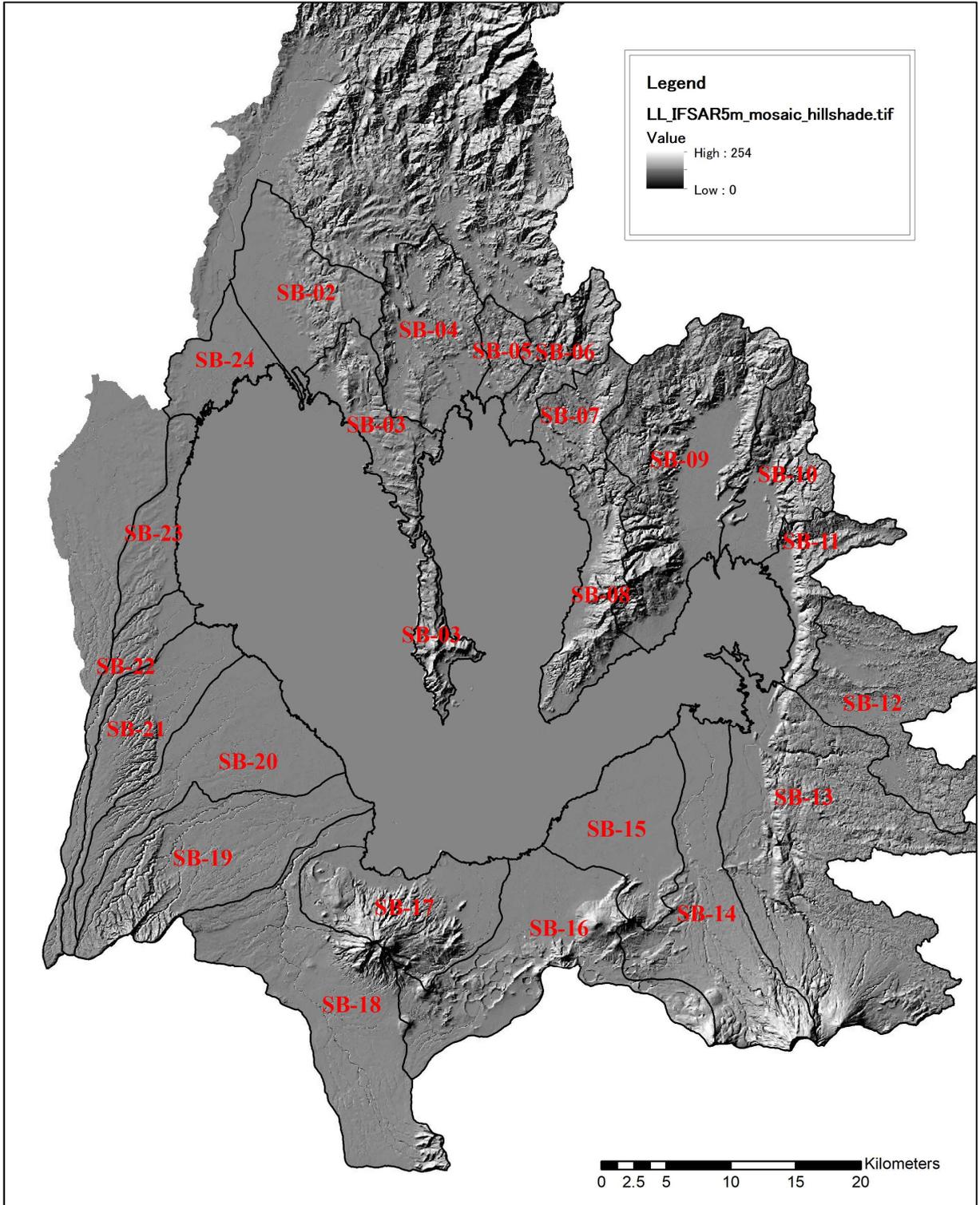
流域の状態	粗度係数 (m-1/3 s)
階段状に宅地造成を行った丘陵地帯	0.05
流域の一部（15%）に宅地を含む丘陵地帯	0.1 – 0.2
階段状田畑主体流域	0.2 – 0.4
上流山地、中下流に市街地を含む階段状田畑主体流域	0.3 – 0.5
主として林相のかなりよい山地流域	0.4 – 0.8
上流丘陵地 50%、中流市街地 20%、下流低平水田 30%の流域	0.6 – 1.1
排水改良の行われていない水田地帯	1 – 3

出典：河川砂防技術基準（案）調査編

表 3.4.27 浸透にかかる係数

Reference Table: Green-Ampt Infiltration Parameters for Different Soil Texture			
Soil Texture Class	K _{sv} (m/s)	φ	S _f (m)
Sand	6.54E-05	0.437	0.0495
Loamy Sand	1.66E-05	0.437	0.0613
Sandy Loam	6.06E-06	0.453	0.1101
Loam	3.67E-06	0.463	0.0889
Silt Loam	1.89E-06	0.501	0.1668
Sandy Clay Loam	8.33E-07	0.398	0.2185
Clay Loam	5.56E-07	0.464	0.2088
Silty Clay Loam	5.56E-07	0.471	0.2730
Sandy Clay	3.33E-07	0.430	0.2390
Silty Clay	2.78E-07	0.479	0.2922
Clay	1.67E-07	0.475	0.3163

出典：Handbook of Hydrology



出典：ifSAR 5m 標高データ (NAMRIA) より、JICA 調査チームが作成

図 3.4.23 ラグナ湖流域における地形状況

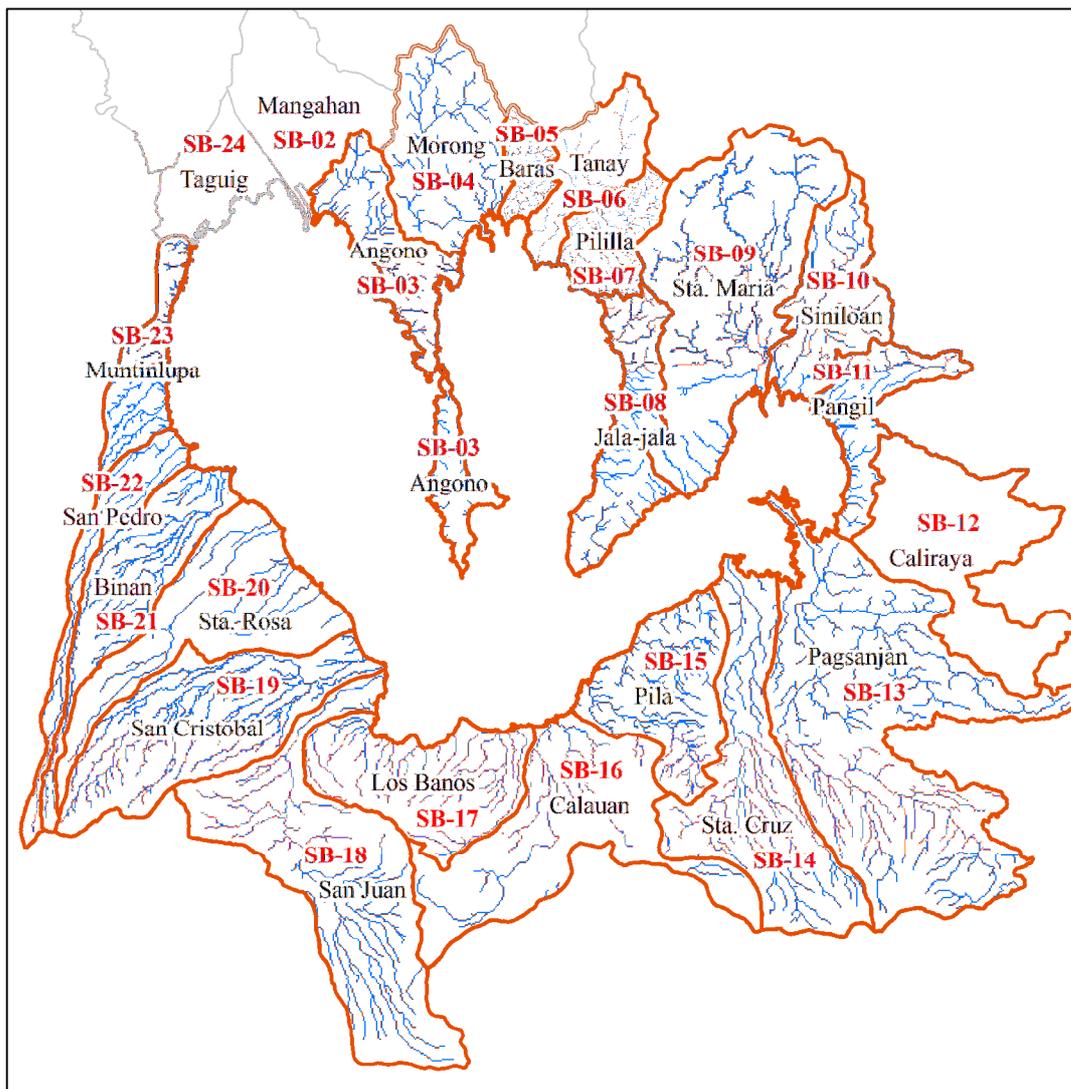


図 3.4.24 RRI モデルで設定した河道ライン

(3) 降雨継続時間

ラグナ湖流域における降雨継続時間は、3.2.1 (4) 計画降雨継続時間の検討に示したとおり、1日とする。

(4) 計画降雨波形

ラグナ湖流域における流出・氾濫解析で用いる計画降雨波形は、2009年の台風オンドイ時において、パッシング・マリキナ川流域内の Science Garden 地点において、時間雨量が観測されている。ラグナ湖流域において、洪水時の時間雨量データが観測されていないため、モデル降雨波形は、Science Garden 地点の実績時間雨量波形を用いて、確率規模別の日雨量になるよう引き延ばし、引き縮めを行った。

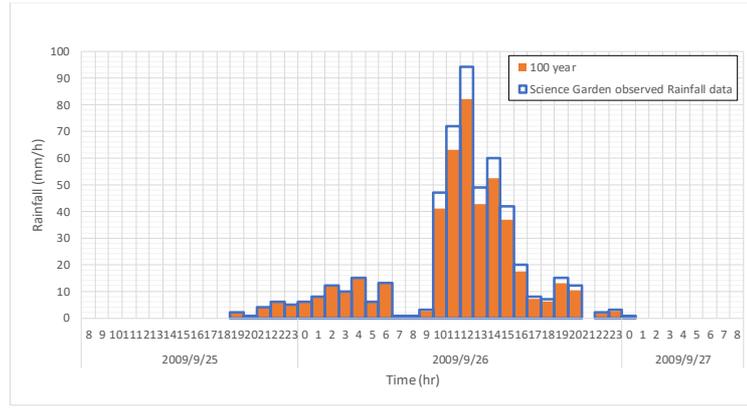
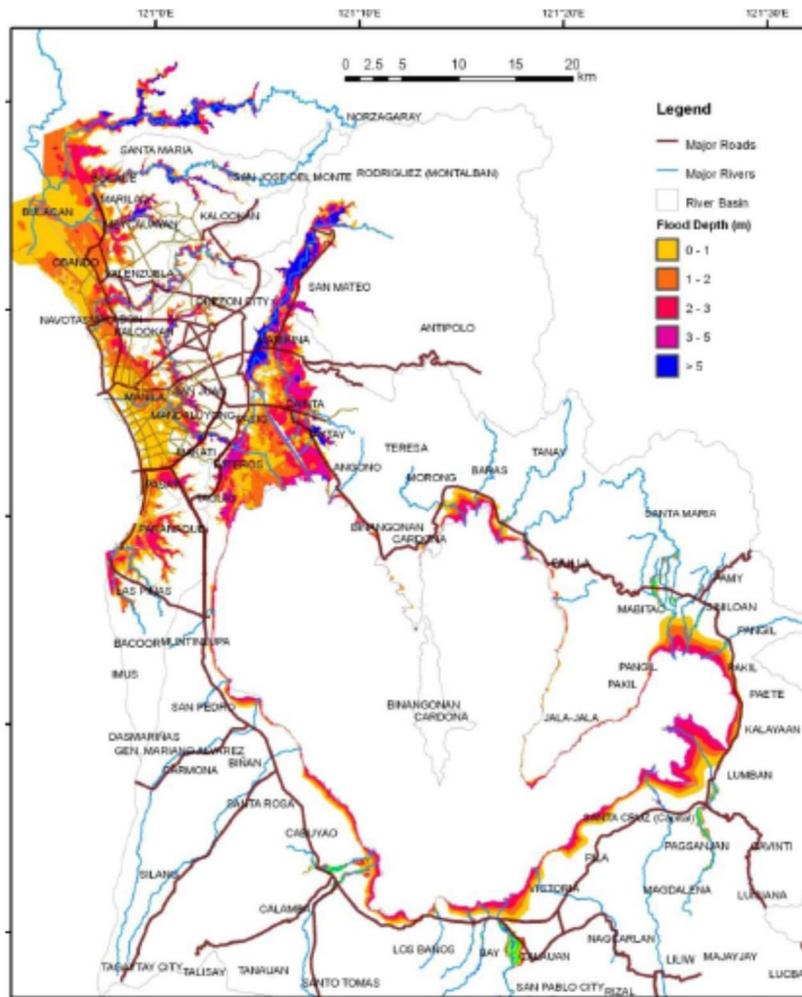


図 3.4.25 計画降雨波形 サンプル SB-03 100 年の計画降雨波形

(5) 過去の洪水によるモデルの妥当性検証

RRI モデルによる流出・氾濫解析モデルの妥当性の確認は、ラグナ湖流域において、河川水位・流量観測結果が存在しないことから、2009 年台風オンDOI時の浸水エリア、既往検討調査 (WB プロジェクト) で算出された流量を参考に、各パラメータを設定した。



出典：Master Plan for Flood Management in Metro Manila and Surrounding Areas, World Bank,2013

図 3.4.26 2009 年台風オンDOI時の浸水状況 (ヒアリング調査結果より浸水エリア作成)

(6) 規模別浸水エリア

確率規模 50年、25年、15年において流出・氾濫解析を実施した。各規模別の浸水エリア図を以降に示す。

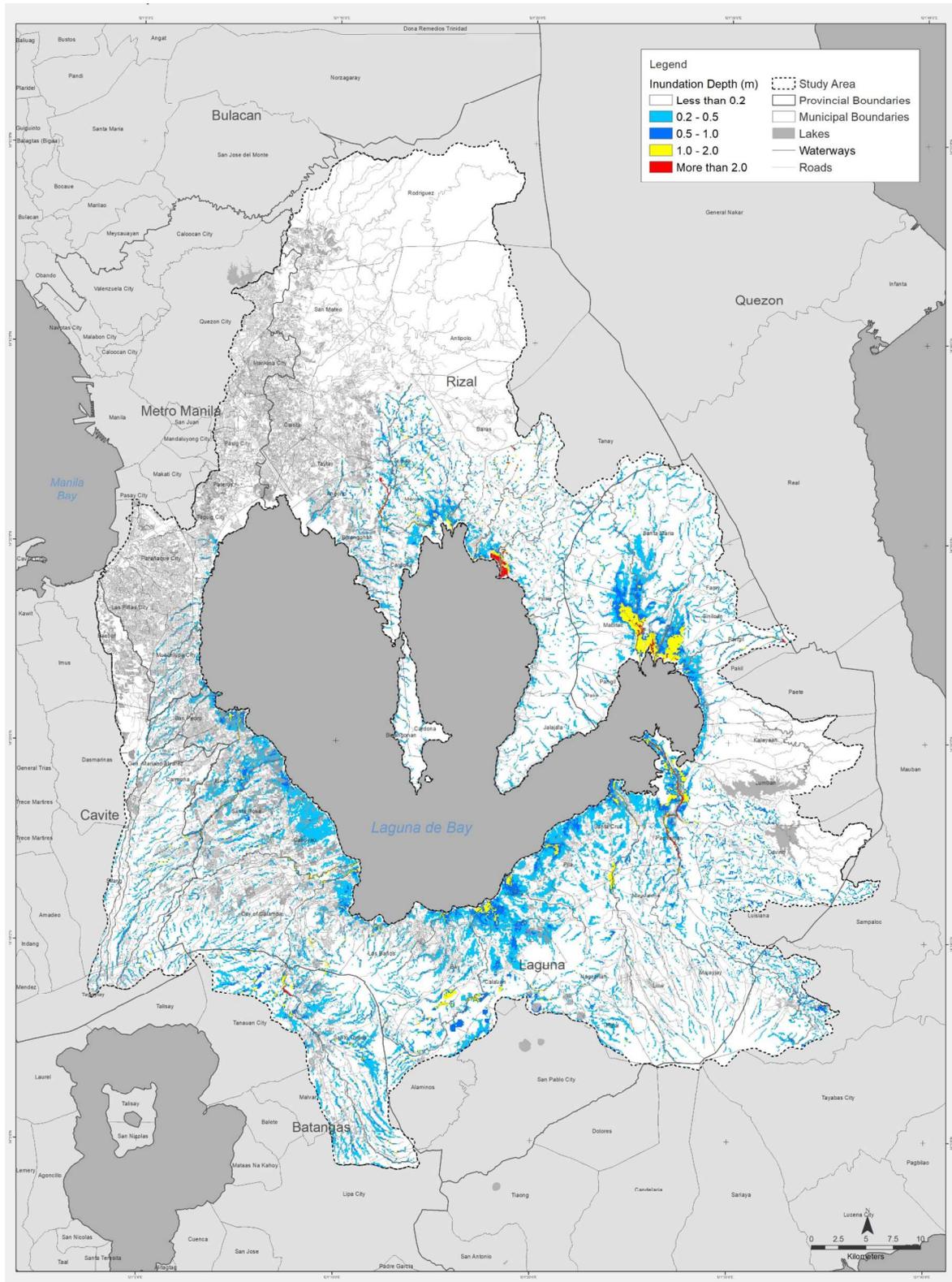


図 3.4.27 50年確率規模 浸水想定エリア

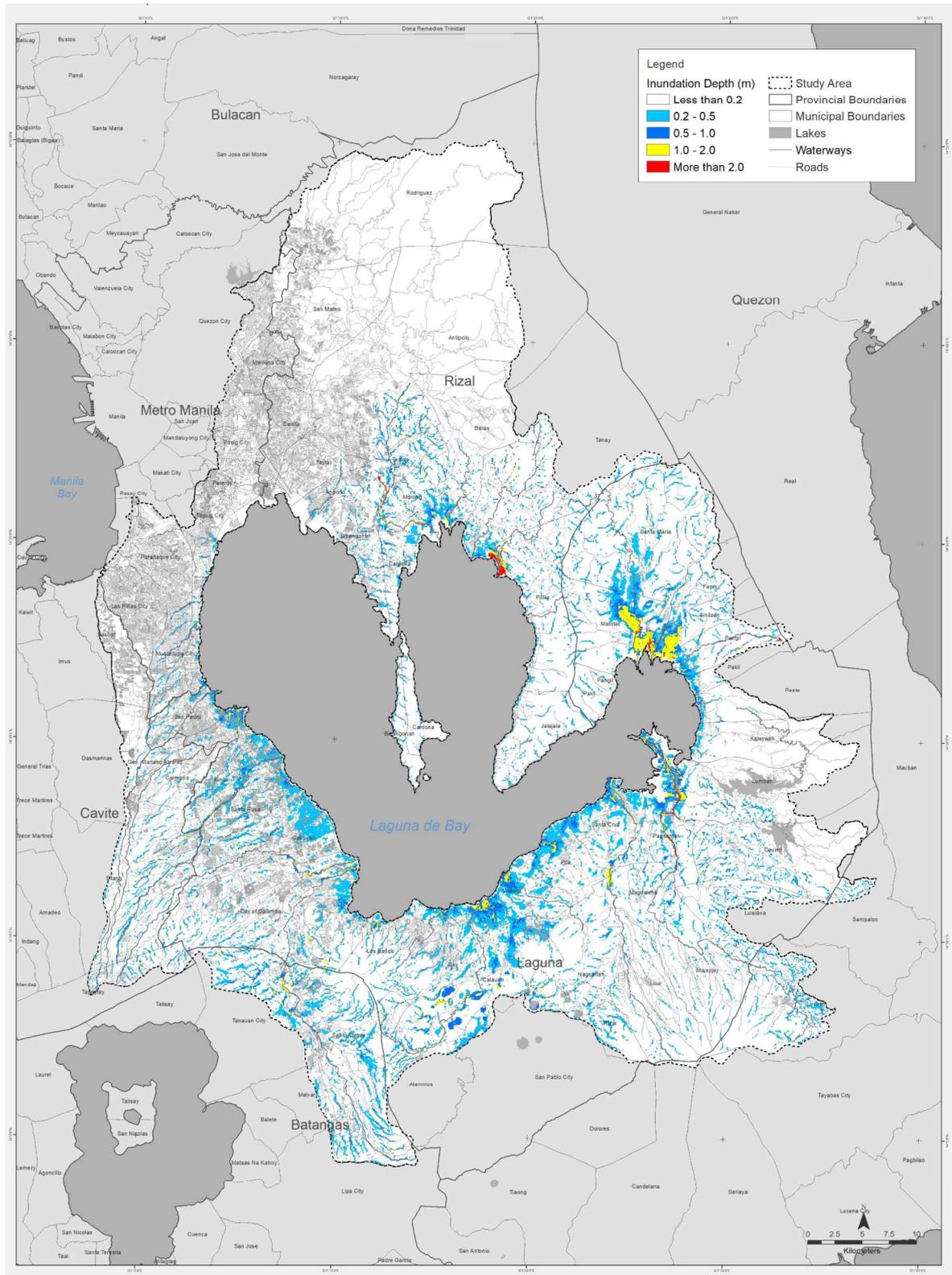


図 3.4.28 25年確率規模 浸水想定エリア

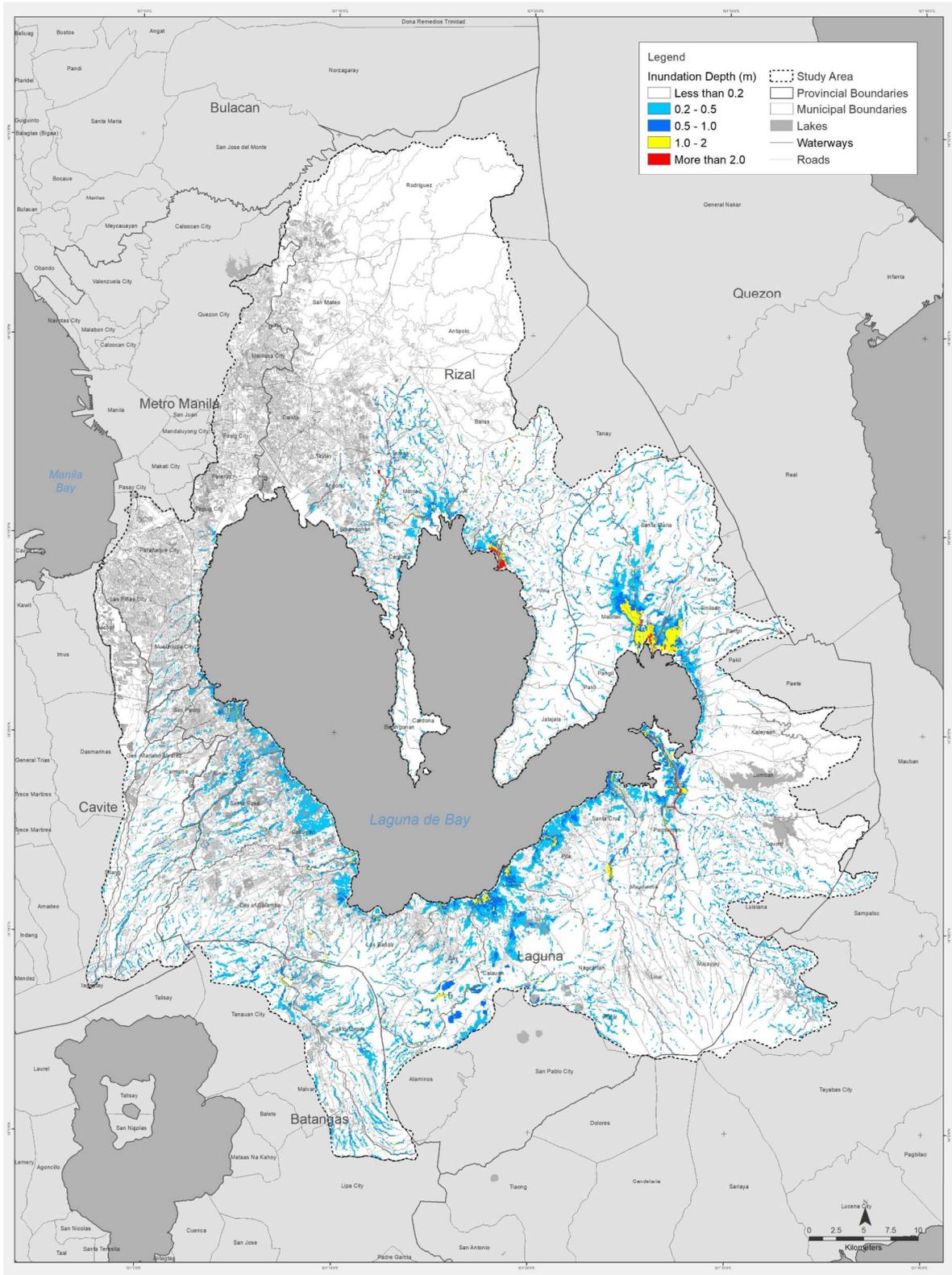


図 3.4.29 15年確率規模 浸水想定エリア

(7) ラグナ湖流域における河川別諸元

ラグナ湖流域においては、複数の河川が含まれていることから、本業務において、ラグナ湖流入河川の洪水対策を検討するにあたり、河川別の諸元（河川延長、流域面積、計画規模の設定、計画流量）を整理した。

各流域内においては、河川延長が短い河川並びに水路が無数存在しているため、本業務では、洪水対策が必要になる可能性がある比較的大きな河川を抽出した。各流域において、抽出した河川位置を図 3.4.30 に、各流域における河川諸元を表 3.4.28 に示す。

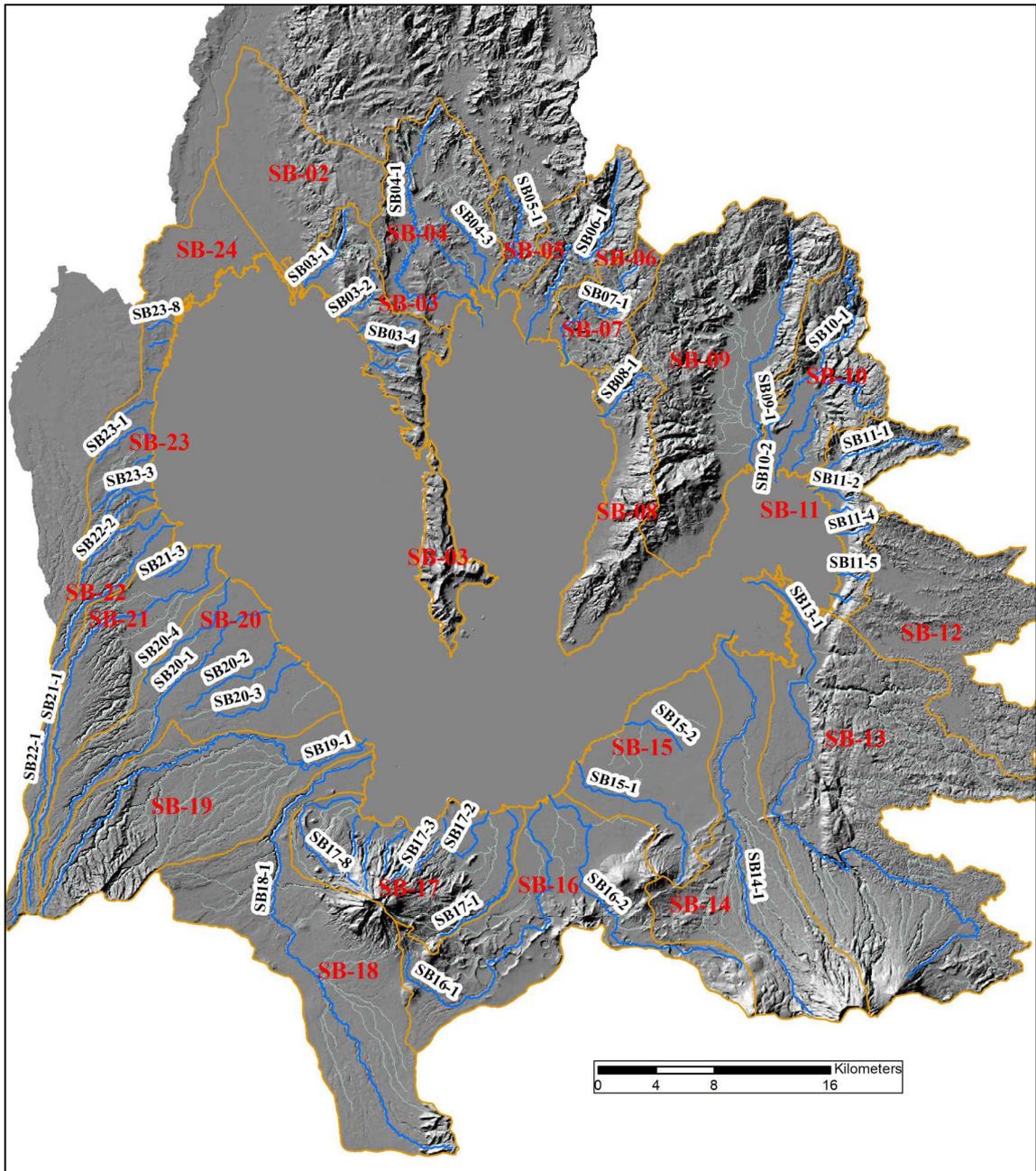


図 3.4.30 ラグナ湖流域における河川位置

表 3.4.28 各流域における河川諸元

Sub-Basin ID	Sub-Basin Name	Area (km ²)	River ID	River Name	Length (km)	Basin Area (km ²)	Build-up Area (km ²)	Existing Condition			Design Flood specified by DPWH Standard Guideline	Probable River Discharge (m ³)							Proposed Design Flood Return Period (year)	Proposed Design Discharge (m ³ /s)	
								Wide (m)	Depth (m)	Slope (1/1)		100-year	50-year	30-year	25-year	15-year	10-year	5-year			2-year
												100-year	50-year	30-year	25-year	15-year	10-year	5-year			2-year
SB-03	Angono	86.6	-	-	-	86.6	-	-	-	-	-	1,795	1,506	1,311	1,246	1,074	945	741	483	-	-
			SB-03-1	Angono River	8.18	12.7	4.1	13.00	3.25	400	50	263	220	192	182	157	138	109	71	25	190
			SB-03-2	-	5.66	9.9	2.2	15.00	3.75	190	50	206	173	150	143	123	108	85	55	15	130
			SB-03-3	SB-03-3	4.71	6.7	0.8	12.00	3.00	160	50	140	117	102	97	83	73	58	38	15	90
			SB-03-4	SB-03-4	3.92	4.0	0.9	7.50	1.88	230	50	84	70	61	58	50	44	35	23	15	60
			SB-03-5	SB-03-5	2.98	3.4	0.8	10.00	2.50	130	50	70	59	51	49	42	37	29	19	15	50
SB-04	Morong	95.9	-	-	-	95.9	-	-	-	-	-	1,610	1,439	1,313	1,267	1,137	1,034	849	572	-	-
			SB-04-1	Morong	29.16	67.0	9.3	35.00	8.75	2000	100	1,126	1,006	918	885	795	722	594	400	50	1,100
			SB-04-2	-	8.15	22.5	2.0	10.00	2.50	5000	50	378	338	308	297	267	243	199	134	25	300
SB-05	Baras	21.7	-	-	-	21.7	-	-	-	-	-	809	442	395	379	333	298	239	157	-	-
			SB-05-1	Baras	13.01	17.6	0.6	14.00	3.50	360	50	412	358	320	307	270	241	194	127	25	310
SB-06	Tanay	52.2	-	-	-	52.2	-	-	-	-	-	1,041	894	791	756	662	590	471	310	-	-
			SB-06-1	Tanay	20.70	39.3	0.9	36.00	9.00	370	50	784	673	596	570	498	445	355	233	25	580
SB-07	Pala	40.4	-	-	-	40.4	-	-	-	-	-	789	689	618	593	523	469	377	246	-	-
			SB-07-1	Pala	16.06	32.8	1.6	24.00	6.00	710	50	642	561	502	482	425	382	306	200	25	490
SB-08	Jala-jala	70.6	-	-	-	70.6	-	-	-	-	-	1,483	1,247	1,093	1,039	901	798	631	419	-	-
			SB-08-1	Jala-jala	4.81	10.7	0.4	12.00	3.00	140	50	225	189	166	158	137	121	96	64	25	140
SB-09	Sta. Maria	202.2	-	-	-	202.2	-	-	-	-	-	2,390	2,134	1,946	1,876	1,685	1,534	1,288	876	-	-
			SB-09-1	Sta. Maria	31.91	167.0	6.2	40.00	10.00	830	100	1,974	1,762	1,607	1,549	1,391	1,267	1,047	723	50	1,800
SB-10	Sinhan	71.7	-	-	-	71.7	-	-	-	-	-	1,089	972	885	855	766	695	570	382	-	-
			SB-10-1	Romero	10.91	39.3	1.9	22.00	5.50	710	50	597	533	486	469	420	381	313	210	25	470
SB-11	Pangil	50.1	-	-	-	50.1	-	-	-	-	-	1,237	1,045	915	870	750	658	508	307	-	-
			SB-11-1	Pangil	13.72	21.2	0.3	20.00	5.00	480	50	524	443	387	369	318	279	215	130	25	370
			SB-11-2	-	14.97	5.2	1.0	10.00	2.50	910	50	128	108	94	90	77	68	52	32	15	80
			SB-11-3	-	2.41	2.2	0.6	12.00	3.00	310	50	55	47	41	39	34	29	23	14	15	40
			SB-11-4	-	2.83	3.7	0.5	12.00	3.00	450	50	91	77	67	64	55	48	37	23	15	60
			SB-11-5	-	2.68	2.2	0.2	7.00	1.75	180	50	54	46	40	38	33	29	22	13	15	40
			SB-11-6	-	2.15	3.2	0.2	9.00	2.25	100	50	79	66	58	55	48	42	32	20	15	50
SB-12	Caliraya	128.8	-	-	-	128.8	-	-	-	-	-	2,244	1,941	1,727	1,652	1,446	1,286	1,013	633	-	-
			SB-12-1	Caliraya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SB-13	Pagsanjan	301.2	-	-	-	301.2	-	-	-	-	-	3,425	2,951	2,625	2,514	2,209	1,974	1,591	1,076	-	-
			SB-13-1	Pagsanjan	53.18	288.7	7.5	90.00	22.50	910	100	2,942	2,534	2,254	2,159	1,897	1,695	1,366	924	50	2,600
SB-14	Sta. Cruz	146.7	-	-	-	146.7	-	-	-	-	-	1,878	1,610	1,425	1,362	1,191	1,066	848	565	-	-
			SB-14-1	Sta. Cruz	33.12	116.6	4.2	60.00	15.00	1670	100	1,493	1,280	1,133	1,082	946	842	674	449	50	1,300
SB-15	Pala	89.3	-	-	-	89.3	-	-	-	-	-	1,532	1,285	1,118	1,061	912	799	620	388	-	-
			SB-15-1	Pala	12.43	31.2	1.0	14.00	3.50	450	50	535	449	391	371	319	279	216	135	25	380
			SB-15-2	-	5.20	31.5	1.8	20.00	5.00	630	50	540	453	395	374	322	282	219	137	25	380
SB-16	Caluan	154.5	-	-	-	154.5	-	-	-	-	-	2,094	1,863	1,693	1,632	1,461	1,323	1,083	729	-	-
			SB-16-1	Caluan	31.25	64.7	2.0	23.00	5.75	500	100	877	780	709	683	612	554	454	305	50	800
			SB-16-2	-	25.62	49.9	4.8	10.00	2.50	830	100	676	601	546	527	472	427	350	235	50	700
SB-17	Los Banos	102.1	-	-	-	102.1	-	-	-	-	-	2,184	1,933	1,748	1,684	1,499	1,351	1,094	714	-	-
			SB-17-1	Colo River	9.29	20.3	1.1	25.00	6.25	360	50	435	385	348	335	298	269	218	142	25	300
			SB-17-2	Los Banos River	4.07	25.8	2.3	20.00	5.00	290	50	552	489	442	426	379	342	277	181	25	430
			SB-17-3	-	6.38	2.8	0.2	10.00	2.50	80	50	60	53	48	46	41	37	30	20	15	50
			SB-17-4	-	5.62	5.5	0.4	10.00	2.50	240	50	118	105	95	91	81	73	59	39	15	90
			SB-17-5	-	6.28	12.5	1.8	20.00	5.00	170	50	267	236	214	206	183	165	134	87	25	210
			SB-17-6	-	12.66	3.3	0.1	13.00	3.25	200	50	70	62	56	54	48	44	35	23	15	50
			SB-17-7	-	6.00	7.6	1.0	15.00	3.75	110	50	163	145	131	126	112	101	82	53	15	130
			SB-17-8	-	10.66	11.6	1.8	15.00	3.75	500	50	249	220	199	192	171	154	125	81	25	200
SB-18	San Juan	191.7	-	-	-	191.7	-	-	-	-	-	3,031	2,600	2,296	2,191	1,907	1,690	1,332	859	-	-
			SB-18-1	San Juan River	42.97	175.3	25.5	60.00	15.00	1110	100	2,772	2,377	2,100	2,004	1,744	1,546	1,218	785	50	2,400
SB-19	San Cristobal	140.6	-	-	-	140.6	-	-	-	-	-	2,000	1,716	1,519	1,451	1,268	1,127	896	587	-	-
			SB-19-1	San Cristobal River	36.22	123.7	24.3	50.00	12.50	670	100	1,759	1,509	1,336	1,276	1,115	991	789	516	50	1,600
SB-20	Sta. Rosa	119.8	-	-	-	119.8	-	-	-	-	-	1,570	1,387	1,255	1,205	1,071	963	772	491	-	-
			SB-20-1	Sta. Rosa River	30.18	44.1	10.8	18.00	4.50	770	100	578	511	462	444	394	355	284	181	50	520
			SB-20-2	-	9.70	19.2	7.0	26.00	6.50	500	50	251	222	201	193	171	154	124	79	25	200
			SB-20-3	-	9.05	16.0	3.3	30.00	7.50	630	50	210	186	168	161	143	129	103	66	25	170
			SB-20-4	-	11.04	15.6	6.1	15.00	3.75	270	50	205	181	163	157	139	125	101	64	25	160
			Remaining basin(target to pump)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Remaining basin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SB-21	Binan	84.8	-	-	-	84.8	-	-	-	-	-	980	867	784	754	669	601	482	304	-	-
			SB-21-1	Binan River	36.00																