

スリランカ国
コロンボ都市圏雨水排水計画策定
プロジェクト
ファイナルレポート

第1巻 主報告書

2023年2月

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 地球システム科学

環境
JR
23-041

スリランカ国
コロンボ都市圏雨水排水計画策定
プロジェクト
ファイナルレポート

第1巻 主報告書

2023年2月

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 地球システム科学

本報告書で採用した交換レートは以下の通り。

US\$ 1.00 = LKR. 181.06 = JpY. 109.12
LKR 1.00 = JpY. 0.603

(2022年12月末日時点^{*1})

*1：ただし経済危機による物価変動の影響を除外するため、具体的には2019年11月11日から2020年2月10日までの平均値をもとに交換レートを設定し、以降の上昇は考慮しないものとしている。

スリランカ国 西部州



SCALE (km)
0 5 10

インド洋

Mudun Ela 地区

コロンボ

大コロンボ流域 →

Moratuwa-Rathmalana 地区 →

ガンパハ県

Attanagalu Oya 流域

Kalu Oya 流域

Kelani-Ganga 流域

コロンボ都市圏

Bolgoda 流域

Kalu Ganga 流域

カルタラ県



- 凡例
- 調査対象州
 - 州境
 - 首都
 - 河川・湖沼
 - 主要都市
 - 主要道路

- 凡例
- 首都
 - 西部州 / 県境界
 - 主要河川
 - 支川
 - コロンボ都市圏
 - 検討対象流域
 - その他流域
 - プレ・フィージビリティ調査対象地域

調査対象地域位置図

略 語 表

AAGR	Annual Average Growth Rate	年平均人口増加率
ADD	Agrarian Development Department	農業開発局
AGM	Assistant General Manager	次長
AIIB	Asian Infrastructure Investment Bank	アジアインフラ投資銀行
ARF	Area Reduction Factor	面積低減係数
ASD	Agrarian Service Department	農業サービス局
B/C	Cost-benefit Ratio	費用便益比率
BOQ	Bill of Quantity	数量表
BS	Balance Sheet	貸借対照表
CCaCDP	Colombo Capital City Development Plan	コロンボ都市圏開発計画
CCCDP	Colombo Commercial City Development Plan	コロンボ商業都市開発計画
CCD	Coast Conservation Department	海岸保護局
CEA	Central Environment Authority	中央環境庁
CEB	Ceylon Electricity Board	セイロン電気委員会
CMC	Colombo Municipal Council	コロンボ県委員会
COC	Certificate of Conformity	型式認証
DCS	Department of Census and Statistics	センサス統計局
D/D	Detail Design	詳細設計
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DGM	Deputy General Manager	副部長
DMC	Disaster Management Center	災害管理センター
DNP	Department of National Planning	国家計画局
DS	Divisional Secretariat	群事務所
DWLC	Department of Wildlife Conservation	野生保護局
EIRR	Economic Internal Rate of Return	経済的内部収益率
EPA	Environmental Protection Areas	環境保護地区
F/S	Feasibility Study	事業化調査
FD	Forest Department	森林局
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GIS	Geographical Information System	地理情報システム
GM	General Manager	部長
GOSL	Government of Sri Lanka	スリランカ政府
GZ	Gazette	官報
ID	Irrigation Department	灌漑局
IRR	Internal Rate of Return	内部収益率
IUCN	International Union for Conservation of Nature	国際自然保護連合

IWMI	International Water Management Institute	国際水管理研究所
JCC	Joint Coordination Committee	合同調整委員会
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
JICE	Japan Institute of Country-ology and Engineering	国土技術研究センター
LCGD	Land Commissioner General's Department	陸務局
LG	Local Government	地方自治体
LiDAR	Light Detection and Ranging	レーザー測距計
LKR	Sri Lanka Rupee	スリランカ・ルピー
LRT	Light Rail Transit	軽量軌道交通
LUPPD	Land Use Policy Planning Department	土地利用政策・計画局
M/P	Master Plan	マスタープラン（調査）
MC	Municipal Council	市自治体
MCUDP	Metro Colombo Urban Development Project	コロンボ都市開発プロジェクト
MMWD	Ministry of Megapolis and Western Development	メガポリス西部開発省
NAM	Nedbor Afstromnings Model	ナムモデル（タンクモデルの1種）
NBRO	National Building Research Organization	国家建築研究所
NWSDB	National Water Supply & Drainage Board	国家上下水道委員会
NWPS	National Wetland Policy and Strategy	国家湿原施策と戦略
PID	Provincial Irrigation Department	州灌漑局
PL	Profit and Loss Statement	損益計算書
Pre-F/S	Pre-Feasibility Study	概略事業化調査
PVC	Polyvinyl Chloride	ポリ塩化ビニル
RDA	Road Development Authority	道路開発庁
SD	Survey Department	調査局
SEA	Strategic Environmental Assessment	戦略的環境アセスメント
SLCDMP	Sri Lanka Comprehensive Disaster Management Programme	スリランカ総合災害管理プログラム
SLLDC	Sri Lanka Land Development Corporation	スリランカ土地開発公社
SLSC	Standard Least Squares Criterion	標準最小二乗規準
UC	Urban Council	都市自治体
UDA	Urban Development Authority	都市開発庁
WRMMP	THE MEGAPOLIS Western Region Master Plan	西部地域・メガポリスマスタープラン

要約

1 調査概要

1.1 調査の背景・経緯

スリランカは自然災害に対して脆弱である。2004年のスマトラ沖地震・津波を契機として、災害対策法の制定、国家防災委員会、灌漑・水資源・災害管理省、災害管理センターの設立など防災に取り組んできた。

2016年10月時点までの過去10年間の記録では、発生件数の最も多い災害は洪水であり、全体の約37%を占めている。発生件数のみならず、洪水は家屋被害の約47%、被災者数の約57%を占めており、最も被害の大きい災害種となっており、洪水対策はスリランカにおいて喫緊の課題となっている。2016年5月に発生した洪水では、Colombo都市圏においてもKelani Gangaの支川流域において本川からの逆流による氾濫、内水氾濫が発生し、総被害額572百万ドルに及ぶ経済被害が発生した。

Colombo都市圏は、大部分が海拔6m以下の低平地であることに加えて、開発事業のための埋立が進むにつれて遊水地として機能していた湿地帯の面積が減少し、内水氾濫が頻繁に発生しており、資産およびインフラ施設への被害を与えるのみならず、住民の衛生環境も悪化させている。我が国は、大コロンボ圏水辺環境改善事業（1992年L/A締結、1999年貸付完了）によって水路の改修、放水路開削、遊水地の整備を、同フェーズ(2)（1994年L/A締結、2001年貸付完了）および同フェーズ(3)

（1996年L/A締結、2005年貸付完了）によって地下排水管、地下排水溝、排水路、側溝の整備を支援し、更に、2003年には「コロンボ首都圏洪水対策計画調査」（以下、JICA2003 M/P）を実施し、Ja Ela 流域、Kalu Oya 流域、Greater Colombo 流域、Bolgoda 流域の4主要流域を対象とした洪水対策マスタープランを策定した。マスタープランを受けて、都市排水を所管するスリランカ土地開発公社（Sri Lanka Land Reclamation and Development Corporation、後に Sri Lanka Land Development Corporation に改名：以下、SLLDC）による一部の事業の実施や、事業化調査（以下、F/S）が行われているが、対策は不十分であり、更なる防災投資が必要となっている。

都市化および開発の進展により、2000年から2015年の間で、Greater Colombo 流域では人口が約1.5倍、Bolgoda 流域では約1.7倍に増加した。人口と資産の集中によって洪水発生時の被害リスクが増大する中、更に開発によって放水路や遊水地の候補地の確保も困難になっている。降雨パターン、開発状況（資産、人口の集中状況）、土地利用状況などの変化がある中で、都市排水・内水氾濫対策を進めるためにはマスタープランの更新が必要となっている。

以上の背景のもと、2016年5月に発生した洪水被害を踏まえた対策を進めるために、都市排水を所掌するSLLDC、その監督省庁であるメガポリス西部開発省（Ministry of Megapolis and Western Development：以下、MMWD）より、Ja Ela-Attangalu 流域、Kalu Oya 流域（Mudun Ela 流域を含む）、Greater Colombo 流域（Kolonnawa 地区、Madiwela 南放水路を含む）、Bolgoda 流域（Moratuwa-Rathmalana 地区を含む）を対象とした都市排水・内水氾濫対策の開発計画の策定および優先事業の事業化調査/計画策定を行う本プロジェクトが要請された。

1.2 調査目的

本事業は、スリランカ国 Colombo 都市圏の対象地域において、雨水排水計画を作成することにより、もって浸水被害リスクの軽減に寄与することを目的とする。本プロジェクト終了後に期待される成果は次のとおりである。

成果 1：Colombo 都市圏の対象地域における雨水排水計画が策定される。

成果 2：優先対策事業に対する Pre-F/S が実施される。

成果 3：プロジェクト活動を通じた雨水排水計画策定に係る技術移転が実施される。

1.3 調査工程

本検討は 2019 年 1 月から開始し、2023 年 3 月で終了した。

2 雨水排水計画調査

2.1 調査対象地域の概要

2.1.1 対象地域の地形

対象排水流域の大部分は海岸沿いの低平地である。北部には Muthurajawela 湿地が広がっており、南部には北 Bolgoda 湖と南 Bolgoda 湖がある。調査対象地域の地形は概ね低湿地とその周辺の低平地、および丘陵地に分類される。

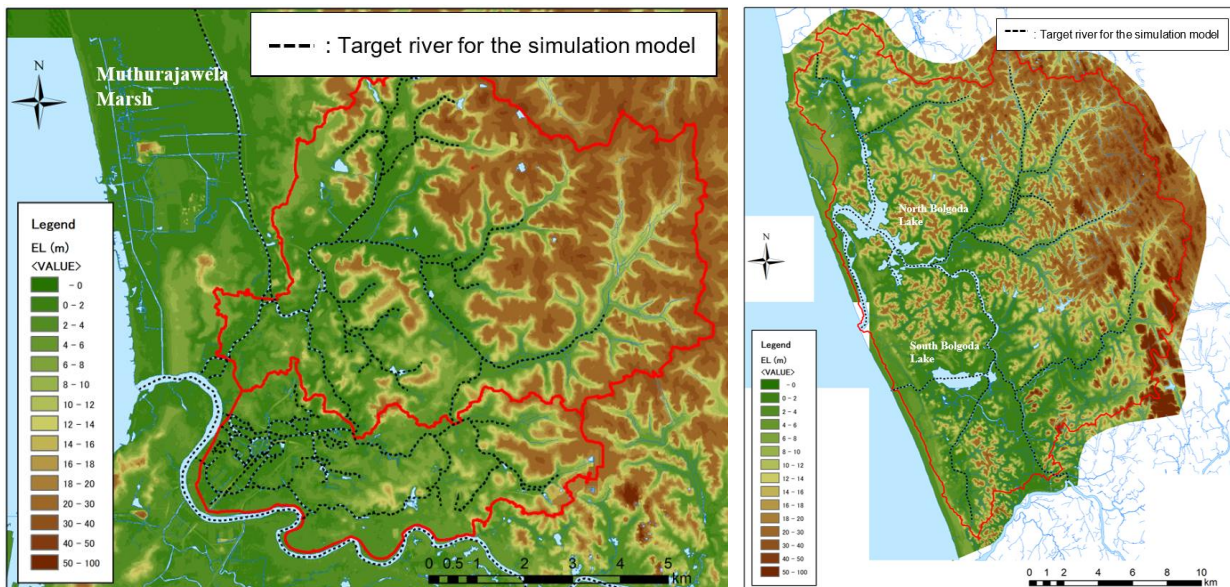


図 2.1 標高分布図

2.1.1.1 調査対象地域の土地利用

Wattala、Kelaniya、Mahara の各郡内を占める Mudun Ela 流域 (2,001ha) は、対象流域内で最も高い市街化率となっている。対象流域全域の 80% (6,078ha) が建物区域および人工的な空地等を含む市

街化地域であり、Kalu Oya 流域では 78% (4,336 ha)、Mudun Ela 流域では 84% (1,672 ha) が市街地となっている。Moratuwa-Rathmalana 地区を含む Bolgoda 流域は、10 の郡を含む Colombo 県 (42.6%) および 5 つの郡を含む Kalutara 県 (57.4%) の 2 県にまたがる地域で、その流域面積は 40,923 ha である。これら 15 の郡の中で最も市街化率の高い郡域は、Sri Jayawardenepura Kotte (市街化率 98.5%) で Dehiwala (94.9%) がこれに続く。

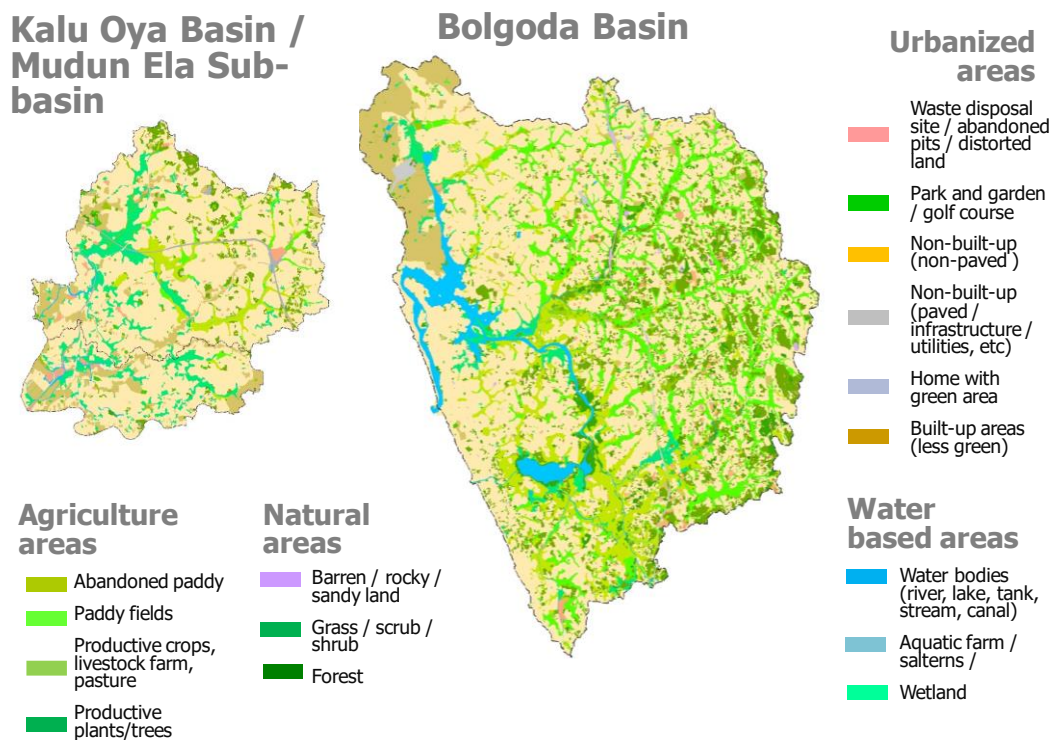


図 2.2 土地利用現況 (2018 年)

2.2 既往浸水被害

近年の Colombo 都市圏での浸水被害としては、2010 年、2016 年、2017 年が顕著であった。

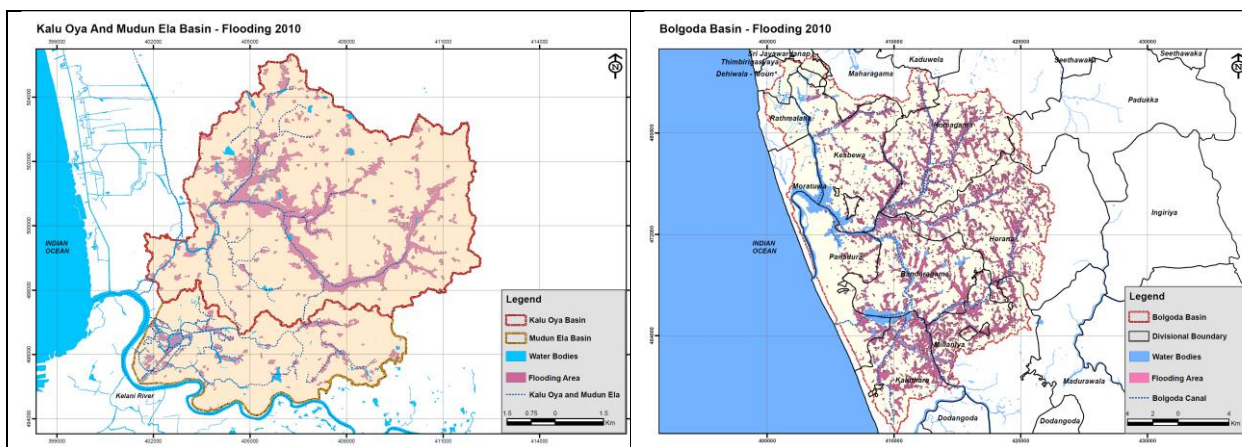


図 2.3 既往浸水エリア図 (2010 年)

2.3 既往調査において提案された雨水排水計画と実施事業

対象流域の雨水排水計画の長期計画を最初に取りまとめたのは、JICA 2003 M/P である。この計画は、Ja Ela、Kalu Oya、Greater Colombo、Bolgoda (Weras Ganga を含む) の4流域を対象としている。

これらの中で、Kalu Oya と Bolgoda の2流域が本調査の対象地域である。JICA 2003 M/P では、Bolgoda 流域内の小流域である Weras Ganga 流域 (流域面積: 56 km²) が優先プロジェクト区域として選定され、F/S が行われた (以下、JICA 2003 F/S)。また、Kalu Oya 流域では、2018年に「Consultancy Services for Feasibility Study on Storm Water Drainage and Environment Improvement Project for Kalu Oya Basin」 (以下、2018 F/S) が、スリランカの自国資金により実施された。

表 2.1 調査対象地域に関連する既往調査計画

Drainage Basin	Catchment Area (km ²)	Previous Studies	Remarks
Kalu Oya Basin	58	JICA 2003 M/P & 2018F/S	
Mudun Ela Sub-basin	16	(not included)	Independent Basin from Kalu Oya
Bolgoda Basin	394	JICA 2003 M/P	
Weras Ganga Sub-basin	56	JICA 2003 F/S	Uppermost Basin of Bolgoda

2.4 水文水理解析

2.4.1 水文水理解析モデル

解析モデルは、MIKE シリーズ (DHI 社) を使用した。このモデルは流出解析モデル、河道ネットワークモデル (洪水追跡モデル)、氾濫解析モデルでの3つのパートで構成される。JICA 2003 M/P においても流出解析モデルおよび河川ネットワークモデルにおいて MIKE シリーズが使用されている。

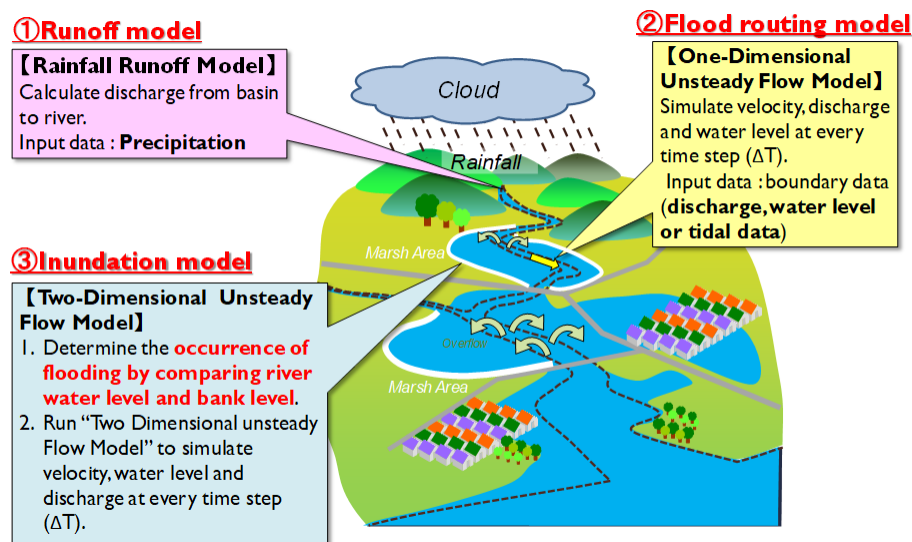


図 2.4 水文水理解析モデルの基本コンセプト

2.5 雨水排水計画検討

2.5.1 浸水リスクの軽減シナリオ

調査対象流域の中上流部では、谷底平野に広がる水田を含む湿地群が、洪水調節効果（遊水効果）を発揮している。しかし、下流部の河道の排水能力が低いことが下流低地の浸水リスクを高めているため、まず構造的対応で排水能力を高める必要がある。また、中上流部の水田・湿地の遊水機能を保全する方策としては、自然湿地公園および自然遊水機能の保全を提案する。水路改修等の構造物対策と湿地の保全等の非構造物対策によって浸水リスクを軽減させていく。

2.5.2 計画フレームの設定

長期計画における計画規模は、Kalu Oya 流域および Bolgoda 流域は本支川バランスおよび既存計画との整合を踏まえ 50 年確率、Mudun Ela は本支川バランス、流域の規模およびスリランカ内の他河川の計画規模設定を踏まえ 25 年確率とする。整備目標年次の 2030 年までの期間（における事業資金や施工可能量）を考慮し、SLLDC と協議の上、中期計画（2030 年）の計画規模は 25 年確率とした。

2.5.3 計画条件の設定

(1) 計画降雨波形

本調査では、2018 年の F/S 調査と同様に、Colombo 観測所および Rathmalana 観測所の降雨強度式を用いて中央集中型の確率規模別降雨波形を計画降雨波形とした。

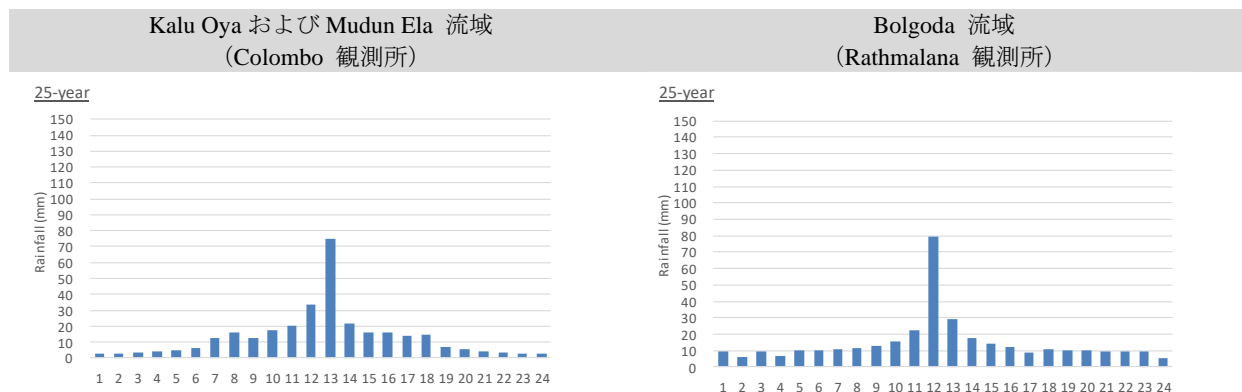


図 2.5 計画降雨ハイエトグラフ

(2) 計画高水位

計画高水位は、Kalu Oya（基準地点：Negombo-Colombo Road Bridge）で 1.53 m、Mudun Ela（基準地点：Candy Road Bridge）で 1.84 m、Bolgoda（基準地点：Weras Ganga 下流端 Kospalana Bridge）で 1.50 m とする。余裕高は 3 流域とも 0.50 m とした。

(3) 計画潮位

計画潮位には、SLLDC から提供された近年の潮位データを用いて算出された朔望平均満潮位（MSL+0.6 m）を採用した。

2.5.4 浸水解析及び浸水リスク評価

(1) 確率流量

Kalu Oya 流域の基準点での 25 年規模の確率流量は、約 305 m³/s、氾濫を考慮した流量は 72 m³/s であり、上流における氾濫貯留効果により大きく流量が低減している。同様に Mudun Ela 流域の基準点での 25 年規模の確率流量は 78 m³/s、氾濫を考慮した流量は、17 m³/s、Bolgoda 流域の基準点での 25 年規模の確率流量は、1,009 m³/s であり、氾濫を考慮した流量は 464 m³/s に低減する。氾濫域の多くは湿地帯であり、両流域ともに、対策検討において流域の湿地帯における氾濫貯留効果を考慮することは極めて重要である。

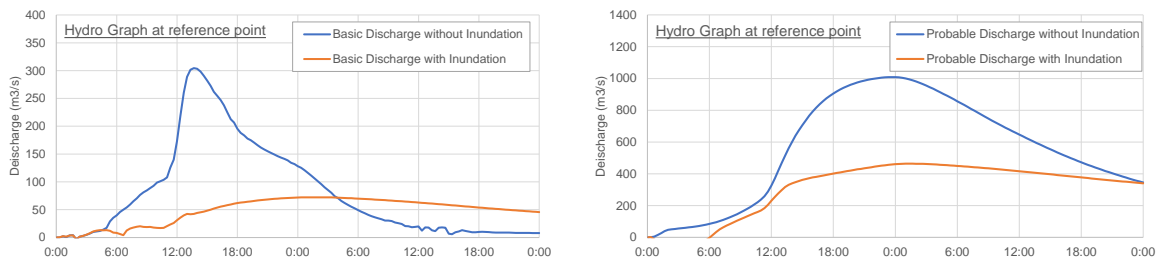


図 2.6 25 年確率流量ハイドログラフ (左 : Kalu Oya 流域、右 : Bolgoda 流域)

(2) 浸水リスク

想定される浸水区域と土地利用区域図を重ね合わせて土地利用別浸水面積を算定した。Bolgoda 流域における全体の想定浸水面積に対する居住地域の割合は、25 年確率で 19.7%であるが、資産が集中する Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域では、42.1%、65.8%と見積もられた。Mudun Ela 流域は最も浸水リスクが高く、早急な雨水排水対策の実施が求められる。一方で、Kalu Oya 流域および Bolgoda 流域については、浸水リスクが高いエリアが局所的に分布しており、ターゲットを絞った雨水排水対策が必要である。

表 2.2 土地利用別浸水想定面積と割合（現況河道）

Kalu Oya

Land Use	2-year		5-year		10-year		25-year	
	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio
Agricul Area	5.9	1.0%	7.0	0.9%	9.0	1.0%	13.2	1.1%
Lowland (Wetland)	407.9	66.7%	493.9	62.9%	548.4	59.8%	597.3	52.1%
Nature Area	2.0	0.3%	2.0	0.3%	2.0	0.2%	4.8	0.4%
Water Area	41.9	6.9%	46.1	5.9%	47.5	5.2%	49.4	4.3%
Settlement Area	153.9	25.2%	235.6	30.0%	310.1	33.8%	482.4	42.1%
Total	611.7	100.0%	784.7	100.0%	917.1	100.0%	1,147.1	100.0%

Mudun Ela

Land Use	2-year		5-year		10-year		25-year	
	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio
Agricul Area	0.6	0.2%	1.4	0.3%	2.4	0.5%	4.3	0.6%
Lowland (Wetland)	135.6	34.8%	158.5	35.4%	172.2	33.0%	191.0	27.7%
Nature Area	1.3	0.3%	2.3	0.5%	2.5	0.5%	2.6	0.4%
Water Area	30.6	7.8%	32.3	7.2%	34.8	6.7%	37.8	5.5%
Settlement Area	221.7	56.9%	253.1	56.6%	310.1	59.4%	454.2	65.8%
Total	389.8	100.0%	447.6	100.0%	522.0	100.0%	689.9	100.0%

Bolgoda

Land Use	2-year		5-year		10-year		25-year	
	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio
Agricul Area	316.3	10.0%	476.0	9.0%	544.4	8.4%	617.5	8.1%
Lowland (Wetland)	1,867.7	59.0%	3,213.7	60.7%	3,882.4	60.0%	4,435.8	58.3%
Nature Area	167.4	5.3%	279.6	5.3%	343.2	5.3%	404.0	5.3%
Water Area	427.4	13.5%	542.8	10.3%	606.0	9.4%	649.4	8.5%
Settlement Area	388.2	12.3%	782.1	14.8%	1,099.2	17.0%	1,499.2	19.7%
Total	3,167.0	100.0%	5,294.2	100.0%	6,475.2	100.0%	7,606.0	100.0%

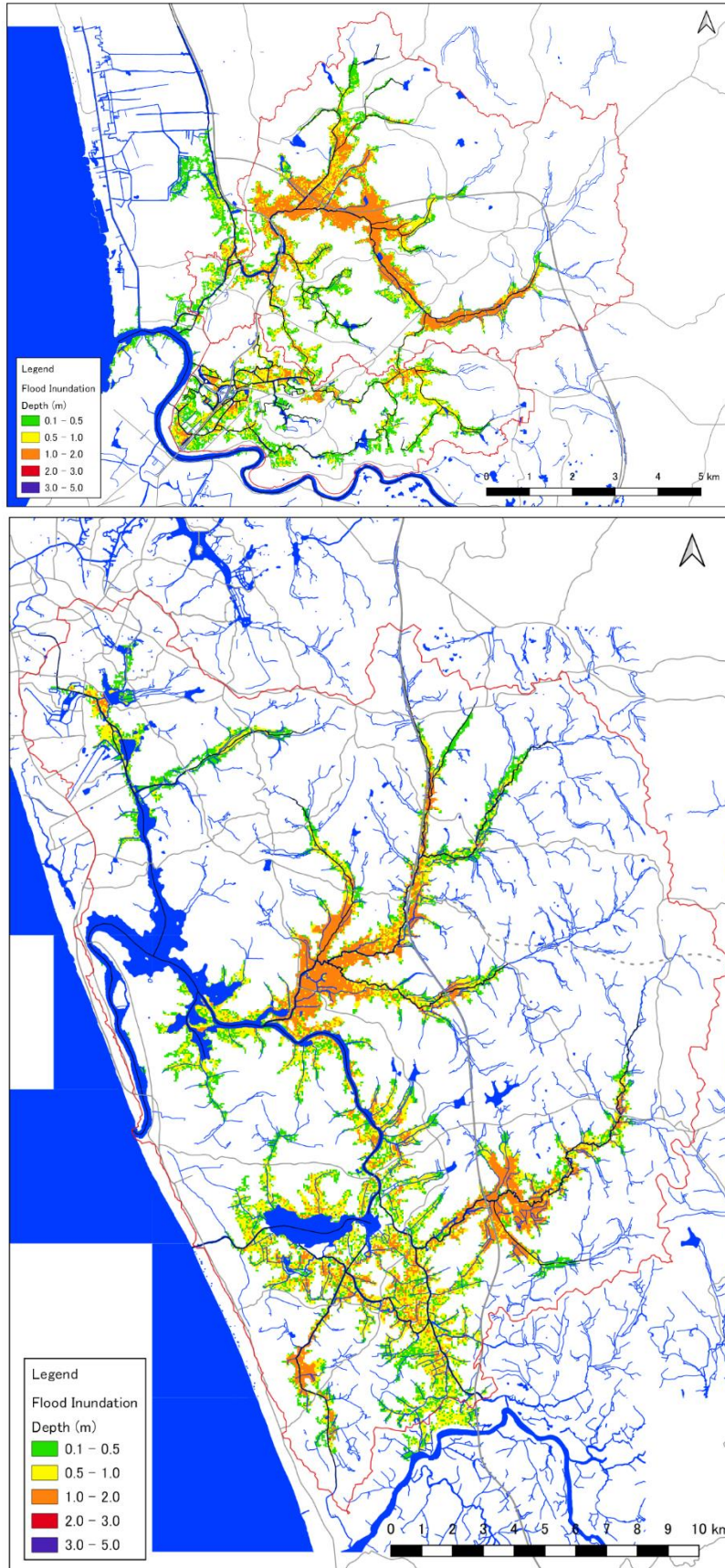


図 2.7 氾濫計算結果（上段：Kalu Oya 流域、下段：Bolgoda 流域）

2.5.5 雨水排水対策案（構造物対策）

(1) Kalu Oya 流域における対策案の立案

既往計画 JICA 2003 M/P および 2018F/S において提案された対策工を参考としながら本調査で検討する Kalu Oya 流域の対策案を設定した。

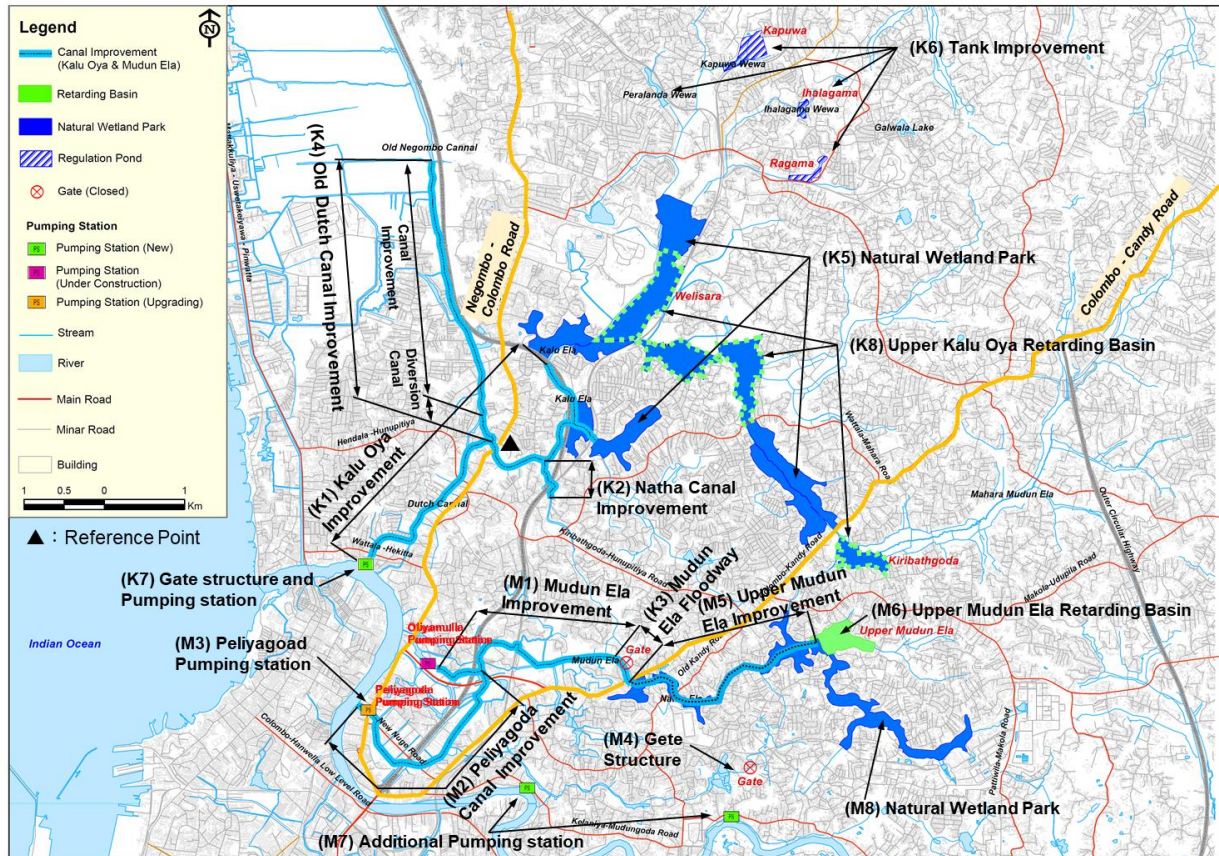


図 2.8 Kalu Oya および Mudun Ela 流域における雨水排水対策案

(2) Bolgoda 流域における対策案の立案

本 M/P では、2030 年に想定される土地利用と 25 年確率洪水の浸水シミュレーション結果をオーバーレイさせて、宅地・市街地と浸水区域が重複する個所を抽出し、特に対策が必要な箇所（洪水対策重点地区）について、水路の部分改修、周囲堤等の対策を提案した。

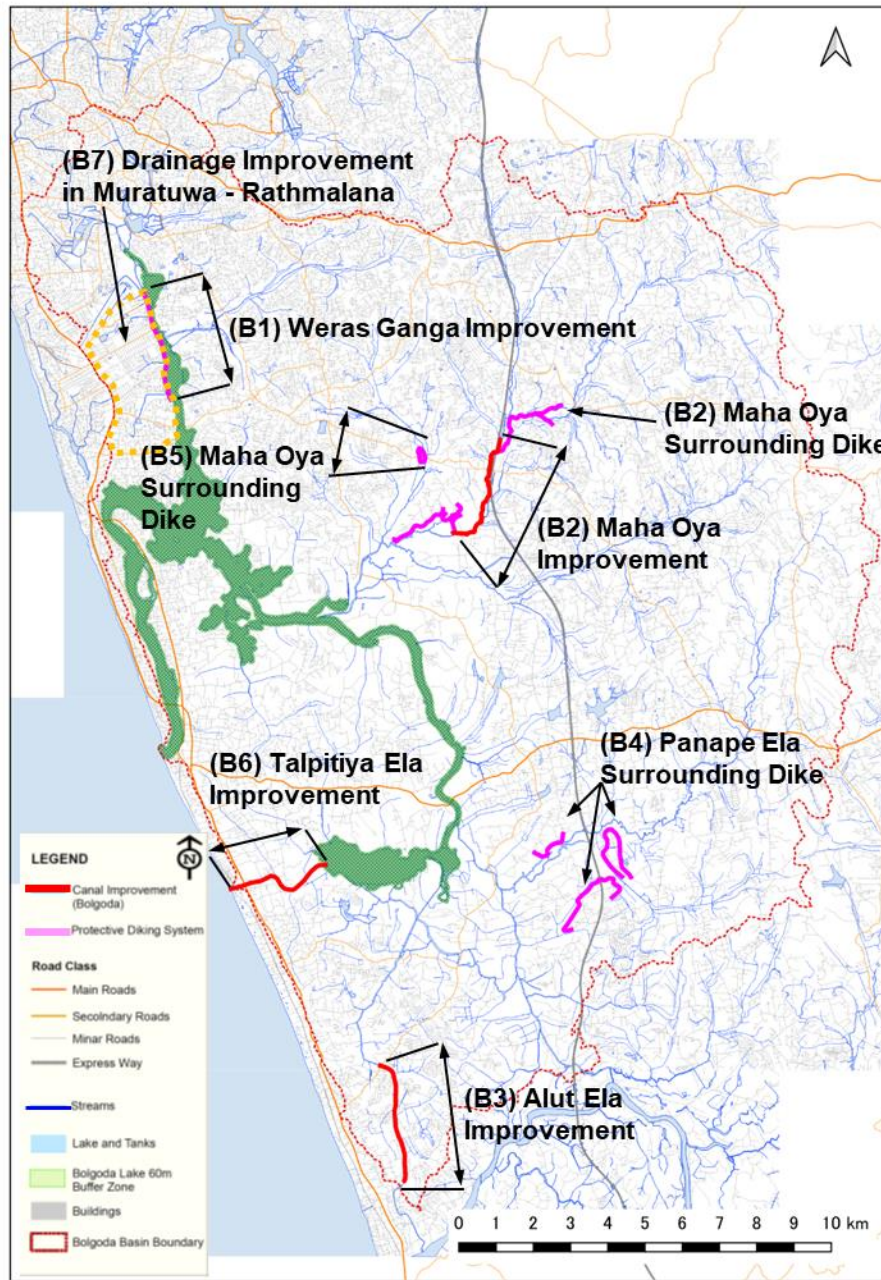


図 2.9 Bolgoda 流域における雨水排水対策案

2.5.6 雨水排水対策案（自然遊水機能の保全）

対象流域の雨水排水対策において農地や湿地の自然遊水機能の保全は不可欠であり、低湿地の遊水機能の維持と自然環境の保全を非構造対策として位置づけ、遊水機能を有する地域を“自然遊水エリア”として保全することを提案した。特に、Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域においては、遊水機能を有する既存の湿地・農地の将来的保全のため“自然湿地公園”として整備することを提案した。

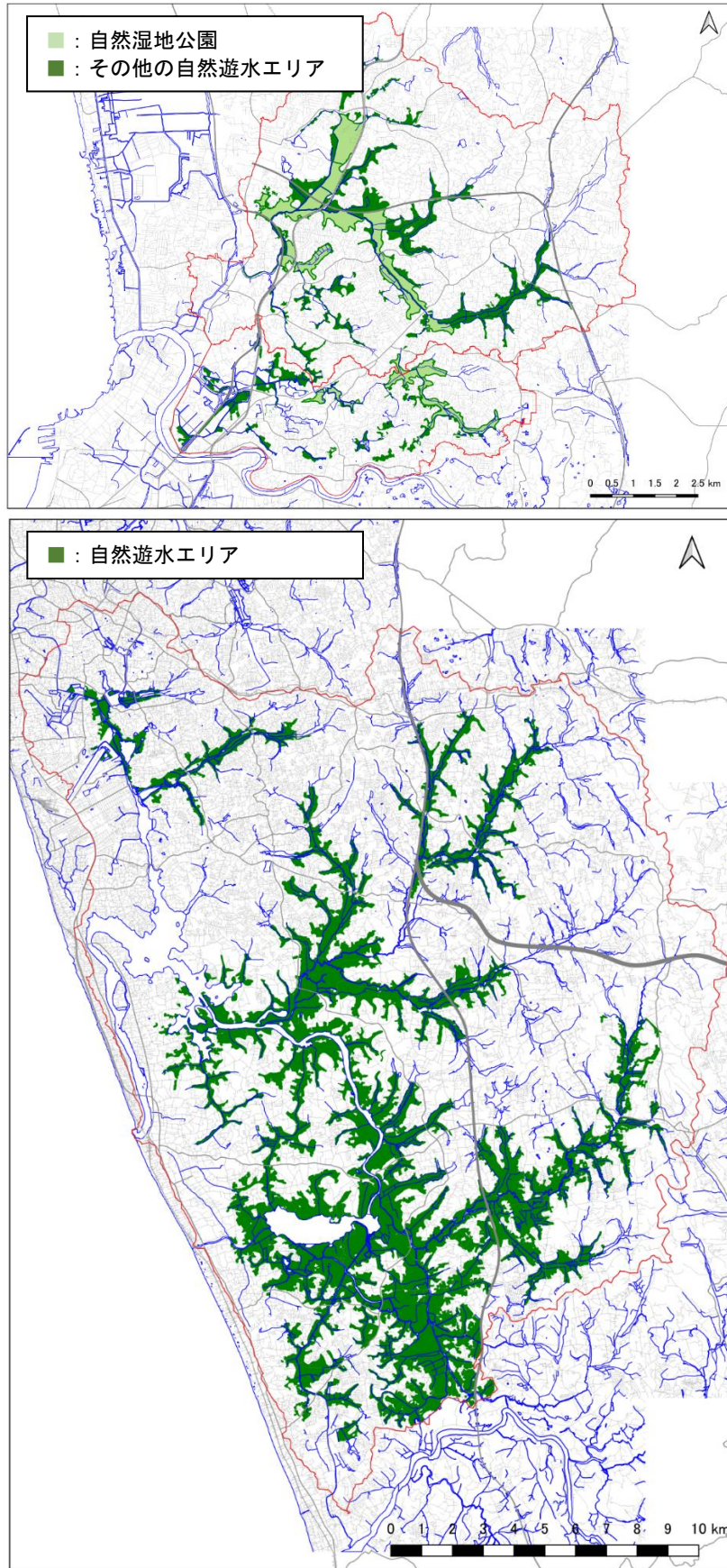


図 2.10 対象流域の自然湿地公園および自然遊水エリア（案）

2.5.7 雨水排水計画案（マスタープラン）

雨水排水計画案は、段階的に流域全体の治水安全度を50年確率まで向上させることを前提とした長期計画（全体計画）として提案する。実施可能性（建設費や施工可能量）を考慮するとともに、段階的に治水安全度を向上させるために適切な対策工の組合せ、実施手順を踏まえて、以下の通り整理した。なお、対策工のうち2030年までの整備期間で実施される対策工を中期計画として位置付け、Kalu Oya 流域および Bolgoda 流域は治水安全度25年確率の達成を目指す。

表 2.3 Kalu Oya 流域雨水排水計画案

整備水準	優先順位	対策工の概要
10年確率	1	Kalu Oya水路改修 [K1] 地 区： Kalu Oya本川 内 容： 水路改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備） ※河口処理方式（水門・ポンプ排水の自己流堤方式） 延 長： 約5.1 km その他： 道路橋梁架け替え5橋 概略建設費：約 4,811 百万ルピー
	2	Natha Canal水路改修 [K2] 地 区： Kalu Oya合流点より鉄道橋付近 内 容： 水路改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備） 延 長： 約0.5 km 概略建設費：約 177 百万ルピー
	3	Mudun Ela放水路 [K3] 地 区： Natha Canal上流部とMudun Ela交差点付近 内 容： 水路改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備）、既設連結ゲート撤去 Natha水路分岐個所への新規縮切り施設（縮切堤ないしゲート）の設置 延 長： 約0.3 km 概略建設費：約 284 百万ルピー
	4	自然湿地公園の整備 [K5] 地 区： 本川および支川中上流部の谷底平野に位置する湿地 内 容： 既存湿地の公園化による住居等侵入の防止（約0.5mの小堤で囲み、遊歩道の機能を持たせるとともに周辺住居の浸水防止を図る） 地点数： 6ヶ所（総面積：245.1ha、小堤総延長：28.8km） 概略建設費（小堤のみ）：約 1,266 百万ルピー（ビジターセンターの整備も含め、都市公園セクターの事業内容ととらえ本プロジェクトとしては計上しない。）
25年確率	5	Old Dutch Canal改修および放水路開削 [K4] 地 区： 放水路分派地点からNegombo湿地上流へ 内 容： Old Dutch Canalの改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備） 放水路開削（河道拡幅、浚渫、護岸整備） 延 長： Old Dutch Canal＝約5.0km、放水路＝約0.4km その他： 道路橋梁架け替え2橋 概略建設費：約 3,141 百万ルピー
50年確率	6	Kalu Oya河口の水門およびポンプ場整備 [K7] 地 区： Kalu Oya河口 内 容： 合流先のKelani Gangaの築堤事業に併せた、水門およびポンプ場整備 規 模： ポンプ容量＝約35m ³ /s、水門幅＝約30m 概略建設費：約3,434百万ルピー
	7	自然湿地公園の遊水地化整備 [K8] 地 区： Kalu Oya本川および1次支川沿い自然湿地公園 内 容： 自然湿地公園内の掘削成形、遊水地周囲堤および越流堤整備 地点数： 自然湿地公園4か所 概略建設費：約7,457百万ルピー
-	その他	ため池改修 [K6] 局地浸水対策のためのため池の改修3か所 概略建設費：約30百万ルピー

表 2.4 Mudun Ela 流域雨水排水計画案

整備水準	優先順位	対策工の概要
10年確率	1	Mudun Ela排水幹線水路改修 [M1] 地 区： Mudun Ela幹線水路 内 容： 水路改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備） 延 長： 約3.1km（Oliyamullaポンプ場からColombo-Kandy道路まで） その他： 道路橋梁架け替え2橋 概略建設費：約 954 百万ルピー
	2	Peliyagoda二次水路改修 [M2] 地 区： Peliyagodaポンプ場へ接続する水路 内 容： 水路改修（浚渫） 延 長： 約2.8km 概略建設費：約 7 百万ルピー
	3	Peliyagodaポンプ場の改修 [M3] 地 区： Peliyagodaポンプ場 内 容： 老朽化したポンプ施設の増強（排水能力0.5m ³ /sから1.0m ³ /s） 概略建設費：約 31 百万ルピー
	4	締切り施設（締切堤ないしゲート）の設置 [M4] 地 区： Peliyagodaポンプ場からの二次排水路の上流にある尾根部分 内 容： 締切りゲート設置（排水区域の分断と明確化） 概略建設費：約 25 百万ルピー
	5	自然湿地公園の整備 [M8] 地 区： 幹線および二次水路中上流部の谷底平野に位置する湿地 内 容： 既存湿地の公園化による住居等侵入の防止（約 0.5m の小堤で囲み、遊歩道の機能を持たせるとともに周辺住居の浸水防止を図る） 地点数： 7ヶ所（総面積=71.3ha、小堤総延長=16.9km） 概略建設費（小堤のみ）：約 743 百万ルピー（都市公園セクターの事業内容であり、本プロジェクトとしては計上しない。）
25年確率	6	Mudun Ela上流水路改修 [M5] 地 区： Mudun Ela 幹線水路のColombo-Kandy道路交差から上流区間 内 容： 水路改修（浚渫） 延 長： 約 3.0km（遊水地からの排水の自然流下を可能とするため、計画遊水地まで掘削） その他： 道路橋梁架け替え6橋 概略建設費：約 248 百万ルピー
	7	Mudun Ela上流の自然湿地公園の遊水地化整備 [M6] 地 区： 計画遊水地の建設 内 容： 自然湿地公園内の掘削成形、遊水地周囲堤および越流堤整備、流入水路部分改修（浚渫、護岸整備） 地点数： 自然湿地公園1か所 概略建設費：約 548 百万ルピー
-	その他	Pethiyagoda ポンプ場および Koholwilaポンプ場の新設と接続水路（Naranmini Oya/ Koholwila canal）の改修 [M7] 地 区： Naranmini Oya（Peliyagodaポンプ場上流の三次水路）に沿った浸水常習区域 内 容： 内水排除のためのポンプ施設の設置と接続水路の改修 地点数： 2カ所（Pethiyagoda Pumping Station: 15m ³ /s, Koholwila Pumping Station: 5m ³ /s） 概略建設費（SLLDC にて計画中）

表 2.5 Bolgoda 流域雨水排水計画案

整備水準	優先順位	対策工の概要
25年 確率	1	Weras Gangaの水路改修 [B1] 地 区： Moratuwa-Rathmalana地区 (Wearas Ganaga右岸) 内 容： 水路改修 (築堤) ※築堤によるMoratuwa-Rathmalana地区の浸水防御 延 長： 約3.0km 概略建設費：約 158 百万ルピー
	2	Panape Ela流域の居住地区の拠点防衛 [B4] 地 区： Panape Ela沿川の浸水常習地区 内 容： 居住地の拠点防衛のための周囲堤設置 延 長： 総延長6.7km (3か所) 概略建設費：約 367 百万ルピー
	3	Maha Oya流域の居住地区の拠点防衛 [B2] 地 区： Maha Oyaが高速道路と交錯している区間および居住地エリア 内 容： 水路改修 (築堤、浚渫)、居住地防衛のための周囲堤設置 延 長： 水路改修延長=4.0km、周囲堤=5.9km (4か所) その他： 道路橋梁架け替え2橋 概略建設費：約 3,403 百万ルピー
	4	Alut Ela流域の水路改修 [B3] 地 区： Alut Ela沿川の浸水常習地区 内 容： 水路改修 (築堤、浚渫、護岸整備) 延 長： 約3.4km その他： 道路橋梁架け替え4橋 概略建設費：約 2,836 百万ルピー
	5	Maha Oya支川上流の居住地区の拠点防衛 [B5] 地 区： Maha Oya支川が高速道路への接続道路と交差している区間および居住地エリア 内 容： 居住地防衛のための周囲堤設置 延 長： 周囲堤=1.0km (2か所) 概略建設費：約59百万ルピー
50年 確率	6	Weras Gangaの水路改修 [B1] 地 区： Moratuwa-Rathmalana地区 (Wearas Ganaga右岸) 内 容： 水路改修 (浚渫) 延 長： 約2.9km 概略建設費：約215百万ルピー
	7	Talpitiya Ela 水路改修および、堆砂箇所 (海岸) の開削 [B6] 【暫定】 地 区： 南ボルゴダ湖から海へ接続する水路であるTilpitiya Elaの改良と海岸閉塞箇所 内 容： 水路改修 (築堤、浚渫) と堆砂箇所の開削、河口処理によって、南ボルゴダ湖からの排水を促進させる 延 長： 水路改修延長=2.8km (本コンポーネントは暫定状態より概略建設費の算出は省略)
-	その他	Muratuwa-Rathmalana地区の排水システムの改良 [B7] 地 区： Muratuwa-Rathmalan 地区 内 容： Weras Ganga 築堤に伴う水門およびポンプ施設の設置、並びに接続1次水路の改修 延 長： 水路改修延長=約 4.0km その他： ゲート=2カ所、ポンプ施設=2か所 (概算費用は Pre-F/S にて算出する。)

2.5.8 雨水排水計画対策効果

(1) 対策効果 (Kalu Oya および Mudun Ela 流域)

洪水対策を実施した場合、Kalu Oya 流域全体では、25年確率で、影響家屋数が、約3,500戸から約800戸に減少する。Mudun Ela 流域全体では、4,600戸が2,200戸に減少する。

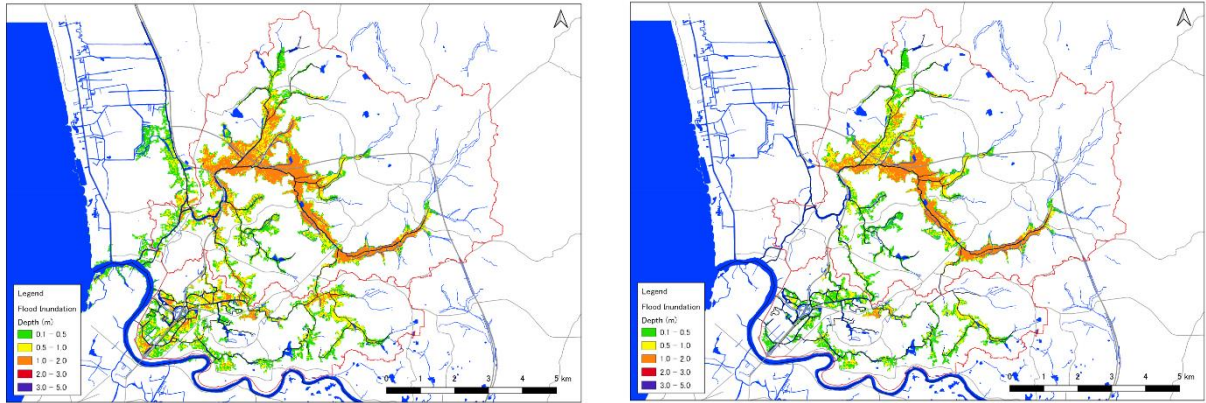


図 2.11 Kalu Oya 流域想定氾濫区域図 (25年確率、左：対策なし、右：対策あり)

(2) 対策効果 (Bolgoda 流域)

自然の遊水効果を維持し、対策工は重点箇所限定しているため、河道流量に大きな変化はないが、Bolgoda 流域の洪水対策を実施した場合、Bolgoda 流域全体では、25年確率で、影響家屋数が、約3,600戸から、約2,600戸に低減する。

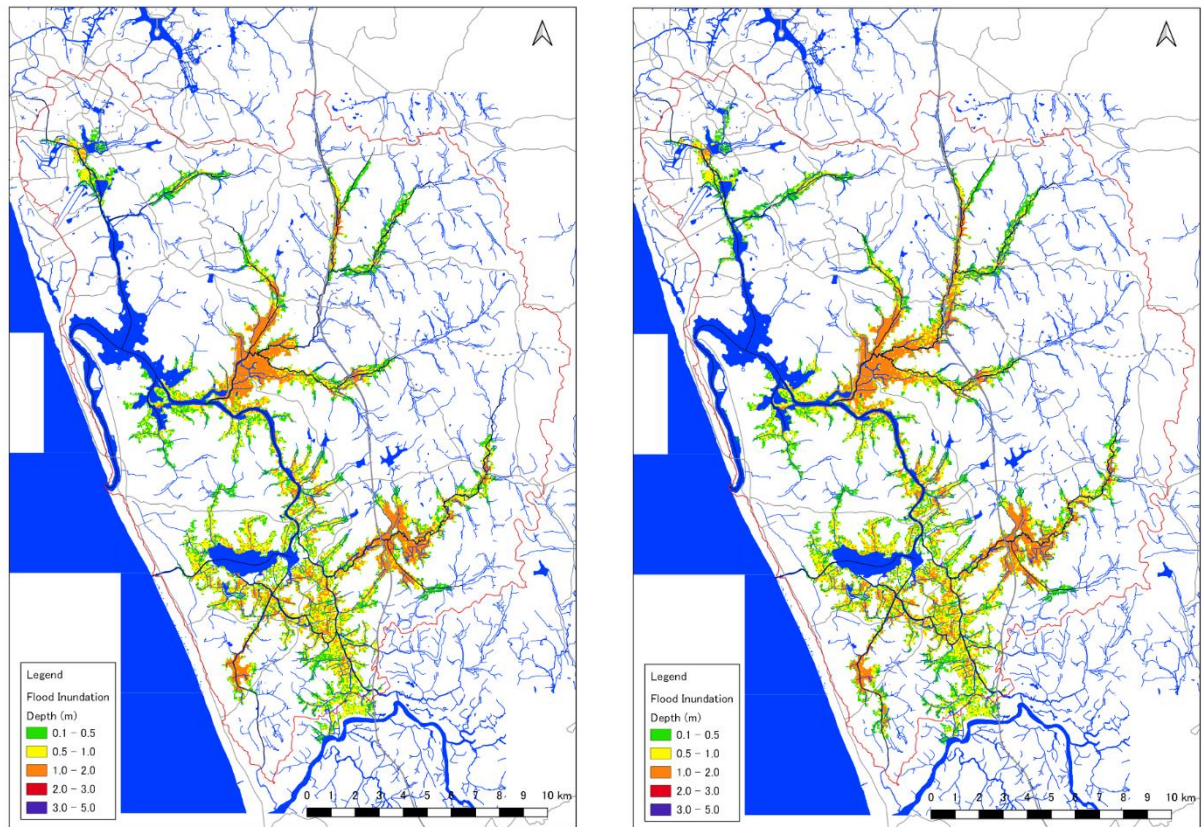


図 2.12 Bolgoda 流域想定氾濫区域図 (25年確率、左：対策なし、右：対策あり)

2.5.9 雨水排水対策案の概念設計

(1) 設計ガイドライン、マニュアルおよび基準

スリランカにおいては、構造物の設計手法や標準断面等を取りまとめた設計ガイドライン、マニュアル、または基準といったものは存在しないが、測量等の調査や施工に関する仕様を取りまとめた基準書は存在する。表 2.6 に、調査および施工に関する基準書を整理する。

表 2.6 スリランカと日本における調査、設計および施工に関する基準書

スリランカにおける参考図書・基準	日本における参考図書・基準
<ul style="list-style-type: none"> ・ Specifications for site investigation for building and civil engineering works (CIDA, January 2017) ・ Specifications for irrigation and land drainage works (CIDA, May 2013) ・ Specifications for water supply sewerage and storm water drainage works (CIDA, April 2002) ・ Specifications for bored and cast-in-situ reinforced concrete piles (CIDA, February 2016) ・ Standard specifications for construction and maintenance of roads and bridges (CIDA, June 2009) ・ Specifications for coastal and harbor engineering works (CIDA, June 2008) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 河川管理施設等構造令 ・ 河川砂防技術基準および同解説（調査編、計画編、設計編） ・ 河川堤防の構造検討の手引き ・ 護岸の力学設計法 ・ 美しい山河を守る災害復旧基本方針

出典：JICA 調査チーム

(2) 設計基準

次に示す設計基準に基づき、Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域および Bolgoda 流域における改修平面配置および横断面が提案された。各標準断面は本報告書本文中、または巻末に示す。

表 2.7 M/P の設計における設計基準

項目	Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域および Bolgoda 流域	Weras Ganga 右岸堤
余裕高 (m)	0.5	0.5
天端幅 (m)	4.0 (維持管理道路：3.0) 1.0 (狭窄部)	3.0 (維持管理道路：2.0)
法面勾配	1 to 0.5 (蛇籠護岸) 1 to 2.0 (緩斜面、芝張り保護) 鉛直 (鋼矢板護岸)	1 to 2.0 (緩斜面、芝張り保護)
小段	3m (法面が高さ 5m を超える場合)	(なし)

出典：JICA 調査チーム

(3) 雨水排水構造物概念設計

1) 堤防・護岸

護岸構造は、不動沈下にある程度追従できる構造、施工のしやすさ、業者の経験、経済性および維持管理のしやすさを考慮して、蛇籠護岸とした。

また、工場や建造物等が隣接する箇所では、取得用地幅を最小限にしつつ、護岸の安定性を確保するため鋼矢板護岸とする。

2) 周囲堤

Kalu Oya 上流部および Bolgoda 流域において提案する周囲堤は基本的に土堤とし、勾配が 1 : 2.0 の法面を芝張りで保護するものとする。堤防高より小段は不要とする。

3) ポンプ場

既存の Peliyagoda ポンプ場において、現在使用していないポンプ設置個所に新たに吐出力 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ のポンプおよび関連機器を設置するものとする。ポンプの型式は既存のものと同じ螺旋水車型の揚水ポンプとする。また、既存のポンプ（吐出力 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ ）は撤去せず運転は継続するが、老朽化が進んでいるため、更新後の Peliyagoda ポンプ場の総吐出力は安全側に $1.0\text{m}^3/\text{s}$ とみなす。



出典：JICA 調査チーム

図 2.13 Peliyagoda ポンプ場の現況と新規ポンプ設置計画箇所

4) 締切施設

Naranmini Oya および Natha Canal において、水門を設置する。河道形状を踏まえ表 2.8 に示す諸元のゲートを設置するものとする。

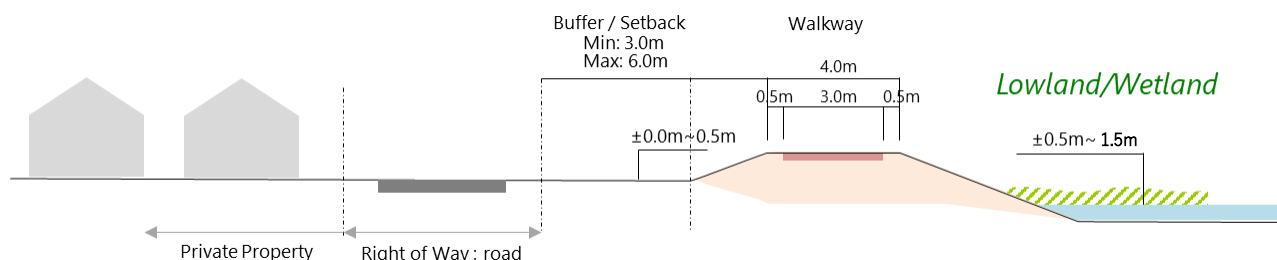
表 2.8 ゲート諸元

No.	水路名	水門型式	諸元
1	Naranmini Oya	スルースゲート	H = 1.5 m W = 2 m x 4 門
2	Natha Canal	スルースゲート	H = 1.5m W = 2.5 m x 4 門

出典：JICA 調査チーム

5) 自然湿地公園

自然湿地公園が現在持つ環境および遊水効果を維持するため、基幹施設の歩道整備・小堤およびビジターセンターの整備を行うものとする。小堤は基本的に土堤とし、勾配が 1:2.0 の法面を芝張りで保護するものとする。堤防高は約 0.5 m とする。



出典：JICA 調査チーム

図 2.14 遊水地区の保全のための自然湿地公園の遊歩道の整備イメージ（案）

6) 計画遊水地

対象とする既存の自然湿地において、浚渫、歩道・小堤、河道沿いの堤防の整備、越流堤を整備し、計画遊水地として活用する。小堤は基本的に土堤とし、勾配が1:2.0の法面を芝張りで保護するものとする。堤防高は0.5 m から 2.0 m とする。

また、各遊水地の上流端に横越流堤を設置し、下流端にはゲートを設置するものとする。貯水容量の余裕分は、河川砂防技術基準を参考に 15%程度とする。

(4) 全体工程

図 2.15 に、雨水排水対策案の全体工程を示す。

No.	Work Item	対象 確率年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	FS -Mudun Ela sub-basin improvement (1)	10 年	■							
2	DD -Mudun Ela sub-basin improvement (1)		■							
3	Construction -Mudun Ela sub-basin improvement (1)		■							
4	FS -Weras Ganga Right Bank Dike	25 年	■							
5	DD -Weras Ganga Right Bank Dike		■							
6	Construction -Weras Ganga Right Bank Dike		■							
7*	FS -Moratuwa-Rathmalana area improvement*	Pre-F/S で検討	■							
8*	DD -Moratuwa-Rathmalana area improvement*		■							
9*	Construction -Moratuwa-Rathmalana area improvement		■							
10	FS -Kalu Oya basin improvement	25 年		■						
11	DD -Kalu Oya basin improvement				■					
12	Construction -Kalu Oya basin improvement					■				
13	FS -Mudun Ela sub-basin improvement (2)				■					
14	DD -Mudun Ela sub-basin improvement (2)					■				
15	Construction -Mudun Ela sub-basin improvement (2)					■				
16	FS - Bolgoda basin improvement (the others)				■					
17	DD - Bolgoda basin improvement (the others)					■				
18	Construction -Bolgoda basin improvement (the others)					■				

出典：JICA 調査チーム

図 2.15 全体行程表

(5) 概略積算

1) 積算時点

本検討においては、2022年12月時点での積算とする。ただし、近年の経済危機による物価変動は一時的なものだと考えられるため、近年のスリランカ・ルピーに関する交換レートや物価上昇の変動は取り込まないものとした。具体的には、2019年11月11日から2020年2月10日までの平均値をもとに交換レートを設定し、この期間以降の物価上昇は考慮しないものとした。

2) 概略事業費

概略事業費を表 2.9 および表 2.10 に示す。

表 2.9 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の概略事業費

(百万ルピー)

項目	Kalu Oya 流域			Mudun Ela 流域		
	F.C.	L.C.	計	F.C.	L.C.	計
建設費	5,576	2,554	8,130	1,116	980	2,096
コンサルタント経費	335	153	488	67	41	108
用地費および補償費	0	3,453	3,453	0	1,587	1,587
事務費	0	227	227	0	59	59
物理的予備費	591	753	1,344	118	292	410
価格予備費	0	1,372	1,372	0	312	312
税金	0	1,700	1,700	0	439	439
合計	6,502	10,212	16,714	1,302	3,709	5,011

出典：JICA 調査チーム

表 2.10 Bolgoda 流域および全流域の概略事業費

(百万ルピー)

項目	Bolgoda 流域			合計		
	F.C.	L.C.	計	F.C.	L.C.	計
建設費	2,010	4,185	6,195	8,703	7,718	16,421
コンサルタント経費	121	251	372	522	445	967
用地費および補償費	0	2,628	2,628	0	7,668	7,668
事務費	0	237	237	0	523	523
物理的予備費	213	832	1,045	922	1,877	2,799
価格予備費	0	1,594	1,594	0	3,278	3,278
税金	0	1,288	1,288	0	3,427	3,427
合計	2,344	11,015	13,359	10,147	24,936	35,083

出典：JICA 調査チーム

2.6 環境社会配慮

Kalu Oya および Bolgoda 流域を対象とした M/P の検討結果および環境アセスメント（以下、SEA）の分析報告に関し、計四回のステークホルダー協議を実施した。SEA は、M/P の実施により、洪水および雨水排水にかかる課題の多くが解決されると結論付けた。M/P 実施にともなう環境社会影響を緩和するため、また、M/P の正の効果を最大化するために検討すべき事項について、SEA では以下の通り提言を行った。

表 2.11 M/P 実施に関する SEA の提言

	流域	回答および対応方針
1	Kalu Oya	公園や流水地を設ける際には、その周囲で局所的な洪水が発生しないよう、既存の排水メカニズムに十分に配慮する。
2	共通	運河改修のため、植生伐採を行う前に、その規模を推定し、どのように処分ないし管理するのかを検討する。
3	共通	運河改修の際に伐採される植生の多くは侵入種である。侵入種が既存生態系に与える影響を最小化するため、上記の植生伐採を行う際には、バイオマス管理計画を策定する。

	流域	回答および対応方針
4	共通	浚渫を行う場所では、沈殿物のサンプルを取得し、重金属などによる汚染の有無を確認する。万が一汚染されている場合は、周辺環境に影響を与えないような形で処理を行う。
5	共通	浚渫量は事前に推定し、その分量に応じて、適切な一時的な保管場所や最終処分場を確保する。
6	共通	運搬時に浚渫土が道路に流出しないよう、搬送前には浚渫土を可能な限り乾燥させる。また、最終処分場への搬送ルートは事前に計画し、トラックの荷台にカバーをかけるなどの配慮を行う。
7	Bolgoda 流域	浚渫土は、粘土採掘場の穴を埋めることに利用可能である。浚渫を実施する前に、浚渫土の利用計画を策定する。
8	共通	伐採した植生の復元を行う際には、在来種を利用する。適切な在来種を選定するために、専門家の知見を活用する。
9	共通	湿地帯を横断するアクセス道路の建設は、可能な限り最小化する。
10	Bolgoda 流域	保護区の境界を明示し、将来の違法開発を防止する。
11	Kalu Oya	公園や流水地の境界を明示し、将来の違法開発を防止する。
12	Bolgoda 流域	自然環境が再生されたエリアは、現地コミュニティの生計手段となるよう、レクリエーション活動などに活用する。
13	共通	工事による短期的な影響を緩和するため、周辺住民に配慮し、適切な手法で工事を行う。また、地域社会や経済への影響を最小化するように工事を実施する。
14	共通	土壌侵食を防止するため、堤防は緑化する。緑化の際には、在来種を活用する。
15	共通	非自発的住民移転が避けられない場合には、適切な補償を行う。
16	共通	M/P の内容について、ステークホルダー、特に地域住民に周知し、理解と支持を得る。

出典：JICA 調査チーム

2.7 予備的経済評価

推定された経済的便益と費用を用いて各流域の事業に関して予備的に経済的内部収益率（以下、EIRR）および費用対効果（以下、B/C）、正味現在価値（以下、NPV）を計算した。その結果を表 2.12 に示す。

表 2.12 各流域における事業の EIRR 等

流域	EIRR	B/C	NPV (百万 Rs.)
Kalu Oya	12.22%	1.02	134
Mudun Ela	53.79%	7.22	17,684
Bolgoda	20.72%	1.76	4,648

出典：JICA 調査団

シャドウ割引率として 12%を採用しているため、すべての事業において実現可能であると評価される。なお、Mudun Ela における事業の EIRR が約 50%と高めであるが、同流域における Oliyamulla ポンプ場整備による効果を含むためであり、この事業費を考慮に入れると EIRR は約 30%となる。

3 プレ・フィージビリティ調査

3.1 調査準備

プレ・フィージビリティ調査（以下、Pre-F/S）の準備として、M/P 調査で使用した地表標高データに加えて、SLLDC が 2020 年および 2021 年に調査した Moratuwa-Rathmalana 地区の排水路断面データ等を使用した。さらに地盤状況を把握する事を目的に、ボーリング調査、原位置試験および実験室試験から成る地質調査を再委託により実施した。

3.2 水文水理解析（浸水解析）

3.2.1 優先プロジェクト（Mudun Ela 流域）

(1) Mudun Ela の法線計画と横断形の設定方針

Mudun Ela の河道計画は、①現在の河道幅、②高速道路などの主要構造物、③将来の土地利用を考慮して、5つのセクション（S1～S5）に分けて検討した。M/P 調査における水理計算に基づき計画河道幅は S1～S4 で約 20m、S5 で約 15m とした。下図に示す2つのルート of 代替案比較を行い、ショートカット案を採用することとした。

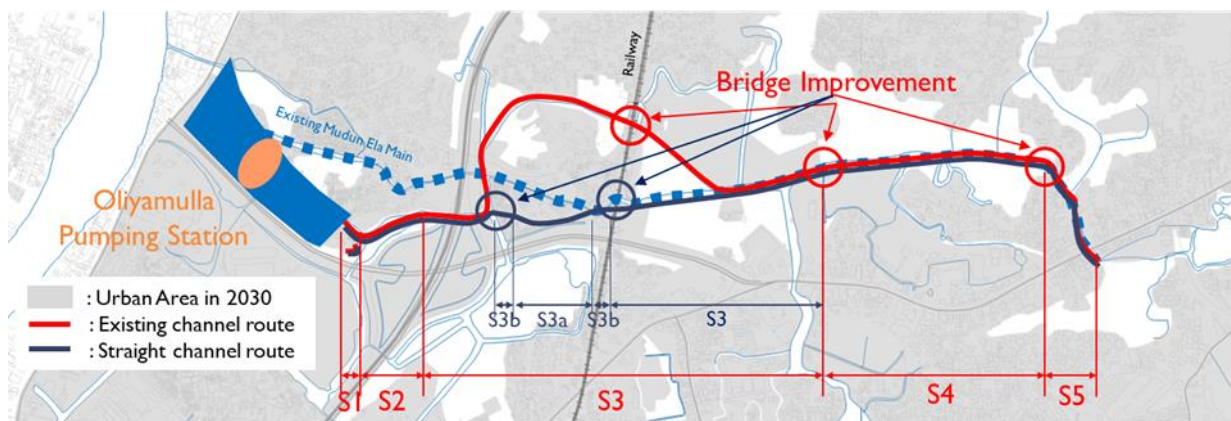


図 3.1 法線計画と横断セクション位置

(2) 浸水解析

M/P 調査で構築した氾濫シミュレーションモデルを用いて、Pre-F/S 対象事業（優先事業）による浸水低減効果を検証した。優先事業は当面の対策事業として 10 年確率規模の治水安全度を確保する。想定される浸水区域は大幅に低減し、特に、将来の都市開発が見込まれている Colombo-Candy 道路以北において大きな効果があることが確認できた。

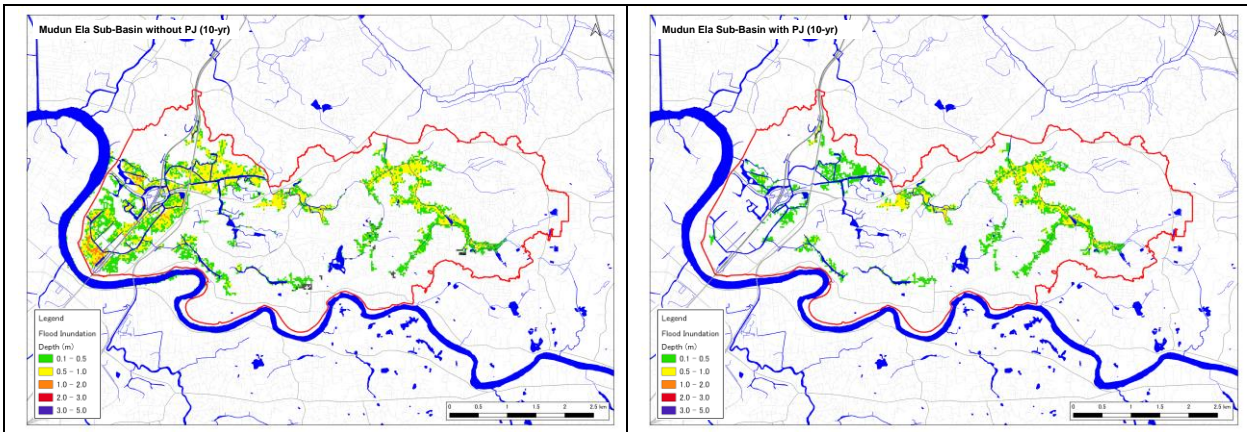


図 3.2 想定氾濫区域図（左：対策なし、右：対策あり）

3.2.2 優先プロジェクト (Bolgoda 流域)

Pre-F/S 対象の優先プロジェクトとしては、Moratuwa-Rathmalana 地区における Weras Ganga からの溢水氾濫による浸水を防御するための対策として、Weras Ganga 右岸への築堤を提案した。Moratuwa-Rathmalana 地区において 25 年確率で想定される浸水区域は大幅に低減し、右岸堤の水理的な効果は極めて大きいことが示された。

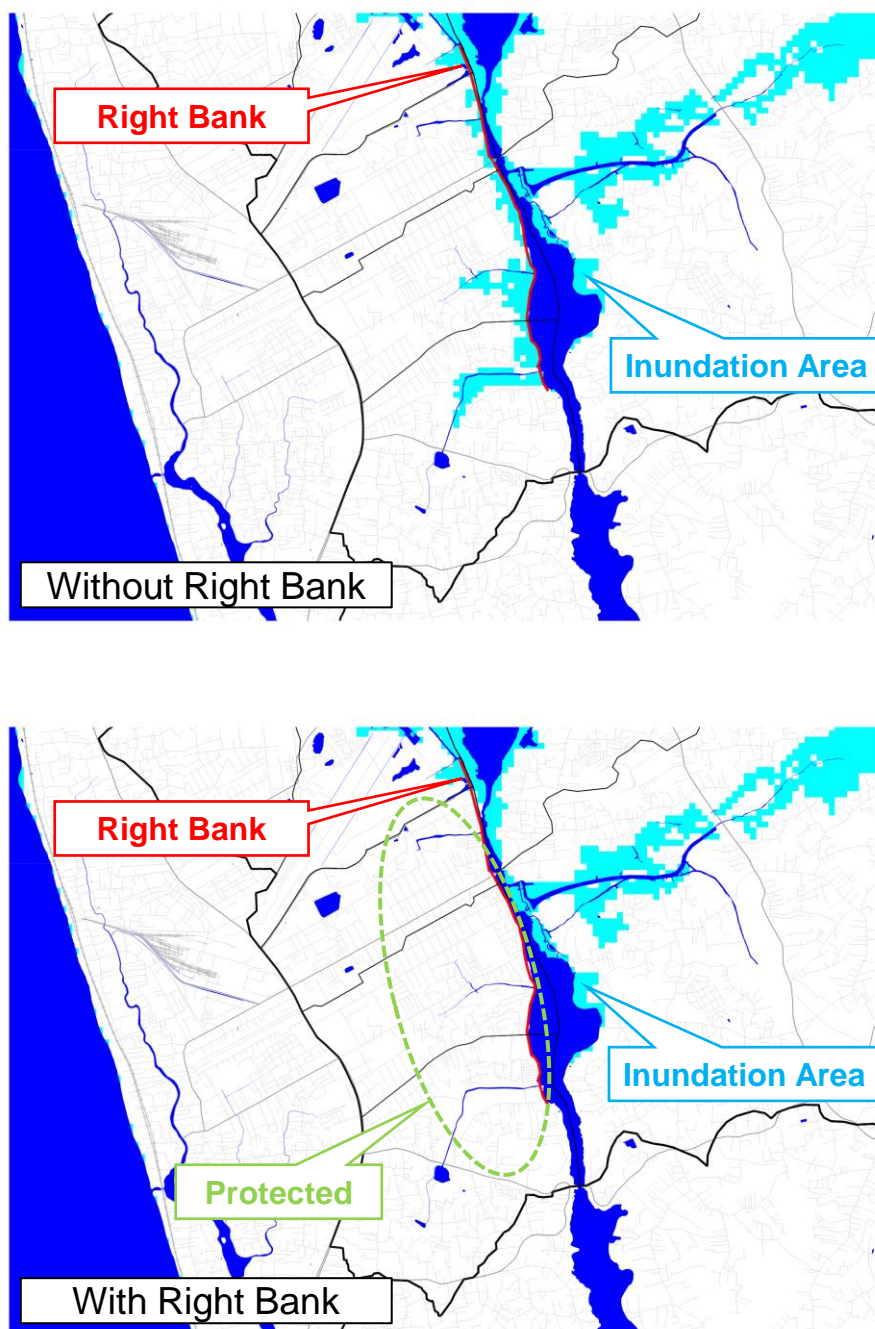


図 3.3 想定氾濫区域図（上段：対策なし、下段：対策あり）

3.2.3 優先プロジェクト (Moratuwa-Rathmalana 地区)

(1) 対象地区

対象の Moratuwa-Rathmalana 地区は、Bolgoda 流域の一支川である Weras Ganga 右岸側に位置する。同地域には 3 つの主要水路が存在しており、その主要排水路の集水域をそれぞれ Zone A、Zone B、Zone C と設定した。設定された排水区ごとに水位シミュレーションおよび浸水リスクを評価する氾濫シミュレーションモデルを構築し、計画流量を算出するとともに、排水路諸元を決定した。

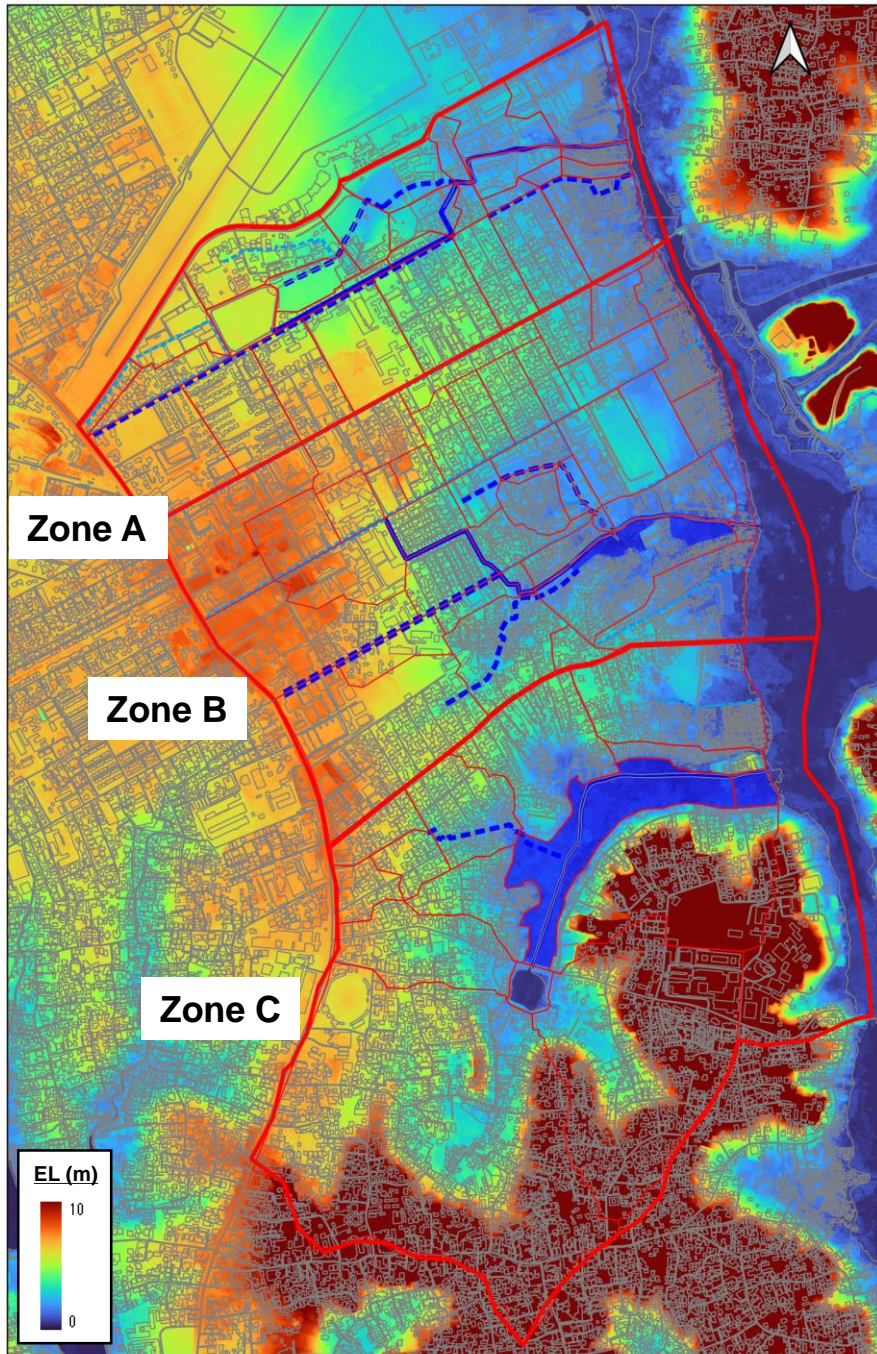


図 3.4 Moratuwa—Rathmalana 地区排水区域図

(2) 計画規模

近隣流域の計画規模、過去の検討結果(JICA 2003M/P)を参考とすると、対象地区の計画規模は、2年～10年程度に設定するのが適切である。よって、対象地区の計画規模は、複数の確率規模における浸水リスクとそれを防御するために想定される施設規模を概算するとともに、それぞれの社会的影響等を勘案して計画規模を決定した。最終的に SLLDC と協議の上、幹線水路を 10 年確率、2 次水路を 5 年確率で整備する方針とした。

(3) 浸水解析

水理解析モデルを用いて、計画規模に基づく流量を算出し、等流計算によって水路諸元を設定するとともに、氾濫解析モデルを用いた氾濫解析を行った。水路改修による浸水リスクの低減効果を以下に示す。

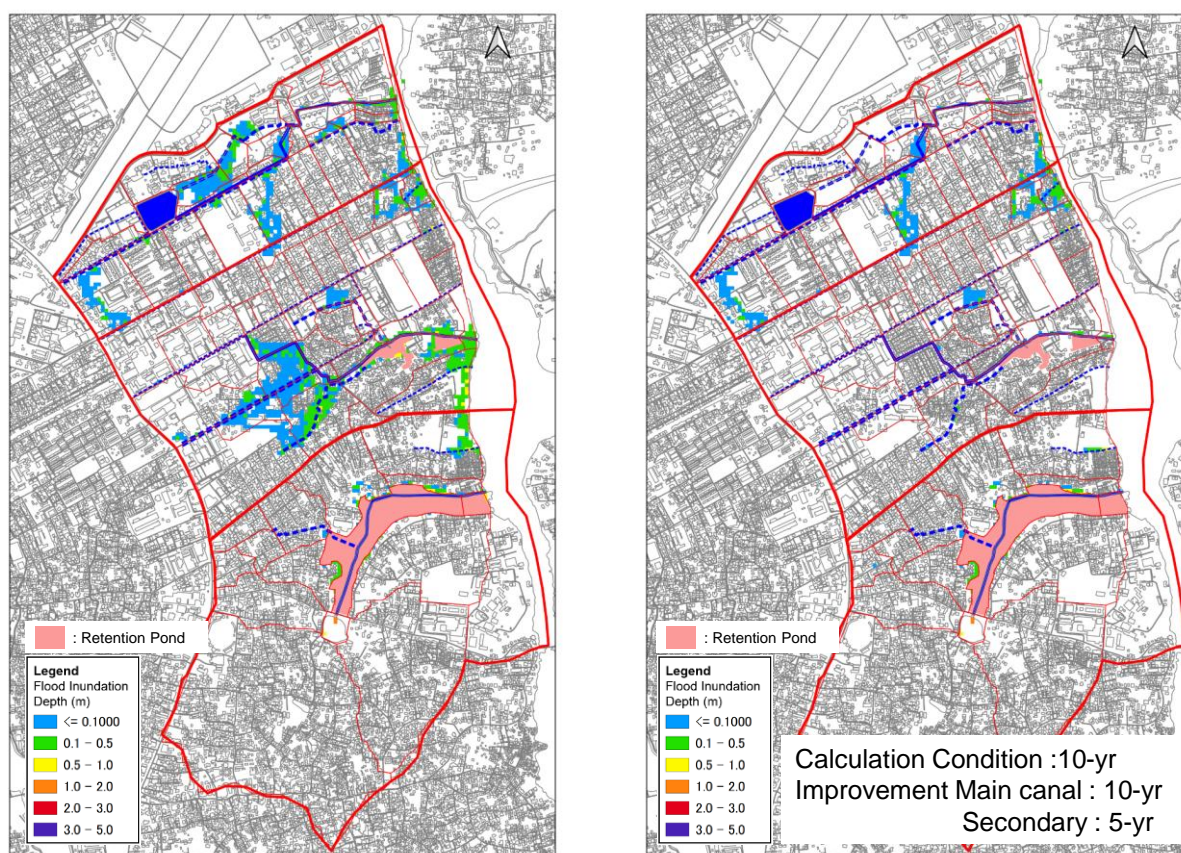


図 3.5 排水路改修による浸水低減効果（左：改修なし、右：改修あり）

3.3 予備設計

3.3.1 堤防・護岸

表 3.1 に示す設計基準に基づき、Mudun Ela 流域、Weras Ganga 右岸堤および Moratuwa-Rathmalana 地区における改修平面配置および横断面が提案された。各標準断面は本報告書本文中、または巻末に示す。

表 3.1 Pre-F/S の設計における設計基準

項目	Mudun Ela 流域	Weras Ganga 右岸堤	Moratuwa-Rathmalana 地区
余裕高 (m)	0.5	0.5	0.0
天端幅 (m)	4.0 (維持管理道路 : 3.0) 1.0 (狭窄部)	3.0 (維持管理道路 : 2.0)	3.0 (維持管理道路 : 2.0)
法面勾配	1 to 0.5 (蛇籠護岸) 1 to 2.0 (緩斜面、芝張り保護) 鉛直 (鋼矢板護岸)	1 to 2.0 (緩斜面、芝張り保護)	1 to 2.0 (緩斜面、芝張り保護)

出典 : JICA 調査チーム

3.3.2 ポンプ場

M/P と同様、既存の Peliyagoda ポンプ場において、現在使用していないポンプ設置個所に新たに吐出量 1.0m³/s のポンプおよび関連機器を設置するものとする。ポンプの型式は既存のものと同じ螺旋水車型の揚水ポンプとする。また、既存のポンプ (吐出量 0.5m³/s) は撤去せず運転は継続するが、老朽化が進んでいるため、更新後の Peliyagoda ポンプ場の総吐出量は安全側に 1.0m³/s とみなす。

3.3.3 締切施設

Naranmini Oya および Natha Canal において、水門を設置する。河道形状を踏まえ表 3.2 に示す諸元のゲートを設置するものとする。

表 3.2 ゲート諸元

No.	水路	ゲート形式	仕様
1	Naranmini Oya	Slide gate	H = 1.1 m W = 1.7 m x 2 gates
2	Natha Canal	Slide gate	H = 1.5 m W = 2.5 m x 4 gates

出典 : JICA 調査チーム

3.4 調達・施工計画

3.4.1 施工計画の条件と施工計画

(1) 気象条件

Colombo、Rathmalana 地区の月間平均降水量を表 3.3 に示す。

表 3.3 月間平均降水量 (mm)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
CMB	78	98	128	261	315	179	72	107	258	369	316	193	2,374
RTN	53	65	131	230	331	208	63	103	262	448	323	206	2,424

注 CMB : Colombo、RTN : Rathmalana

出典 : コロンボ気象観測所

(2) 施工可能日数

年間の施工可能日数を、2011 年～2018 年におけるスリランカ国における日曜日・祝日および対象地における降雨記録に基づく気象条件から表 3.5 のように設定した。

表 3.4 10mm/日以上の降雨日数 (日)

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
2	3	4	7	8	6	2	3	7	9	9	5	65

出典：JICA 調査チーム

表 3.5 施工可能日数 (日)

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
23	19	23	19	20	22	24	24	21	20	20	22	21

出典：JICA 調査チーム

3.4.2 施工方法

(1) Mudun Ela 流域

Mudun Ela 流域の水路の法面保護工は、次表に示す3種の断面がある。それぞれの施工手順を示す。

鋼矢板護岸：鋼矢板による法面保護。施工は、河川内の台船による方法、或いは河岸側に十分な施工用地がある場合は河岸側からが可能である。台船が不可能な場合は、河川半分を一旦埋め立て、施工用地を確保する。

蛇籠護岸：左岸、右岸ともに蛇籠による法面保護。蛇籠は、一定区間を土嚢、あるいは鋼矢板で仮締切りの後設置する。

盛土堤防：法面勾配を 1:2.0 とし建設用地が比較的確保できるセクションで採用する。

(2) Weras Ganga 右岸堤

Weras Ganga 右岸堤は小規模な盛土構造であり Mudun Ela 流域での盛土堤防と同様の施工方法となる。

(3) Moratuwa-Rathmalana 地区

Moratuwa-Rathmalana 流域の水路は基本的に U 字側溝とし、開削して施工するものとする。水路幅が広いものは上記 Mudun Ela 流域と同様の法面保護を実施する。ただし、Moratuna-Rathmalana 流域では、水路の両側が家屋や建屋で囲まれている箇所があるため、一部狭窄部での施工方法を検討した。用地が非常に限定される箇所は鋼矢板による土留めによりプレキャストの U 字側溝の設置、或いはさらに用地が無い場合には、鋼矢板護岸としている。

3.4.3 施工計画

(1) 作業日進量

排水施設建設に関連する主要な工事につき、作業にかかる日数は、国土交通省歩掛および SLLDC へのヒアリングを基に想定した。

(2) 施工期間

排水施設の工事量、および上述の日進量、工事可能日数を考慮し、Mudun Ela 流域、Weras Ganga 右岸および Moratuwa-Rathmalana 地区の施工期間を検討した。(検討結果は本報告書を参照の事)。

3.4.4 調達計画

(1) 建設資機材の調達

SLDLC は、橋梁、ゲート、ポンプ場の建設等、排水改善プロジェクトの経験が豊富である。労働力や一般的な自然建設資材はスリランカで調達でき、鉄鋼や油関連の資材は近隣諸国から輸入が可能である。また、主要な機材は SLDLC と地元の請負業者が所有している。

(2) 業者の調達

プロジェクトの資金源はまだ決定されておらず、現時点ではスリランカ政府の資金によって実施される可能性が高い。現地請負業者は、国内での排水改善プロジェクトを実施するのに十分な経験を有しており、同時に、国際競争入札を通じて調達した国際的な請負業者の下請業者としても働くことが可能である。

(3) 作業日進量

SLDLC との協議の後、Mudun Ela 流域と、Moratuwa-Rathmalana 地区は別々のパッケージに分割され、さらに各流域／地区内においては小流域の地理的区分ではなく、建設の種類に基づいて次のパッケージ区分を提案するものとした。

表 3.6 調達パッケージ分け

流域・地区	パッケージ
Mudun Ela 流域	パッケージ 1：排水路改修
	パッケージ 2：水門、ポンプ施設
	パッケージ 3：橋梁付け替え
Weras Ganga 右岸	パッケージ 1：右岸堤防
Moratuwa-Rathmalana 地区	パッケージ 1：排水路改修

出典：JICA 調査チーム

3.5 概略積算

3.5.1 積算時点

M/P と同様に、積算時点は 2022 年 12 月とする。

3.5.2 事業費積算

概略事業費を表 3.7 に示す。

表 3.7 概略事業費

(百万ルピー)

項目	Mudun Ela 流域			Weras Ganga 右岸堤			Moratuwa-Rathmalana 排水路改修		
	F.C.	L.C.	計	F.C.	L.C.	計	F.C.	L.C.	計
建設費	595	495	1,091	70	86	156	362	364	726
コンサルタント経費	36	30	65	4	5	9	22	22	44
用地費	0	870	870	0	978	978	0	549	549
事務費	0	47	47	0	26	26	0	30	30
物理的予備費	63	149	212	7	112	120	38	100	138
価格予備費	0	95	95	0	52	52	0	66	66
税金	0	200	200	0	29	29	0	134	134
合計	694	1,886	2,580	82	1,288	1,371	422	1,265	1,687

出典：JICA 調査チーム

3.6 事業実施スケジュール

表 3.8 に、優先プロジェクトの事業実施スケジュールを示す。

表 3.8 事業実施スケジュール (Mudun Ela 流域)

Year	2023				2024												2025											
	1	4	7	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F/S																												
D/D																												
Package 1 (Channel improvement)																												
Implementation (Section 1, L = 45m)																												
Implementation (Section 2, L = 225m)																												
Implementation (Section 3, L = 1,536m)																												
Implementation (Section 4, L = 711m)																												
Implementation (Section 5, L = 272m)																												
Implementation (Section 6, L = 120m)																												
Package 2 (Gate, Pumping station improvement)																												
Natha Canal, Naranmini Oya gate installation																												
Peliyagoda pumping station improvement																												
Package 3 (Bridge construction)																												
Bridge construction																												

出典：JICA 調査チーム

表 3.9 事業実施スケジュール (Weras Ganga 右岸堤および Moratuwa-Rathmalana 地区)

Year	2023				2024												2025												
	1	4	7	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
F/S																													
D/D																													
Weras Ganga Right Bank Dike																													
Right Bank Dike with U-ditch (L = 3,000 m)																													
M-R area Drainage improvement																													
Main drainage channel (Zone A C5)																													
Main drainage channel (Zone A 2L-1)																													
Secondary drainage channel (Zone A 2R)																													
Secondary drainage channel (Zone A C)																													
Secondary drainage channel (Zone A C6)																													
Main drainage channel (Zone B C4)																													
Secondary drainage channel (Zone B C2B2)																													
Secondary drainage channel (Zone B C5)																													
Secondary drainage channel (Zone B B1)																													
Secondary drainage channel (Zone B BIT4)																													
Secondary drainage channel (Zone B BIT5)																													

出典：JICA 調査チーム

3.7 運用・維持管理計画

3.7.1 関連地方自治体の人員配置計画

Peliyagoda UC、Kelaniya PS、Dehiwala -Mount Lavinia MC および Moratuwa MC における人員配置計画を表 3.10 に示す。

表 3.10 地方自治体の人員配置計画案

職種	Peliyagoda UC および Kelaniya PS			Dehiwala -Mount Lavinia MC および Moratuwa MC		
	現状	事業開始時	事業完了時	現状	事業開始時	事業完了時
Manager / Engineer	0	0	1	0	1	1
Other Engineer	0	0	0	0	1	1
Technical Officer	0	1	1	0	1	2
Work Supervisor	0	0	2	0	2	3
Machine Operator	0	0	1	0	2	3
Clerical Staff	0	0	1	0	2	2
Labor	0	0	5	0	5	10

出典：JICA 調査チーム

3.7.2 運用・維持管理資金計画

Pre-F/S 対象事業として整備される雨水排水対策施設を維持するための運用・維持管理の概略費用を表 3.11 に示す。円滑な運用・維持管理のためには、人材および資金の調達のみならず、人材育成も重要となる。

表 3.11 運用・維持管理 概算年間費用

作業項目	SLLDC	Peliyagoda UC	Kelaniya PS	Dehiwala - Mt. Lavinia MC	Moratuwa MC
1.日常業務					
幹線水路	5,041	0	0	409	331
二次水路	720	0	0	354	365
堤防盛土	263	0	0	88	175
管理点検	98	12	42	22	22
2.非日常業務					
補修	894	0	0	124	124
緊急対応	507	0	0	82	102
合計	7,523	12	42	1,079	1,119

出典：JICA 調査チーム

3.8 対策案に係る環境社会配慮の確認

3.8.1 環境分類

中央環境庁（以下、CEA）によると、Mudun Ela 流域および Moratuwa-Rathmalana 地区の両プロジェクトは、実施前に初期環境評価（以下、IEE）調査が必要となる。ただし、本調査当時のコロンボの状況と事業実施時期の不確実性を考慮し、既存のデータのみに基づいて環境アセスメントを実施した。したがって、事業実施前に IEE 調査を実施する必要がある。

3.8.2 影響評価の結果と対策案

影響評価の結果に基づくと、プロジェクトの実施は、水質、生態系/動植物、土地取得などのいくつかの項目に負の影響を与える可能性がある。表 3.12 に、予想される影響とプロジェクト実施者がとるべき対策を整理する。

表 3.12 主要な環境社会項目の評価結果と対策案

項目	調査結果と緩和策の提案
水質	排水機能が向上し、供用時に下流への排水量が増加する。プロジェクトの規模を考えると、影響は限定的であると予想されるが、定期的な水質モニタリングの実施と、運河や水路の清掃などの適切な水質保護対策が必要となる。
生態系・動植物	今回の調査では重要な種の存在は確認されなかったが、IEE 調査の際に詳細な調査を行い、保全対策の有効性を監視し、生態系保護の観点から対策を講じることが望ましい。
用地取得・住民移転	事業実施には用地取得が必要であり、住民や事業者の非自発的移転が発生する。影響を受ける人々の生活は、プロジェクトの実施によって悪影響を受ける可能性があるため、国内法および国際基準に沿って、住民移転計画を作成する必要がある。さらに、生計支援プログラムおよびその他の必要な支援を適用することにより、影響を軽減する必要がある。

出典：JICA 調査チーム

3.8.3 土地取得・住民移転

本事業の実施により影響を受ける世帯数および人口は次の通りである。

表 3.13 被影響世帯数および人口

Project	District	被影響世帯数 (括弧内は右岸堤整備 によるもの)	被影響人口 (括弧内は右岸堤整備 によるもの)	一世帯当たりの 平均人数
Mudun Ela	Kelaniya.	20	65	3.21
Moratuwa-Rathmalana (排水路改修+右岸堤整備)	Moratuwa	20 (13)	79 (52)	3.93
	Rathmalana	13 (3)	55 (13)	4.20

出典：JICA 調査チーム

本事業における補償は、土地取得法（1950 年）等の関連する国内法および JICA と世界銀行によって設定された国際基準に基づいて行うものとする。Mudun Ela 水路改修事業と Moratuwa-Rathmalana 地区事業の両方の住民と事業者に対する概算補償費用は、次の表のとおり。

表 3.14 住民移転に必要な概算費用（Mudun Ela 水路改修事業）

Item	No.	Unit	Rs/unit	Total Rs
1. Compensation for Land				
Residential Land	2,815.8	m ²	79,073	222,654,489
Commercial Land	56.8	m ²	83,027	4,714,084
2. Compensation for structure				
Residential	1,407.9	m ²	83,582	117,675,098
Commercial	51.1	m ²	91,493	4,675,292
3. Other costs (for relocation and associated expenses)				
Expenses applicable to households	20	HHs	100,000	2,000,000
Expenses for business	1	Business	80,000	80,000
			Total	351,798,964

出典：JICA 調査チーム

表 3.15 住民移転に必要なコストの概算（Moratuwa-Rathmalana 地区事業）

Item	No.	Unit	Rs/unit	Total Rs
1. Compensation for Land				
Residential Land	4,730.20	m ²	48,235	228,159,728
Commercial Land	280.0	m ²	50,646	14,180,999
2. Compensation for structure				
Residential	2,365.1	m ²	77,307	182,838,786
Commercial a	64.2	m ²	59,202	3,800,500
Commercial b	187.8	m ²	64,583	12,132,000
3. Other costs (for relocation and associated expenses)				
Expenses applicable to households	33	HHs	100,000	3,300,000
Expenses for business	2	Business	80,000	160,000
			Total	444,572,012

出典：JICA 調査チーム

プロジェクトの実施のために、SLLDC は、詳細設計に基づいて住民移転計画（以下、RAP）を作成し、RAP で計画された活動を実施し、苦情対応体制を構築し、本報告書に記載されているように用地取得の進捗を監視する必要がある。

3.9 費用便益分析と財務的妥当性の検討

推定された経済的便益と費用を用い、各流域の事業に関して EIRR、B/C および NPV を計算した。その結果を表 2.12 に示す。

表 3.16 各流域／地域の Pre-F/S 対象事業における EIRR 等

流域・地区および Pre-F/S 対象事業		EIRR	B/C	NPV (百万 Rs.)
Mudun Ela 水路改修		96.8%	12.06	20,008
Moratuwa-Rathmalana	排水路改修	8.32%	0.70	-341
	Weras Ganga 右岸堤	15.46%	1.34	337
	合算	11.44%	0.95	-105

出典：JICA 調査団

シャドウ割引率として 12%を採用しているため、経済分析の観点から実現可能であると評価される事業は、Mudun Ela Project と Weras Ganga 右岸堤である。ただし、Drainage Improvement の EIRR がシャドウ割引率 12%に達しなかったが、それでも 8.32%であり、こうしたインフラプロジェクトとしては決して低くない数字である。

第 1 編

雨水排水計画調査

目 次

調査対象地域位置図

略語表

目 次

ページ

第1章	はじめに	1-1
1.1	調査の背景	1-1
1.2	調査目的	1-2
第2章	調査対象地域の概要	2-1
2.1	対象排水流域	2-1
2.2	排水流域の地形地質	2-1
2.3	排水流域の降雨特性	2-2
2.4	排水流域の土地利用と都市開発状況	2-3
2.4.1	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の現況	2-3
2.4.2	Bolgoda 流域 (Moratuwa-Rathmalana 地区を含む) の現況	2-9
2.5	排水流域の経済状況	2-15
2.5.1	スリランカ国全体の経済状況	2-15
2.5.2	対象排水流域の経済状況	2-17
2.6	河川・水路管理に関する組織・制度	2-17
2.6.1	組織・制度の現状	2-17
2.6.2	地方自治の現状	2-21
2.6.3	計画・実施・運用・維持管理の現状	2-26
2.7	他援助機関の支援状況	2-28
2.7.1	MCUDP (2012年3月～2021年12月)	2-28
2.7.2	CRIP (2014年8月～2019年5月)、CResMPA (CRIP2 [F/S-D/D]) (2019年6月～2024年5月)	2-31
2.8	気候変動関連情報	2-35
2.8.1	海面上昇	2-35
2.8.2	降雨量の変化	2-36
第3章	既往浸水被害	3-1
3.1	既往浸水エリア	3-1
3.2	インタビュー調査	3-4
第4章	既往調査において提案された雨水排水計画と実施事業	4-1
4.1	対象流域において提案された既往雨水排水計画の概要	4-1
4.1.1	調査の経緯	4-1
4.2	KALU OYA 流域の既往雨水排水計画の概要	4-2
4.2.1	JICA2003M/P で提案された雨水排水計画	4-3
4.2.2	2018 F/S で提案された雨水排水計画	4-3

4.3	BOLGODA 流域の既往雨水排水計画	4-5
4.3.1	JICA 2003 年 M/P で提案された雨水排水計画の実施状況	4-7
第5章	水文水理解析	5-1
5.1	降雨解析に係る討議概要	5-1
5.1.1	降雨解析の基本方針	5-1
5.2	計画降雨の設定	5-2
5.2.1	計画降雨継続時間	5-2
5.2.2	計画雨量	5-6
5.2.3	計画降雨波形	5-20
5.3	水文・水理解析モデルの構築	5-25
5.3.1	基本方針	5-25
5.3.2	流出解析	5-26
5.3.3	河川ネットワークモデル	5-31
5.3.4	洪水氾濫モデル	5-36
5.3.5	再現計算結果	5-36
第6章	雨水排水計画検討	6-1
6.1	雨水排水に係る現状と課題	6-1
6.1.1	流域の市街化と河川水路の治水安全度の現状と課題	6-1
6.1.2	浸水被害発生時の対応の現状と課題	6-3
6.1.3	排水施設の運用維持管理および組織制度の現状と課題	6-3
6.1.4	水質悪化と・不十分なごみ処理	6-5
6.2	雨水排水改善の目的と整備戦略	6-6
6.2.1	雨水排水改善の目的	6-6
6.2.2	雨水排水計画整備戦略	6-6
6.3	計画フレームの設定	6-10
6.3.1	計画目標年の設定	6-10
6.3.2	目標治水安全度の設定	6-10
6.4	計画条件の設定	6-13
6.4.1	計画降雨波形	6-13
6.4.2	計画高水位および余裕高	6-13
6.4.3	計画潮位	6-18
6.4.4	境界条件	6-19
6.4.5	将来土地利用	6-20
6.5	浸水解析および浸水リスク評価	6-23
6.5.1	確率流量	6-23
6.5.2	確率規模別浸水想定区域図	6-27
6.5.3	浸水想定面積および家屋数	6-27
6.5.4	確率規模別計算水位	6-35
6.5.5	気候変動影響評価	6-41

6.6	雨水排水対策案の検討.....	6-43
6.6.1	雨水排水整備方針.....	6-43
6.6.2	雨水排水対策案の検討.....	6-68
6.6.3	雨水排水対策効果.....	6-95
6.7	雨水排水対策案の概念設計.....	6-107
6.7.1	設計ガイドライン、マニュアルおよび基準.....	6-107
6.7.2	設計基準.....	6-108
6.7.3	雨水排水構造物概念設計.....	6-113
6.7.4	施工方法.....	6-118
6.7.5	全体工程.....	6-120
6.7.6	概略積算.....	6-120
6.7.7	本邦技術の検討.....	6-125
6.8	雨水排水管理のための都市開発管理.....	6-128
6.8.1	雨水排水管理のための防災型都市開発管理の取組み方針.....	6-128
6.9	優先対策事業の選定.....	6-144
6.10	事業実施・運用維持管理体制の提案.....	6-147
6.10.1	事業実施体制の提案.....	6-147
6.10.2	運用・維持管理体制の提案.....	6-148
第7章	環境社会配慮.....	7-1
7.1	戦略的環境アセスメント.....	7-1
7.1.1	調査の背景.....	7-1
7.1.2	環境社会配慮上の主な懸念事項.....	7-2
7.1.3	第一回ステークホルダー協議の概要.....	7-4
7.1.4	第二回ステークホルダー協議の概要.....	7-8
7.1.5	第三回ステークホルダー協議（Kalu Oya 流域）の概要.....	7-9
7.1.6	第四回ステークホルダー協議（Bolgoda 流域）の概要.....	7-10
7.1.7	SEA の提言.....	7-12
7.1.8	Pre-F/S 実施に係るスリランカ国の環境社会法的枠組み.....	7-13
第8章	予備的費用便益分析.....	8-1
8.1	費用便益分析の方法.....	8-1
8.1.1	費用便益分析の方法.....	8-1
8.1.2	経済的便益の推定.....	8-3
8.1.3	経済的費用の推定.....	8-4
8.1.4	予備的経済評価.....	8-4
第9章	提言.....	9-1
9.1	新規鉄道橋の諸元.....	9-1
9.2	BOLGODA 流域における灌漑局（ID）との連携.....	9-2

表 一 覧

ページ

表 1.1.1	調査対象地域内の排水流域の概要.....	1-2
表 2.1.1	調査対象地域内の排水流域の概要.....	2-1
表 2.4.1	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の郡別の人口分布 (2018)	2-4
表 2.4.2	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の郡別土地利用構成 (2018)	2-5
表 2.4.3	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の郡別公共・公益施設数 (2018)	2-8
表 2.4.4	Bolgoda 流域 (Moratuwa-Rathmalana 流域含む) の郡別の人口分布 (2018)	2-9
表 2.4.5	Bolgoda 流域 (Moratuwa-Rathmalana 地区含む) の郡別の土地利用構成 (2018)	2-12
表 2.4.6	Bolgoda 流域の郡別公共・公益施設数 (2018)	2-14
表 2.6.1	河川・水路管理に関係する政府機関 (2019年12月現在)	2-17
表 2.6.2	SLDC の 2018 年度の年間予算概要.....	2-19
表 2.6.3	調査対象流域に関係する地方自治体.....	2-22
表 2.8.1	第 6 次 IPCC 報告における SSP シナリオと第 5 次 IPCC 報告における RCP シナリオ.....	2-35
表 2.8.2	25 年確率年最大日雨量の増減予測結果(2020 年-2039 年).....	2-36
表 3.1.1	主要洪水における被災人口.....	3-1
表 3.2.1	浸水被害実態調査の概要.....	3-4
表 3.2.2	浸水被害実態調査の調査項目.....	3-5
表 4.1.1	調査対象地域に関連する既往調査計画.....	4-1
表 4.2.1	Kalu Oya 流域における JICA 2003 M/P と 2018F/S で提案された洪水対策案.....	4-2
表 4.3.1	Weras Ganga 流域における JICA 2003 M/P で提案された洪水対策対象河川と計画規模.....	4-5
表 4.3.2	Weras Ganga 流域における JICA 2003 M/P で提案された 洪水対策案.....	4-6
表 5.1.1	降雨解析の討議内容.....	5-1
表 5.2.1	既往の主要降雨イベント (Colombo 観測所)	5-3
表 5.2.2	年最大流域平均日雨量.....	5-11
表 5.2.3	確率雨量の計算条件.....	5-13
表 5.2.4	確率分布モデル一覧.....	5-13
表 5.2.5	確率雨量の算出結果.....	5-14
表 5.2.6	過去の検討との確率雨量の比較.....	5-14
表 5.2.7	確率雨量の算出結果 (流域平均雨量)	5-15
表 5.2.8	確率雨量の算出結果 (ポイント雨量)	5-16
表 5.2.9	流域平均雨量とポイント雨量での比較.....	5-18
表 5.2.10	補正係数	5-21
表 5.2.11	降雨強度式 (補正なし)	5-22
表 5.2.12	降雨強度式 (補正あり)	5-23
表 5.3.1	パラメータ設定に用いる土地利用タイプの分類.....	5-30
表 5.3.2	土地利用タイプ別の NAM パラメータ	5-30
表 5.3.3	現況土地利用のカテゴリーとパラメータ設定に用いる土地利用タイプの対応表.....	5-30
表 5.3.4	河川ネットワークモデルにおける諸条件.....	5-33
表 5.3.5	洪水氾濫モデルにおける諸条件.....	5-36
表 6.2.1	Kalu Oya 流域の河道処理、自然遊水機能(自然湿地公園を含む)および計画遊水地の流量	

	分担.....	6-8
表 6.2.2	Mudun Ela 流域の河道処理、自然遊水機能(自然湿地公園を含む)および計画遊水地の流量分担.....	6-9
表 6.2.3	Bolgaoda 流域の河道処理、自然遊水機能の流量分担.....	6-9
表 6.3.1	計画規模の設定に係る情報の整理.....	6-12
表 6.4.1	Kelani Ganga の代表地点の流量および水位.....	6-15
表 6.4.2	境界条件一覧表.....	6-19
表 6.5.1	土地利用別浸水想定面積と割合【現況河道】.....	6-27
表 6.5.2	浸水深別想定被災家屋数と割合【現況河道】.....	6-28
表 6.5.3	気候変動の影響を加味した降雨量および下流端水位条件.....	6-41
表 6.6.1	各代替案単独での水位低減効果（対象洪水：1/25 確率）.....	6-45
表 6.6.2	各代替案単独での水位低減効果（対象洪水：1/25）.....	6-46
表 6.6.3	Kalu Oya 流域対策工.....	6-47
表 6.6.4	Kalu Oya 支川上流域の灌漑目的を終えた農業用ため池.....	6-52
表 6.6.5	Mudun Ela 流域対策工.....	6-52
表 6.6.6	Mudun Ela 流域における SLLDC が示す対策案.....	6-56
表 6.6.7	地区別の市街地内の想定浸水面積（25 年確率）とその割合.....	6-61
表 6.6.8	Bolgoda 流域における地区別の想定浸水世帯数（25 年確率）とその割合.....	6-63
表 6.6.9	対策重点地区設定表.....	6-64
表 6.6.10	Bolgoda 流域対策工.....	6-66
表 6.6.11	バック堤案とポンプ・ゲート案の比較表.....	6-69
表 6.6.12	Old Dutch Canal への放水ルートの水理量の比較.....	6-70
表 6.6.13	Old Dutch Canal への放水ルート工事費・工法・工事期間・社会的影響面での比較.....	6-71
表 6.6.14	Weras Ganag 改修代替案比較.....	6-73
表 6.6.15	Kalu Oya 流域の遊水地の安全度（浸水確率年）別の量的枠組み.....	6-84
表 6.6.16	Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の遊水地の必要面積および土地利用現況.....	6-84
表 6.6.17	Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園計画（案）.....	6-85
表 6.6.18	Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園事業の推進体制（案）.....	6-87
表 6.6.19	Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園事業の実施工程（案）.....	6-87
表 6.6.20	Bolgoda 流域の遊水機能区域の安全度（浸水確率年）別の量的枠組み.....	6-89
表 6.6.21	Bolgoda 流域の遊水機能区域内の面積および土地利用現況.....	6-89
表 6.6.22	Kalu Oya 流域雨水排水計画案.....	6-91
表 6.6.23	Mudun Ela 流域雨水排水計画案.....	6-93
表 6.6.24	Bolgoda 流域雨水排水計画案.....	6-94
表 6.6.25	対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較（Kalu Oya）.....	6-99
表 6.6.26	対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較（Bolgoda）.....	6-103
表 6.7.1	スリランカにおける調査および施工に関する基準書.....	6-107
表 6.7.2	日本における設計および施工に関する基準書.....	6-108
表 6.7.3	設計洪水流量と余裕高の最小値.....	6-109
表 6.7.4	設計洪水流量と余裕高の最小値.....	6-109

表 6.7.5	護岸構造の概略検討.....	6-113
表 6.7.6	ゲート諸元	6-117
表 6.7.7	労務費・機材費・材料費の外貨配分率.....	6-122
表 6.7.8	湿地および水田の土地単価（2019年8月時点）	6-123
表 6.7.9	建物の補償にかかる面積単価.....	6-124
表 6.7.10	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の概略事業費.....	6-124
表 6.7.11	Bolgoda 流域および全流域の概略事業費	6-125
表 6.7.12	本邦技術の検討	6-126
表 6.7.13	本邦技術（ノンステーキング工法）適応の概要.....	6-127
表 6.8.1	都市の雨水排水機能の強化のための都市管理事項と SLLDC および関係機関の役割.....	6-128
表 6.8.2	低湿地の保全と利用のための都市開発管理プログラム-A（案）	6-131
表 6.8.3	雨水排水機能の向上に寄与する都市開発管理プログラム-B（案）	6-132
表 6.8.4	洪水・浸水リスク地区の安全性向上を図る都市開発管理プログラム-C（案）	6-132
表 6.8.5	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の都市開発管理プログラム別の重点地区（案）	6-135
表 6.8.6	Bolgoda 流域の都市開発管理プログラム別の重点地区（候補案）	6-136
表 6.8.7	Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園事業の実施工程（案）	6-138
表 6.8.8	ボルゴダ流域の遊水機能区域内の用地保全または活用方針と対策（案）	6-139
表 6.8.9	ボルゴダ流域の遊水機能区域内の用地保全または活用方針と対策（案）	6-143
表 6.10.1	雨水排水対策事業にかかる政府機関の責任分担.....	6-147
表 7.1.1	移転対象の構造物および非自発的住民移転規模.....	7-3
表 7.1.2	ステークホルダー協議参加機関の一覧.....	7-4
表 7.1.3	雨水排水にかかる重要事項と実践のギャップ（Kalu Oya）	7-6
表 7.1.4	雨水排水にかかる重要事項と実践のギャップ（Bolgoda Basin）	7-6
表 7.1.5	第一回ステークホルダー協議におけるコメントおよび回答、対応方針.....	7-7
表 7.1.6	第二回ステークホルダー協議におけるコメントおよび回答、対応方針.....	7-8
表 7.1.7	第三回ステークホルダー協議（Kalu Oya 流域）におけるコメントおよび回答、対応方針	7-10
表 7.1.8	第四回ステークホルダー協議（Bolgoda Oya 流域）におけるコメントおよび回答、対応方針	7-11
表 7.1.9	M/P 実施に関する SEA の提言	7-12
表 8.1.1	SCF の計算	8-1
表 8.1.2	被害率/休業日数	8-4
表 8.1.3	各流域における事業の EIRR 等.....	8-5
表 8.1.4	Kalu Oya 流域における事業のキャッシュフロー	8-6
表 8.1.5	Mudun Ela 流域における事業のキャッシュフロー.....	8-7
表 8.1.6	Bolgoda 流域における事業のキャッシュフロー	8-8
表 9.1.1	鉄道橋の改修諸元.....	9-1

目 次

ページ

図 2.2.1	標高分布図 (Kalu Oya および Mudun Ela 排水流域)	2-1
図 2.2.2	標高分布図 (Bolgoda 排水流域)	2-2
図 2.3.1	コロンボ気象観測所における月降水量の分布	2-3
図 2.4.1	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の人口および密度分布 (2018)	2-4
図 2.4.2	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の土地利用現況 (2018)	2-6
図 2.4.3	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の低湿地分布 (2018)	2-7
図 2.4.4	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の公共・公益施設および 主要道路交通ネットワーク (現況・計画) 分布 (2018)	2-8
図 2.4.5	Bolgoda 流域 (Moratuwa-Rathmalana 流域含む) の人口および密度分布 (2018)	2-10
図 2.4.6	Bolgoda 流域および Moratuwa - Rathmalana 流域の土地利用現況 (2019)	2-12
図 2.4.7	Bolgoda 流域の低湿地分布および自然保護区 (2018)	2-13
図 2.4.8	Bolgoda 流域の公共・公益施設および主要道路交通ネットワーク (現況・計画) 分布	2-15
図 2.5.1	GDP (名目値 100 万米ドル)	2-16
図 2.5.2	一人当たり GDP (名目値 米ドル)	2-16
図 2.5.3	実質 GDP 成長率 (年率%)	2-17
図 2.6.1	スリランカの地方行政概要	2-22
図 2.6.2	関係地方自治体 (MC, UC, PS) 位置図	2-24
図 2.6.3	関係郡 (Divisional Secretary Division) 位置図	2-25
図 2.7.1	Metro Colombo 流域の水路網	2-29
図 2.7.2	Metro Colombo 流域の主要水路改修事業 出典：本節末 3)	2-30
図 2.7.3	CRIP 対象 10 流域 出典：本節末 5)	2-31
図 2.7.4	CRIP で提案された Kelani Ganga の優先事業の位置図	2-34
図 2.8.1	代表的濃度経路(RCP)別の全球平均の海面上昇	2-35
図 3.1.1	流域位置図	3-1
図 3.1.2	既往浸水エリア図 (Kalu Oya、Mudun Ela 流域)	3-2
図 3.1.3	既往浸水エリア図 (Bolgoda 流域)	3-3
図 3.2.1	浸水被害実態調査の調査範囲と数量	3-4
図 3.2.2	浸水被害実態調査結果の一例	3-6
図 4.2.1	Kalu Oya 流域で JICA 2003 M/P で提案された洪水対策案の位置図	4-3
図 4.2.2	2018F/S で提案された対策案の位置図	4-4
図 4.3.1	Weras Ganga における JICA 2003 F/S で提案された洪水対策とその進捗状況	4-6
図 5.2.1	マスカーブ	5-3
図 5.2.2	主要降雨イベントにおける時間雨量 (Colombo 観測所、1/2)	5-4
図 5.2.3	主要降雨イベントにおける時間雨量 (Colombo 観測所、2/2)	5-5
図 5.2.4	主要降雨イベントにおける最大 24 時間雨量と最大日雨量の相関図	5-6
図 5.2.5	Kalu Oya 流域周辺観測所における年最大日雨量の比較	5-7
図 5.2.6	主要洪水時の日雨量の地域分布	5-7
図 5.2.7	ダブルマスカーブ	5-8

図 5.2.8	流域境界データ	5-9
図 5.2.9	ティーセン分割図 (2004 年および 2016 年を例として)	5-10
図 5.2.10	流域平均日雨量の経年変化図.....	5-12
図 5.2.11	確率分布図	5-17
図 5.2.12	対象 3 流域の年最大流域平均雨量と年最大ポイント雨量の相関図.....	5-19
図 5.2.13	過去の検討における計画ハイドログラフの例.....	5-20
図 5.2.14	計画ハイトグラフ (Colombo 観測所)	5-24
図 5.2.15	計画ハイトグラフ (Rathmalana 観測所)	5-24
図 5.3.1	解析モデルの構築手順.....	5-25
図 5.3.2	水文水理解析の基本コンセプト.....	5-26
図 5.3.3	NAM の概要およびパラメータ	5-26
図 5.3.4	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域における小流域分割.....	5-27
図 5.3.5	Bolgoda 流域における小流域分割	5-28
図 5.3.6	現況土地利用分布図.....	5-29
図 5.3.7	河川ネットワークおよび流入模式図 (Kalu Oya 流域・Mudun Ela 流域)	5-31
図 5.3.8	河川ネットワークおよび流入模式図 (Bolgoda 流域)	5-32
図 5.3.9	モデル化対象河川構造物位置図.....	5-33
図 5.3.10	現地踏査写真位置図 (代表地点のみ)	5-34
図 5.3.11	再現計算結果 (2016 年 10 月洪水 : Kalu Oya 流域)	5-36
図 5.3.12	再現計算結果 (2016 年 10 月洪水 : Bolgoda 流域)	5-37
図 6.1.1	2 年確率洪水時における氾濫区域(左 : Kalu Oya & Mudun Ela 右 : Bolgoda)	6-1
図 6.1.2	2 年確率洪水時における氾濫区域と市街地エリアの重ね合わせ	6-2
図 6.2.1	調査対象区域の浸水リスクと遊水機能の保全の必要性.....	6-7
図 6.2.2	段階的な浸水リスク軽減シナリオ (Kalu Oya 流域)	6-8
図 6.2.3	段階的な浸水リスク軽減シナリオ (Mudun Ela 流域)	6-9
図 6.2.4	段階的な浸水リスク軽減シナリオ (Bolgoda 流域)	6-9
図 6.4.1	計画ハイトグラフ.....	6-13
図 6.4.2	Weras Ganga 流域左岸における既設水路の計画図 (Madiwera South 放水路)	6-14
図 6.4.3	Kelani Ganga 水位観測所位置図.....	6-15
図 6.4.4	Kalu Oya の計画高水位の設定結果	6-16
図 6.4.5	Oliyamulla ポンプ場計画図.....	6-17
図 6.4.6	Mudun Ela の計画高水位の設定結果.....	6-17
図 6.4.7	境界条件設定位置図.....	6-19
図 6.4.8	Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域および Bolgoda 流域の将来土地利用区分別の構成比率 (2030 年)	6-20
図 6.4.9	Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域の将来土地利用パターン.....	6-21
図 6.4.10	Bolgoda 流域の将来土地利用パターン	6-22
図 6.5.1	25 年確率流量ハイドログラフ (Kalu Oya) 【現況河道】	6-23
図 6.5.2	25 年確率流量ハイドログラフ (Mudun Ela) 【現況河道】	6-23
図 6.5.3	25 年確率流量ハイドログラフ (Bolgoda) 【現況河道】	6-24
図 6.5.4	25 年確率流量配分図 (Kalu Oya and Mudun Ela) 【現況河道】	6-25

図 6.5.5	25年確率流量配分図 (Bolgoda) 【現況河道】	6-26
図 6.5.6	Kalu Oya 流域氾濫計算結果 (上:2年確率、下:5年確率) 【現況河道】	6-29
図 6.5.7	Kalu Oya 流域氾濫計算結果 (上:10年確率、下:25年確率) 【現況河道】	6-30
図 6.5.8	Bolgoda 流域氾濫計算結果 (2年確率) 【現況河道】	6-31
図 6.5.9	Bolgoda 流域氾濫計算結果 (5年確率) 【現況河道】	6-32
図 6.5.10	Bolgoda 流域氾濫計算結果 (10年確率) 【現況河道】	6-33
図 6.5.11	Bolgoda 流域氾濫計算結果 (25年確率) 【現況河道】	6-34
図 6.5.12	確率規模別水位縦断図の位置図	6-35
図 6.5.13	確率規模別水位縦断図 (上:KaluOya,下:Natha Canal) 【現況河道】	6-36
図 6.5.14	Kalu Oya 水位縦断図	6-41
図 6.5.15	気候変動による想定氾濫エリアの変化	6-42
図 6.6.1	2018F/S で提案された対策案の位置図 (再掲)	6-44
図 6.6.2	Mudun Ela Diversion の改修概要	6-48
図 6.6.3	Duthch Canal Diversion の新ルート (本調査で提案)	6-49
図 6.6.4	水路改修と放水路の組合せによる水理的効果 (10年確率洪水対応)	6-50
図 6.6.5	Kalu Oya 支川上流域の灌漑目的を終えた農業用ため池	6-51
図 6.6.6	Kalu Oya および Mudun Ela 流域における雨水排水対策案	6-54
図 6.6.7	Mudun Ela 流域における開発計画の範囲	6-55
図 6.6.8	Mudun Ela 流域における SLLDC が提案する対策案	6-56
図 6.6.9	Bolgoda 流域における小流域分割図	6-57
図 6.6.10	Bolgoda 流域の将来 (2030年) 土地利用パターン (再掲)	6-58
図 6.6.11	Bolgoda 流域の公共施設および主要道路交通ネットワーク (再掲)	6-59
図 6.6.12	Bolgoda 流域の将来 (2030年) 世帯数分布 (戸/ha)	6-60
図 6.6.13	Bolgoda 流域における想定浸水区域 (25年確率) と土地利用図の重ね合わせ図	6-62
図 6.6.14	Bolgoda 流域における地区別の想定浸水家屋数 (25年確率)	6-63
図 6.6.15	Bolgoda 流域における雨水排水対策案	6-67
図 6.6.16	Kalu Oya 水位縦断図	6-69
図 6.6.17	Old Dutch Canal Diversion の今回提案ルート (再掲)	6-70
図 6.6.18	Peliyagoda ポンプ場改修前後の比較 (10年確率 左:現況、右:1m ³ /sに改修)	6-72
図 6.6.19	Peliyagoda ポンプ場改修前後の比較 (25年確率 左:現況、右:1m ³ /sに改修)	6-72
図 6.6.20	Weras Ganga 水位縦断図 (50年確率流量での確認)	6-74
図 6.6.21	Weras Ganga 流域における浸水区域 (赤色) の変化 (左:対策なし、右:対策あり)	6-75
図 6.6.22	Maha Oya 対策前後の水位縦断図 (25年確率洪水)	6-76
図 6.6.23	Maha Oya 流域における対策効果 (左:対策なし、右:対策あり)	6-76
図 6.6.24	Alut Ela 対策前後の水位縦断図	6-77
図 6.6.25	Alut Ela 流域における対策効果 (左:対策なし、右:対策あり)	6-78
図 6.6.26	Panape Ela 流域における浸水区域 (赤色) の変化 (左:対策なし、右:対策あり)	6-78
図 6.6.27	South Bolgoda Lake 周辺の流下方向と閉塞水路の開削箇所	6-79
図 6.6.28	South Bolgoda Lake 西側の閉塞水路の開削による浸水想定範囲の低減効果	6-80

図 6.6.29	Talpitiya Ela の概況と測線位置図	6-81
図 6.6.30	Talpitiya Ela 周辺の標高分布図	6-81
図 6.6.31	Talpitiya Ela 水位縦断面図	6-82
図 6.6.32	Bindunu Ela の 2022 年の浸水状況	6-83
図 6.6.33	遊水地区の保全のための自然湿地公園の遊歩道の整備イメージ (案)	6-86
図 6.6.34	Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園計画 (案)	6-86
図 6.6.35	Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然遊水エリアと自然湿地公園 (案)	6-88
図 6.6.36	Bolgoda 流域の自然遊水エリアの指定 (案)	6-90
図 6.6.37	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域 流量配分模式図 (25 年確率：現況河道)	6-95
図 6.6.37	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域 流量配分模式図 (25 年確率対応整備後)	6-96
図 6.6.39	想定氾濫区域図 (Kalu Oya 10 年確率 上段：対策なし、下段：対策あり)	6-97
図 6.6.40	想定氾濫区域図 (Kalu Oya 25 年確率 上段：対策なし、下段：対策あり)	6-98
図 6.6.39	対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較 (Kalu Oya)	6-99
図 6.6.42	Bolgoda 流域における流量配分模式図 (25 年確率現況河道)	6-101
図 6.6.43	Bolgoda 流域における流量配分模式図 (25 年確率対応整備後)	6-101
図 6.6.41	想定氾濫区域図 (Bolgoda 25 年確率 左：対策なし、右：対策あり)	6-102
図 6.6.42	対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較 (Bolgoda)	6-103
図 6.6.46	対策前後の影響家屋数の比較 (Bolgoda 地区別)	6-104
図 6.6.47	Weras Ganga 流域の対策ありの浸水想定区域 (25 年確率雨量)	6-105
図 6.6.48	Weras Ganga 流域の対策ありの浸水想定区域 (10 年確率雨量)	6-106
図 6.6.49	Weras Ganga 流域の浸水想定区域 (5 年確率雨量)	6-106
図 6.7.1	SLDC 標準断面	6-111
図 6.7.2	JICA 2003 M/P で提案された標準断面	6-112
図 6.7.3	2018 F/S で提案された標準断面	6-112
図 6.7.4	蛇籠護岸標準断面	6-114
図 6.7.5	鋼矢板護岸標準断面	6-115
図 6.7.6	周囲堤標準断面	6-116
図 6.7.7	Weras Ganga 右岸堤標準断面	6-116
図 6.7.8	新規ポンプ施設配置概要図	6-117
図 6.7.9	遊水地区の保全のための自然湿地公園の遊歩道の整備イメージ (案)	6-118
図 6.7.10	蛇籠護岸・堤防の施工手順	6-118
図 6.7.11	鋼矢板護岸の施工手順	6-119
図 6.7.12	全体行程表	6-120
図 6.7.13	西部州の対象流域を含む主要地区における平均地価分布 (2019)	6-123
図 6.7.14	ノンステーキング工法の概要図	6-127
図 6.8.1	対象流域における雨水排水機能強化に係る都市開発管理上の課題 (概念図)	6-130
図 6.8.2	空間的な都市開発管理プログラムに配慮した戦略的取組み方法 (例)	6-134
図 6.8.3	都市開発管理プログラムニーズの GN 毎の評価	6-134
図 6.8.4	Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の都市開発管理対策プログラム重点地区 概念図	6-135
図 6.8.5	Bolgoda 流域の都市開発管理対策プログラム重点地区 概念図	6-137

図 6.9.1	Mudun Ela 流域における優先プロジェクト	6-145
図 6.9.2	Moratuwa-Rathmalana 地区における優先プロジェクト	6-145
図 7.1.1	Moratuwa-Rathmalana 地区の M/P および Pre-F/S 対象事業と保護区の位置関係	7-4
図 7.1.2	スリランカ国における EIA/IEE 手続きフロー	7-14
図 9.1.1	Kalu Oya 流域における鉄道橋の位置図	9-1

写真一覧

	ページ	
写真 5.3.1	Weras Ganga プロジェクトの状況	5-34
写真 5.3.2	湿地エリアの状況	5-35
写真 5.3.3	ポンプ施設 (左: 既設ポンプ場、右: Oliyamulla ポンプ場建設予定地)	5-35
写真 6.7.1	対象地域における一般的な法面保護工	6-110
写真 6.7.2	Peliyagoda ポンプ場の現況と新規ポンプ設置計画箇所	6-117
写真 7.1.1	第一回ステークホルダー協議の様子	7-5
写真 7.1.2	第二回ステークホルダー協議の様子	7-9
写真 7.1.3	第三回ステークホルダー協議の様子	7-10

添付表一覧

	ページ	
添付表 6.7.1	Kalu Oya 流域改修支出計画表 (M/P)	表-1
添付表 6.7.2	Kalu Oya 流域改修支出計画表詳細 (M/P)	表-2
添付表 6.7.3	Mudun Ela 流域改修支出計画表 (M/P)	表-3
添付表 6.7.4	Mudun Ela 流域改修支出計画表詳細 (M/P)	表-4
添付表 6.7.5	Bolgoda 流域改修支出計画表 (M/P)	表-5
添付表 6.7.6	Bolgoda 流域改修支出計画表詳細 (M/P)	表-6

添付図一覧

	ページ	
添付図 6.7.1	Kalu Oya および Mudun Ela 流域マスタープラン平面図	図-1
添付図 6.7.2	Kalu Oya 流域マスタープラン平面図 (1/4)	図-2
添付図 6.7.3	Kalu Oya 流域マスタープラン平面図 (2/4)	図-3
添付図 6.7.4	Kalu Oya 流域マスタープラン平面図 (3/4)	図-4
添付図 6.7.5	Kalu Oya 流域マスタープラン平面図 (4/4)	図-5
添付図 6.7.6	Mudun Ela 流域マスタープラン平面図 (1/5)	図-6
添付図 6.7.7	Mudun Ela 流域マスタープラン平面図 (2/5)	図-7
添付図 6.7.8	Mudun Ela 流域マスタープラン平面図 (3/5)	図-8
添付図 6.7.9	Mudun Ela 流域マスタープラン平面図 (4/5)	図-9
添付図 6.7.10	Mudun Ela 流域マスタープラン平面図 (5/5)	図-10
添付図 6.7.11	Mudun Ela 流域マスタープラン平面図 (Peliyagoda 1/2)	図-11
添付図 6.7.12	Mudun Ela 流域マスタープラン平面図 (Peliyagoda 2/2)	図-12

添付図 6.7.13	Kalu Oya 流域マスタープラン標準断面図 (Kalu Oya)	図-13
添付図 6.7.14	Kalu Oya 流域マスタープラン標準断面図 (Natha Canal and Old Dutch Diversion)	図-14
添付図 6.7.15	Kalu Oya 流域マスタープラン標準断面図 (Old Dutch Canal)	図-15
添付図 6.7.16	Kalu Oya 流域マスタープラン標準断面図 (Mudun Ela)	図-16
添付図 6.7.17	Kalu Oya 流域マスタープラン標準断面図 (Mudun Ela and Peliyagoda canal)	図-17
添付図 6.7.18	Bolgoda 流域 マスタープラン平面図	図-18
添付図 6.7.19	Bolgoda 流域マスタープラン平面図 (Weras Ganga Right Bank Dike 1/2)	図-19
添付図 6.7.20	Bolgoda 流域マスタープラン平面図 (Weras Ganga Right Bank Dike 2/2)	図-20
添付図 6.7.21	Bolgoda 流域マスタープラン平面図 (Maha Oya 1/2)	図-21
添付図 6.7.22	Bolgoda 流域マスタープラン平面図 (Maha Oya 2/2)	図-22
添付図 6.7.23	Bolgoda 流域マスタープラン周囲堤配置図 (Maha Oya 1/3)	図-23
添付図 6.7.24	Bolgoda 流域マスタープラン周囲堤配置図 (Maha Oya 2/3)	図-24
添付図 6.7.25	Bolgoda 流域マスタープラン周囲堤配置図 (Maha Oya 3/3)	図-25
添付図 6.7.26	Bolgoda 流域マスタープラン平面図 (Alut Ela 1/3)	図-26
添付図 6.7.27	Bolgoda 流域マスタープラン平面図 (Alut Ela 2/3)	図-27
添付図 6.7.28	Bolgoda 流域マスタープラン平面図 (Alut Ela 3/3)	図-28
添付図 6.7.29	Bolgoda 流域マスタープラン周囲堤配置図 (Panape Ela 1/3)	図-29
添付図 6.7.30	Bolgoda 流域マスタープラン周囲堤配置図 (Panape Ela 2/3)	図-30
添付図 6.7.31	Bolgoda 流域マスタープラン周囲堤配置図 (Panape Ela 3/3)	図-31
添付図 6.7.32	Bolgoda 流域マスタープラン標準断面図 (Weras Ganga Right Bank Dike および周囲堤)	図-32
添付図 6.7.33	Bolgoda 流域マスタープラン標準断面図 (Maha Oya and Alut Ela)	図-33

第1章 はじめに

1.1 調査の背景

スリランカは自然災害に対して脆弱である。2004年のスマトラ沖地震・津波を契機として、災害対策法の制定、国家防災委員会、灌漑・水資源・災害管理省、災害管理センターの設立など防災に取り組んできた。

2016年10月時点までの過去10年間の記録では、発生件数の最も多い災害は洪水であり、全体の約37%を占めている。発生件数のみならず、洪水は家屋被害の約47%、被災者数の約57%を占めており、最も被害の大きい災害種となっており、洪水対策はスリランカにおいて喫緊の課題となっている。2016年5月に発生した洪水では、Colombo都市圏においてもKelani Gangaの支川流域において本川からの逆流による氾濫、内水氾濫が発生し、総被害額572百万ドルに及ぶ経済被害が発生した。

Colombo都市圏は、大部分が海拔6m以下の低平地であることに加えて、開発事業のための埋立が進むにつれて遊水地として機能していた湿地帯の面積が減少し、内水氾濫が頻繁に発生しており、資産およびインフラ施設への被害を与えるのみならず、住民の衛生環境も悪化させている。我が国は、大コロンボ圏水辺環境改善事業（1992年L/A締結、1999年貸付完了）によって水路の改修、放水路開削、遊水地の整備を、同フェーズ(2)（1994年L/A締結、2001年貸付完了）および同フェーズ(3)（1996年L/A締結、2005年貸付完了）によって地下排水管、地下排水溝、排水路、側溝の整備を支援し、更に、2003年には「コロンボ首都圏洪水対策計画調査」（以下、JICA2003M/P）を実施し、Ja Ela流域、Kalu Oya流域、Greater Colombo流域、Bolgoda流域の4主要流域を対象とした洪水対策マスタープランを策定した。マスタープランを受けて、都市排水を所管するスリランカ土地開発公社（Sri Lanka Land Reclamation and Development Corporation、後にSri Lanka Land Development Corporationに改名：以下、SLLDC）による一部の事業の実施や、事業化調査（以下、F/S）が行われているが、対策は不十分であり、更なる防災投資が必要となっている。

都市化および開発の進展により、2000年から2015年の間で、Greater Colombo流域では人口が約1.5倍、Bolgoda流域では約1.7倍に増加した。人口と資産の集中によって洪水発生時の被害リスクが増大する中、更に開発によって放水路や遊水地の候補地の確保も困難になっている。降雨パターン、開発状況（資産、人口の集中状況）、土地利用状況などの変化がある中で、都市排水・内水氾濫対策を進めるためにはマスタープランの更新が必要となっている。

以上の背景のもと、2016年5月に発生した洪水被害を踏まえた対策を進めるために、都市排水を所掌するSLLDC、その監督省庁であるメガポリス西部開発省（Ministry of Megapolis and Western Development：以下、MMWD）より、Ja Ela-Attangalu流域、Kalu Oya流域（Mudun Ela流域を含む）、Greater Colombo流域（Kolonnawa地区、Madiwela南放水路を含む）、Bolgoda流域（Moratuwa-Rathmalana地区を含む）を対象とした都市排水・内水氾濫対策の開発計画の策定および優先事業の事業化調査/計画策定を行う本プロジェクトが要請された。

これら都市圏の雨水排水を受け持ち整備の緊急性の高い4流域については、いずれの流域も2003

年のマスタープランの更新が必要であり、それぞれの流域の現況をまとめれば次表のようである。

表 1.1.1 調査対象地域内の排水流域の概要

River Basin Name	Present Status of River Improvement Works/Planning
Ja Ela	Conducting of F/S in CRIP under World Bank
Kalu Oya	F/S conducted in 2018, but unapproved by SLLDC
Greater Colombo	Conducting MCUDP under World Bank
Bolgoda	River improvement works conducted in only Weras Ganag basin

上表に示すように、Ja Ela 流域と Greater Colombo 流域では、世銀により計画の見直しと整備が進められており、Kalu Oya 流域は全く計画が最終化されておらず、Bolgoda 流域は最上流部(北部)の Weras Ganga 流域で、2003 年の F/S に沿った整備が進められているのみで、計画の見直しがなされていない。したがって、Kalu Oya 流域と Bolgoda 流域での計画の見直しが必要になっている。

2017 年 12 月に機構は、本案件の詳細計画策定調査を実施し、他ドナーやスリランカ政府が計画、実施する雨水排水対策事業と重複しない地域を調査し、事業地および事業内容をスリランカ政府と合意した。最終的に合意された本プロジェクトの対象地域は、Colombo 都市圏内の次の地域である。

1. 排水計画の対象流域

- Kalu Oya 流域
- Bolgoda 流域

2. プレ・フィージビリティ調査（以下、Pre-F/S）の対象地域

- Mudun Ela 流域
- Moratuwa-Rathmalana 地区

1.2 調査目的

本事業は、スリランカ国 Colombo 都市圏の対象地域において、雨水排水計画を作成することにより、もって浸水被害リスクの軽減に寄与することを目的とする。本プロジェクト終了後に期待される成果は次のとおりである。

成果 1 : Colombo 都市圏の対象地域における雨水排水計画が策定される。

成果 2 : 優先対策事業に対する Pre-F/S が実施される。

成果 3 : プロジェクト活動を通じた雨水排水計画策定に係る技術移転が実施される。

第2章 調査対象地域の概要

2.1 対象排水流域

調査対象地域は、巻頭の位置図に示すように、北はラガマ付近から南はカルタラ付近までの北緯 $6^{\circ} 36' \sim 7^{\circ} 02'$ 、東経 $79^{\circ} 50' \sim 80^{\circ} 05'$ の範囲に位置している。調査対象は、Kelani Ganga より北側にあり、その支川に相当する Kalu Oya および Mudun Ela の 2 流域、Kelani Ganga と Kalu Ganga に挟まれた区域に位置する Bolgoda 流域である。この概要を次表に示す。

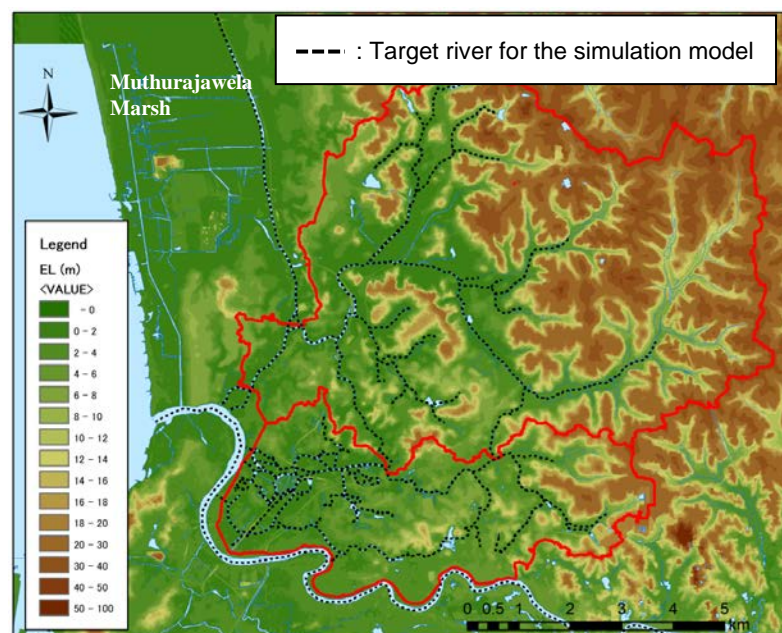
表 2.1.1 調査対象地域内の排水流域の概要

Drainage Basin	Catchment Area (km ²)	Main Stream Length (km)	Remarks
Kalu Oya Basin	58	13.5	
Mudun Ela Basin	16	9.1	Independent basin from Kalu Oya
Bolgoda Basin	394	32.3	From river mouth up to Kappu Ela

出典：JICA 調査チーム

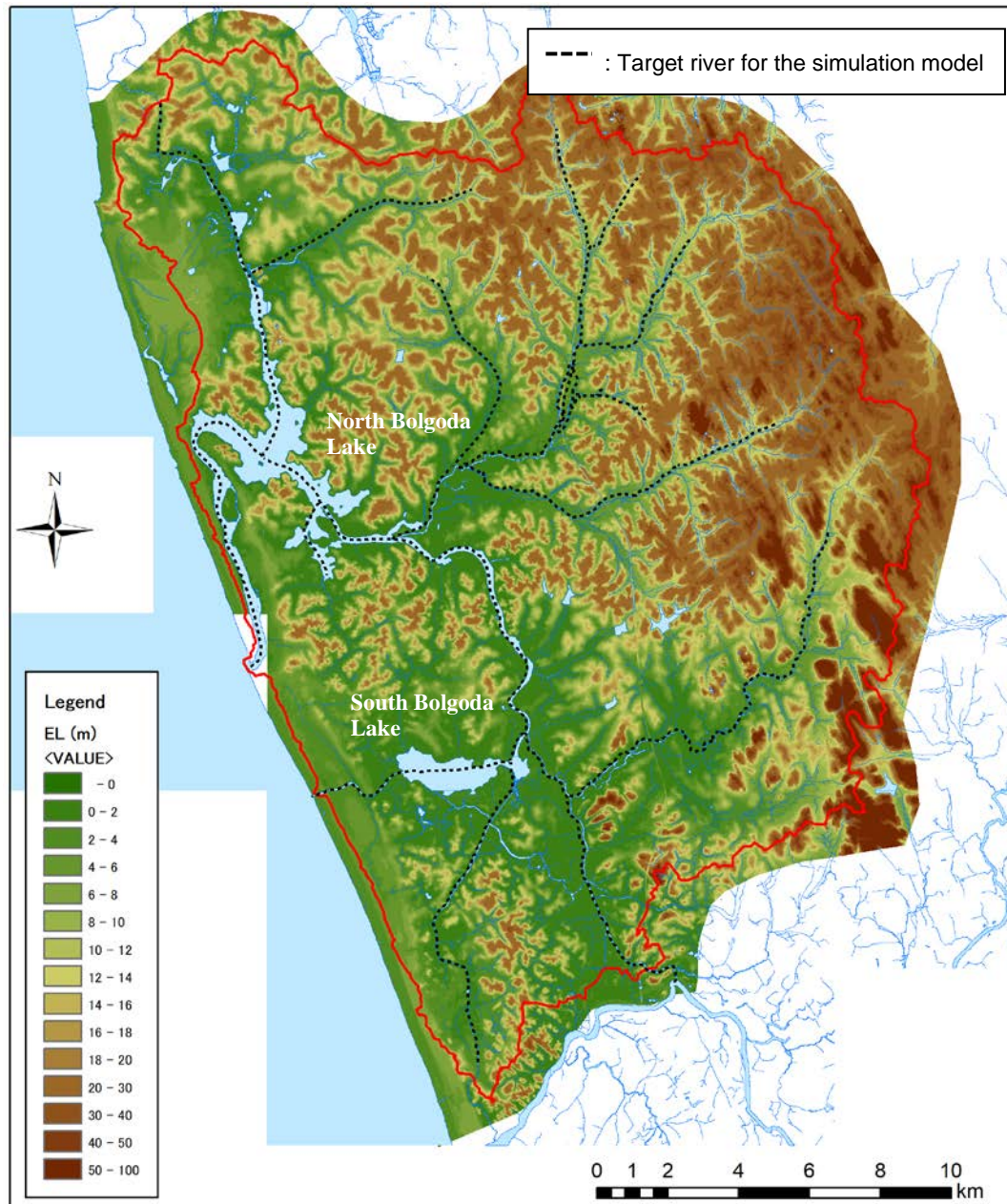
2.2 排水流域の地形地質

対象排水流域の大部分は海岸沿いの低平地である。北部には Muthurajawela 湿地が広がっており、南部には北 Bolgoda 湖と南 Bolgoda 湖がある。調査対象地域の地形は概ね低湿地とその周辺の低平地、および丘陵地に分類される。低湿地は下流域の海岸沿いに広がりその標高は 0~2m 程度である。低湿地の周辺と河川沿いの低平地の標高は 2~5m 程度であり、丘陵地の標高は 10m 以上である。平坦地の土質は海砂、湖沼堆積物（シルト、粘土）、飛砂、沖積土からなる。それぞれの対象排水流域の標高分布を次図に示す。



出典：LiDAR データを基に JICA 調査チームが作成

図 2.2.1 標高分布図（Kalu Oya および Mudun Ela 排水流域）

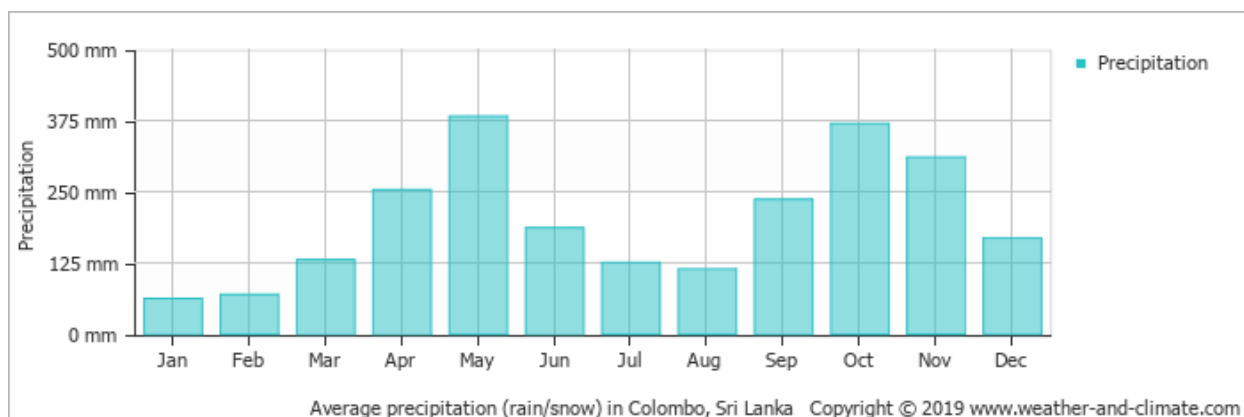


出典：LiDAR データを基に JICA 調査チームが作成

図 2.2.2 標高分布図 (Bolgoda 排水流域)

2.3 排水流域の降雨特性

対象地域はケッペンの気候区分で熱帯雨林気候に分類される。対象排水流域の中間に位置するコロンボ観測所（位置は図 5.2.6 参照）の年間平均最高気温は 30℃、平均最低気温は 24℃である。降雨量は 5 月、10 月、11 月において最も多く、降水日数は 5 月、6 月、10 月、11 月に多い。12～2 月には北東モンスーンによる乾季となり、3～5 月には南西モンスーンによる雨季となり、10～11 月も雨季となる（次図参照）。



出典：https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature

図 2.3.1 コロンボ気象観測所における月降水量の分布

コロンボ気象観測所は、気象局の下で、短時間強雨も観測しており、このデータをもとに短時間降雨強度式が開発されており、その1時間の確率降雨強度は次のとおりである。

- 1) 2年確率： 79.6mm/hr
- 2) 5年確率： 91.9mm/hr
- 3) 10年確率： 100.7mm/hr
- 4) 25年確率： 114.9mm/hr
- 5) 50年確率： 123.8mm/hr
- 6) 100年確率： 132.6mm/hr

上記の降雨強度は、かなり高い強度を示しているが、熱帯モンスーン地域の降雨強度としては、一般的な強度といえる。

2.4 排水流域の土地利用と都市開発状況

2.4.1 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の現況

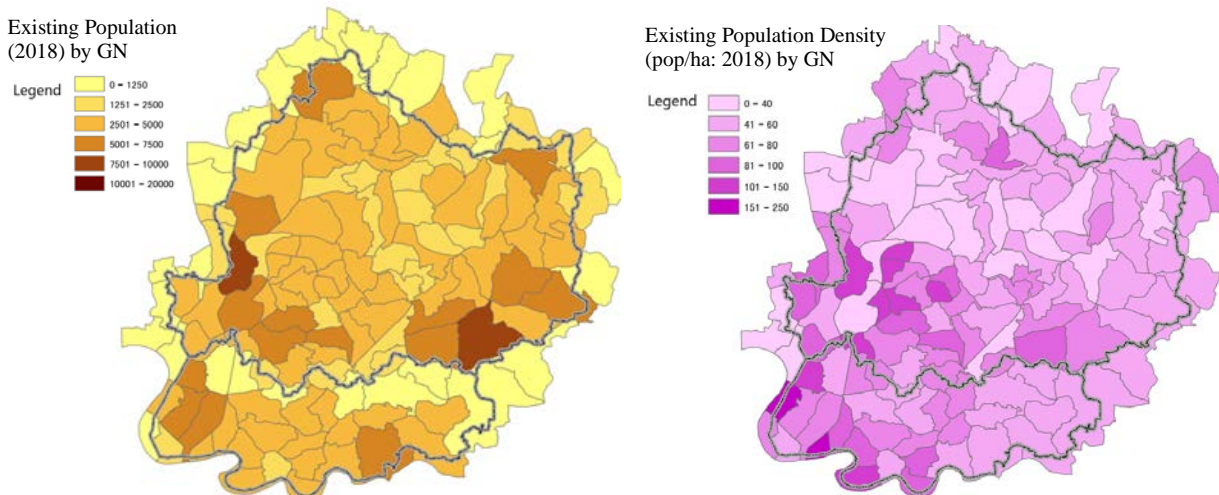
2.4.1.1 郡別の人口分布

Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の対象流域の現在人口（2018年）は、国連 WFP・国連人道問題調整事務所 OCHA の GN レベルの推計値に基づく、Kalu Oya 流域（291,111人）と Mudun Ela 流域（131,206人）の合計で 422,317人である。Mudun Ela 流域は、緑地や空地も少なく比較的高い密度（平均密度 65.6人/ha）となっている。郡（DS Division）別で見ると、Wattala が最も高い人口密度（110.4人/ha）で Kelaniya（71.5人/ha）がそれに続く。次表に示すように、郡別の平均世帯数は世帯当たり 3.6人から 4.0人である。

表 2.4.1 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の郡別の人口分布 (2018)

Project Area	DS Division	Target Area (ha)	Population (person)	Household (HH)	Average HH Size	Population Density (person/ha)
Kalu-Oya basin	Biyagama	926	44,295	12,432	3.6	47.8
	Ja Ela	617	29,994	7,906	3.8	48.6
	Kelaniya	788	56,131	14,492	3.9	71.3
	Mahara	1,978	104,444	27,510	3.8	52.8
	Wattala	1,233	56,247	14,698	3.8	45.6
	sub-total	5,541	291,111	77,038	3.8	52.5
Mudun Ela sub-basin	Biyagama	682	34,431	9,591	3.6	50.5
	Kelaniya	1,259	90,141	23,874	3.8	71.6
	Wattala	60	6,633	1,658	4.0	110.4
	sub-total	2,001	131,206	35,122	3.7	65.6
Total Area	Biyagama	1,608	78,727	22,023	3.6	49.0
	Ja Ela	617	29,994	7,906	3.8	48.6
	Kelaniya	2,047	146,272	38,365	3.8	71.5
	Mahara	1,978	104,444	27,510	3.8	52.8
	Wattala	1,293	62,880	16,356	3.8	48.6
Total		7,542	422,317	112,160	3.8	56.0

出典: 2018 年人口推計値 : WPF / OCHA の推計値に基づき JICA 調査チーム作成



出典 : 2018 年人口推計値 : WPF / OCHA の推計値に基づき JICA 調査チーム作成

図 2.4.1 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の人口および密度分布 (2018)

2.4.1.2 現況土地利用状況

Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域は、GIS 計測値によると Ja Ela、Wattala、Kelaniya、Mahara および Biyagama の 5 郡内に位置し総計 7,542 ha を占め、その内訳として Wattala、Kelaniya および Biyagama の 3 郡を有する Mudun Ela 流域が 2,001 ha、Kalu Oya 流域の面積は前述の 5 郡による 5,541 ha を有し両流域の 73%を占める。

Wattala、Kelaniya、Mahara の各郡内を占める Mudun Ela 流域 (2,001ha) は、Bolgoda 流域を含め対象流域内で最も高い市街化率となっている。GIS 分析情報 (JICA チーム更新) に基づく表 2.4.2 の面積表に示すように、対象流域全域の 80% (6,078ha) が建物区域および人工的な空地等を含む市街化地域であり、Kalu Oya 流域では 78% (4,336 ha)、Mudun Ela 流域では 84% (1,672 ha) が市街地となっている。表 2.4.2 に内訳を示す。

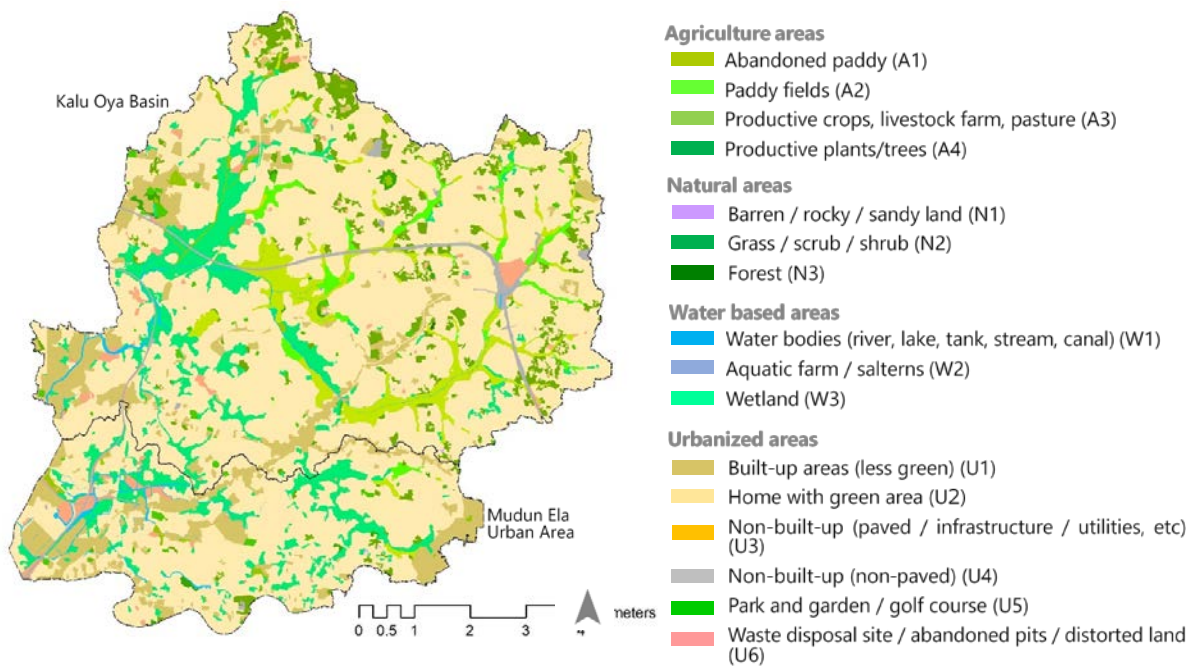
Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域におけるその他の土地利用構成を見ると、農業用地（10.2%、766 ha）、林地、灌木等の自然植生および不毛地、砂地等を含む自然地域（0.4%、27ha）、河川、池、低湿地等を含む水域（10.3%、777ha）から構成される。対象流域内の非建築用地（舗装、人工的な地表面、インフラ施設用地等の U3 区分）が 827 ha を占め、雨水浸透に配慮すると自然植生で被覆されるのが望まれる用地として大きな面積を占める。U5 としての人工緑地（公園・その他レクリエーション系の緑地）は、全面積の僅か 0.7%（54 ha）にとどまる。対象流域のみならず西部州の特徴的な土地利用として低湿地（A3・A4:水田・放棄水田および W1:湿地、沼地、スワンプ等）があげられ、面積は 1,079 ha で両流域面積の 14.3%を占める。

表 2.4.2 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の郡別土地利用構成（2018）

Target Area	DS Division	Total Area (ha)	Agricultural land				Natural areas			Water bodies			Urbanized / man-made area					
			A1	A2	A3	A4	N1	N2	N3	W1	W2	W3	U1	U2	U3	U4	U5	U6
Kalu-Oya basin	Biyagama	926.2	72.9	0.1	5.5	110.8	0.8	0.5	0.5	19.4	0.6	3.6	25.9	651.3	26.4	3.9	2.7	1.3
	Ja Ela	616.8	82.8	0.5	0.0	9.4	0.0	1.2	0.0	63.7	15.6	0.0	33.9	386.2	1.3	14.2	8.1	0.0
	Kelaniya	787.7	4.2	0.0	0.0	25.0	0.0	1.0	0.0	87.5	0.1	4.3	92.2	532.3	25.2	8.6	7.5	0.0
	Mahara	1,977.5	140.3	0.8	60.8	89.2	0.0	8.7	0.0	106.7	7.5	7.4	59.5	1,429.3	35.6	23.2	7.8	0.7
	Wattala	1,233.2	20.8	0.0	24.8	72.3	0.0	6.8	0.0	146.4	16.2	15.6	191.7	679.5	21.8	22.3	14.7	0.1
	sub-total	5,541.5	320.9	1.3	91.2	306.8	0.8	18.3	0.6	423.6	40.0	30.9	403.2	3,678.6	110.2	72.1	40.8	2.2
Mudun Ela sub-basin	Biyagama	681.9	15.0	0.0	7.3	11.4	0.0	3.2	0.6	93.0	1.1	0.2	94.2	249.7	202.7	0.5	2.8	0.2
	Kelaniya	1,259.0	12.0	1.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	142.6	9.2	32.2	228.4	264.1	514.2	41.0	10.4	0.0
	Wattala	60.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	1.4	0.6	8.8	46.0	0.1	0.0	0.4	0.0
	sub-total	2,001.0	27.0	1.0	7.3	11.4	0.0	7.2	0.6	238.4	11.7	33.0	331.4	559.8	716.9	41.4	13.6	0.2
Total Area	Biyagama	1,608.1	87.9	0.1	12.8	122.3	0.8	3.7	1.2	112.4	1.7	3.8	120.1	901.0	229.0	4.3	5.6	1.5
	Ja Ela	616.8	82.8	0.5	0.0	9.4	0.0	1.2	0.0	63.7	15.6	0.0	33.9	386.2	1.3	14.2	8.1	0.0
	Kelaniya	2,046.8	16.1	1.0	0.0	25.0	0.0	5.0	0.0	230.1	9.2	36.5	320.6	796.3	539.4	49.6	17.8	0.0
	Mahara	1,977.5	140.3	0.8	60.8	89.2	0.0	8.7	0.0	106.7	7.5	7.4	59.5	1,429.3	35.6	23.2	7.8	0.7
	Wattala	1,293.3	20.8	0.0	24.8	72.3	0.0	6.8	0.0	149.1	17.6	16.2	200.5	725.5	21.8	22.3	15.1	0.1
	Total	7,542.4	347.9	2.3	98.5	318.2	0.8	25.5	1.2	662.0	51.7	63.9	734.7	4,238.4	827.1	113.6	54.4	2.4

備考：A1= productive plants/trees, A2=productive crops/livestock farm, pasture, A3 =paddy, A4 =abandoned agricultural area , N1=forest, N2=grass /scrub / shrub lands , N3=barren / rocky / sandy lands, W1=wetland / marsh / swamp, W2=aquatic farm / salterns, W3=water bodies (river, stream, canal, lake, pond, tank, sea), U1=building area with paved area , U2=home with green area and open space, U3=non-built-up area (paved, non-natural materials, mining pits, infrastructure, utilities), U4=non-built-up area (non-paved, natural covered, quarries, mining pits), U5=park and garden / golf course, U6=waste disposal site, distorted land, abandoned pits

出典：SD の GIS データ（2016） 、 LUPPD の GIS データ（2018）に基づき JICA 調査チームが更新・作成



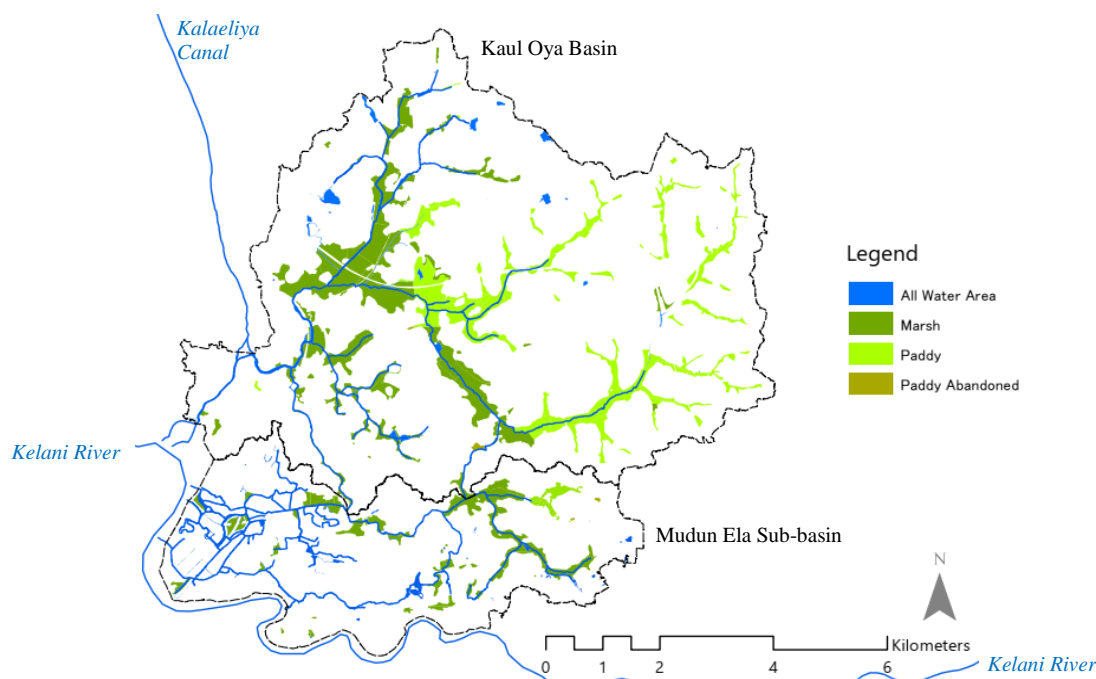
出典：SD の GIS データ（2016）、LUPPD の GIS データ（2018）に基づき JICA 調査チームが更新・作成

図 2.4.2 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の土地利用現況（2018）

2.4.1.3 低湿地の現況

Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の低湿地の現況については、2018 年に SLLDC が策定した「Wetland Management Strategy for the Kalu Oya and Mudun Ela Basins」で詳細に調査・分析されている。本調査対象流域に比較して標記調査区域は若干面積が小さいものの、調査結果から対象流域の低湿地の現況に係る内容を下記に引用する。

- 調査地区の低湿地は二つの流域からなり、その上流域は現在も活用されている水田で、中流と下流域の低湿地ではかつての水田が放棄水田となり、異なる植生によるモザイク状の自然植生に遷移していく過程にある。調査地区の現在の低湿地は、乾季の満潮時の僅かな流入水のみの影響であり、それに配慮すると原則、淡水低湿地として位置づけられる。
- Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の低湿地は、1) 解放水域、2) ハーブ植生優勢区域および3) 林地の3つの生息環境から構成される。各低湿地タイプは、管理形態、流体力学、植生等における卓越した要素からの生息環境となる。
- 低湿地は、豊かな動植物の組み合わせを生み出しており、7種の固有種、11種の「国レベルで危機にある種」（絶滅危惧の2種、危機の1種と8の脆弱種）および9種の「国レベルの絶滅危惧の恐れのある種」が記録されている。また、記録された72%がスリランカの在来種であり24%が外来種となっている。
- 2つの流域では、調査地区の現場調査から低湿地への脅威が特定されている。最も重要なインパクトは、都市化の需要に基づく低湿地の改変と土地区画整備による低湿地用地への浸食であり、また、低湿地への無秩序かつ大規模なごみ投棄である。



出典：Survey Department の GIS データ（2016）、LUPPD の GIS データ（2018）に基づき JICA 調査チームが更新・作成

図 2.4.3 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の低湿地分布（2018）

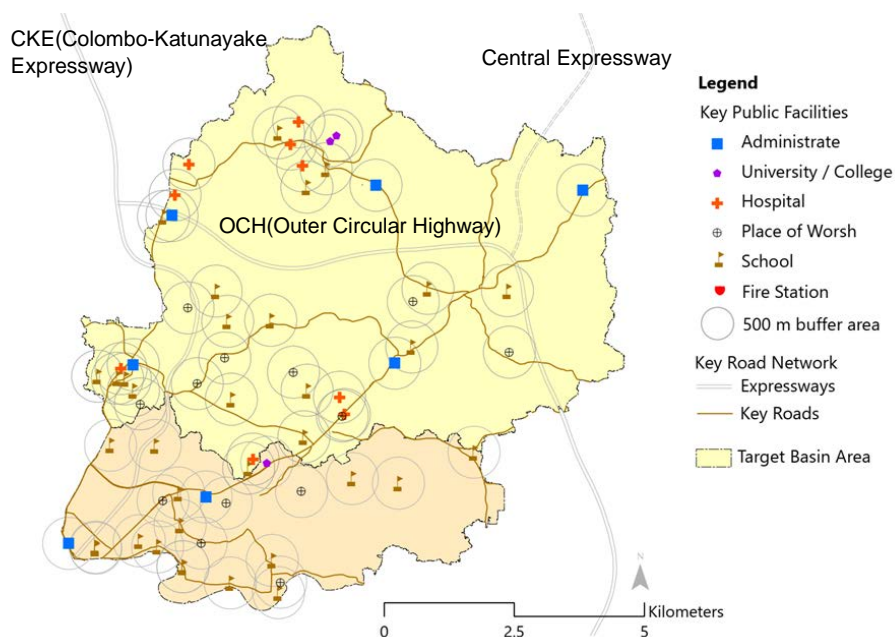
2.4.1.4 公共施設および道路・交通状況

公共施設は、日常生活および社会経済の活動を支援していく上での重要な役割を果たしているが、災害が発生した際の、人々の避難場所あるいは防災拠点においても重要な役割を果たす。Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の災害対応時に重要な公共施設の分布状況を次表に示す。対象流域での公共施設分布の特徴としては、大半の施設は低地に位置せず、多くが人口密度の高い地域への配置よりも主要道路沿いに位置し、高い人口密度の地区(例: Mudun Ela 流域 Welikadamulla, Makola North Pahala)にもかかわらず、公共施設圏域に包含されない地区が見られる。

表 2.4.3 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の郡別公共・公益施設数 (2018)

Target Area	DS Division	Admin	School	Univ/Col	Hospital	Fire Station	Religious Facility	Total
Kalu-Oya basin	Biyagama	0	2	0	0	0	1	3
	Ja Ela	0	2	2	3	0	0	7
	Kelaniya	1	4	0	3	0	3	11
	Mahara	2	4	0	0	0	3	9
	Wattala	2	6	0	3	0	2	13
	sub-total	5	18	2	9	0	9	43
Mudun Ela sub-basin	Biyagama	0	3	0	0	0	0	3
	Kelaniya	2	10	0	0	0	5	17
	Wattala	0	1	0	0	0	0	1
	sub-total	2	14	0	0	0	5	21
Total Area	Biyagama	0	5	0	0	0	1	6
	Ja Ela	0	2	2	3	0	0	7
	Kelaniya	3	14	0	3	0	8	28
	Mahara	2	4	0	0	0	3	9
	Wattala	2	7	0	3	0	2	14
	Total	7	32	2	9	0	14	64

出典：Open Source Map geodata および Google Earth の資料に基づき JICA 調査チーム作成



出典：Open Source Map geodata および Google Earth の資料に基づき JICA 調査チーム作成図

図 2.4.4 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の公共・公益施設および主要道路交通ネットワーク (現況・計画) 分布 (2018)

Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の道路交通ネットワークは、GN 間や DS Division 地区（以下：郡）間を結ぶ道路網が比較的整備されている。特に、2020 年に供用開始された Outer Circular Highway および建設中の Central Expressway の二つの高速道路が Kalu Oya 流域を通過している（図 2.4.4 参照）。両高速道路は、Kalu Oya 流域の低湿地を利用して整備されており、雨水排水管理との調和が配慮事項となる。

2.4.2 Bolgoda 流域（Moratuwa-Rathmalana 地区を含む）の現況

2.4.2.1 郡別の人口分布

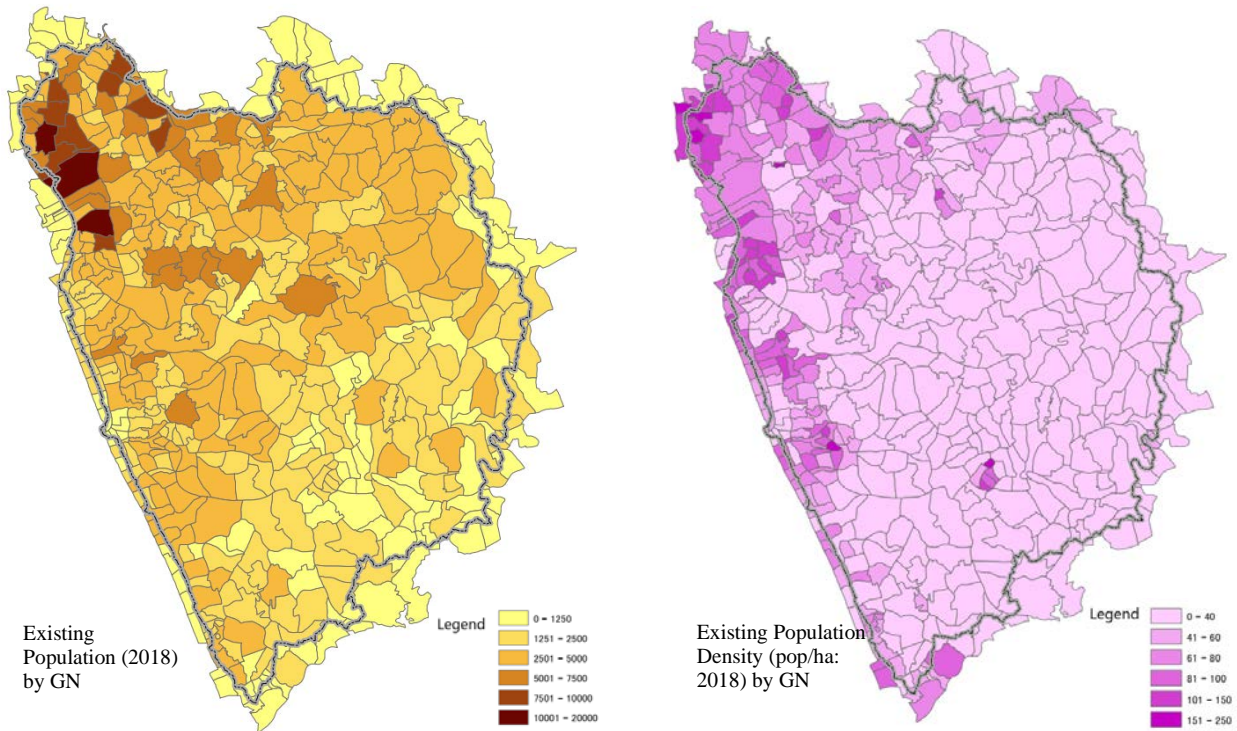
Moratuwa-Rathmalana 流域を含む Bolgoda 流域の現在人口（推計）は、約 122 万人（2018 年）と推計され、内、Colombo 県に属する人口は 73 万 8 千人で Kalutara 県の人口は 48 万人 5 千人である。Colombo 県に属する区域の人口密度は、流域南部の Kalutara 県に属する地域（平均 20.4 人/ha）より緑や空地が少なく、平均 41.8 人/ha と相対的に高くなっている。流域で最も高密度な郡は Dehiwala（94.8 人/ha）で Sri Jayawardenepura Kotte（86.7 人/ha）がこれに続くが、両郡とも Colombo 県に属する。

流域の Colombo 県と比較し市街化度が低い Kalutara 県では、Colombo 県内の Moratuwa 郡に接する Panadura 郡の人口密度が最も高く（45.1 人/ha）、同じく Colombo 県に隣接する Bandaragama 郡（20.4 人/ha）がこれに続く。次表に示すように郡別の平均世帯数（推計）は、世帯当たり 3.5 人から 3.9 人で、表 2.4.1 にまとめた Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の平均世帯数（3.8 および 3.7 人/HH）とほぼ同等である。

表 2.4.4 Bolgoda 流域（Moratuwa-Rathmalana 流域含む）の郡別の人口分布（2018）

District	DS Division	Target Area (ha)	Population (person)	Household (HH)	Average HH Size	Population Density (Persons/ha)
Colombo	Dehiwala	439	41,659	11,763	3.5	94.8
	Homagama	6,833	157,012	43,763	3.6	23.0
	Kaduwela	2	67	18	3.6	29.5
	Kesbewa	6,145	259,613	70,937	3.7	42.3
	Maharagama	1,436	80,431	21,395	3.8	56.0
	Moratuwa	1,179	95,774	24,846	3.9	81.2
	Padukka	345	3,379	926	3.6	9.8
	Rathmalana	872	72,723	19,754	3.7	83.4
	Sri Jayawardenepura Kotte	224	19,419	5,375	3.6	86.7
	sub-total	2	180	47	3.8	72.1
Kalutara	Bandaragama	17,477	730,257	198,825	3.7	41.8
	Horana	5,741	117,312	30,127	3.9	20.4
	Kalutara	6,381	82,377	22,192	3.7	12.9
	Millaniya	3,624	63,385	16,511	3.8	17.5
	Panadura	3,554	33,322	9,046	3.7	9.4
	sub-total	4,188	188,683	48,492	3.9	45.1
Total		23,488	485,079	126,368	3.8	20.7

出典: 2018 年人口推計値: WPF/OCHA の推計値に基づき JICA 調査チーム作成



出典：2018年人口推計値：WPF/OCHAの推計値に基づき JICA 調査チーム作成

図 2.4.5 Bolgoda 流域 (Moratuwa-Rathmalana 流域含む) の人口および密度分布 (2018)

2.4.2.2 現況土地利用状況

Moratuwa-Rathmalana 地区を含む Bolgoda 流域は、次表に示すように 10 の郡を含む Colombo 県 (42.6%) および 5 つの郡を含む Kalutara 県 (57.4%) の 2 県にまたがる地域で、その流域面積は 40,923 ha である。これら 15 の郡の中で最も市街化率の高い郡域は、Sri Jayawardenepura Kotte (市街化率 98.5%) で Dehiwala (94.9%) がこれに続く。両郡を含む流域内の Colombo 県域の市街化率は 70.2% となっている。流域内の南部の kalutara 県の都市化率は 53.1% で、内 Panadura 郡が最も都市化率が高く 65.8% で Bandaragama 郡 (53.9%) が続く。

水田を含む農地の多くは Kalutara 県内に分布し流域の 21.1% を占め、Horana 郡が最大の農地面積 (2,762 ha) を有し Bandaragama 郡 (1,875 ha) がこれに続く。一方、Colombo 県での最大農地は Homagama 郡 (2,290 ha) で Kesbewa 郡 (1,068 ha) がこれに続く。放棄水田は、Kalutara 県の面積が無視できない規模 (2,857 ha) となり、Bolgoda 流域における放棄水田を含む全水田面積の 37% を占めている。

林地、灌木等の自然植生および不毛地、砂地等を含む自然地域が多いのは Kalutara 県で、Horana 郡 (268 ha) が最大面積となり Bandaragama 郡 (240 ha) がこれに続く。中央環境庁 (Central Environment Authority : 以下、CEA) が指定した環境保護地区 (Environmental Protection Areas : 以下、EPA) となっている Bolgoda 湖 (南部、北部) は、西部州の大規模水域の一つであり、Rathmalana、Moratuwa、Kesbewa、Pananura、Bandaragama および Kalutara の 6 つの郡にまたがっている。流域の水域は 1,200 ha で、内 Kalutara 県に属する 3 つの郡 (Pananura、Bandaragama および Kalutara) 内の水域が 76% を占める。

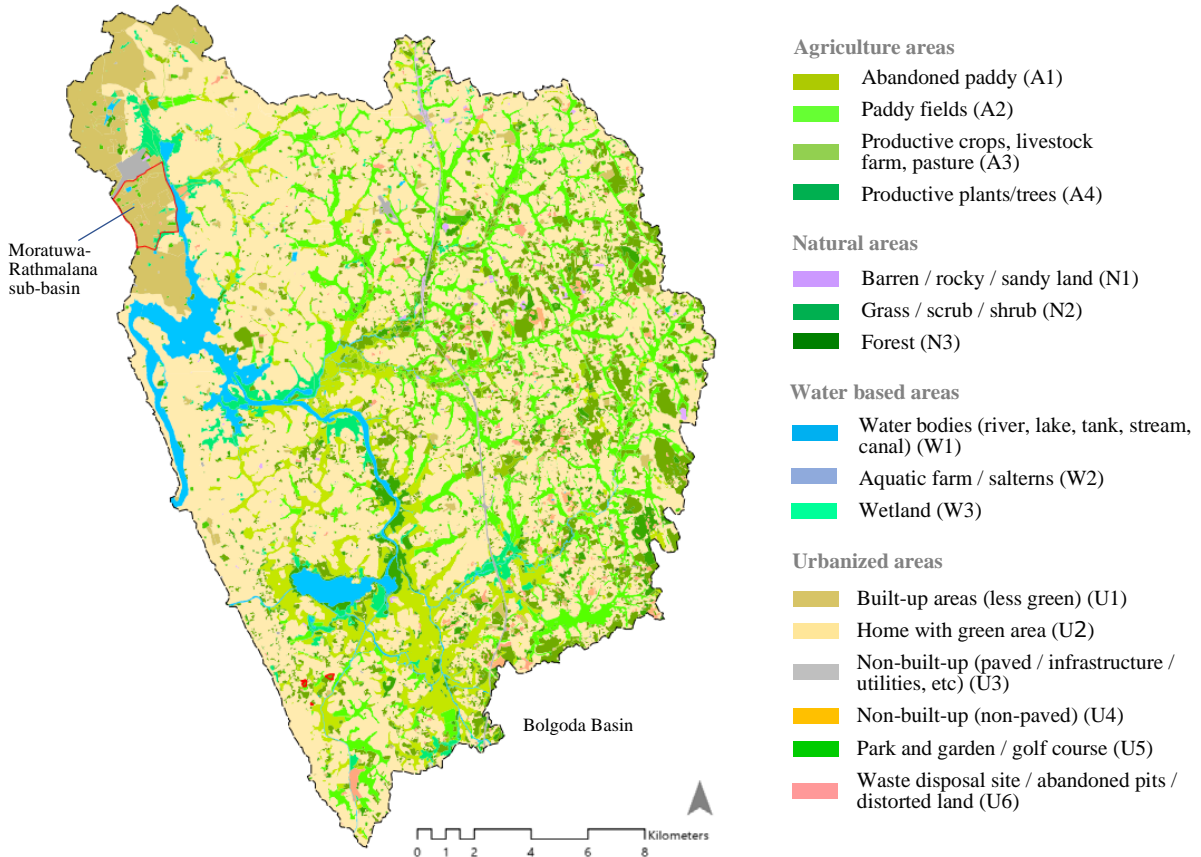
公園、ガーデン、余暇空間等の人工緑地 (U5) は、流域の僅か 0.3% (136ha) を占めるのみである。A3/A4 (水田・放棄水田) および W1 (湿地、沼地等) からなる低湿地は、8,598 ha で流域の 21% を占めている。

表 2.4.5 Bolgoda 流域 (Moratuwa-Rathmalana 地区含む) の郡別の土地利用構成 (2018)

District	DS Division	Total Area (ha)	Agricultural Land				Natural Areas			Water Bodies			Urbanized / Man-made Area					
			A1	A2	A3	A4	N1	N2	N3	W1	W2	W3	U1	U2	U3	U4	U5	U6
Colombo	Dehiwala	439.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	3.4	7.3	346.0	66.0	0.6	0.3	3.9	0.0
	Homagama	6,832.8	850.2	72.2	1,137.8	230.8	0.9	157.1	58.0	29.6	29.8	15.7	71.7	3,976.5	60.9	97.4	36.0	8.2
	Kaduwela	2.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kesbewa	6,144.6	202.0	31.4	523.1	312.0	1.3	20.2	0.9	246.5	60.0	308.1	154.5	4,235.3	3.4	14.1	18.9	13.1
	Maharagama	1,398.9	46.4	14.3	92.9	68.0	0.0	5.3	20.2	14.2	18.7	0.0	0.0	1,088.0	15.9	9.8	5.2	0.1
	Moratuwa	1,173.6	2.7	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	22.5	2.6	240.7	608.9	275.8	2.1	4.9	12.9	0.0
	Padukka	344.8	132.0	1.9	47.1	1.3	0.0	3.9	0.8	0.0	0.1	0.0	0.8	151.6	0.1	3.3	0.0	2.0
	Rathmalana	872.3	2.6	3.1	0.0	0.0	0.0	16.4	2.7	76.7	12.1	26.3	542.2	81.6	89.9	1.8	16.9	0.0
	S.J. Kotte	223.9	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.3	0.0	0.9	0.3	0.0	212.1	7.8	0.0	0.5	0.1	0.0
	Thimbrigasyaya	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sub-total	17,435.1	1,236.6	123.0	1,802.9	612.0	2.3	203.2	82.6	402.1	127.0	598.2	1,938.7	9,884.2	173.1	131.9	94.0	23.4	
Kalutara	Bandaragama	5,740.8	446.0	82.1	471.9	875.6	1.8	234.0	4.2	202.7	57.5	271.9	36.5	2,971.3	49.5	19.0	9.3	7.5
	Horana	6,380.6	1,405.6	116.3	1,111.0	129.5	1.6	232.1	34.6	4.6	17.3	6.3	37.1	3,144.6	19.6	26.9	9.5	84.1
	Kalutara	3,624.5	291.8	34.5	328.9	912.4	0.0	114.7	3.9	116.6	0.2	97.8	10.9	1,658.8	5.1	44.9	4.0	0.0
	Millaniya	3,554.2	736.0	20.3	468.3	513.2	6.5	176.8	0.0	25.4	1.3	39.9	32.3	1,337.9	30.9	83.4	5.8	76.1
	Panadura	4,188.2	196.2	13.5	49.2	426.4	0.0	93.1	9.5	145.7	0.3	496.8	33.4	2,701.4	5.2	3.5	14.1	0.0
	Sub-total	23,488.3	3,075.5	266.7	2,429.2	2,857.1	9.8	850.6	52.2	495.0	76.6	912.7	150.2	11,814.1	110.3	177.6	42.7	167.8
	Total	40,923.4	4,312.1	389.7	4,232.2	3,469.1	12.2	1,053.8	134.8	897.1	203.7	1,510.8	2,088.8	21,698.3	283.4	309.5	136.7	191.1

備考: A1= productive plants/trees, A2=productive crops/livestock farm, pasture, A3 =paddy, A4 =abandoned agricultural area , N1=forest, N2=grass /scrub / shrub lands , N3=barren / rocky / sandy lands, W1=wetland / marsh / swamp, W2=aquatic farm / salterns, W3=water bodies (river, stream, canal, lake, pond, tank, sea), U1=building area with paved area , U2=home with green area and open space, U3=non-built-up area (paved, non-natural materials, mining pits, infrastructure, utilities), U4=non-built-up area (non-paved, natural covered, quarries, mining pits), U5=park and garden / golf course, U6=waste disposal site, distorted land, abandoned pits

出典: SD の GIS データ (2016) 、 LUPPD の GIS データ (2018) に基づき JICA 調査チーム更新・作成



出典: SD の GIS データ (2016)、LUPPD の GIS データ (2018) に基づき JICA 調査チーム更新・作成

図 2.4.6 Bolgoda 流域および Moratuwa - Rathmalana 流域の土地利用現況 (2019)

2.4.2.3 低湿地の現況

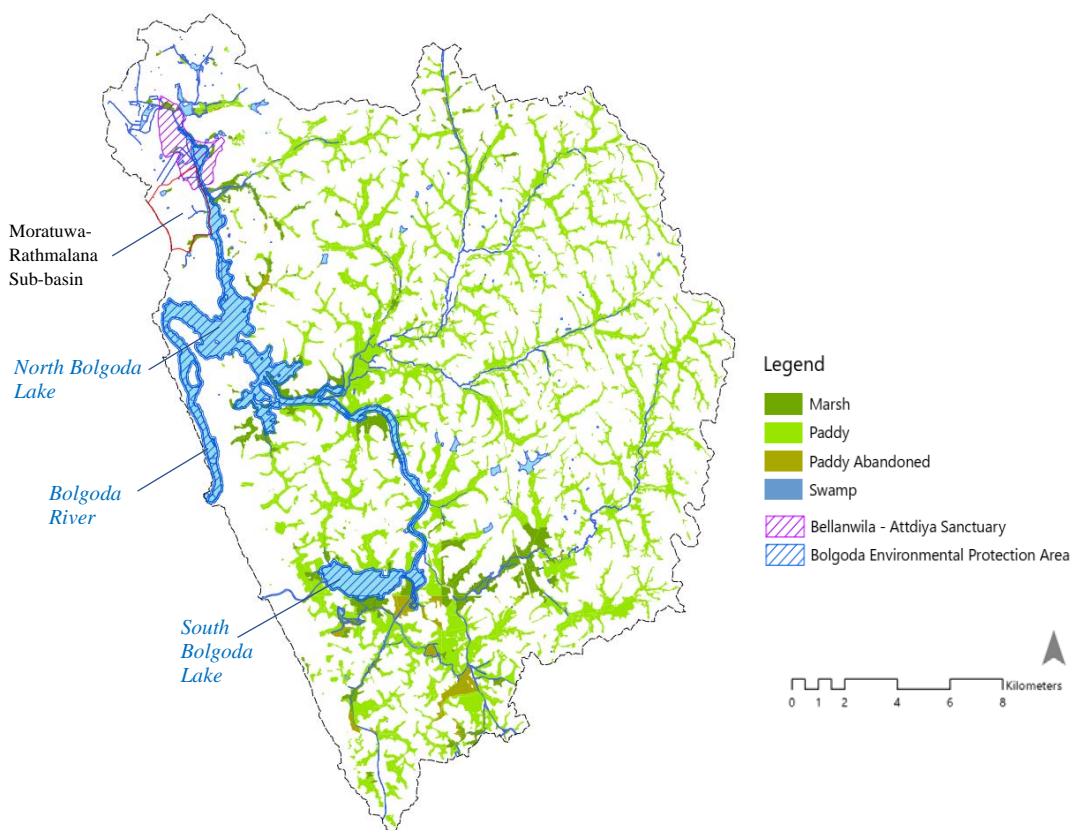
前節の土地利用構成で述べた様に、Bolgoda 流域では、特に Kalutara 県内において多くの緑水域（水田を含む農地、自然植生地、水域）が維持されている。前述したように流域内の放棄水田面積は低湿地面積で無視できない規模となっている。本流域では、西部州の自然環境を特徴づける代表的な Bolgoda 湖の環境保護地区と Weras Ganga 流域のサンクチュアリーを有する。

1) Bellanwila – Attidiya 保護区

Bellanwila-Attidiya 保護区（372 ha）は Bolgoda 流域内の低湿地地区で、近年における水田の放棄地化が進むものの、依然、低湿地の鳥類等豊かな動物相を維持している。加えて、1990 年の野生保護局（Department of Wildlife Conservation : 以下、DWLC）による保護区指定にもかかわらず、開発浸食、水域汚染、ゴミ投棄などの脅威は効果的に防止されていない。

2) Bolgoda 環境保護地区

Bolgoda 環境保護地区（1,245 ha）は、相互還流のある北部湖と南部湖の二つの湖から構成される。北部湖は Weras Ganga と Bolgoda Ganga からの水を受けると共に、Panadura Ganga を通じ海域に接続し、南部湖は、Panape Ela からの水を受けている。2つの湖は Bolgoda Ganga で連結されている。Bolgoda 湖水系は豊かな生物多様性を育む倉庫の役割を果たし、2009 年に西部州の EPA として認定された。



出典: SD の GIS データ（2016）、LUPPD の GIS データ（2018）、自然保全区域の CEA の GIS データに基づき JICA 調査チーム更新・作成

図 2.4.7 Bolgoda 流域の低湿地分布および自然保護区（2018）

2.4.2.4 公共施設および道路・交通状況

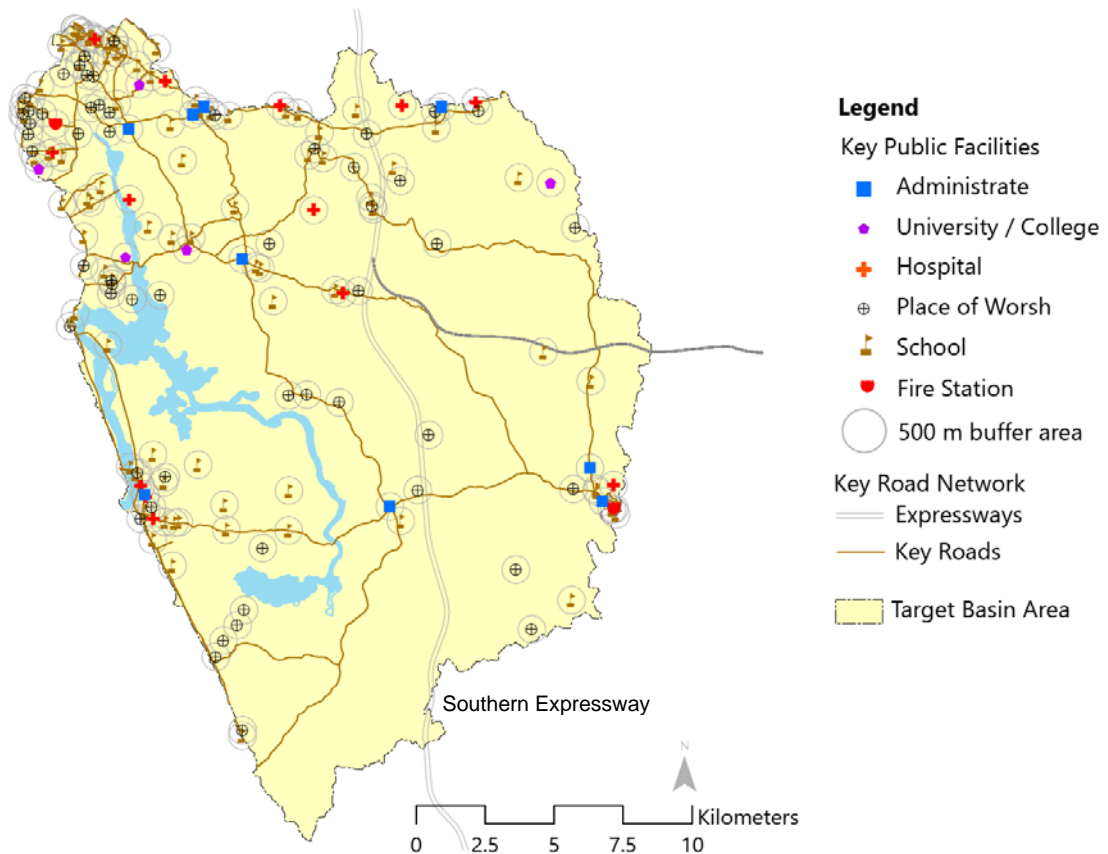
Bolgoda 流域の公共施設の分布は、都市自治体を有する Moratuwa - Rathmalana や Panadura の各郡に代表される人口密度の高い地区に集中している。その他では、域内の主要道路沿いの比較的人口密度の高い Kalutara、Kesbewa や Homagama の各郡に分布している。Bolgoda 流域は人口の多い Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域に比較し少ない人口であるが、重要な公共・公益施設である病院や消防署は Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域より多く分布している。また、大半の公共施設は、低地ではなく丘地に配置されている。

Bolgoda 流域の幹線道路網は、流域内の都市化の度合いにより 1) 都市化の進む Colombo 県と 2) 都市化度合いの低い Kalutara 県で異なる整備密度となっている。Colombo 県内では、GN 間、郡間の幹線および地区道路網が高い密度で整備されており、Kalutara 県内では、低い整備密度となっている。現在、流域を縦断する既設の高速道路 (Southern Expressway) に接続するために、流域東部に Ruwanpura 高速道路が計画されている。Ruwanpura 高速道路は、Bolgoda 流域の低湿地を利用して計画されており、雨水排水管理との調和が配慮事項となる。

表 2.4.6 Bolgoda 流域の郡別公共・公益施設数 (2018)

District	DS Division	Admin	School	Univ/Col	Hospital	Fire Station	Religious Facilities	Total
Colombo	Dehiwala	0	13	0	1	0	3	17
	Homagama	1	7	1	3	0	8	20
	Kaduwela	0	0	0	0	0	0	0
	Kesbewa	2	13	0	1	0	10	26
	Maharagama	2	11	1	1	0	2	17
	Moratuwa	0	4	1	0	0	6	11
	Padukka	0	0	0	0	0	1	1
	Rathmalana	0	9	1	1	1	7	19
	S.J. Kotte	0	7	0	0	0	1	8
	Thimbirigasyaya	0	0	0	0	0	0	0
	Sub-total	5	64	4	7	1	38	119
Kalutara	Bandaragama	1	5	0	0	0	6	12
	Horana	2	6	0	1	1	1	11
	Kalutara	0	1	0	0	0	1	2
	Millaniya	0	1	0	0	0	2	3
	Panadura	1	12	0	3	0	8	24
		Sub-total	4	25	0	4	1	18
	Total	9	89	4	11	2	56	171

出典：Open Source Map geodata and Google Earth に基づき JICA 調査チーム作成



出典：Open Source Map geodata and Google Earth に基づき JICA 調査チーム作成

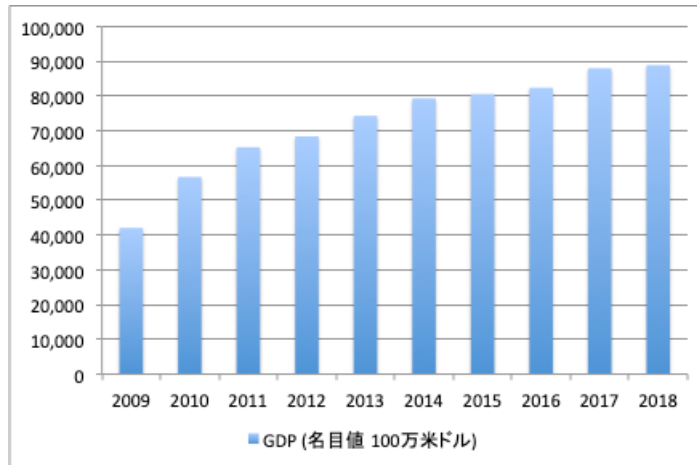
図 2.4.8 Bolgoda 流域の公共・公益施設および主要道路交通ネットワーク（現況・計画）分布

2.5 排水流域の経済状況

2.5.1 スリランカ国全体の経済状況

スリランカ国の経済は紛争終結後、復興需要や経済活動の活性化により、2010年から2012年にかけて、3年連続で実質 GDP 成長率が8%を上回る高成長を遂げた。成長率は2012年に過去最高となる9.1%を記録したあと低下したが2013年から2015年の3年間は、4%前後の水準で安定的に推移した。2016年の一人当たりのGDPは3,835米ドルで、成長率は4.4%であった。2016年GDPの内訳はサービス業が56.5%、工業が26.8%、農業が7.1%、税金（補助金を除く）が9.6%である。

2018年のGDPは、88,901百万米ドル、一人当たりGDPは、4,102米ドルである。実質GDP成長率は、これまで激しく上下している。これら経済成長の指標としてGDP、一人当たりGDP、および実質GDP成長率で推移を見たのが、次図である。



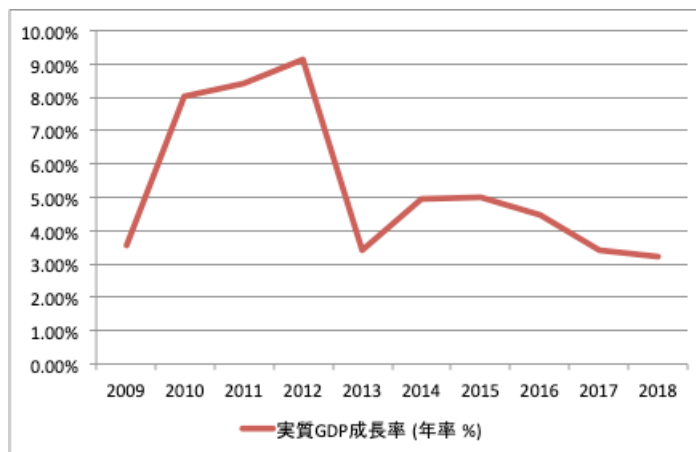
出典：世界銀行 Web サイト (<https://data.worldbank.org/country/>)

図 2.5.1 GDP (名目値 100 万米ドル)



出典：世界銀行 Web サイト (<https://data.worldbank.org/country/>)

図 2.5.2 一人当たり GDP (名目値 米ドル)



出典：世界銀行 Web サイト (<https://data.worldbank.org/country/>)

図 2.5.3 実質 GDP 成長率 (年率%)

2.5.2 対象排水流域の経済状況

調査対象排水流域が位置する西部州は、面積は国土全体の約 5.7%であるが、国全体の GDP の約 42% (2014 年) を担っている。内訳は、サービス業が 60.9%、工業が 37.1%、農業が 2.1%となっている。同州の 2014 年の経済成長率は 5.9%である。

2.6 河川・水路管理に関する組織・制度

2.6.1 組織・制度の現状

河川および雨水排水路の計画、建設、運用・維持管理については、多くの政府機関が関係している。特に、SLLDC、灌漑局 (Irrigation Department: 以下、ID)、農業開発局 (Agriculture Development Department: 以下、ADD)、州灌漑局 (Provincial Irrigation Department: 以下、PID)、地方自治体 (Local Authorities: 以下、LA) が主要な実施機関としてその役割を担っている。

関係機関としては都市開発庁 (Urban Development Authority: 以下、UDA) が土地利用と開発規制、土地開発省 (Ministry of Land & Land Development) および UDA が土地取得と住民移転、CEA が環境対策に係る規制の役割をそれぞれ担っている。

2019 年 12 月の省庁再編に伴う、河川および雨水排水路の計画、建設、運用・管理に関する政府機関の概略一覧を次表に示す。

表 2.6.1 河川・水路管理に関する政府機関 (2019 年 12 月現在)

No.	Ministries and Agencies
1	Ministry of Urban Development, Water Supply and Housing Facilities <ul style="list-style-type: none"> • Sri Lanka Land Development Corporation (SLLDC) • Urban Development Authority (UDA) • National Water Supply and Drainage Board (NWSDB) • National Housing Development Authority (NHDA) • Urban Settlement Development Authority

No.	Ministries and Agencies
2	Ministry of Public Administration, Home Affairs, Provincial Councils & Local Government <ul style="list-style-type: none"> • District Secretariats and Divisional Secretariats (DS, DSD and GND) • Provincial Councils and Local Authorities (MC, UC and PS) • Sri Lanka Institute of Local Government (SLILG)
3	Ministry of Environment and Wildlife Resources <ul style="list-style-type: none"> • Central Environmental Authority (CEA) • Department of Coast Conservation and Coastal Resource Management (DCC&CRM)
4	Ministry of Mahaweli, Agriculture, Irrigation and Rural Development <ul style="list-style-type: none"> • Irrigation Department (ID) • Agriculture Department • Agrarian Development Department (ADD) • Mahaweli Authority
5	Ministry of Defence <ul style="list-style-type: none"> • Department of Meteorology • Disaster Management Center (DMC) • National Building Research Organization (NBRO)
6	Ministry of Lands & Land Development <ul style="list-style-type: none"> • Survey Department
7	Ministry of Roads and Highways <ul style="list-style-type: none"> • Road Development Authority (RDA)
8	Ministry of Transport Services Management <ul style="list-style-type: none"> • Department of Sri Lanka Railways
9	Ministry of Power & Energy <ul style="list-style-type: none"> • Ceylon Electricity Board (CEB)
10	Ministry of Information and Communication Technology <ul style="list-style-type: none"> • Sri Lanka Telecom (SLTL)
11	Ministry of Finance, Economic and Policy Development <ul style="list-style-type: none"> • External Resources Department • National Planning Department (NPD)

出典： http://documents.gov.lk/files/egz/2019/12/2153-12_E.pdf

調査対象地域内の雨水排水路に関しては、一般的には、"Major"水路（一次排水路）は SLLDC、"Minor"水路（二次・三次排水路）は地方自治体の管理とされているが、SLLDC は西部州内で、プロジェクトベースで雨水排水対策事業の計画、建設を担うとともに、特に Colombo District 内での指定された水路、湖沼等（Major：44 km、Minor：54 km 他）でのみの雨水排水対策施設の継続的な運用・維持管理を行っている。また、灌漑事業に関係する農業水路は、事業規模に応じて、ID、ADD、PID がそれぞれ開発、運用・維持管理を行っている。

調査対象地域における雨水排水対策事業としては、基本的に、指定された水路、湖沼は SLLDC が、その他の主に小規模な排水路は地方自治体がその管理主体となる。特に重要かつ大規模な雨水排水対策事業では、SLLDC が計画・建設を実施し、その後施設と共にその運用・維持管理を地方自治体に移管する。しかしながら、関係地方自治体の人材、機材、予算の制約から、また、施設の重要度、運用・維持管理の難易度等を勘案し、予算措置が講じられたうえで SLLDC の担当指定施設として、建設後も引き続き運用・維持管理が行われている。例えば、Mudun Ela 流域の Peliyagoda 排水ポンプ場は SLLDC 管理施設として運用されている。なお、道路開発局（Road Development Authority：以下、RDA）により計画、整備された道路側溝は、高速道路等の高規格道路に接続されている排水施設を除き、その運用・維持管理は地方自治体に移管される。

(1) SLLDC

SLLDC は、Ministry of Urban Development, Water Supply and Housing Facilities 傘下の組織であり、都市域の雨水排水対策を管轄する主要な専門実施機関である。「Sri Lanka Land Reclamation and Development Corporation Act No. 15 of 1968」(as Amended by Sri Lanka Land Reclamation and Development Corporation (Amendment) Act No.35 of 2006 and Act No. 52 of 1982 and Act No. 27 of 1976) をその法的根拠としている。

ID の排水部門が分離独立する形で 1968 年に SLLDC が設立され、西部州内の旧 ID 管理の都市排水路の管理が SLLDC に移管された。

SLLDC の 2018 年度（スリランカの会計年度は 1 月～12 月）の年間予算概要を次表に示す。2018 年度の年間予算は、4,273 百万ルピーであり、1,000 百万ルピー（年度予算の 23%）が継続的なプログラム（Annual Programs）によるものである。そのうち、水路や湿地の維持管理に 650 百万ルピー（年度予算の 15%）があてられている。

表 2.6.2 SLLDC の 2018 年度の年間予算概要

項目	2018 年度の予算 (百万ルピー)
1.0 Annual Programs	
Maintenance of Canals, Lakes and Walkways	650.0
Flood Mitigation Activities	255.0
Development of wet lands and low lands	20.0
Detailed designing, mapping and feasibility studying	75.0
小計	1,000.0
2.0 Continuation Projects	
Flood Mitigation activities	887.5
Development of wet lands and low lands	82.5
Detailed designing, mapping and feasibility studying	30.0
小計	1,000.0
3.0 Weras Ganga Project - Loan Repayments and Continuation of works	1,873.0
4.0 Pumping Station at Kalupalama, Kolonnawa	400.0
合計	4,273.0

出典：スリランカ国コロンボ都市圏洪水対策マスタープランプロジェクト詳細計画策定調査報告書（2018）

SLLDC の予算構成は、政府予算と独自予算に大別される。政府予算分については、当該年度予算計画の財務・経済・政策開発省の承認を経て予算の執行が可能となる。排水施設の維持管理に関しては、政府予算分として毎年度計上されている。

(2) 地方自治体 (LA: Local Authorities)

Ministry of Public Administration, Home Affairs, Provincial Councils & Local Government が所管する地方自治体は、州 (Provincial Councils) の下、市 (Municipal Councils)、町 (Urban Councils) 村 (Pradeshiya Sabhas) で構成され、それぞれ「Municipal Councils Ordinance (1947)」「Urban Councils Ordinance (1939)」「Pradeshiya Sabhas Act (1987)」ならびに「」をその法的根拠とし、課税およびその支出の権限を持ち、「行政サービス」「健康と公衆衛生の推進」「環境衛生」「公共道路・公共サービス」等の市民サービスを提供している。

雨水排水の整備・管理は、地方道路の整備・管理と同様に、地方自治体が提供する重要な市民サ

ービスの一つに位置付けられる。毎年度に雨水排水の整備・管理関係予算を計画、計上し、議会の承認を経て予算の執行が可能となるが、地方自治体において雨水排水の整備・管理関係に充てられる予算は、極めて限定的である。

(3) 灌漑局 (ID: Irrigation Department)

ID は、Ministry of Mahaweli, Agriculture, Irrigation and Rural Development が所管する機関である。主な活動目的は「灌漑農業、水力発電、治水・河川管理、自家用水、産業用水、農業開発を目的とした土地と水資源の開発」「灌漑・排水事業における灌漑・排水設備の提供」「持続可能な農業のための水資源管理」「大規模・中規模灌漑事業における土地と水の生産性向上」などである。治水・河川管理分野の活動については、「Flood Protection Ordinance No. 22 of 1955」をその法的根拠としている。

ID の組織構造は、「調査・計画・設計」、「建設・開発」「システム管理」「河川管理」「総務」「財務」の主要 6 部局で構成されており、「システム管理」部の下に「排水・洪水システム・災害管理」課が設置されている。なお、ID は、大規模灌漑スキーム (1,000 エーカー以上) と中規模のスキーム (200~1,000 エーカー) を担当し、PID または ADD が小規模なスキーム (200 エーカー未満) を担当している。

(4) 災害管理センター (DMC: Disaster Management Centre)

災害管理センター (Disaster Management Centre : 以下、DMC) は、Ministry of Defence が所管する防災の統率機関である。国家災害管理法に基づいて、国家レベル・地方レベルで防災プログラムを実施・調整することを使命として 2005 年に設立された。DMC の主要な活動は研究開発、減災、災害準備の計画、早期警報の発出、緊急対応、外部機関との連携による救援や発災後の活動の調整などである。

DMC の活動の調整・実施を促進するために、県・郡・行政 村レベルで災害管理委員会が設置されている。加えて、地方レベルでの災害リスク削減活動を実施するために、すべての県で県災害管理調整ユニット (Distric Disaster Management Centre Unit : 以下、DDMCU) が設置されている。

(5) 都市計画庁 (UDA: Urban Development Authority)

UDA は、Ministry of Urban Development, Water Supply and Housing Facilities 傘下の都市開発を所掌する機関である。「Urban Development Authority Act, No. 41 of 1978」をその法的根拠とし、都市域の経済的・社会的開発の計画と実施を目的として、1978 年に設立された。UDA の所掌業務としては、「都市域の開発計画の策定」「開発事業の実施」「都市の土地利用政策の策定と実施」等が挙げられる。

(6) 中央環境庁 (CEA: Central Environmental Authority)

CEA は、Ministry of Environment and Wildlife Resources 傘下の開発プロセスにおける環境配慮に責任を有する機関である。CEA は「National Environmental Act No.47 of 1980」に基づき、1981 年に設立された。また、「National Environmental (Amendment) Act No.56 of 1988 および No.53 of 2000」により、規制に関する権限も有している。

2.6.2 地方自治の現状

スリランカの地方行政は、図 2.6.1 に示すように、独立当初から存在していた中央政府の「中央行政ライン」と、1987 年以降導入された地方自治的な州制度の「地方自治ライン」とが並存している。市民サービスとしての雨水排水の整備・管理を担う LA は、「地方自治ライン」の州の下位行政区分に位置づけられる。

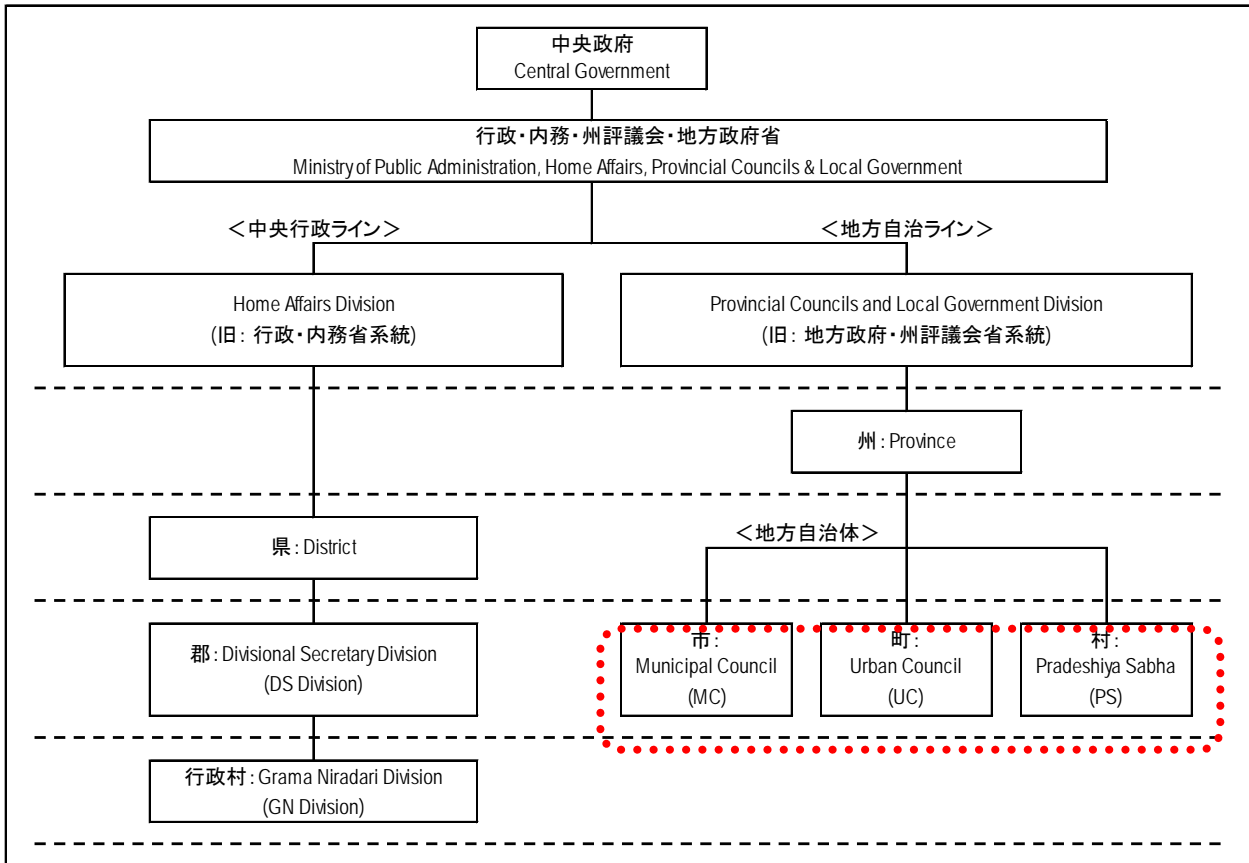
地方自治体には、市 (Municipal Council : 以下、MC)、町 (Urban Council : 以下、UC)、村 (Pradeshiya Sabha : 以下、PS) の 3 タイプがあり、中央行政ラインの県 (District) の下位区分である郡 (DS Division) が、これら市町村界とほぼ同等の境界範囲を管轄している。

郡行政界と市町村界とが一致しない一例として「Colombo DS Division (郡) と Thimbirigasyaya DS Division (郡) とを合わせた範囲が、Colombo MC (市) に相当する」が挙げられる。

県は、中央政府によって任命された県事務局長 (District Secretary) の下で管理されている。県事務局 (District Secretariat) の主な職務は、中央政府と郡事務局 (Divisional Secretariats) の調整であり、さらに「県レベルでの開発事業の実施と監視」「郡レベル活動の支援」、「国税徴収」「選挙の調整」等を担当している。

調査対象区域内の雨水排水の整備・管理は、基本的に SLLDC と地方自治体とその管理主体であるが、排水不良や水路水質の悪化の改善等の市民からの要望に対して、県や郡がそれを把握し、対症療法的に県や郡が中央政府予算による対策を講じる場合もある。

2019 年 12 月現在のスリランカの地方行政の概要を次図に示す。



出典：スリランカ国防災セクター情報収集・確認調査ファイナルレポート（2017）、JICA 調査チーム編集作成

図 2.6.1 スリランカの地方行政概要

本調査の調査対象地域（Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域および Moratuwa-Rathmalana 地区を含む Bolgoda 流域）に関係する 21 地方自治体の一覧を次表に、また対象流域と関係地方自治体および関係郡（Divisional Secretary Division）の位置図を図 2.6.2 および図 2.6.3 に示す。

表 2.6.3 調査対象流域に関する地方自治体

No.	Province	Local Authority	District	Division	Basin
1	Western	Ja Ela PS	Gampaha	Ja Ela	Kal Oya
2	Western	Mahara PS	Gampaha	Mahara	Kal Oya
3	Western	Wattala PS	Gampaha	Wattala	Kal Oya
4	Western	Wattala Mabola UC	Gampaha	Wattala	Kal Oya, Mudun Ela
5	Western	Kelaniya PS	Gampaha	Kelaniya	Kal Oya, Mudun Ela
6	Western	Peliyagoda UC	Gampaha	Kelaniya	Kal Oya, Mudun Ela
7	Western	Biyagama PS	Gampaha	Biyagama	Kal Oya, Mudun Ela
8	Western	Sri Jayawardanapura Kotte MC	Colombo	Sri Jayawardanapura Kotte	Bolgoda
9	Western	Maharagama UC	Colombo	Maharagama	Bolgoda
10	Western	Dehiwala - Mount Lavinia MC	Colombo	Dehiwala, Rathmalana	Bolgoda, Motatuwa-Rathmalana
11	Western	Boralesgamuwa UC	Colombo	Kesbewa	Bolgoda,
12	Western	Homagama PS	Colombo	Homagama, Padukka	Bolgoda
13	Western	Kesbewa UC	Colombo	Kesbewa	Bolgoda

No.	Province	Local Authority	District	Division	Basin
14	Western	Moratuwa MC	Colombo	Moratuwa	Bolgoda Motatuwa-Rathmalana
15	Western	Horana PS	Kalutara	Horana, Ingiriya	Bolgoda
16	Western	Panadura PS	Kalutara	Panadura	Bolgoda
17	Western	Bandaragama PS	Kalutara	Bandaragama	Bolgoda
18	Western	Horana UC	Kalutara	Horana	Bolgoda
19	Western	Panadura UC	Kalutara	Panadura	Bolgoda
20	Western	Millaniya PS	Kalutara	Millaniya	Bolgoda
21	Western	Kalutara PS	Kalutara	Kalutara	Bolgoda

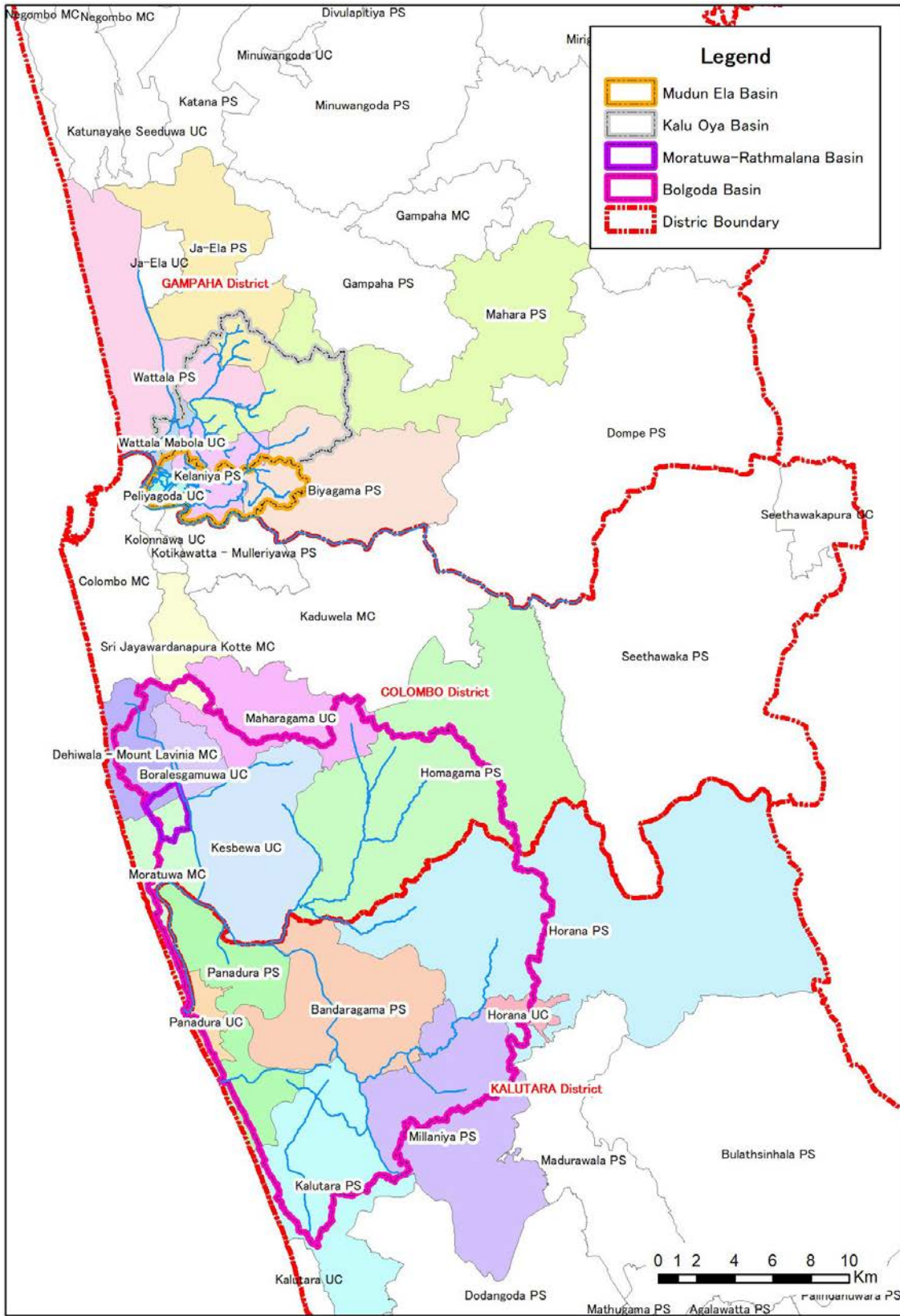
出典：JICA 調査チーム

地方自治体での雨水排水対策や施設の維持管理については、Colombo MC (CMC) の様な予算や人材の豊富な地方自治体を除き、予算や人材の制約から十分な対応ができないのが実情である。

CMC は本調査対象地域外に位置するが、西部州の中でも最も雨水排水対策に対する予算および人的リソースが充実している地方自治体である。CMC の雨水排水対策に対する活動は、CMC 技術サービス部門の Water Supply & Drainage Division が上水、下水とともに雨水排水を管理している。

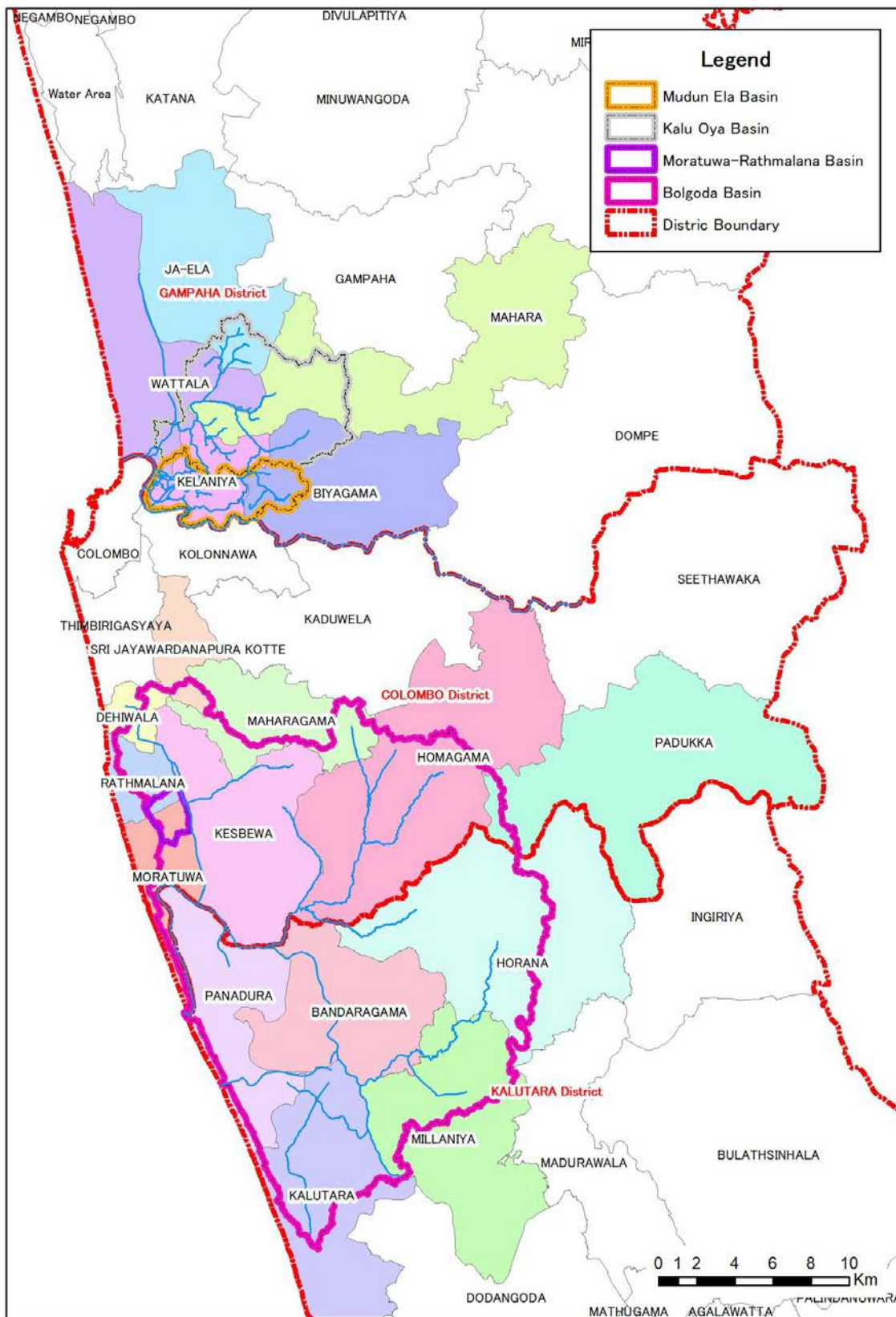
一方、Peliyagoda 排水ポンプ場は、現在、SLLDC の Colombo North Regional Office が運用・維持管理を実施しているが、2016年にPeliyagoda UCから管理を移管されたものである。

また、予算を準備できる地方自治体では、深刻な排水不良の対策として、対処法的に排水施設の改修や維持管理等をプロジェクトベースでSLLDCに委託する場合もある。しかしながらプロジェクトベースの個別対応に終始し、計画的な雨水排水対策とはなっていない。



出典：JICA 調査チーム

図 2.6.2 関係地方自治体 (MC, UC, PS) 位置図



出典：JICA 調査チーム

図 2.6.3 関係郡 (Divisional Secretary Division) 位置図

2.6.3 計画・実施・運用・維持管理の現状

調査対象規模の大きい河川以外については、SLLDC と地方自治体が洪水対策事業の計画策定・事業実施・運営・維持管理を担っている。

2.6.3.1 SLLDC

SLLDC は政府機関であり指定地域の雨水排水対策施設の計画策定・事業実施・運営・維持管理を行う責任があり、SLLDC における雨水排水施設の計画策定は Research and Design Division および Wetland Management Division、事業実施は Special Project Division、運用・維持管理は Drainage and Reclamation (D&R) Division がそれぞれ担当している。計画策定と事業実施は本部が中心であるが、運用・維持管理を担当する D&R Division は、7つの Regional Office を持ち、幹線水路：約 44 km、2次水路：約 54 km 対象に、維持管理を行っている。Regional Office には、1名の Engineer が常駐し水路およびその他施設の維持管理業務を統括している。また、水路清掃には 500 人規模の作業員が従事している。

D&R Division の Regional Office が管理する雨水排水施設に関しては、操作・運用管理を必要とする排水ポンプ場や排水調節ゲート等の施設は限定的で、排水路、湖沼、管理用地の維持管理業務が中心である。排水能力の確保、水路水質の向上のための水路清掃は、排水路維持管理の重要な日常業務となっている。特に、ゴミ回収が十分に機能していない地域では、水路へのゴミの不法投棄とその対応が大きな課題となっている。

操作・運用管理を必要とする施設として、Colombo North Regional Office が管理する Peliyagoda 排水ポンプ場が挙げられる。Peliyagoda 排水ポンプ場の操作・運用に関しては、文書化された操作マニュアルは存在せず、モンスーン期には、ほぼ 24 時間フル稼働の状況である。また、ポンプ機器の維持管理は、SLLDC の Plant & Equipment Division が担当している。

現在プロジェクトベースで Special Project Division が担当して建設が進められている Oliyamulla ポンプ場に関しては、建設完了後の管理主体が未定であるが、ポンプ設備機器の操作マニュアルは機器メーカーで、運用・維持管理計画は Plant & Equipment Division で準備の予定である。その他、プロジェクトベースで運用管理されている雨水排水対策施設に関しては、現時点で、操作・運用管理を必要とする施設の情報は無い。

Colombo North、Colombo South、Muthurajawela Regional Office でのヒアリング調査結果では、文書化された維持管理マニュアルは存在せず、作業監理者の指示の下、日常的に維持管理業務を実施している。また、浚渫に関しては、定期的に水路、湖沼の堆積状況を確認し、浚渫計画を策定している。水路浚渫は、3年に1回程度、湖沼浚渫は10年に1回程度の頻度で実施している。浚渫に使用する重機の機材は、SLLDC の Plant & Equipment Division が管理している。

(1) 運用・維持管理予算

SLLDC における雨水排水施設の運用・維持管理を担当する D&R Division の 2019 年度の年間予算は、561 百万ルピーである。そのうち 496 百万ルピー（年度予算の 88%）が水路や湿地の維持管理に、65 百万ルピー（年度予算の 12%）が洪水対策に当てられている。

SLLDC では、上記予算とは別枠で、地方自治体等からの委託契約による雨水排水路の維持管理業務も実施している。CMC からの委託契約として、2018 年の実績で、10 地区の排水路を対象に契約額約 31 百万ルピーで排水路の年間維持管理（2018 年 8 月～2019 年 8 月）を実施している。また、Gampaha District Secretariat からの水路の清掃および浚渫の委託契約として、2017 年に約 26.2 百万ルピー、2015 年に 32.4 百万ルピーの実績がある。なお、Gampaha District Secretariat は、制度上、雨水排水対策施設の維持管理の責務を負うものではないが、排水路の機能不全による浸水対策として、Gampaha District Secretariat 内の DDMCU が災害対策の一環として予算処置を調整した。

(2) 運用・維持管理の課題

D&R Division からのヒアリング結果による、雨水排水施設の運用・維持管理に関する主要な課題を次に列挙する。

- 排水路へのゴミの不法投棄による水路の流下能力阻害（地域のゴミ収集システムにも課題がある）
- 排水路水質の悪化
- 排水路内の違法埋め立て（水路阻害）
- 排水路内の不法建設、違法工作物
- 2次・3次排水路での水路の流下能力低下（ゴミ等）による Local Inundation への対応（管理主体が不明確）
- 管理用地内の不法建設、不法占拠、違法居住、違法工作物への対応
- 維持管理のための Wetland 管理用地へのアクセスが困難
- 浚渫等維持管理のための機器の作業スペースの確保が困難

2.6.3.2 地方自治体

雨水排水対策は、住民サービスとしての地方自治体の重要な責務の一つとなっている。地方自治体（MC、UC、PS の区分がある）は、それぞれの行政管区内の、SLLDC の指定管理施設を除く、雨水排水対策施設の運営・維持管理を担当している。しかしながら、人材、機材、予算の制約から、排水路の清掃と限定的な補修が主たる維持管理業務となっている。この地方自治体が維持管理している排水路には大別して次のような3つのタイプがある。

- SLLDC が直営で計画策定・事業実施し、工事完成後に施設の維持管理を地方自治体に移管する。
- 地方自治体が事業予算を確保して、SLLDC とコンサルタント契約し、調査・設計・施工管理を委託し、地方自治体は、工事完成後に施設の維持管理を行う。
- 特に CMC のように予算と人材が比較的潤沢な自治体では、調査・計画から事業実施、施設の維持管理まで実施している。

地方自治体の組織構造は、基本的には MC、UC、PS の各地方自治体で同様のものであるが、地方自治体の規模により担当部局の組織構造に違いがある。MC および UC では、市長または秘書官の下に複数の評議会部があり、雨水排水対策施設の運用・維持管理の責任は、主にエンジニアの部門に置かれている。一方、PS の組織はそれほど多くの組織部局に分割されておらず、秘書官の下にいくつ

かの部局あり、通常、保健部局が道路の清掃、ごみ収集、その他の関連する業務と共に、排水路の清掃を実施している。

2.6.3.3 その他

灌漑事業に付随する農業水路（用水路および排水路）の運用・維持管理は、その事業規模に応じて、ID、ADD およびPID が管理主体となっている。具体的には、灌漑面積 200 エーカー以上の事業は ID が、200 エーカーを下回る事業は ADD または PID が関係農業水路の運用・維持管理を実施している。

しかしながら、都市化に伴う土地利用の変化等により、都市域からの排水路がこれら農業水路に接続され、現状ではこれらの農業水路が重要な都市排水路としても機能している。特に調査対象地域では、都市化による土地需要を満たすため、農地から宅地等への転用が進んでいる。このため、灌漑事業としての規模縮小のため、灌漑事業関連機関によって適切に運用・維持管理されていないが、実際には調査対象地域の雨水排水路として機能している多くの農業水路が存在し、解決すべき水路の運用・維持管理上の課題となっている。

2.7 他援助機関の支援状況

30年続いた内戦も2009年に終焉し、これを契機にスリランカの政治状況は安定を取り戻し、経済も年平均6.7%（2010-2014年）の成長を始めた。こうした復興を支えるためには、まず都市圏の再建と都市の成長が急務とされた。以上のような背景のもと、本件の関連分野と対象流域に関係する次のような3プロジェクトが世銀の支援により実施されている。以下にこれらのプロジェクトの概要をまとめる。

- (1) Metro Colombo Urban Development Project (MCUDP)
- (2) Climate Resilience Improvement Project (CRIP)
- (3) Climate Resilience Multi-Phase Programmatic Approach (CResMPA)

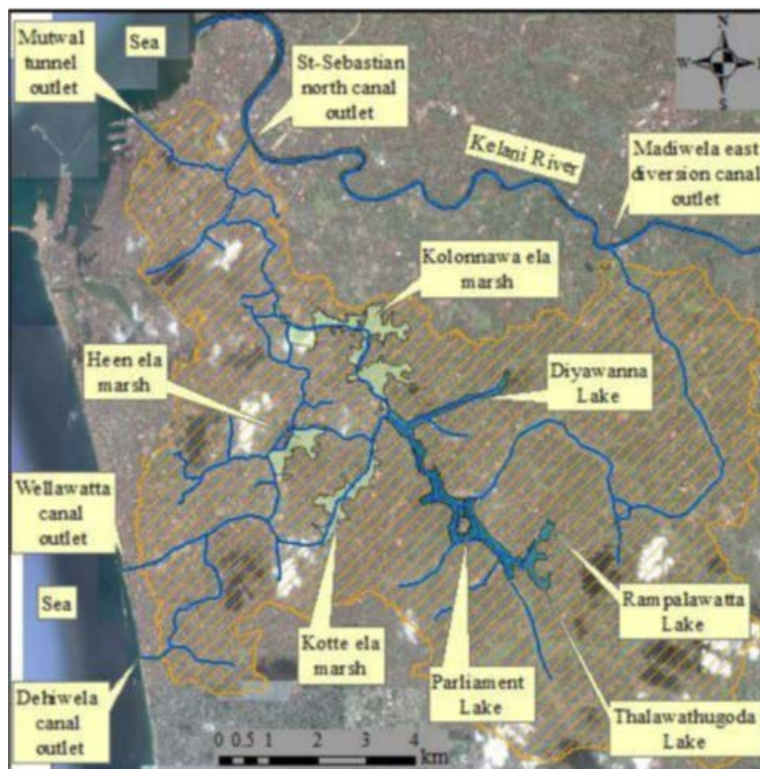
2.7.1 MCUDP（2012年3月～2021年12月）

(1) 目的

コロンボ都市圏における洪水浸水の物理的かつ社会経済的なリスクを軽減し、地域のインフラ施設と公共サービスを改善することによって、政府が進めている都市再建プログラムを支援することを目的にしている。

(2) 対象区域

対象区域は、次図に示す大コロンボ流域（流域面積：105km²）で、首都コロンボの主要地域および Parliament Lake と呼ばれる国会議事堂のある湖を含んでいる。



出典：本節末2)

図 2.7.1 Metro Colombo 流域の水路網

(3) 実施期間、実施機関および事業費等

プロジェクトは 2012 年 3 月に世銀により認可され、2021 年 12 月に部分的に完成した。総プロジェクトコストは 320.60 百万米ドルであり、2022 年 1 月以降の施工は現地政府の資金により実施される。プロジェクトは、3 コンポーネントに分かれており、実施機関もそれに応じて分担されている。

- コンポーネント 1：洪水排水管理に必要な幹線水路および水路網の整備で、統合的洪水管理システムの構築も含んでおり、SLLDC が軸となって実施している。
- コンポーネント 2：都市の関連インフラのリハビリとコロンボ都市圏の関連自治体のキャパシティビルディングであり、関連自治体が実施主体となる。
- コンポーネント 3：プロジェクトの効率的かつ効果的な実施のためのサポートである。

(4) 主要対策事業と進捗状況

MCUDP は 2010 年に発生しコロンボ都市圏に甚大な被害をもたらした大水害を契機に、2003 年の JICA マスタープランのレビューを踏まえて降雨の見直しから検討を進め、多くの放水路を含む幹線水路の改修を軸にした改修計画を立案した（次図参照）。

当初の計画では、2017 年竣工予定であったが、2021 年 12 月まで延長した。2019 年 8 月時点において、コンポーネント 1 の 35 サブプロジェクトのうち 21 が完成をみているが、14 は実施中であった。これらの中で、3 基のポンプ施設、1 トンネル水路および 1 本の水路工事が工期内に完工

は無理と判断されており、実際的な見直しを考慮した実施計画を、世銀とスリランカ政府では協議を進めているとのことである⁴⁾。なお、この MCUDP には、Bolgoda 流域の上流部である Weras Ganga 流域の支川 Maha Ela で流域外放流を受け持つ計画である Madiwela South Diversion プロジェクトは含まれていない。

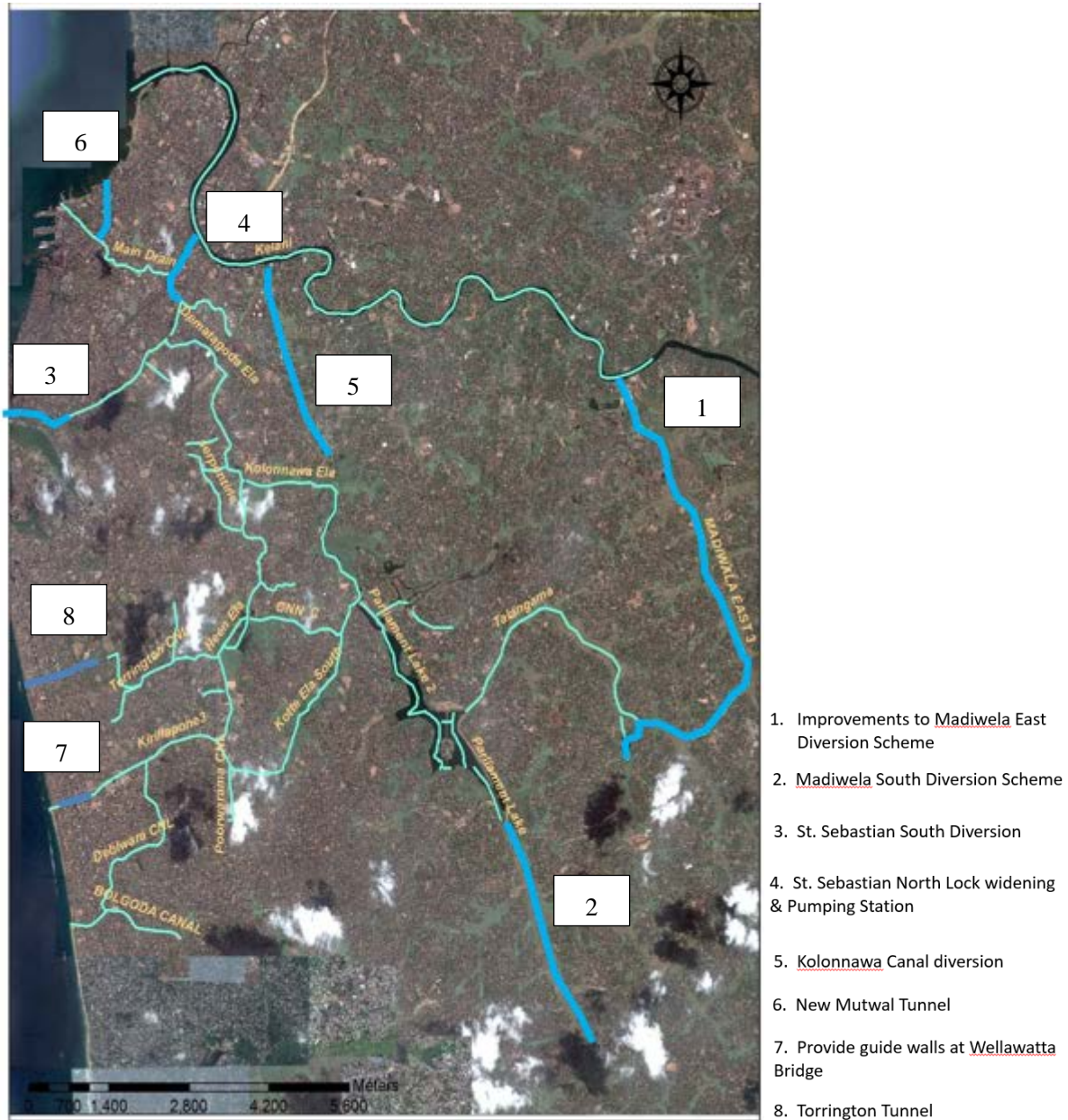


図 2.7.2 Metro Colombo 流域の主要水路改修事業
出典：本節末 3)

2.7.2 CRIP (2014年8月～2019年5月)、CResMPA (CRIP2 [F/S-D/D]) (2019年6月～2024年5月)

(1) 目的

洪水・旱魃・地すべりなどの気象水文リスクといった気候リスクに曝されている人々や資産の脆弱性を軽減させるとともに、政府の災害に対する対応能力を効果的なものに改善して行くことを目的として実施されている。

(2) 対象区域

1) CRIP

対象区域はスリランカを代表する主要 10 河川流域である。

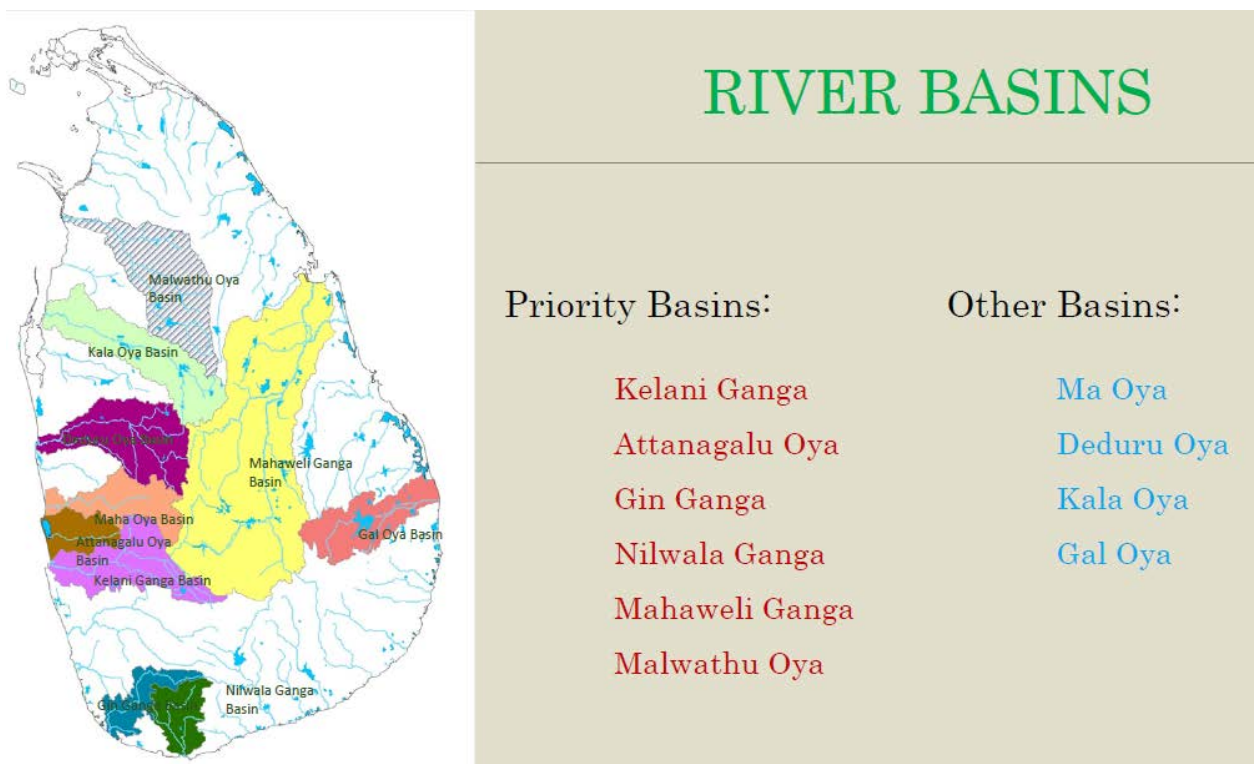


図 2.7.3 CRIP 対象 10 流域

出典：本節末5)

これら 10 流域の流域投資計画を策定し、流域毎に 3～4 程度の事業について Pre-F/S が実施された結果、本件対象流域である Kalu Oya および Mudun Ela の本川流域に相当する Kelani Ganga 流域が最優先流域に選定された。また Kelani Ganga 流域では、短期施策として 1/50 治水安全度を目指した下流部の築堤、および長期的には 1/100 治水安全度を確保する上流多目的ダム群の建設が計画された。

2) CResMPA (CRIP2 [F/S-D/D])

「Climate Resilience Multi-Phase Programmatic Approach (CResMPA)」は CRIP で最優先流域として選定された Kelani Ganga 流域の下流部の築堤および上流の多目的ダム群の建設等を対象として F/S および D/D を実施する事業である。

(3) 実施期間、実施機関および事業費等

1) CRIP

当初 2014 年 8 月から 5 年計画で 2019 年 5 月までを実施期間とし、流域投資計画の策定（13 百万米ドル）、インフラ施設の気候変動耐性の改善対策として緊急対策を実施し（90 百万米ドル）、その他にプロジェクト管理（5 百万米ドル）や緊急対応予備費（2 百万米ドル）に充てられた。

実施機関は、ID が主軸となり、Mahaweli Authority of Sri Lanka、国家建築研究所（National Building Research Organization：以下、NBRO）、RDA が主たる担当機関となっている。その後、2014 年に発生した洪水において追加的な措置が必要となり、2016 年に 42 百万米ドルの追加が認められた⁶⁾。

2) CResMPA（CRIP2 [F/S-D/D]）

2019 年 6 月に認可され、2024 年 9 月を目標とした 5 年工期の事業である。事業費は 310 百万米ドルである⁷⁾。

(4) 主要対策事業と進捗状況

1) CRIP

2014 年から始まった CRIP (Climate Resilience Improvement Project for Sri Lanka) は、Kelani Ganga を含む対象河川が 10 流域で、そのうち優先度を検討し、2019 年に優先度の高い 6 河川の流域投資計画（Development of Basin Investment Plan）を検討した。6 河川の流域投資計画で選定された 17 プロジェクトの中で、ランキングの 1～2 位は Kelani Ganga 下流部の築堤と上流域 2 ダムの建設事業であった。

2) CResMPA（CRIP2 [F/S-D/D]）

現在実施中の CResMPA（CRIP2 [F/S-D/D]）では、次の 3 つにフェーズ分けしたプログラムが提案されており、洪水予警報システムの構築と下流部の築堤、上流域 2 ダムの詳細設計と実施が主要な事業となっている。

フェーズ I： Kelani Ganga の洪水予警報と下流域の洪水対策、このために事業費 310 百万米ドルを用いて、次の 5 コンポーネントのプロジェクトを実施する計画である。

1) 流域の洪水予警報の確立

DMC、ID、NBRO、MD への気象水文観測機器の支援と統合管理システムの構築、堤防沿川地区への防災計画の立案と住民の洪水対応能力の向上を含んでいる。これについては、各担当機関が実施機関となる。

2) Kelani Ganga 下流域の治水対策への投資

下流域の築堤 15km、13 のポンプ場の整備、潮止堰の付け替えおよび上流 2 ダムの D/D を実施する。

3) 土地利用、住民移転支援、安全対策

4) プロジェクト管理

5) 緊急対応予備費

フェーズ II : Kelani Ganga 下流域の治水対策の実施

フェーズ III : Kelani Ganga 上流域のダム建設事業

出典 :

- 1) <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P122735>
- 2) Flood Inundation Analysis for Metro Colombo Area, Sri Lanka, Mohamed Moufer, SLLDC, 2014
- 3) Flood Mitigation in Metro Colombo & Kolonnawa Basins, SLLDC
- 4) Implementation Status & Results Report, World Bank, 2019
- 5) CRIP 説明資料, Irrigation Department, 2017
- 6) Combined Project Information Documents/Integrated Safeguards Datasheet Additional Financing, World Bank, Jan. 2016
- 7) Climate Resilience Multi-Phased Programmatic Approach, World Bank, Feb. 2019

(5) Kelani Ganga 整備計画の概要

CRIP において Kelani Ganga の流域投資計画および Pre-F/S の検討がされている。検討では、整備目標を 100 年確率として、Kelani Ganga 下流（河口から 35 km 区間）の改修規模を 1/25、1/50、1/100 のケースを立案し、上流ダム群との組合せを比較した上で、河道改修 1/50、上流 2 ダムの洪水調節を行う組合せによって、1/100 の安全度確保するような整備方針を策定している。以下に、河道改修およびダム開発の概要を示す。

1) 河道改修：築堤（河口から 35km）

- ①堤防（余裕高：0.5 m）は河岸沿いの法線、②河岸から約 15 m の余裕を取った法線、③現地地形を踏まえた法線の三案を比較し、③現地地形を踏まえた柔軟性のある法線形としている。
- 移転が必要な住民数は約 3,000 人、取得面積は 71 ha。
- 建設費 194 百万米ドル、用地取得費 80 百万米ドル、合計事業費 274 百万ドル。

2) Wee Oya 貯水池（多目的ダム）

- ダム頂長：190 m、ダム高：63 m、流域面積：53 km²、貯水容量：48 MCM
- 移転が必要な住民数は約 305 人、取得面積は 440 ha。
- 多目的開発：発電および水供給、治水
- ダム建設費 82.5 百万米ドル、用地取得・移転費 6.1 百万米ドル、合計事業費 88.6 百万ドル。

3) Ruecastle 貯水池（多目的ダム）

- ダム頂長：440 m、ダム高：39 m、流域面積：184 km²、貯水容量：215 MCM
- 移転が必要な住民数は約 1,460 人、取得面積は 330 ha。
- 多目的開発：発電および水供給、治水
- ダム建設費 115 百万米ドル、用地取得・移転費 20.9 百万米ドル、合計事業費 136 百万米ドル。

これらの Kelani Ganga 治水事業に関して、実施の優先度は、(1) Kelani Ganga 下流改修、(2) Wee Oya 貯水池（多目的ダム）、(3) Ruecastle 貯水池（多目的ダム）の順に実施されるよう提案されている。これら 3 事業の位置図を次ページに示す。

流域投資計画および Pre-F/S の結果を見ても、具体的な工程計画は明らかにされておらず、今後 CResMPA (CRIP2 [F/S-D/D]) の F/S と詳細設計を通して検討されていくものと思われる。

一方、合流する支川に関しては多くの支川にポンプが計画されているが、その詳細も今後の課題とされている。

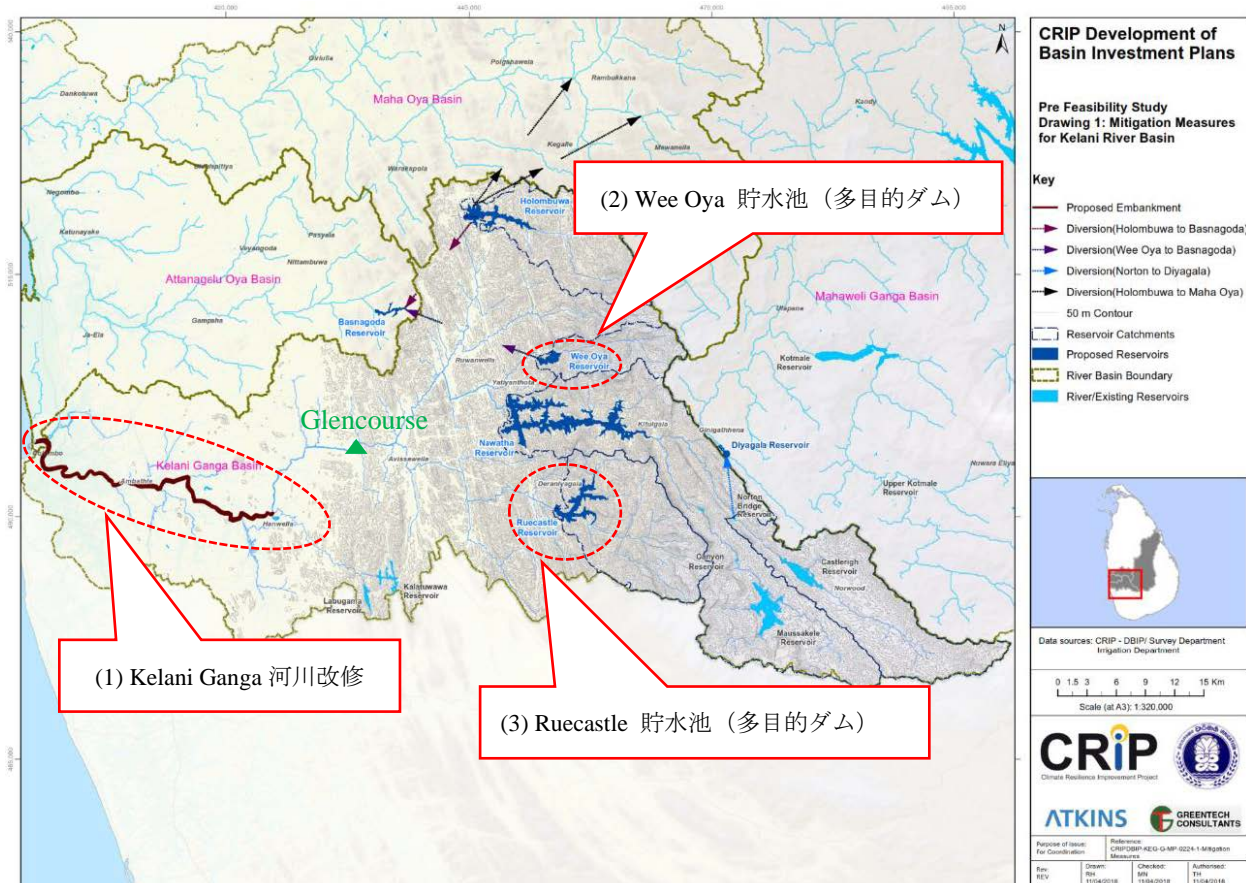


図 2.7.4 CRIP で提案された Kelani Ganga の優先事業の位置図

2.8 気候変動関連情報

将来の気候変動に関しては、海水面の上昇と降雨量の変化が雨水排水計画に関連する現象と言える。それらの情報を以下に整理するとともに、気候変動による海面上昇および降水量変化が浸水リスク与える影響に関して浸水シミュレーションを用いて評価した。この評価については第6章に詳述する。気候変動シナリオについては、第5次 IPCC 報告での RCP シナリオから第6次 IPCC 報告において、以下の5つのシナリオが定義されている。ここでは、第5次 IPCC 報告で定義された、RCP4.5（温室効果ガス中位排出シナリオ）と RCP8.5（温室効果ガス高排出シナリオ）の2つに該当する SSP2-4.5 および SSP5-8.5 の2シナリオに関し検証を実施することとした。

表 2.8.1 第6次 IPCC 報告における SSP シナリオと第5次 IPCC 報告における RCP シナリオ

シナリオ	シナリオの概要	近い RCP シナリオ
SSP1-1.9	持続可能な発展の下で気温上昇を 1.5°C 以下におさえるシナリオ	該当なし
SSP1-2.6	持続可能な発展の下で気温上昇を 2.0°C 未満におさえるシナリオ	RCP2.6
SSP2-4.5	中道的な発展の下で気候政策を導入するシナリオ	RCP4.5
SSP3-7.0	地域対立的な発展の下で気候政策を導入しないシナリオ	RCP6.0 と 8.5 の間
SSP5-8.5	化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入しない最大排出量シナリオ	RCP8.5

2.8.1 海面上昇

海面上昇を全球的に見たものを次図に示す。これは、第6次 IPCC で使用されたモデルによる予測である。これによると、温室効果ガスの排出シナリオを上記に示す SSP2-4.5 (RCP4.5) および SSP5-8.5 (RCP8.5) の2ケースで示す場合、2030年目標で、RCP4.5 のケースで 0.093m、RCP8.5 のケースで 0.101m の海面上昇が見込まれる。

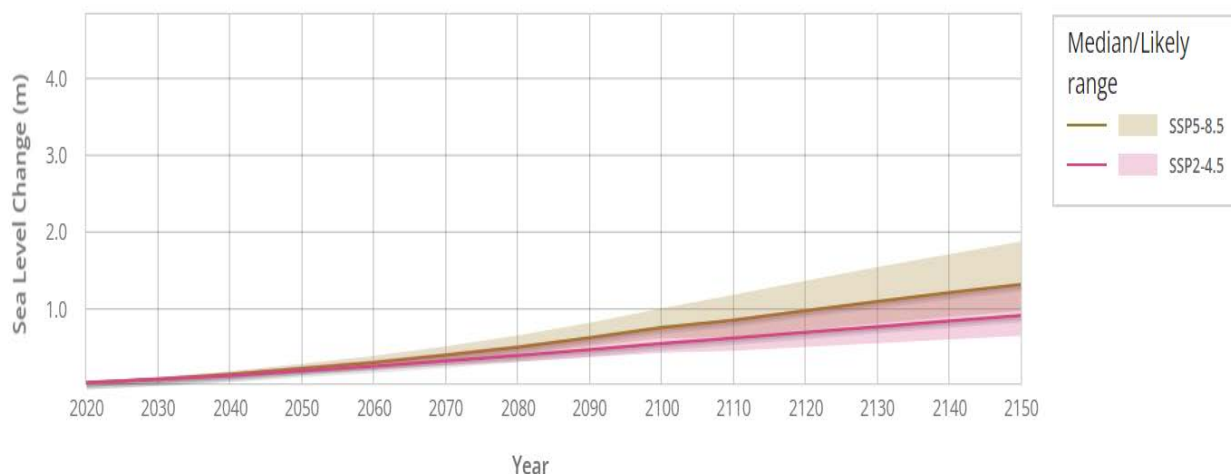


図 2.8.1 代表的濃度経路(RCP)別の全球平均の海面上昇

2.8.2 降雨量の変化

海水面の上昇と同じく温室効果ガスの排出シナリオを SSP2-4.5 (RCP4.5) と SSP5-8.5 (RCP8.5) のケースについて、世銀によるスリランカの将来的な雨量の増減を次表にまとめる。2020年から2039年の期間における予測結果である。年最大日雨量の25年確率の値の変化量で示している。30近い全球モデルからの予測値が大きくばらついており、その結果アンサンブル平均の中央値が SSP2-4.5 (RCP4.5) と SSP5-8.5 (RCP8.5) で逆転したものと思われる。

Kalu Oya 流域で見ると、計画降雨量 358.7mm に対して、2.4～4.1%程度の増加が予測される。これらに対する計画降雨に対する浸水リスクの変化を6章で検討する。

表 2.8.2 25年確率年最大日雨量の増減予測結果(2020年-2039年)

Scenario	Ensemble Median	10-90% Range
SSP-4.5 (RCP4.5)	14.65 mm	-2.44 to 17.22 mm
SSP5-8.5 (RCP8.5)	8.72 mm	-12.50 to 14.80 mm

出典：World Bank Knowledge Portal (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>)

第3章 既往浸水被害

3.1 既往浸水エリア

DMC へのヒアリングの結果、近年の Colombo 都市圏での浸水被害としては、2010 年、2016 年、2017 年が顕著であるとの回答を得るとともに、2010 年、2016 年の災害履歴データを入手した。

また、DMC が管理している災害データベースより対象流域に係る Gampaha、Colombo、Kalutara 県の被災人口を整理した。この災害履歴データにおいても 2010 年および 2016 年の被災人口が極めて大きいことが明らかとなった。2010 年洪水は時間雨量等の入力データの存在状況が良好でないため、本調査の解析モデル構築においては、2016 年 5 月洪水をモデル同定の対象とした。

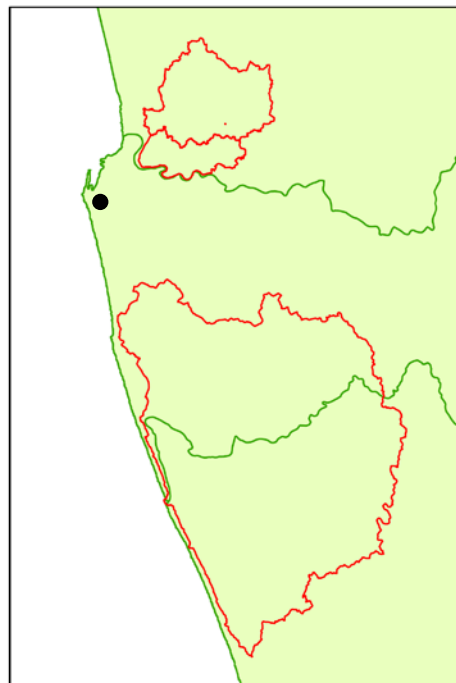


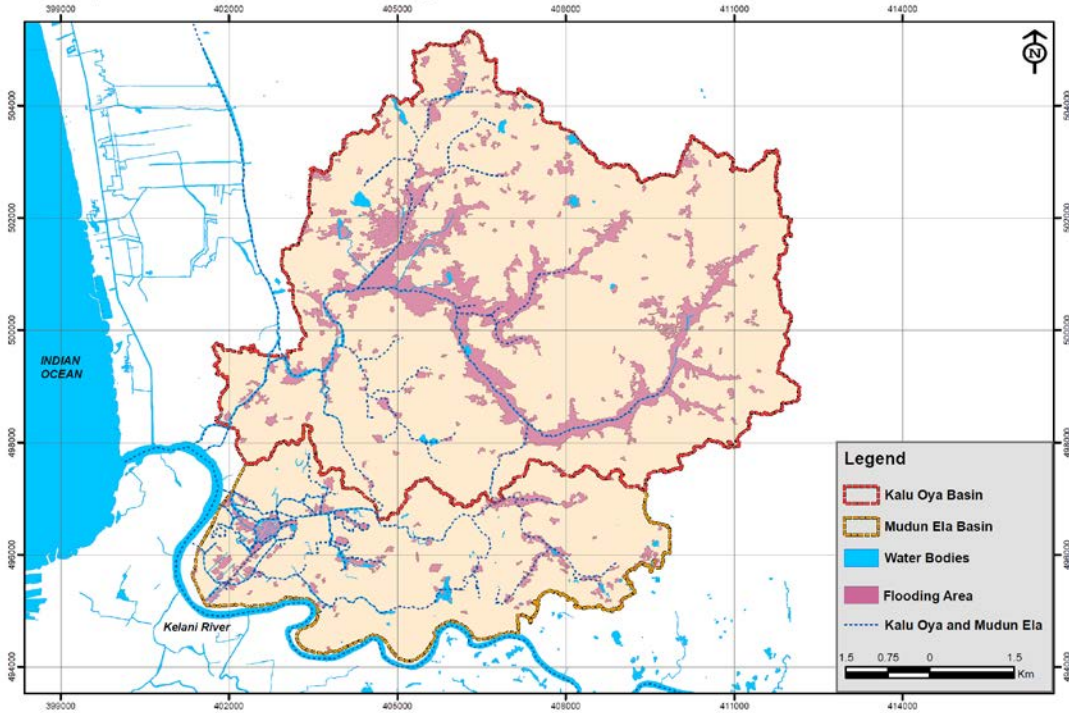
図 3.1.1 流域位置図

表 3.1.1 主要洪水における被災人口

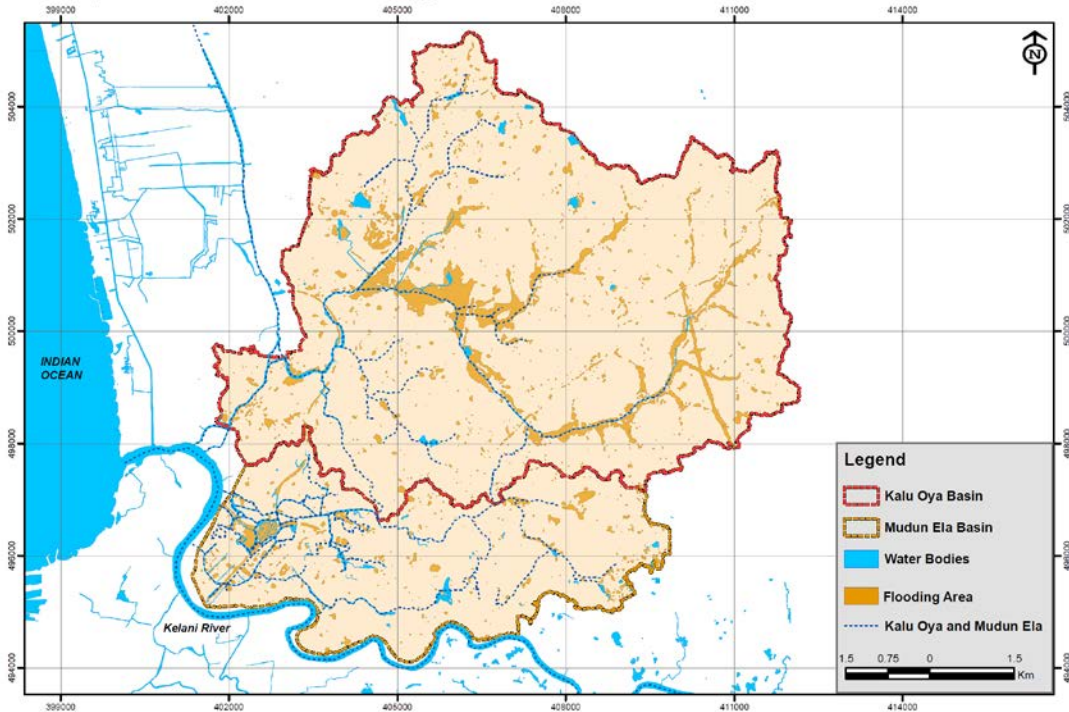
Gampaha district				Colombo district				Kalutara district			
Rank	Date	Affected people	Target	Rank	Date	Affected people	Target	Rank	Date	Affected people	Target
1	2010/5/16	99,927	✓	1	2010/5/13	28,897	✓	1	2010/5/14	67,984	✓
2	2006/11/17	58,775		2	2010/11/10	15,885		2	2003/5/17	33,165	
3	2016/5/15	57,101	✓	3	2010/11/12	10,611		3	2010/11/10	29,598	
4	2008/6/2	53,222		4	2010/5/14	8,938	✓	4	2017/5/26	24,910	
5	2013/5/4	48,289		5	1999/10/12	8,750		5	2008/6/1	16,247	
6	2018/5/21	41,183		5	1994/10/1	8,750		6	1994/5/28	15,994	
7	2016/5/16	35,860		7	2016/5/15	7,542	✓	7	2008/6/2	14,454	
8	2005/11/22	32,946		8	2017/5/26	5,445		8	2014/6/2	10,714	
9	2017/5/26	32,133		9	2018/10/6	5,351		9	1999/4/19	10,281	
10	2007/5/4	29,098		10	2005/11/21	4,177		10	2006/10/26	10,132	
11	2006/10/24	26,595		11	2004/12/3	3,160		11	2018/10/6	8,848	
12	1999/10/12	25,310		11	2004/11/9	3,160		12	1993/5/26	7,958	
13	2008/10/25	23,852		13	1991/6/2	2,500		13	2005/5/15	7,683	
14	2008/4/28	23,827		14	2005/11/22	2,282		14	2005/11/22	7,437	
15	2010/10/23	23,713		15	2007/5/5	2,090		15	1998/7/15	7,140	
16	2008/10/21	20,591		16	2008/6/1	1,827		16	2016/5/15	5,728	
17	2006/10/26	19,883		17	2011/5/27	1,681		17	2007/5/4	4,100	
18	2014/6/2	19,701		18	1995/5/6	1,500		18	2006/10/27	3,855	
19	2010/5/14	17,113		19	2018/5/21	1,126		19	2005/11/25	2,845	
20	2010/10/10	16,266		20	2006/10/20	1,000		20	2009/11/17	2,736	

出典：JICA 調査チーム

Kalu Oya And Mudun Ela Basin - Flooding 2010

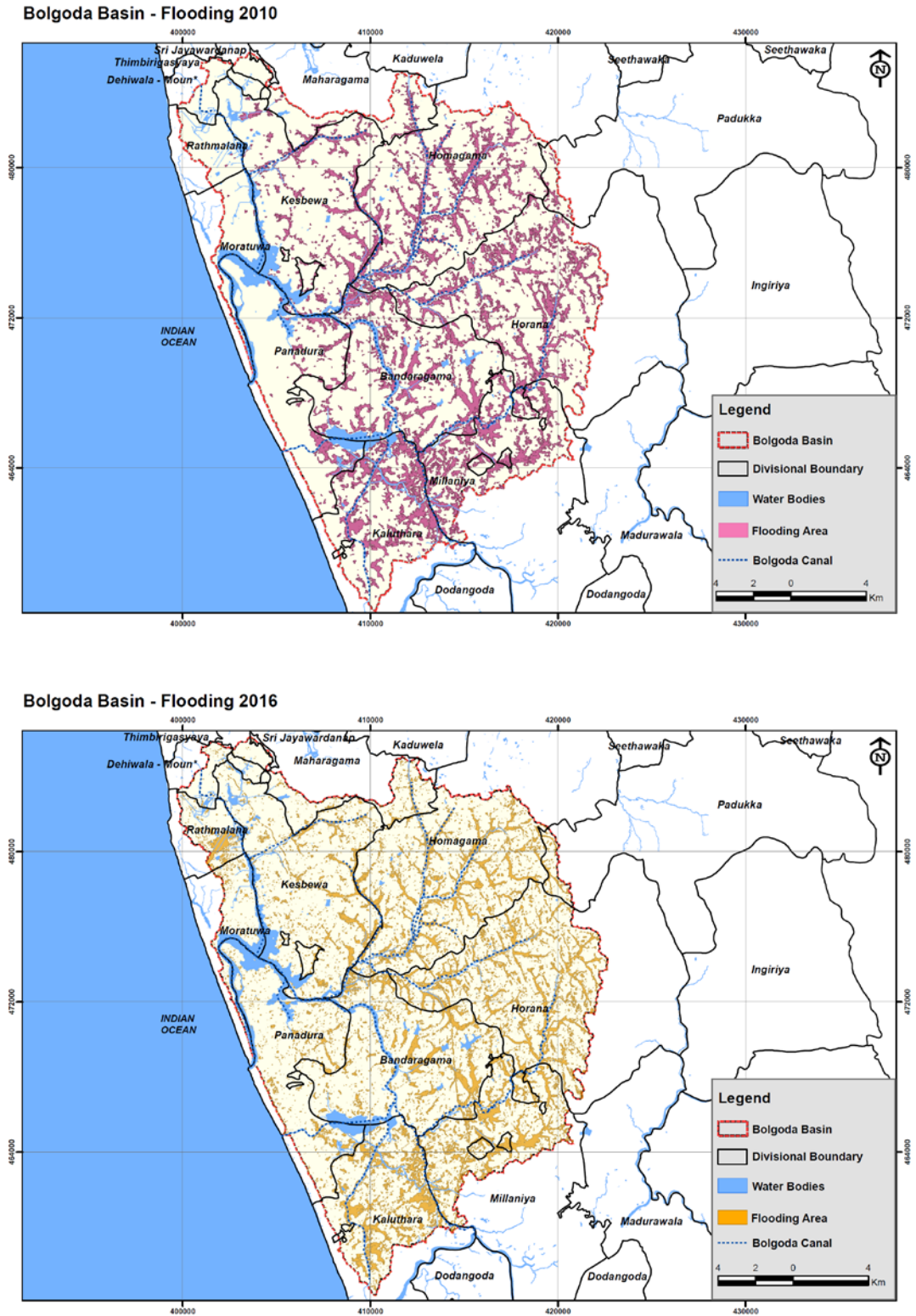


Kalu Oya And Mudun Ela Basin - Flooding 2016



出典：DMC および Sentinel Asia から入手したデータを基に JICA 調査チームが作成

図 3.1.2 既往浸水エリア図 (Kalu Oya、Mudun Ela 流域)



出典：DMC および Sentinel Asia から入手したデータを基に調査チームが作成

図 3.1.3 既往浸水エリア図 (Bolgoda 流域)

3.2 インタビュー調査

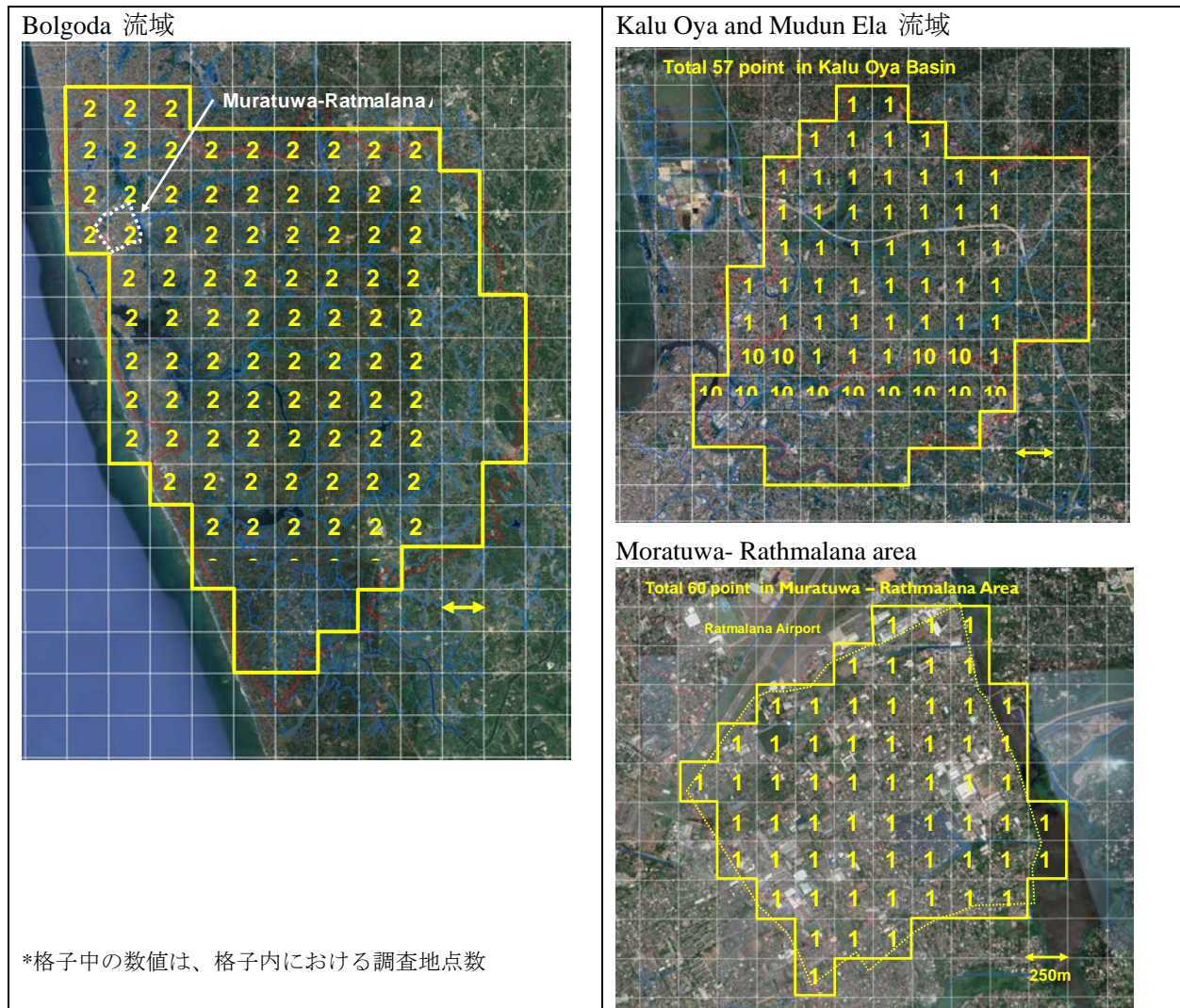
3.2.1.1 実施概要

前述の DMC や Sentinel Asia から入手した 2010 年、2016 年の既往浸水エリアのみでは浸水深や浸水頻度についての情報が得られないため、浸水被害実績調査を実施した。実施概要を次に示す。

表 3.2.1 浸水被害実態調査の概要

Item	Contents
Target Area	As the following figure
Number of targets	Bolgoda basin = 212, Kalu Oya basin = 57, Mudun Ela sub-basin = 230, Moratuwa - Rathmalana sub-basin = 60
Survey Period	Middle of April to the end of July
implementing agency	Moratuwa University
Purpose	<ul style="list-style-type: none"> Special attention is given to “inundation frequency” and is used to consider the return period of drainage Using for calibration of inundation analysis In addition, survey items on social environment were added

出典：JICA 調査チーム



出典：JICA 調査チーム

図 3.2.1 浸水被害実態調査の調査範囲と数量

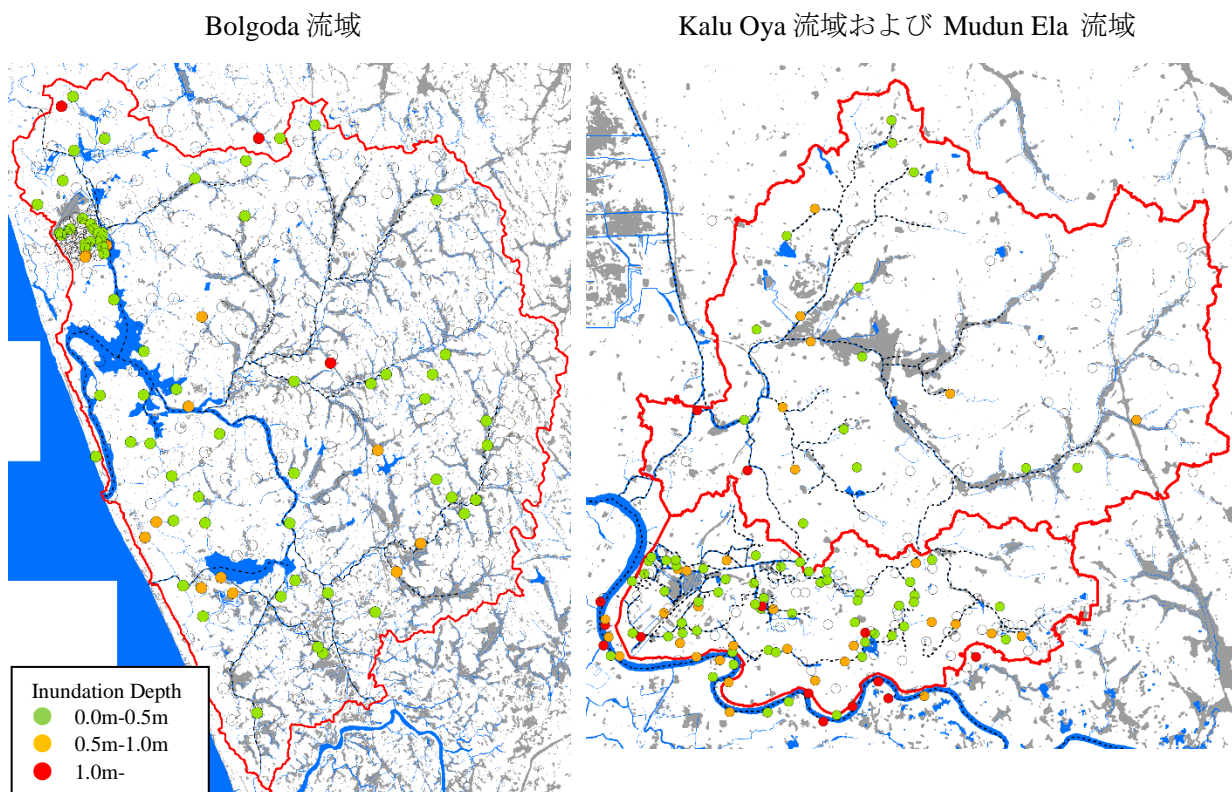
表 3.2.2 浸水被害実態調査の調査項目

No.	Contents
1. Basic information	
1	Date of survey
2	Name of Interviewer
3	Basin name of Interview point
4	Interview Point by GPS Receiver
2. Respondent detail	
1	Name of Respondent
2	Age of household head
3	Sex of household head
4	Ethnicity of household head
5	Religious belief of household head
6	Final Education of household head Literacy of household head
3. House of detail	
1	Type of house/ building (select in 4 type)
2	Status of house ownership
3	Number of years living in the current house
4	Height of the floor from the ground
5	Maximum inundation depth from the ground
6	When the maximum inundation depth and damage occurred?
4. Frequency of Flood inundation	
1	Frequency of flood inundation
2	Experience of flood inundation
5. Impact of 2017 flood	
1	Affected extent in 2017
2	Inundation Depth from the ground in 2017
3	Inundation Duration in 2017
4	Flood Water came from?
5	Financial cost of repairing the damage on your house / building?
6	Financial cost of repairing the damage on your household articles?
7	Inundation depth from the ground in 2017
6. Impact of 2016 flood	
1	Affected extent in 2016
2	Inundation Depth from the ground in 2016
3	Inundation Duration in 2016
4	Flood Water came from?
5	Financial cost of repairing the damage on your house / building?
6	Financial cost of repairing the damage on your household articles?
7	Inundation depth from the ground in 2016
7. Impact of 2010 flood	
1	Affected extent in 2010
2	Inundation Depth from the ground in 2010
3	Inundation Duration in 2010 flood
4	Flood Water came from?
5	Financial cost of repairing the damage on your house / building?
6	Financial cost of repairing the damage on your household articles?
7	Inundation depth from the ground in 2010
8. Socio-economic status	
1	Household size (number of people in the household)
2	Number of elderly (60 and over) in the household
3	Number of dependent (not working) members in the household
4	Household income (Household total)
5	Sources of main income (multiple selection of several sectors)
6	Whether the household receive any government support program
7	Commuting time to the main workplace of the household head
8	Commuting transportation to the main workplace of the household head
9	Commuting time to school (if there are school-age children in the household)
10	Commuting transportation to school (if there are school-age children in the household)
Others	
1	Site photos

出典：JICA 調査チーム

3.2.1.2 浸水被害実態調査結果の概要

浸水被害実態調査結果の例として、2016年5月洪水時の最大浸水深を以下に示す。Bolgoda 流域および Kalu Oya 流域共に、0.0m～0.5m の浸水深（緑色）が広く分布しており、Mudun Ela 流域および主要河川沿いに 0.5m～1.0m の浸水深（黄色）が分布している。Mudun Ela 流域や主要河川沿いは低平地が広がり浸水ポテンシャルが高いことから調査の結果が概ね実態に即している。これらの結果を用いて氾濫解析モデルの同定を行った。



出典：JICA 調査チーム

図 3.2.2 浸水被害実態調査結果の一例

第4章 既往調査において提案された雨水排水計画と実施事業

4.1 対象流域において提案された既往雨水排水計画の概要

4.1.1 調査の経緯

最初に雨水排水計画の長期計画を取りまとめたのは、JICA 2003 M/P である。この計画は、Ja Ela、Kalu Oya、Greater Colombo、Bolgoda (Weras Ganga を含む) の4流域を対象としている。これらの中で、Kalu Oya と Bolgoda の2流域が本調査の対象地域である。JICA 2003 M/P では、Bolgoda 流域内の小流域である Weras Ganga 流域 (流域面積: 56 km²) が優先プロジェクト区域として選定され、F/S が行われた (以下、JICA 2003 F/S)。また、Kalu Oya 流域では、2018年に「Consultancy Services for Feasibility Study on Storm Water Drainage and Environment Improvement Project for Kalu Oya Basin」(以下、2018 F/S) が、スリランカの自国資金により実施されている。次表 (表 4.1.1) は、本調査の対象となる2流域で実施された調査計画をまとめたものである。Kalu Oya 流域および Bolgoda 流域ではマスタープラン調査 (以下、M/P) および F/S により雨水排水改善方策が提案されている。

表 4.1.1 調査対象地域に関連する既往調査計画

Drainage Basin		Catchment Area (km ²)	Previous Studies	Remarks
Kalu Oya Basin		58	JICA 2003 M/P & 2018F/S	
	Mudun Ela Sub-basin	16	(not included)	Independent Basin from Kalu Oya
Bolgoda Basin		394	JICA 2003 M/P	
	Weras Ganga Sub-basin	56	JICA 2003 F/S	Uppermost Basin of Bolgoda

出典：JICA 調査チーム

注：2018F/S は、SMEC International、Deltares、Ocyana Consultants の協力のもとに実施

4.2 Kalu Oya 流域の既往雨水排水計画の概要

JICA 2003 M/P では、50 年確率の安全度確保を目標に、考えられる洪水緩和策の中から最適と判断される対策を選定しており、一方、2018F/S では、10 年確率の安全度確保を目標に JICA 2003M/P と同様な対策に加えて Muthurajawela 放水路を組み込んだ案を提案している。提案されている洪水対策案を比較整理したものが次表である。JICA 2003 M/P と 2018F/S における洪水流量は、「洪水シミュレーションモデルの違い」、「設定している水文パラメータの違い」等により単純に比較は出来ない。しかし、両計画において提案されている洪水被害軽減策はほぼ同様な対策であり、主たる洪水対策は Kalu Oya と Old Dutch Canal の水路改修、遊水機能の保全を目的とした湿地の保全である。

Muthurajawela 放水路に関しては、2018F/S で提案されているが、この放水路案は、JICA 2003 M/P でも代替案として検討対象となっていた。この案は、放水路を含まない対策よりも高い費用便益比率（Cost-benefit Ratio : 以下、B/C）と経済的内部収益率（Economic Internal Rate of Return : 以下、EIRR）を示していた。しかし、この放水路案は Negombo 道路と Colombo-Katunayake Expressway の二つの幹線道路をトンネルで越す必要があり、技術的にも社会的にも問題が多いとされて、JICA2003M/P で最適案から外された経緯がある。現在は、2003 年当時に比して、より建設の難しさは増していると思われる。

表 4.2.1 Kalu Oya 流域における JICA 2003 M/P と 2018F/S で提案された洪水対策案

Safety Level/Design Discharge and Mitigation Components	2003 JICA M/P	2018F/S
Safety Level (24-hours Design Rainfall)	50-year (300mm)	10-year (231mm)
Design Discharge at Negombo Road Crossing	Basic Flood: 185 m ³ /s Design Flood: 35 m ³ /s	Basic Flood: 105 m ³ /s Design Flood: 62 m ³ /s
A. Channel Improvement of Kalu Oya	<ul style="list-style-type: none"> 0 to 3.8 km: 50 m wide in trapezoidal cross-section 3.8 to 5.0 km: 25 m wide in rectangular cross-section 	0.0 to 5.0 km: 40 m wide in rectangular cross-section
B. Channel Improvement of Old Dutch Canal	0.0 to 4.5 km: 40 m wide in trapezoidal cross-section	0.0 to 5.0 km: 30 m wide in rectangular cross-section
Muthurajawela Diversion		Tunnel part: 150 m long x 20 m wide x 2.7m high reinforced concrete tunnel
Conservation of Natural Retarding Area	<ul style="list-style-type: none"> Lower reaches: 360 ha Upper reaches: 89 ha 	<ul style="list-style-type: none"> Total area of 684 ha: 453 ha of marsh, 96 ha of paddy, 135 ha of abandoned paddy, but 305 ha of settlement inundated Providing foot path along the selected wetland boundaries
Others		<ul style="list-style-type: none"> Kalu Oya minor outfall improvement Mudun Ela Diversion Improvement of tributary convergence points (Natha and Nahena canals) Rehabilitation of existing reservoirs (Kapua & Paralanda reservoirs)

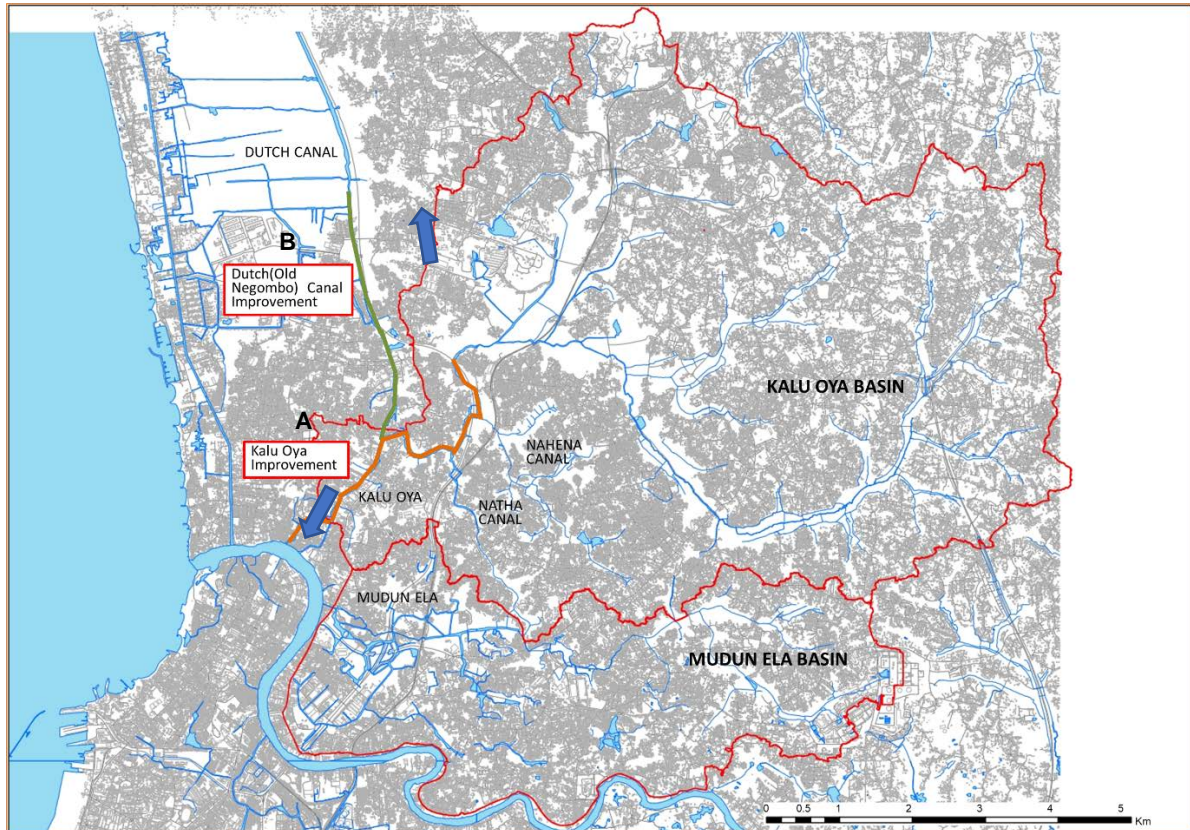
出典：JICA 2003 M/P、2018 F/S

注：A,B in Mitigation Components are referring symbols for the project locations indicating in the following figure.

4.2.1 JICA2003M/P で提案された雨水排水計画

JICA2003M/P で提案された改修計画案は、Kalu Oya と Old Dutch Canal の水路改修、遊水機能の保全を目的とした湿地の保全であり、いずれも未実施である。

- 水路改修：Kalu Oya、Old Dutch Canal



出典：JICA 調査チーム

図 4.2.1 Kalu Oya 流域で JICA 2003 M/P で提案された洪水対策案の位置図

4.2.2 2018 F/S で提案された雨水排水計画

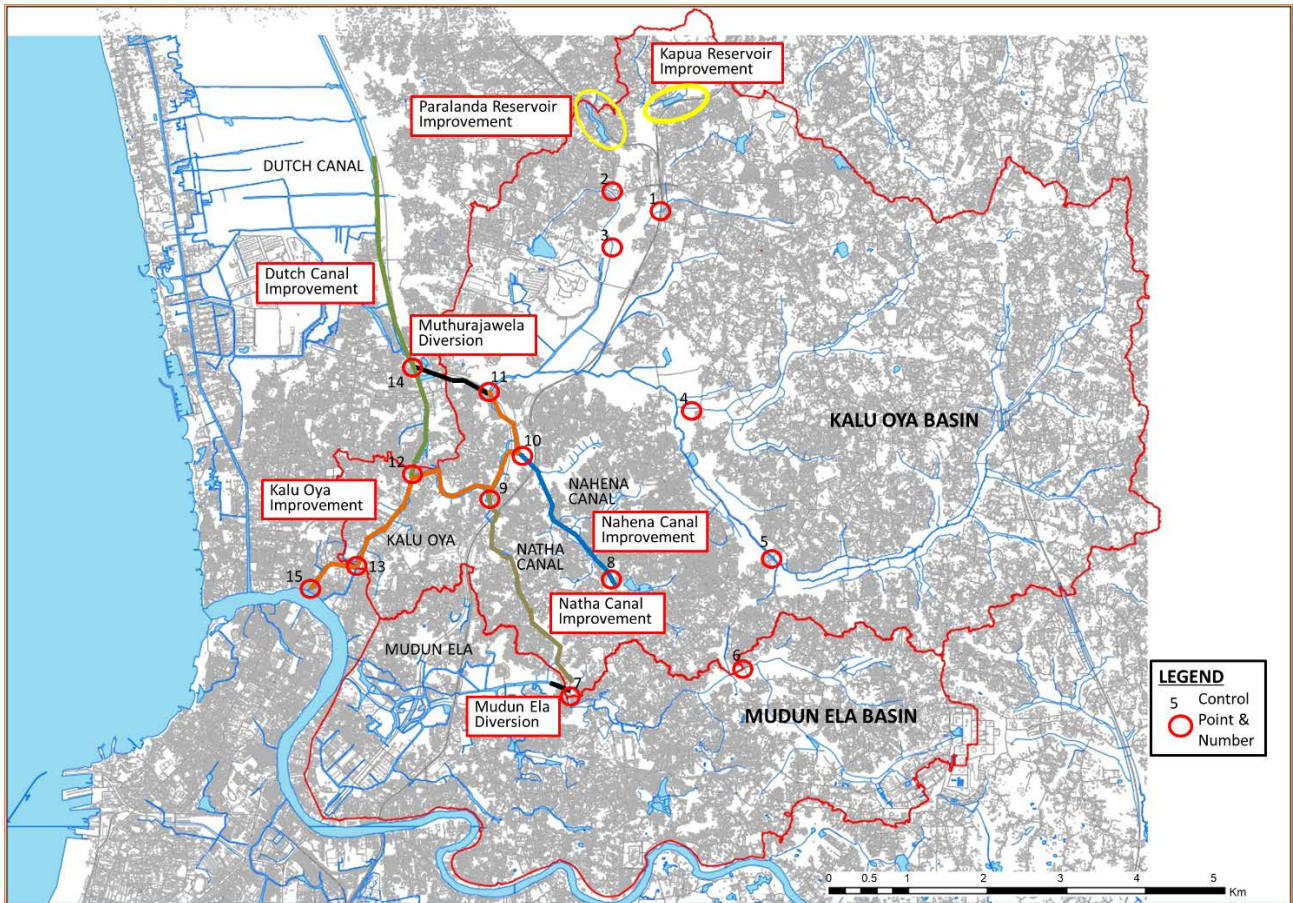
前節で述べたように、既往調査 JICA 2003 M/P および 2018F/S では、Kalu Oya 流域において、ほぼ同様な対策が下記のように提案されてきたが、いずれも実施されていない。

- 水路改修：Kalu Oya、Old Dutch Canal および関連する支川（Natha Canal および Nahena Canal）
- 放水路：Muthurajawela 放水路および Mudun Ela 放水路
- 河口処理：逆流防止水門、排水ポンプ
- 部分改修：水路狭窄部の改修（橋梁ないしカルバート）、上流の不要となった農業用ため池の治水目的での活用

2018F/S で提案された対策の位置図を図 4.2.2 に示す。

この F/S では、当初 1/25 確率洪水対応で検討を進めていたが、想定外力に対して用地取得、事業費が過大となり費用対効果を踏まえ提案する対策工群で対処が困難と判断され、最終段階（Final

Report) で 1/10 確率対応に変更されている。



出典：「Storm Water Drainage and Environment Improvement Project for Kalu Oya Basin-Feasibility Study, SMEC, 2018」を
基に JICA 調査チーム作成

図 4.2.2 2018F/S で提案された対策案の位置図

Kalu Oya 流域の南に隣接している Mudun Ela 流域は、本調査において、新たに調査対象に加えられた流域で、本調査の中で概略事業化調査（以下、Pre-F/S）を行う予定である。Mudun Ela 流域の上流部は JICA 2003 M/P および 2018F/S では Kalu Oya 流域とみなされていたものであるが、自然の水理的な流れの方向を考慮すると、Mudun Ela 流域に加えることが妥当であり、2018F/S では、この上流域を放水路によって Mudun Ela 流域に組み込むような対策 (Mudun Ela 放水路) が提案されている。なお、Mudun Ela 流域においては、Mudun Ela 水路の末端における Oliyamulla ポンプ場の整備が実施中であり、これは 35 m³/s の吐出能力を持つポンプ場である。

4.3 Bolgoda 流域の既往雨水排水計画

Bolgoda 流域の JICA 2003 M/P における構造的対策は、北部最上流部の Weras Ganga 流域の改修に限定されており、その他の区域は、自然遊水機能の保全対策のみである。さらに Weras Ganga 流域は優先プロジェクト区域に選定され F/S が実施された。ここで提案された洪水軽減策の一覧を表 4.3.2 にまとめる。

図 4.3.1 に示すように Weras Ganga の洪水対策は、JICA 2003 M/P (F/S) に沿って概成している。ICA 2003 M/P の F/S 対象事業のうち、未着手であるのは Moratuwa – Rathmalana 地区の雨水排水と Weras Ganga 右岸堤であり、本調査の Pre-F/S 対象として再度計画を策定する。

また、ルートを図 4.3.1 にも示している Madiwela South 放水路に関しては、SLLDC の「Annual Report & Accounts for the Year 2018」(June 2019) によれば、次のような問題点が指摘されている。

1. 建設費が高く、Pannipitiya 地区の流域界を超える放水路の建設工法が難しい。
2. 放流先の Weras Ganga の支川 Maha Ela に負の水文的影響を与える。
3. 社会的・環境的に負の影響がある。

なお、Madiwela South 放水路については、世銀支援の MCUDP の中には含まれておらず、このプロジェクトの工期も 2021 年 12 月と迫っており、本放水路計画の実施の可能性が危惧される。

表 4.3.1 Weras Ganga 流域における JICA 2003 M/P で提案された洪水対策対象河川と計画規模

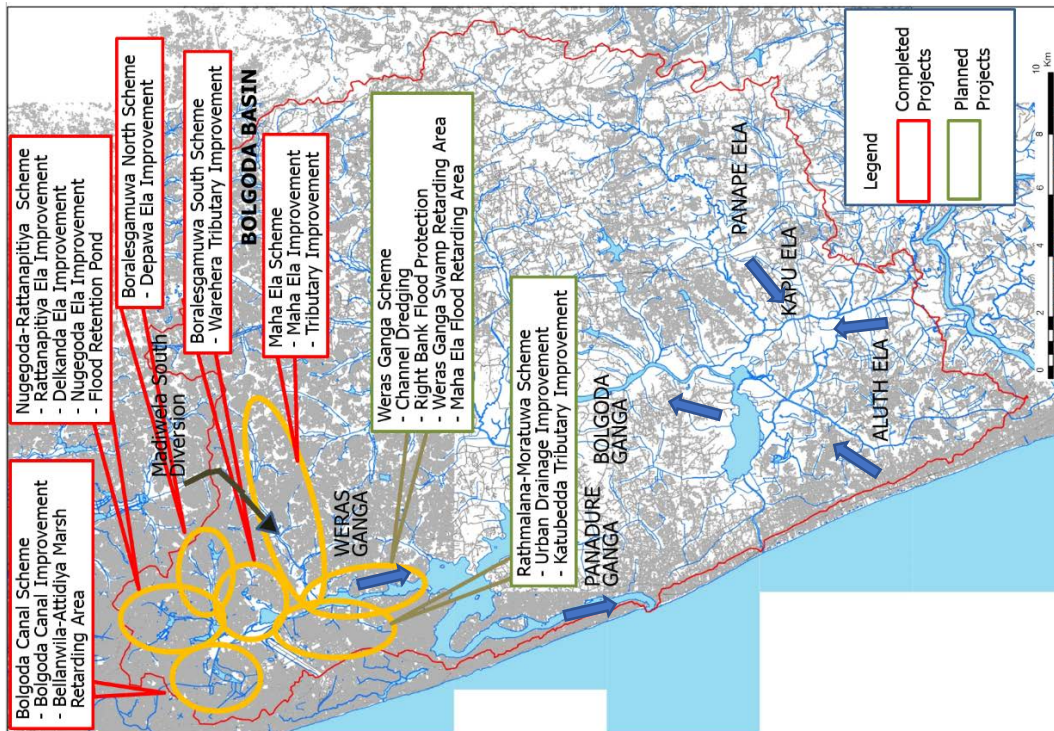
Mitigation Scheme	Target river	Safety Level (24-hours Design Rainfall)	Basic Discharge	Design Discharge
Nugegoda-Rattanapitiya Scheme	Rattanapitiya Ela	10-year (201mm)	71 m ³ /s	52 m ³ /s
	Delkanda Ela	10-year (201mm)	37 m ³ /s	29 m ³ /s
	Nugegoda Ela	10-year (201mm)	34 m ³ /s	24 m ³ /s
Bolgoda Canal Scheme	Bolgoda Canal	10-year (201mm)	106 m ³ /s	51 m ³ /s
Boralesgamuwa North Scheme	Depawa Ela	2-year (137mm)	-	-
Boralesgamuwa South Scheme	Werahera Tributary	2-year (137mm)	-	-
Rathmalana-Moratuwa Scheme	Urban Drainage	2-year (137mm)	-	-
Maha Ela Scheme	Maha Ela	10-year (201mm)	185 m ³ /s	185 m ³ /s
Weras Ganga Scheme	Weras Ganga	50-year (258mm)	312 m ³ /s	164 m ³ /s

出典：JICA 2003 M/P

表 4.3.2 Weras Ganga 流域における JICA 2003 M/P で提案された
洪水対策案

Mitigation Scheme	Proposed Works
Nugegoda-Rattanapitiya Scheme	<ul style="list-style-type: none"> Rattanapitiya Ela Improvement: Channel dredging and widening (L=2,130 m) Delkanda Ela Improvement: Channel dredging and widening (L=1,760 m) Nugegoda Ela Improvement: Channel dredging and widening (L=1,580 m) Flood Retention Pond (A=36 ha)
Bolgoda Canal Scheme	<ul style="list-style-type: none"> Bolgoda Canal Improvement: Channel dredging and widening (L=2,400 m) Bellanwila-Attidiya Marsh Retarding Area (A=108 ha)
Boralesgamuwa North Scheme	<ul style="list-style-type: none"> Depawa Ela Improvement: Channel dredging and widening (L=3,090 m)
Boralesgamuwa South Scheme	<ul style="list-style-type: none"> Werahera Tributary Improvement: Channel dredging and widening (L=980 m)
Rathmalana-Moratuwa Scheme	<ul style="list-style-type: none"> Urban Drainage Improvement: Revetment (L=11,120 m) and retention ponds (A=13 ha) Katubedda Tributary Improvement: Channel dredging and widening (L=1,250 m)
Maha Ela Scheme	<ul style="list-style-type: none"> Maha Ela Improvement: Channel dredging and widening (L=2,700 m) Tributary Improvement: Channel dredging and widening (L=1,760 m)
Weras Ganga Scheme	<ul style="list-style-type: none"> Dredging: (L=5,500 m) Right Bank Flood Protection: (L=2,300m) Weras Ganga Swamp Retarding Area: 65 ha Maha Ela Flood Retarding Area: 106 ha

出典：JICA 2003 M/P



出典：JICA 調査チーム

図 4.3.1 Weras Ganga における JICA 2003 F/S で提案された洪水対策とその進捗状況

4.3.1 JICA 2003 年 M/P で提案された雨水排水計画の実施状況

第1章で述べたように（図 1.1.1 参照）、JICA 2003 M/P ではコロンボ都市圏の北から Ja Ela、Kalu Oya、Greater Colombo および Bolgoda の4流域を対象に、雨水排水計画のマスタープランを立案している。JICA 2003 M/P 調査では、この4流域の中で、Bolgoda 流域の最も市街化が進んでいる Weras Ganga 流域を対象に F/S を実施している。M/P 調査実施後、この F/S に沿って中国の支援により詳細設計（Detail Design：以下、D/D）が実施され、その後に自国資金により改修事業が2013年より開始され、現在も改修工事が進んでいる。Weras Ganga の総事業費は142億ルピーであり、SLLDC の2018年予算の43億ルピーのうち、Weras Ganga 改修には19億ルピーが充当されている。

4流域のうち本調査で Kalu Oyo および Bolgoda の検討を行い、都市圏中心部に位置する Greater Colombo 流域では、2.7.1 節で述べた MCUDP が世銀支援で2012年より開始されており、2021年12月に事業は完了する予定である。また、Ja Ela 流域は世銀支援の CRIP の中に組み入れられて F/S が実施されている。

このように雨水排水対策を実施するためには、財務的手立てを講じて、SLLDC の年間予算の中でじっくり事業を進めていく方法があるが、Weras Ganga の改修に見られるように、投資額は限られている。あるいは、MDB（世銀、ADB 等の国際開発金融機関）ないしドナー国の支援を受けて F/S、D/D から事業実施に向かう方策を希求することが最も実現に近いと考えられる。

第5章 水文水理解析

5.1 降雨解析に係る討議概要

5.1.1 降雨解析の基本方針

排水対策の計画条件となる計画降雨継続時間、計画雨量、計画降雨波形を検討する。本調査では対象流域内の36地点の日雨量データ（内、2地点はColombo観測所およびRathmalana観測所の短時間雨量を含む）とColombo観測所およびRathmalana観測所の降雨強度式を収集した。短時間雨量が対象流域内で広く観測されている場合には、降雨解析のすべての検討に短時間雨量を用いることが適切であるが、短時間雨量データは、Colombo観測所およびRathmalana観測所に限定される（巻末資料参照）。また、カウンターパート（以下、C/P）との協議の結果、観測された日雨量も地点によって精度にバラつきが多く信頼性が低いことが判明した。結果として、表5.1.1示す方針にて計画降雨継続時間、計画雨量、計画波形が決定された。なお日雨量を用いた降雨解析に係る検討結果は参考値として扱う。

表 5.1.1 降雨解析の討議内容

項目	C/Pとの討議内容（調査団からの提案）	結論（討議結果）
計画降雨継続時間	<ul style="list-style-type: none"> 時間データが充実しているColombo観測所を代表観測所として選定。 既往災害履歴から主要な洪水波形を抽出。 実績降雨波形から降雨の時間分布・継続時間を確認。 	<ul style="list-style-type: none"> 計画降雨継続時間は1日とした。
計画降雨	<ul style="list-style-type: none"> Colombo観測所における時間雨量の24時間積算雨量と日雨量を比較。 24時間積算雨量と日雨量には大きな違いがなく、ほとんどの一連降雨は日雨量の観測期間内に収まっている。 計画降雨（確率雨量）の算定には日雨量を用いる。 	<ul style="list-style-type: none"> 対象流域内の一部の観測値は観測精度が低く信頼性が低い（C/Pの認識）。よって日雨量データを用いるのは適切でない。
	<ul style="list-style-type: none"> Colombo観測所と各対象流域（Kalu Oya流域およびBolgoda流域）の降雨特性が異なるためColombo観測所の実績降雨波形を適用するのは適切でない。 降雨の地域分布を考慮するために、ティーセン法によって流域平均雨量を算出し、これを用いて確率雨量を推定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 対象流域内において日雨量の欠測期間も比較的長く、推定値が流域を代表しているとは判断できない。 対象流域内の一部の観測値は観測精度が低く信頼性が低い（C/Pの認識）。よって日雨量データを用いるのは適切でない。
	<ul style="list-style-type: none"> Colombo観測所およびRathmalana観測所の降雨強度式を用いて計画降雨を設定する。その際、適切な面積低減係数を乗じる。 MCUDP等の既往検討で使用されている面積低減係数の設定方法を参考とする。 	<ul style="list-style-type: none"> Colombo観測所およびRathmalana観測所の降雨強度式を用いて計画降雨を設定する。
計画降雨波形	<ul style="list-style-type: none"> Colombo観測所の短時間雨量データから主要洪水波形を抽出し、流出計算から適切な時間分布を有するモデルハイトグラフを選定。 Colombo観測所とRathmalana観測所の降雨強度式を用いて中央集中型のモデルハイトグラフを作成。 	<ul style="list-style-type: none"> 計画降雨波形は、Colombo観測所およびRathmalana観測所の降雨強度式を用いた中央集中型モデルハイトグラフとする。

出典：JICA 調査チーム

5.2 計画降雨の設定

5.2.1 計画降雨継続時間

Colombo 観測所の時間雨量を用いて、近年（1990～2018年）の主要降雨イベントを33降雨抽出した。抽出のルールを以下に示す。また、抽出された33降雨の積算雨量の上位10降雨については後述の計画ハイドログラフの検討に使用する。上位10降雨のハエトグラフを図5.2.2および図5.2.3に示す。

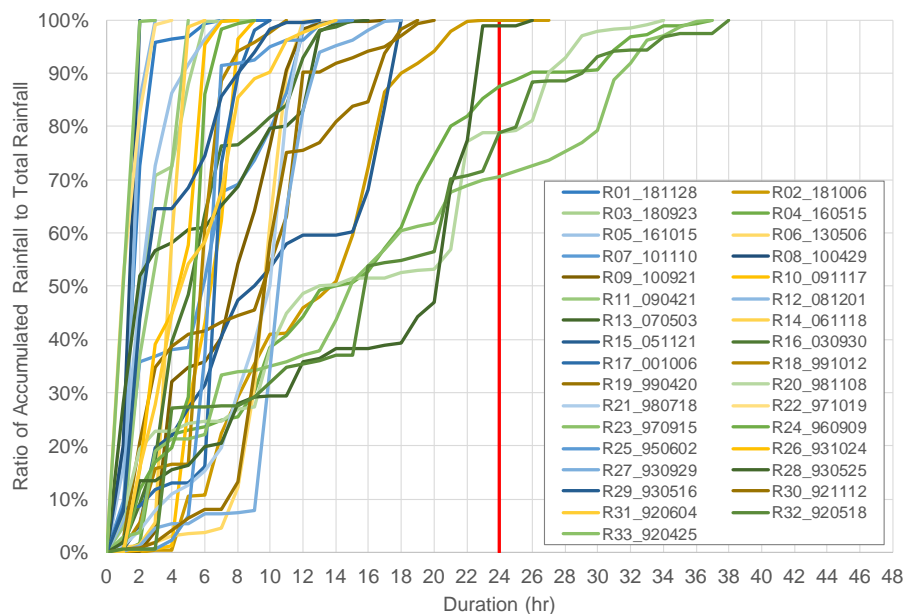
- 連続2時間の無降雨までは一連洪水として定義。一連洪水の積算雨量が100 mmを超える降雨イベントを抽出

抽出した33降雨のマスクを図5.2.1に示す。4降雨を除いては、一連降雨が24時間以内に収束していることから、計画降雨継続時間は24時間（1日）とした。

表 5.2.1 既往の主要降雨イベント (Colombo 観測所)

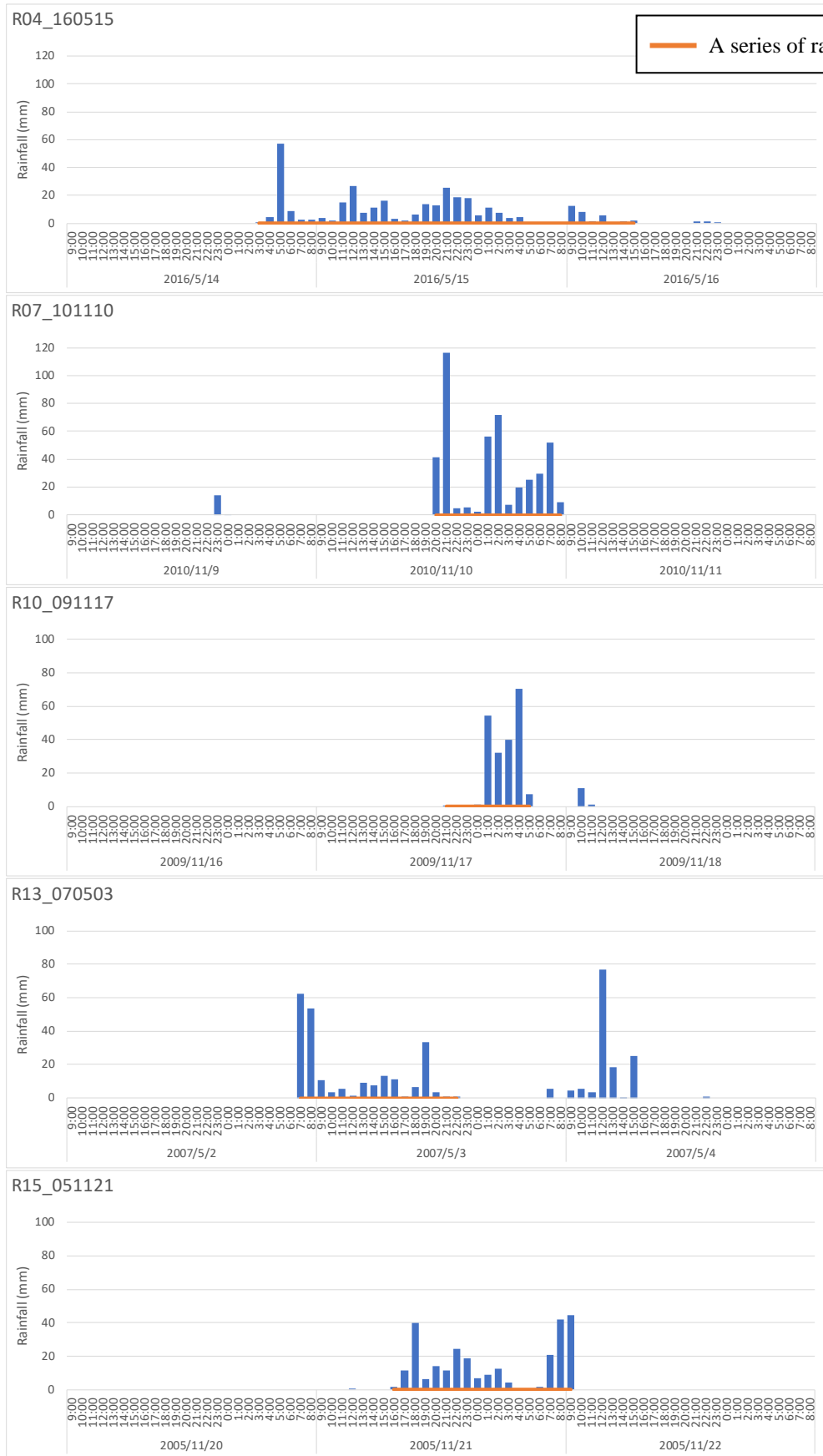
No.	Date	Rainfall duration	Accumulated rainfall	Rank
R01	2018/11/28	10	117.0	27
R02	2018/10/6	28	130.1	18
R03	2018/9/23	9	109.2	32
R04	2016/5/15	38	322.8	3
R05	2016/10/15	8	124.7	19
R06	2013/5/6	14	134.3	16
R07	2010/11/10	13	440.2	2
R08	2010/4/29	2	117.1	26
R09	2010/9/21	17	124.6	20
R10	2009/11/17	9	207.0	7
R11	2009/4/21	5	137.4	15
R12	2008/12/1	3	100.9	33
R13	2007/5/3	16	224.0	6
R14	2006/11/18	6	118.8	24
R15	2005/11/21	18	269.8	5
R16	2003/9/30	15	110.5	31
R17	2000/10/6	10	163.0	11
R18	1999/10/12	12	114.9	30
R19	1999/4/20	20	279.9	4
R20	1998/11/8	34	139.1	14
R21	1998/7/18	13	131.8	17
R22	1997/10/19	4	117.2	25
R23	1997/9/15	37	186.1	9
R24	1996/9/9	9	122.3	23
R25	1995/6/2	15	115.0	29
R26	1993/10/24	8	158.4	12
R27	1993/9/29	18	177.3	10
R28	1993/5/25	26	156.3	13
R29	1993/5/16	13	115.4	28
R30	1992/11/12	19	122.9	22
R31	1992/6/4	14	483.9	1
R32	1992/5/18	38	193.8	8
R33	1992/4/25	3	123.7	21

出典：JICA 調査チーム



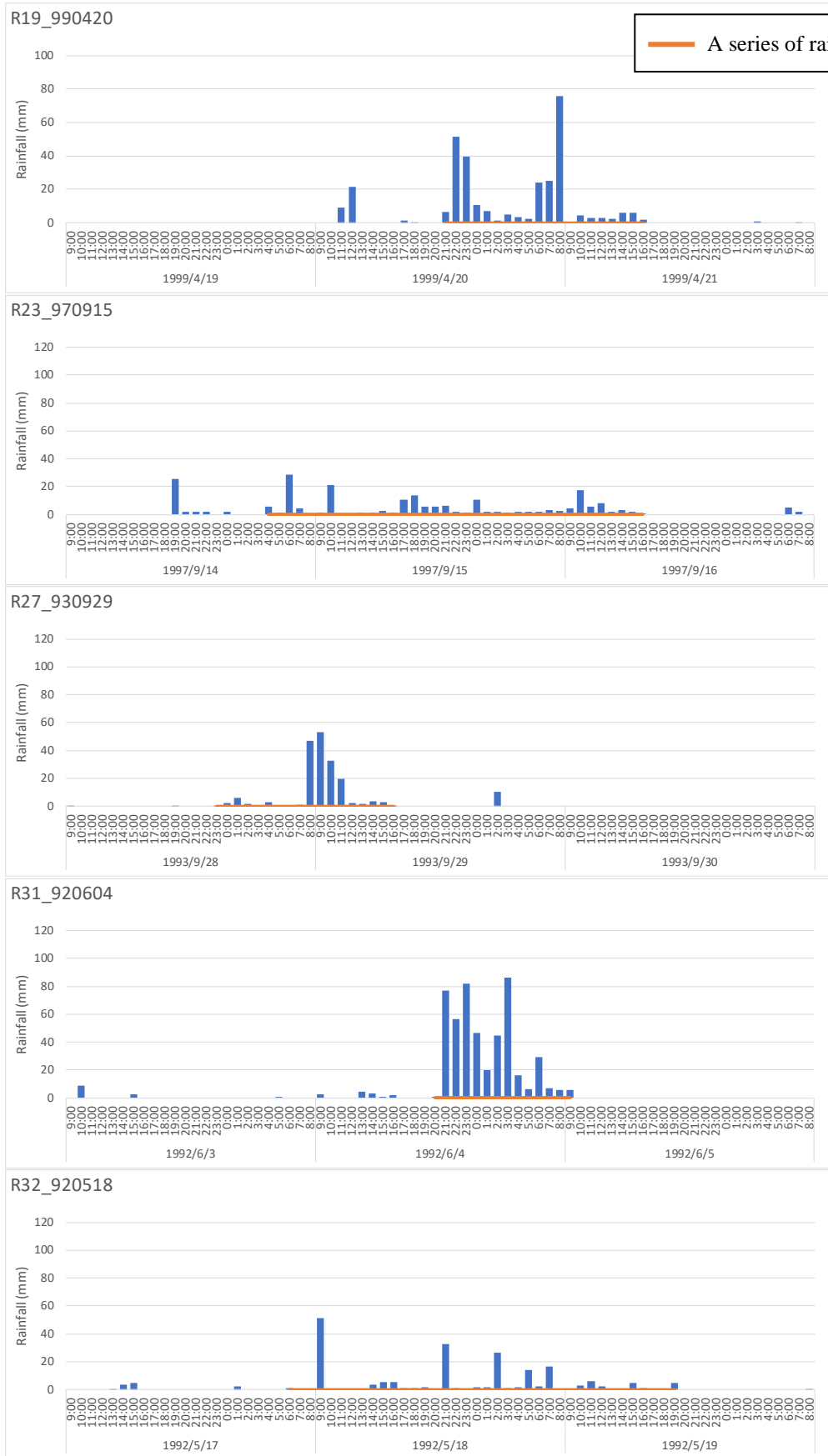
出典：JICA 調査チーム

図 5.2.1 マスカーブ



出典：JICA 調査チーム

図 5.2.2 主要降雨イベントにおける時間雨量 (Colombo 観測所、1/2)



出典：JICA 調査チーム

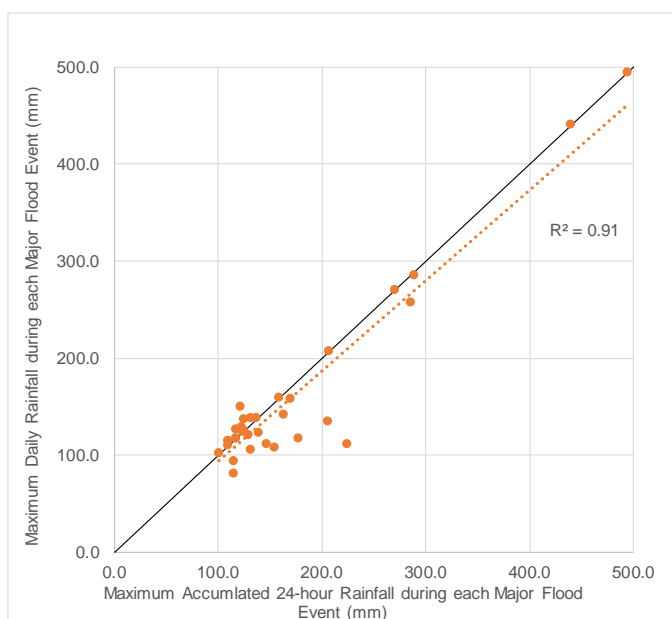
図 5.2.3 主要降雨イベントにおける時間雨量 (Colombo 観測所、2/2)

5.2.2 計画雨量

5.2.2.1 計画雨量検討の方針設定

(1) 計画雨量検討への日雨量データの適用

図 5.2.4 には、計画降雨継続時間の検討で抽出した 33 降雨イベント（表 5.2.1）における最大 24 時間雨量と当該日の日雨量の相関図を示す。図 5.2.4 が示す通り、時間データから算定した最大 24 時間雨量と当該日の日雨量には一定の相関がみられる。このことから、対象流域の計画雨量の検討には日雨量を用いることを提案し、当初検討を行った。



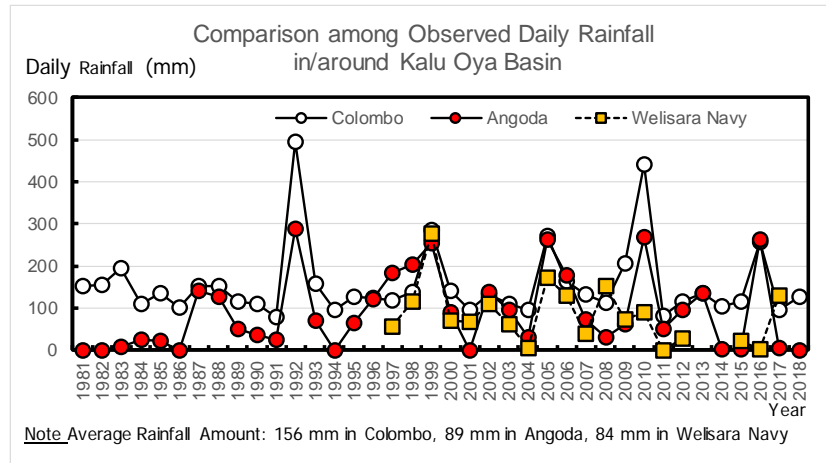
出典：JICA 調査チーム

図 5.2.4 主要降雨イベントにおける最大 24 時間雨量と最大日雨量の相関図

(2) ティーセン法による流域平均日雨量の算定と計画雨量への適用の可否

本調査では、各流域の計画雨量はティーセン法によって算定された流域平均日雨量を用いた統計解析によって検討する。一方で、2018F/S では、Colombo 観測所を代表観測所とし、降雨強度式を用いた確率規模別雨量に一定の面積低減係数（Area Reduction Factor：以下、ARF）を乗じて Kalu Oya 流域の計画雨量としている。本調査でも同様の手法を用いることが想定されるが、以下の理由により、Colombo 観測所が Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域を代表することはできないと判断し、流域平均日雨量を用いた統計解析によって計画雨量を算定することを提案した。

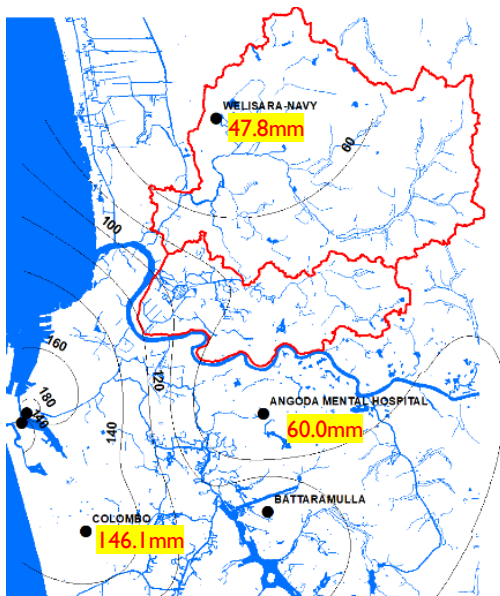
- 図 5.2.5 に示すように、Kalu Oya 流域周辺の年最大日雨量は大きく異なり、沿岸に近い Colombo 観測所の雨量が比較的大きい傾向にある。
- 図 5.2.6 に示す通り、主要洪水日（2010 年 5 月 14 日、2016 年 5 月 15 日）における日雨量の地域分布からも沿岸または、Kalu Oya 流域南側の雨量が大きい傾向にある。



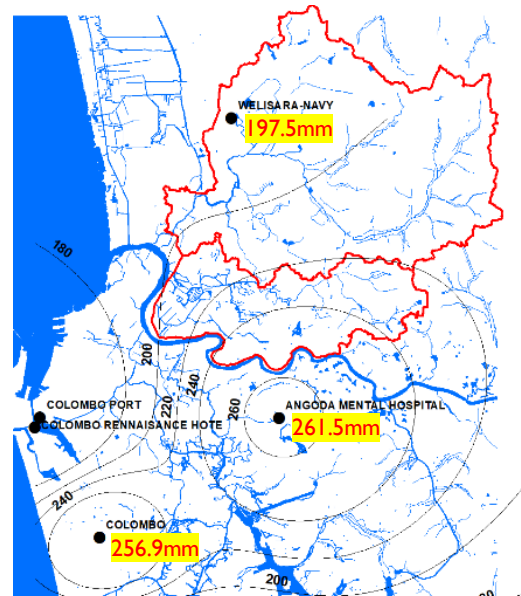
出典：JICA 調査チーム

図 5.2.5 Kalu Oya 流域周辺観測所における年最大日雨量の比較

May 14, 2010



May 15, 2016

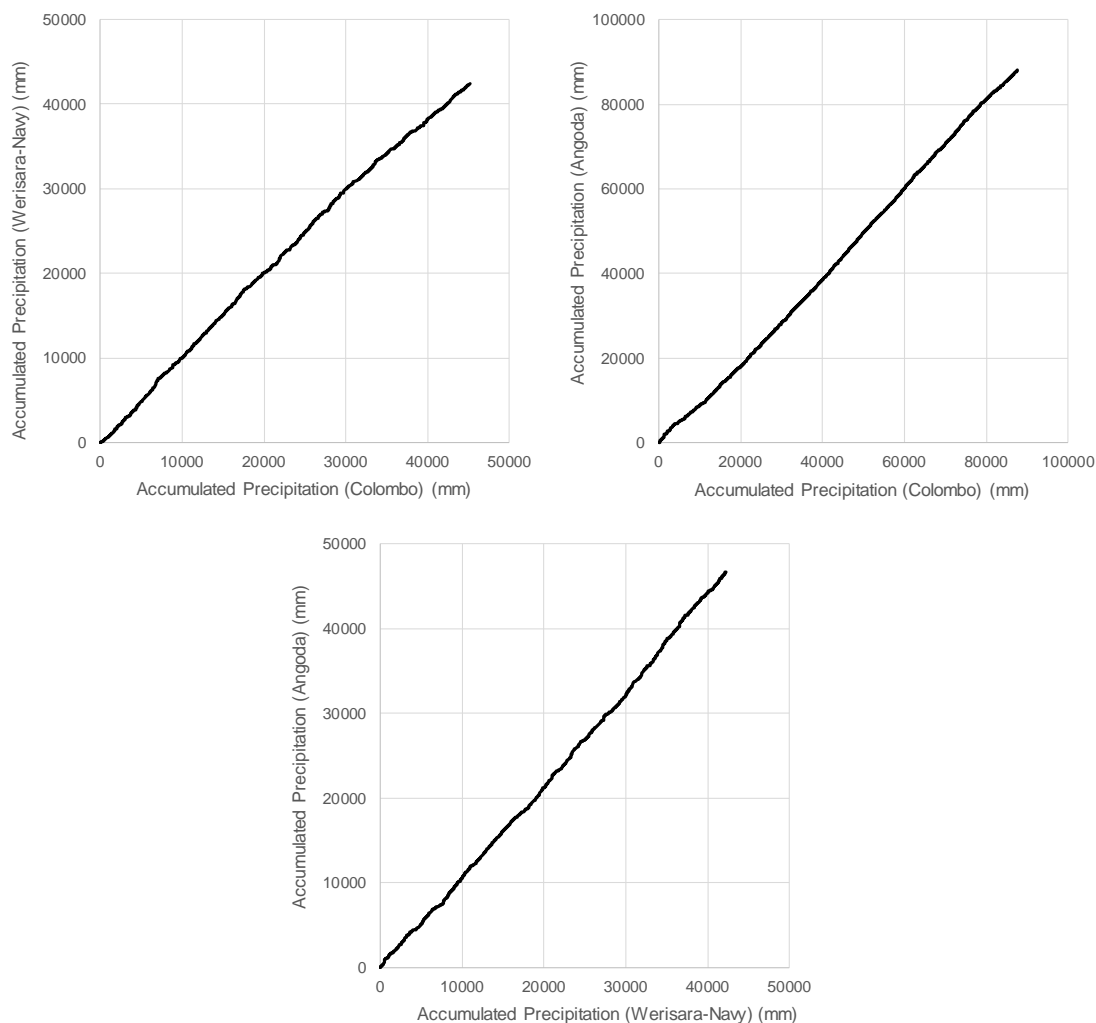


出典：JICA 調査チーム

図 5.2.6 主要洪水時の日雨量の地域分布

(3) 日雨量の観測精度

流域平均雨量の算定に用いる雨量観測所は、気象局によって管理されており、一定の観測精度が確保されていることが期待される。精度検証の参考として 1981 年から 2018 年までの Colombo、Angoda、Werisara 観測所の日雨量データを用いて日雨量のダブルマスカープを図 5.2.7 に示した。それぞれの観測所間の関係は極めて良好であり、経年的な観測実施状況の変化や観測値のエラー等無く、観測精度は確保されていると推察された。



出典：JICA 調査チーム

図 5.2.7 ダブルマスカーブ

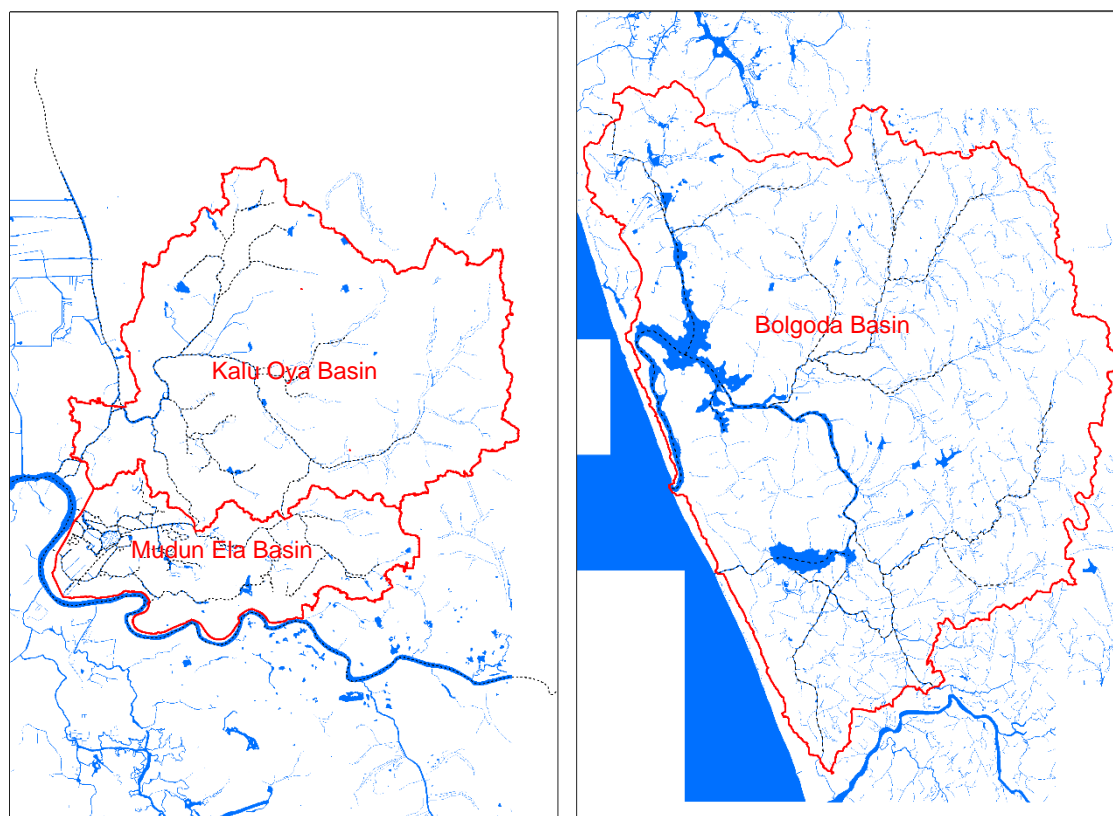
(4) 計画雨量検討の方針の決定に係る経緯

以上の (1)~(3) を踏まえて、本邦において一般的に実施している方法として、日雨量による流域平均雨量を用いた計画雨量の検討方法を提案するとともに同検討結果を提示した。しかしながら、C/P との協議の結果、主に以下の 2 点の理由から Kalu Oya および Mudun Ela 流域には Colombo 観測所を、Bolgoda 流域には Rathmalana 観測所の降雨強度式を適用し計画雨量を算出することが適切であるとの C/P からの意見が大勢を占めていたため、本結論に至った。算出結果は次節に示す。

- 気象局が管理する日雨量の観測所は手動観測であるとともに平常時の管理体制が良好でなく、観測精度も低い (C/P の共通認識)
- 降雨解析の検討期間 (1981~2016 年) での日雨量の欠測期間も比較的長いことから、結果的に流域平均雨量は 2,3 地点のみで算出される年も少なくないため、流域平均雨量の算出精度も決して高くない。

5.2.2.2 流域境界データ

流域平均雨量（参考値）の算出と流出計算に用いる流域境界データについて、Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域については、SLLDC が最新の LiDAR データを用いて設定した境界データを入手した。Bolgoda 流域については、JICA 2003 M/P で設定された境界データをベースに LiDAR データを用いて本調査で修正した。

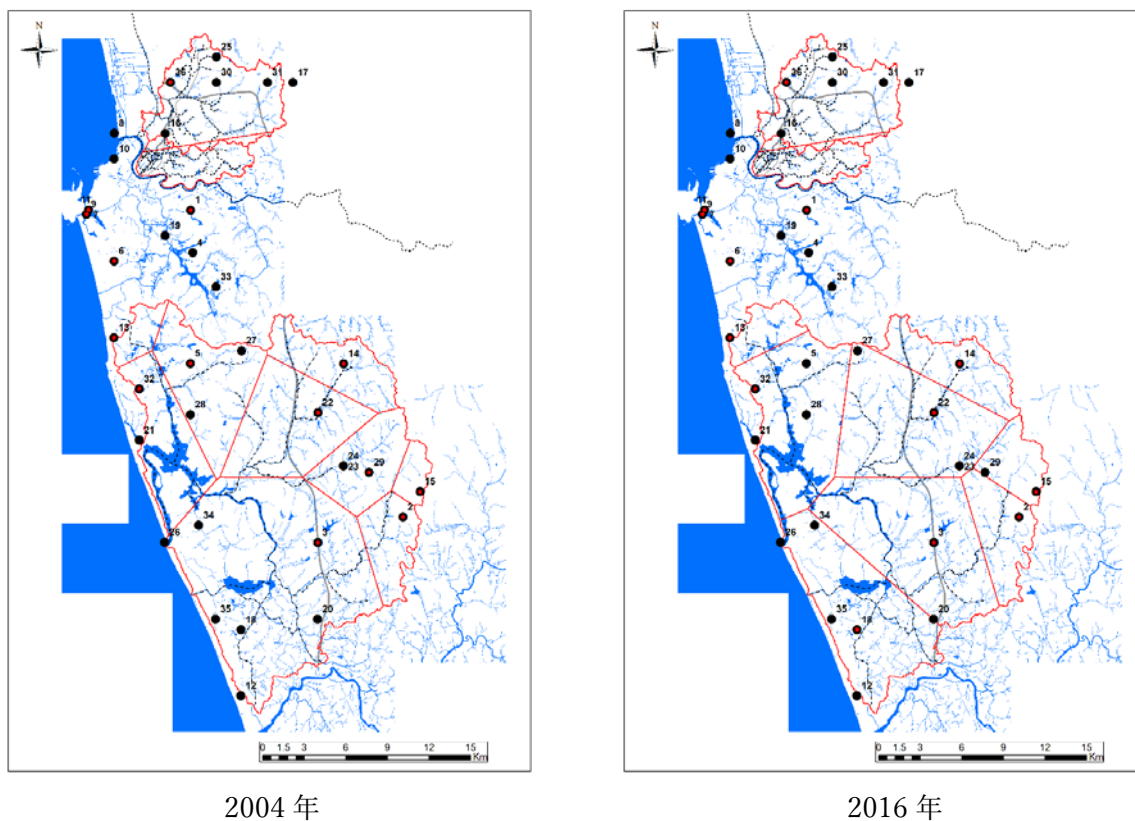


出典：JICA 調査チーム

図 5.2.8 流域境界データ

5.2.2.3 流域平均雨量（参考値）

Kalu Oya 流域および Bolgoda 流域の流域平均雨量はティーセン法によって算出した。これには対象範囲内の 36 観測所の雨量データの内、データの存在状況が良好な 19 観測所（巻末資料参照）を用いた。また、1981～2018 年（38 年間）の各年においてもデータの存在状況にあわせて、各年 1 パターンのティーセン係数を算出し流域平均雨量を算出した。2004 年と 2016 年のティーセン分割図を例として図 5.2.9 に示す。また、算出した流域平均日雨量の経年変化図を図 5.2.10、年最大流域平均日雨量を表 5.2.2 に示す。



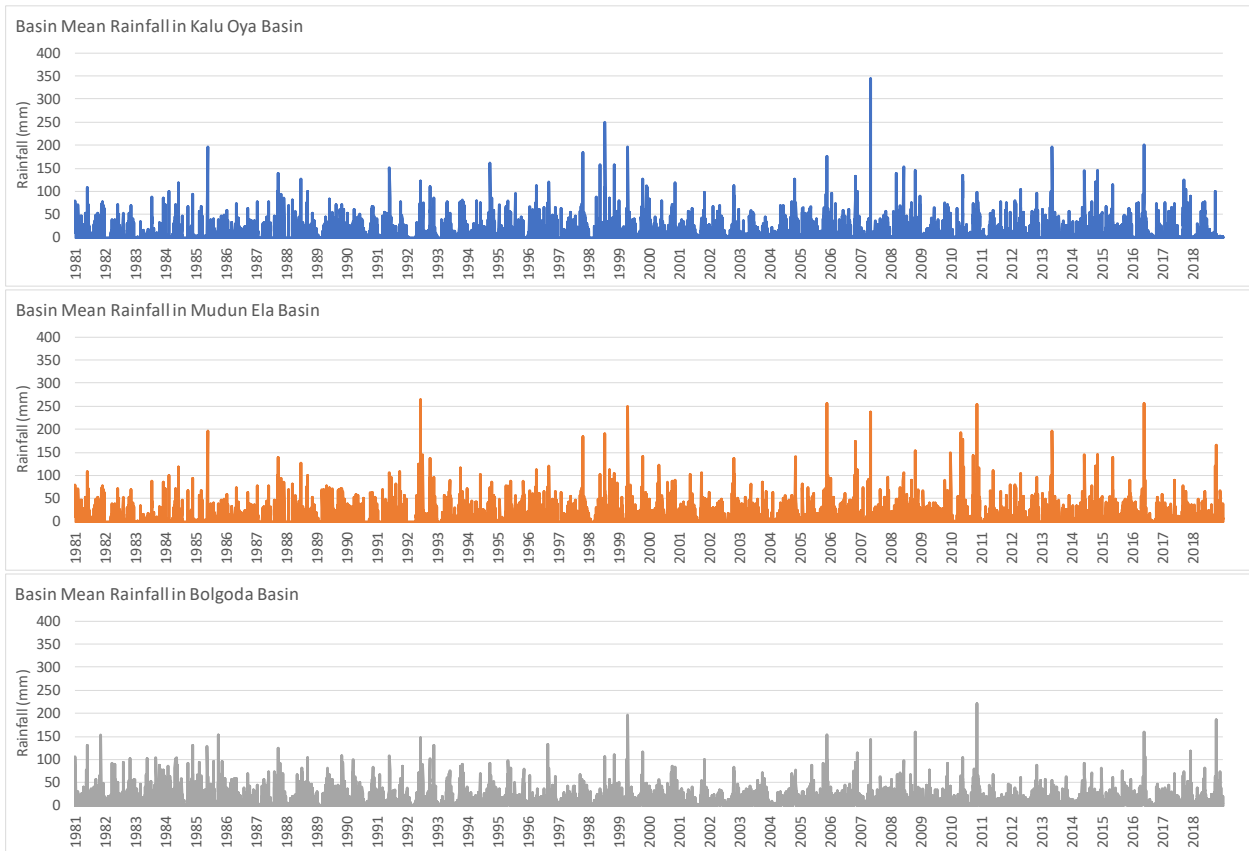
出典：JICA 調査チーム

図 5.2.9 ティーセン分割図（2004 年および 2016 年を例として）

表 5.2.2 年最大流域平均日雨量

No	Kalu Oya basin		Mudun Ela sub-basin		Bolgoda basin	
	Date	Rainfall (mm)	Date	Rainfall (mm)	Date	Rainfall (mm)
1	1981/5/28	107.4	1981/5/28	107.4	1981/11/9	153.4
2	1982/5/29	70.9	1982/5/29	70.9	1982/10/26	101.2
3	1983/7/19	87.6	1983/7/19	87.6	1983/9/6	104.7
4	1984/5/30	117.4	1984/5/30	117.4	1984/11/19	129.6
5	1985/5/19	195.6	1985/5/19	195.6	1985/9/24	154.1
6	1986/5/1	73.2	1986/5/1	73.2	1986/9/14	68.2
7	1987/9/23	139.7	1987/9/23	139.7	1987/9/23	123.9
8	1988/6/25	127.0	1988/6/25	127.0	1988/9/12	104.5
9	1989/6/3	82.6	1989/4/26	77.9	1989/10/28	108.7
10	1990/11/6	67.9	1990/11/1	63.5	1990/3/10	99.6
11	1991/5/31	152.0	1991/9/29	108.8	1991/5/31	108.8
12	1992/6/5	121.4	1992/6/4	263.8	1992/6/4	146.7
13	1993/10/20	80.7	1993/9/29	115.2	1993/10/24	89.4
14	1994/9/29	161.1	1994/5/27	101.9	1994/9/28	91.3
15	1995/7/25	95.7	1995/6/2	88.2	1995/5/5	98.0
16	1996/9/9	120.5	1996/9/9	120.5	1996/8/22	133.5
17	1997/10/19	184.0	1997/10/19	184.0	1997/9/15	66.9
18	1998/7/19	250.0	1998/7/18	189.1	1998/11/8	110.5
19	1999/4/20	196.3	1999/4/20	248.6	1999/4/20	195.4
20	2000/11/7	118.7	2000/5/3	123.3	2000/10/6	86.0
21	2001/10/26	97.0	2001/9/21	106.5	2001/10/26	99.8
22	2002/10/19	111.3	2002/10/19	135.9	2002/10/16	82.7
23	2003/5/11	58.4	2003/9/30	86.1	2003/9/30	72.0
24	2004/10/26	126.5	2004/11/1	140.4	2004/11/1	77.9
25	2005/11/21	176.1	2005/11/21	255.2	2005/11/21	154.0
26	2006/10/27	132.1	2006/10/27	173.1	2006/11/18	114.7
27	2007/5/3	344.4	2007/5/3	237.3	2007/5/3	143.2
28	2008/6/1	153.1	2008/10/21	153.3	2008/10/20	160.2
29	2009/10/18	75.2	2009/12/26	148.0	2009/11/17	91.8
30	2010/5/15	134.8	2010/11/10	253.4	2010/11/10	221.2
31	2011/8/23	77.3	2011/5/24	109.2	2011/5/25	67.3
32	2012/4/14	104.2	2012/4/14	104.2	2012/10/31	88.1
33	2013/5/7	195.3	2013/5/7	195.3	2013/10/16	63.8
34	2014/10/31	145.9	2014/10/31	145.9	2014/6/1	92.3
35	2015/5/10	114.9	2015/5/9	137.9	2015/9/3	75.1
36	2016/5/15	200.4	2016/5/15	256.6	2016/5/15	160.1
37	2017/9/13	123.8	2017/5/25	90.5	2017/11/29	119.2
38	2018/9/24	99.9	2018/10/7	166.3	2018/10/6	185.4
Maximum	2007/5/3	344.4	1992/6/4	263.8	2010/11/10	221.2
Minimum	2003/5/11	58.4	1990/11/1	63.5	2013/10/16	63.8
Average	-	132.1	-	144.7	-	114.3

出典：JICA 調査チーム



出典：JICA 調査チーム

図 5.2.10 流域平均日雨量の経年変化図

5.2.2.4 確率雨量（参考値）

算出された対象3流域の年最大流域平均雨量ならびに Colombo 観測所および Rathmalana 観測所のポイント雨量を用いて統計解析によって確率雨量を算出した。確率分布モデルは、表 5.2.4 に示す代表的な 13 個の確率分布モデルを用いて、以下の方針で適合度の高いモデルを適用した。

《 確率雨量の計算方針 》

- 確率雨量は、表 5.2.4 に示す 13 個の確率分布モデルを用いて算出し、Jackknife 法の安定性評価を行う。
- 一般的に適合度が高いといわれている極値理論に基づく Gumbel（グンベル分布）、SqrtEt（平方根指数型最大値分布）、Gev（一般化極値化分布）を優先とし、SLSC が 0.04 以下かつ最小のものを選定した。
- 上記に該当しない場合は、他の確率分布において、SLSC が 0.04 以下となる確率分布を抽出し、Jackknife 法の安定性評価による推定誤差が最小となるものを選定。

表 5.2.3 確率雨量の計算条件

Item	Contents
Sample	1981 ~ 2018 (total 38 years)
Site	- Kalu Oya, Mudun Ela, Bolgoda Basin - Colombo and Rathmalana rainfall gauging station
Rainfall Duration	1-Day
Software	JICE Model, Japan (<i>Suimon Toukei Utility</i> , Ver. 1.5)

出典：JICA 調査チーム

表 5.2.4 確率分布モデル一覧

NO.	Probability Distribution Model	
1.	Exp	Exponential Distribution
2.	Gumbel	Gumbel Distribution
3.	SqrtEt	Square-root Exponential Type Maximum Distribution
4.	Gev	Extreme Value Distribution
5.	LP3Rs	Peason Type III Distribution (Real Space)
6.	LogP3	Peason Type III Distribution (Logarithmic Space)
7.	Iwai	Iwai Method
8.	IshiTaka	Ishihara・Tahase Method
9.	LN3Q	Log-normal Distribution (Quantile Method)
10.	LN3PM	Log-normal Distribution 3 (Slade II)
11.	LN2LM	Log-normal Distribution 2 (Slade I, L-moment method)
12.	LN2PM	Log-normal Distribution 2 (Slade I, Product moment method)
13.	LN4PM	Log-normal Distribution 4 (Slade IV, Product moment method)

出典：JICE (Japan Institute of Country-ology and Engineering)

表 5.2.5 確率雨量の算出結果

Return Period	Basin Mean Rainfall			Point Rainfall	
	Kalu Oya	Mudun Ela	Bolgoda	Colombo	Ratmalana
2	119.3	135.5	107.8	126.5	136.3
3	141.6	160.8	124.3	148.4	160.9
5	168.3	188.3	142.6	179.9	191.6
10	204.5	221.6	165.7	233.6	235.8
20	241.7	252.1	187.8	304.7	284.4
25	253.9	261.5	194.8	332.3	301.2
30	264.1	269.0	200.5	356.9	315.3
50	293.1	289.6	216.4	436.8	357.1
100	333.6	316.4	237.9	576.7	419.2
SLSC	0.025	0.037	0.023	0.034	0.027
Adopted Probability Distribution models	Gev	LN4PM	Gumbel	Gev	Gev

補足：SLSC = Standard Least Squares Criterion (標準最小二乗規準)

出典：JICA 調査チーム

5.2.2.5 過去の検討結果との比較 (参考値)

算定した確率雨量と過去の検討結果を比較した。比較表を表 5.2.6 に示す。本調査と JICA 2003 M/P は算出手法が同じであるため、確率雨量は概ね一致している。一方で 2018F/S とは大きく乖離している。

表 5.2.6 過去の検討との確率雨量の比較

Return Period	Kalu Oya				Bolgoda	
	JICA 2003 M/P	2018F/S		This Study	JICA 2003 M/P	This Study
		Without ARF	With ARF			
2	130.0	155.3	139.7	119.3	103.0	107.8
5	184.0	225.2	202.6	168.3	137.0	142.6
10	220.0	256.4	230.7	204.5	160.0	165.7
25	266.0	368.7	331.8	253.9	188.0	194.8
50	300.0	483.9	435.4	293.1	210.0	216.4
100	-	634.7	571.3	333.6	-	237.9

出典：JICA 調査チーム

表 5.2.7 確率雨量の算出結果（流域平均雨量）

Basin Mean Rainfall of Kalu Oya Basin

Item	Return Priod	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
Probable Rainfall	2	113.9	123.1	118.9	119.3	—	118.8	—	—	118.4	—	—	—	—
	3	138.0	146.1	141.0	141.6	—	141.4	—	—	141.4	—	—	—	—
	5	168.4	171.7	167.4	168.3	—	168.4	—	—	168.8	—	—	—	—
	10	209.6	203.9	203.5	204.5	—	204.7	—	—	205.2	—	—	—	—
	20	250.8	234.8	241.0	241.7	—	241.9	—	—	241.9	—	—	—	—
	25	264.1	244.6	253.5	253.9	—	254.1	—	—	253.8	—	—	—	—
	30	274.9	252.6	263.9	264.1	—	264.2	—	—	263.6	—	—	—	—
	50	305.3	274.8	293.8	293.1	—	293.1	—	—	291.4	—	—	—	—
100	346.5	304.7	336.4	333.6	—	333.6	—	—	329.9	—	—	—	—	
Estimated Error of Jack Knife Method	2	7.2	8.1	7.6	8.1	—	8.2	—	—	6.8	—	—	—	—
	3	10.0	11.1	9.9	9.9	—	10.1	—	—	8.8	—	—	—	—
	5	14.6	15.1	13.1	13.0	—	13.4	—	—	13.5	—	—	—	—
	10	21.4	20.4	17.9	20.1	—	20.9	—	—	23.2	—	—	—	—
	20	28.4	25.7	23.3	31.2	—	32.1	—	—	36.4	—	—	—	—
	25	30.7	27.4	25.1	35.7	—	36.5	—	—	41.3	—	—	—	—
	30	32.6	28.7	26.6	39.7	—	40.4	—	—	45.5	—	—	—	—
	50	37.9	32.6	31.2	52.6	—	52.6	—	—	58.5	—	—	—	—
100	45.1	37.8	37.8	74.3	—	72.8	—	—	78.8	—	—	—	—	
SLSC		0.035	0.043	0.026	0.025	—	0.022	—	—	0.023	—	—	—	—

Basin Mean Rainfall of Mudun Ela Sub-Basin

Item	Return Priod	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
Probable Rainfall	2	124.6	134.7	130.3	133.1	136.7	—	136.8	—	135.2	—	133.8	133.8	135.5
	3	151.2	160.1	155.1	158.3	163.2	—	161.4	—	159.7	—	159.2	158.7	160.8
	5	184.7	188.4	185.1	187.0	191.3	—	187.7	—	186.4	—	188.0	186.7	188.3
	10	230.2	224.0	225.9	224.3	224.6	—	219.1	—	218.2	—	224.5	222.2	221.6
	20	275.7	258.0	268.5	261.0	254.3	—	247.5	—	246.8	—	259.9	256.4	252.1
	25	290.4	268.9	282.8	272.8	263.2	—	256.3	—	255.4	—	271.2	267.3	261.5
	30	302.4	277.7	294.5	282.5	270.4	—	263.3	—	262.4	—	280.5	276.3	269.0
	50	335.9	302.2	328.6	309.8	289.7	—	282.4	—	281.0	—	306.4	301.3	289.6
100	381.4	335.3	377.1	347.1	314.2	—	307.2	—	304.6	—	341.9	335.4	316.4	
Estimated Error of Jack Knife Method	2	8.1	8.7	8.6	10.8	11.0	—	10.3	—	15.3	—	8.6	8.6	8.8
	3	10.0	10.8	11.1	13.4	13.5	—	12.4	—	16.6	—	10.9	10.7	10.9
	5	13.1	13.5	14.7	15.6	15.2	—	14.4	—	15.9	—	14.3	13.8	13.7
	10	17.8	17.1	20.1	17.4	15.9	—	16.3	—	14.8	—	19.5	18.4	17.4
	20	22.7	20.8	26.0	18.7	15.4	—	18.1	—	19.5	—	25.2	23.5	21.1
	25	24.3	21.9	28.0	19.1	15.0	—	18.7	—	22.5	—	27.2	25.3	22.3
	30	25.6	22.9	29.8	19.6	14.8	—	19.2	—	25.5	—	28.8	26.7	23.2
	50	29.4	25.6	34.8	21.7	14.0	—	20.8	—	35.6	—	33.6	31.0	25.8
100	34.5	29.3	42.1	26.9	13.8	—	23.5	—	52.7	—	40.5	37.1	29.2	
SLSC		0.061	0.045	0.045	0.045	0.042	—	0.033	—	0.035	—	0.033	0.034	0.037

Basin Mean Rainfall of Bolgoda Basin

Item	Return Priod	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
Probable Rainfall	2	101.2	107.8	105.4	106.6	108.3	106.8	108.5	108.1	104.7	108.5	108.5	108.5	—
	3	118.5	124.3	121.3	122.9	125.0	122.9	124.7	124.8	121.2	125.3	124.8	124.5	—
	5	140.2	142.6	140.3	141.7	143.2	141.4	142.2	143.1	141.1	143.6	142.7	142.0	—
	10	169.8	165.7	165.8	166.0	165.6	165.2	163.6	165.5	167.7	165.7	164.7	163.5	—
	20	199.3	187.8	192.1	190.1	186.5	188.6	183.5	186.5	194.8	186.2	185.3	183.6	—
	25	208.8	194.8	200.9	197.9	193.0	196.1	189.7	193.1	203.7	192.6	191.8	189.9	—
	30	216.5	200.5	208.1	204.2	198.3	202.3	194.7	198.4	211.1	197.7	197.0	195.0	—
	50	238.3	216.4	228.8	222.1	212.9	219.8	208.6	213.1	232.1	211.9	211.6	209.2	—
100	267.8	237.9	258.2	246.5	232.3	243.9	226.9	232.7	261.8	230.6	231.1	228.2	—	
Estimated Error of Jack Knife Method	2	5.2	5.7	5.6	6.6	6.6	6.4	6.8	6.8	5.1	6.8	5.6	5.6	—
	3	6.6	7.1	7.2	8.1	8.0	7.7	8.1	8.2	6.5	8.2	7.1	7.0	—
	5	8.8	9.1	9.3	9.6	9.6	9.3	9.4	9.6	9.1	9.6	9.3	9.0	—
	10	12.3	11.8	12.5	11.9	11.7	11.8	11.4	11.6	14.0	11.6	12.3	11.8	—
	20	15.9	14.5	16.0	15.2	14.1	15.2	14.1	14.3	20.2	14.2	15.6	14.8	—
	25	17.1	15.3	17.2	16.7	15.0	16.5	15.2	15.3	22.5	15.2	16.7	15.8	—
	30	18.1	16.1	18.2	18.0	15.9	17.7	16.1	16.2	24.5	16.1	17.6	16.6	—
	50	20.8	18.0	21.2	22.5	18.4	21.5	19.0	19.0	30.5	18.9	20.2	19.0	—
100	24.6	20.8	25.4	30.7	22.5	27.9	23.6	23.6	39.7	23.5	23.9	22.3	—	
SLSC		0.039	0.023	0.026	0.024	0.033	0.025	0.030	0.028	0.026	0.028	0.029	0.030	—

出典：JICA 調査チーム

表 5.2.8 確率雨量の算出結果 (ポイント雨量)

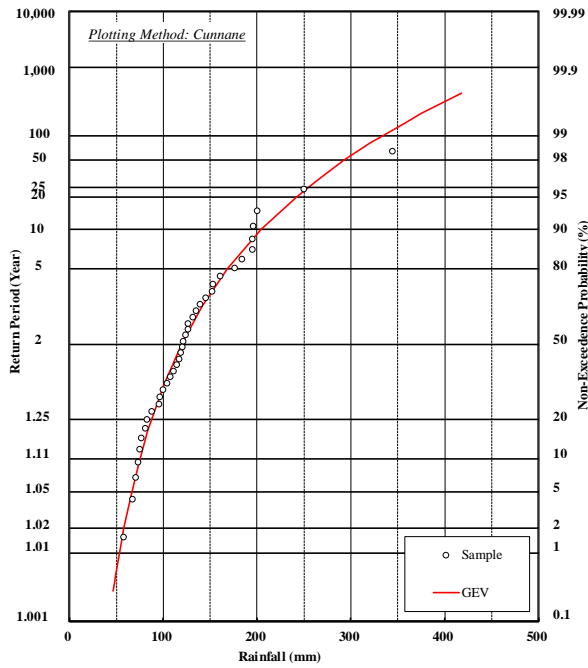
Point Rainfall at Colombo Station

Item	Return Priod	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
Probable Rainfall	2	131.4	143.6	134.9	126.5	—	—	129.0	—	131.5	—	—	—	—
	3	163.4	174.1	157.3	148.4	—	—	155.0	—	157.0	—	—	—	—
	5	203.7	208.2	184.0	179.9	—	—	190.3	—	189.9	—	—	—	—
	10	258.4	250.9	220.0	233.6	—	—	244.1	—	237.6	—	—	—	—
	20	313.2	291.9	257.4	304.7	—	—	305.8	—	289.8	—	—	—	—
	25	330.8	304.9	269.7	332.3	—	—	327.5	—	307.7	—	—	—	—
	30	345.2	315.5	280.0	356.9	—	—	346.0	—	322.7	—	—	—	—
	50	385.5	345.0	309.5	436.8	—	—	401.0	—	366.5	—	—	—	—
100	440.2	384.7	351.5	576.7	—	—	484.4	—	430.8	—	—	—	—	
Estimated Error of Jack Knife Method	2	8.6	11.4	8.7	7.3	—	—	8.4	—	9.1	—	—	—	—
	3	16.4	19.1	13.0	11.3	—	—	12.8	—	13.2	—	—	—	—
	5	26.8	28.0	18.7	17.9	—	—	20.3	—	19.8	—	—	—	—
	10	41.2	39.2	26.8	30.9	—	—	33.9	—	31.8	—	—	—	—
	20	55.7	50.1	35.6	51.1	—	—	52.0	—	48.0	—	—	—	—
	25	60.4	53.5	38.6	59.8	—	—	58.9	—	54.3	—	—	—	—
	30	64.2	56.3	41.1	67.8	—	—	64.9	—	59.7	—	—	—	—
	50	75.0	64.2	48.3	96.0	—	—	83.8	—	77.1	—	—	—	—
100	89.5	74.7	58.9	151.7	—	—	114.5	—	105.5	—	—	—	—	
SLSC		0.076	0.108	0.113	0.034	—	—	0.040	—	0.040	—	—	—	—

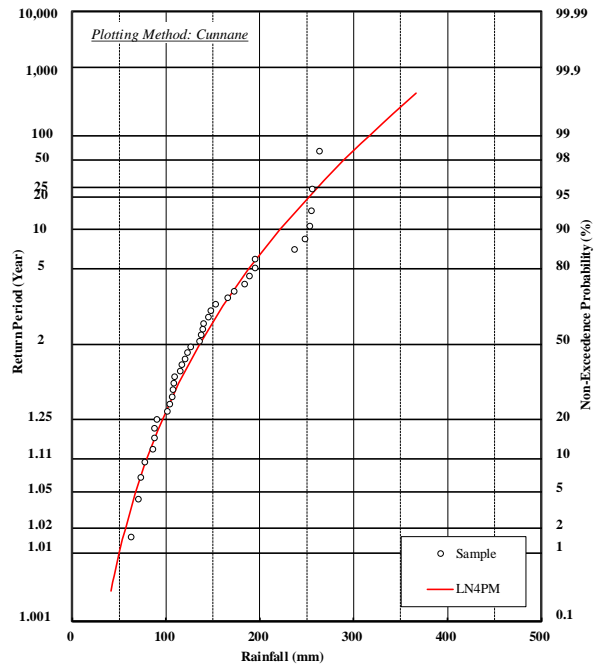
Point Rainfall at Ratmalana Station

Item	Return Priod	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
Probable Rainfall	2	132.9	143.6	138.3	136.3	—	136.2	—	—	135.9	—	—	—	—
	3	160.8	170.2	162.3	160.9	—	161.3	—	—	161.7	—	—	—	—
	5	196.0	199.9	190.9	191.6	—	192.7	—	—	193.8	—	—	—	—
	10	243.8	237.2	229.9	235.8	—	237.0	—	—	238.7	—	—	—	—
	20	291.5	272.9	270.2	284.4	—	284.7	—	—	286.2	—	—	—	—
	25	306.9	284.3	283.6	301.2	—	300.9	—	—	302.2	—	—	—	—
	30	319.4	293.5	294.8	315.3	—	314.5	—	—	315.5	—	—	—	—
	50	354.6	319.2	326.8	357.1	—	354.4	—	—	354.1	—	—	—	—
100	402.4	353.9	372.4	419.2	—	412.8	—	—	409.7	—	—	—	—	
Estimated Error of Jack Knife Method	2	8.0	9.4	8.5	8.2	—	8.6	—	—	9.8	—	—	—	—
	3	12.2	13.8	11.3	10.6	—	11.4	—	—	12.3	—	—	—	—
	5	18.4	19.2	15.2	14.9	—	16.0	—	—	16.1	—	—	—	—
	10	27.5	26.2	21.0	24.2	—	25.6	—	—	23.0	—	—	—	—
	20	36.8	33.1	27.3	38.6	—	39.6	—	—	32.5	—	—	—	—
	25	39.8	35.3	29.4	44.5	—	45.1	—	—	36.1	—	—	—	—
	30	42.2	37.1	31.2	49.8	—	50.1	—	—	39.2	—	—	—	—
	50	49.1	42.2	36.5	67.4	—	66.2	—	—	49.1	—	—	—	—
100	58.5	49.0	44.2	98.3	—	93.7	—	—	65.1	—	—	—	—	
SLSC		0.041	0.059	0.043	0.027	—	0.025	—	—	0.025	—	—	—	—

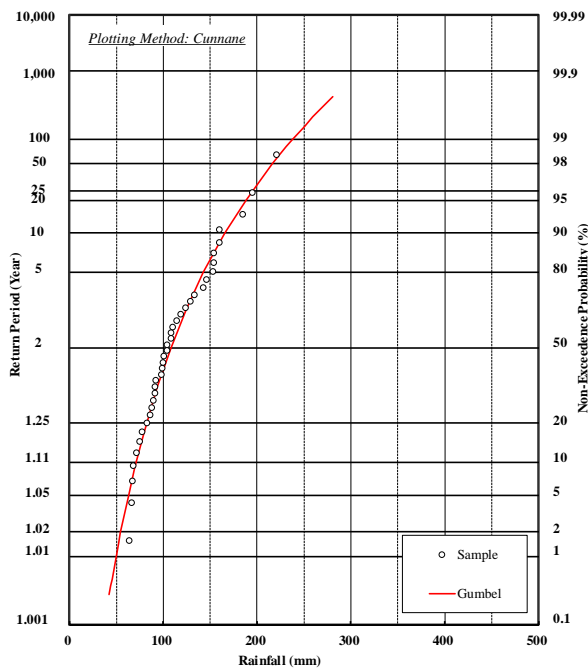
出典：JICA 調査チーム



Kalu Oya Basin



Mudun Ela Sub-Basin



Bolgoda Basin

出典：JICA 調査チーム

図 5.2.11 確率分布図

5.2.2.6 流域平均雨量とポイント雨量の関係（参考値）

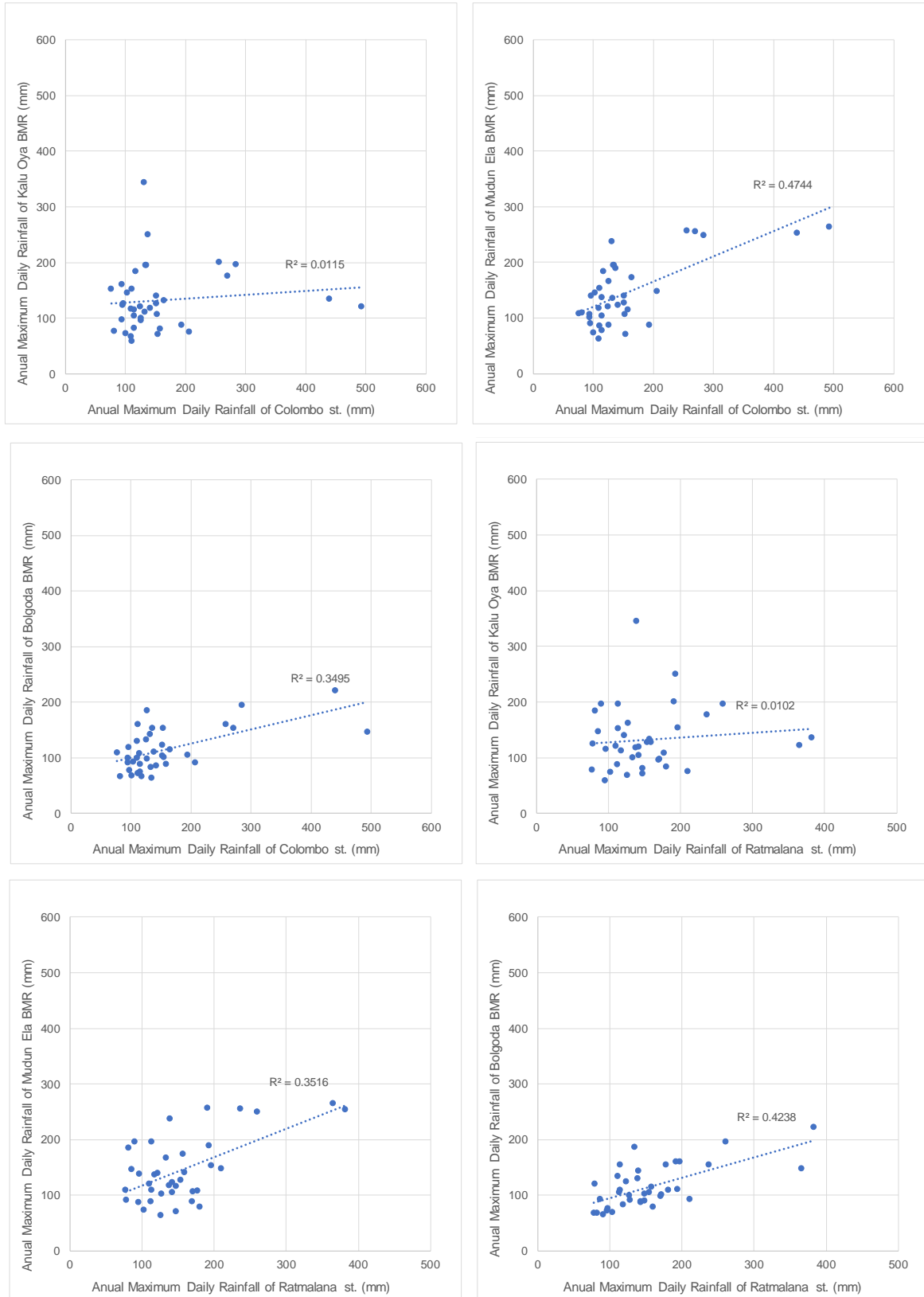
参考として、Kalu Oya 流域の確率雨量と Colombo 観測所の確率雨量を比較した。JICA 2003 M/P で提案されている計画規模である 50 年確率の雨量では、低減係数が 0.67 となる。

表 5.2.9 流域平均雨量とポイント雨量での比較

Return Period	Point rainfall Colombo (A)	Basin Mean Rainfall (B)	Reduction factor (B/A)
2	126.5	118.8	0.94
3	148.4	141.4	0.95
5	179.9	168.4	0.94
10	233.6	204.7	0.88
20	304.7	241.9	0.79
25	332.3	254.1	0.76
30	356.9	264.2	0.74
50	436.8	293.1	0.67
100	576.7	333.6	0.58

出典：JICA 調査チーム

対象 3 流域の年最大流域平均雨量と Colombo 観測所および Rathmalana 観測所の年最大雨量の相関図を図 5.2.12 に示す。各流域平均とポイント雨量は相関性が低く、特に Kalu Oya 流域と各ポイント雨量でその傾向が顕著である。



出典：JICA 調査チーム

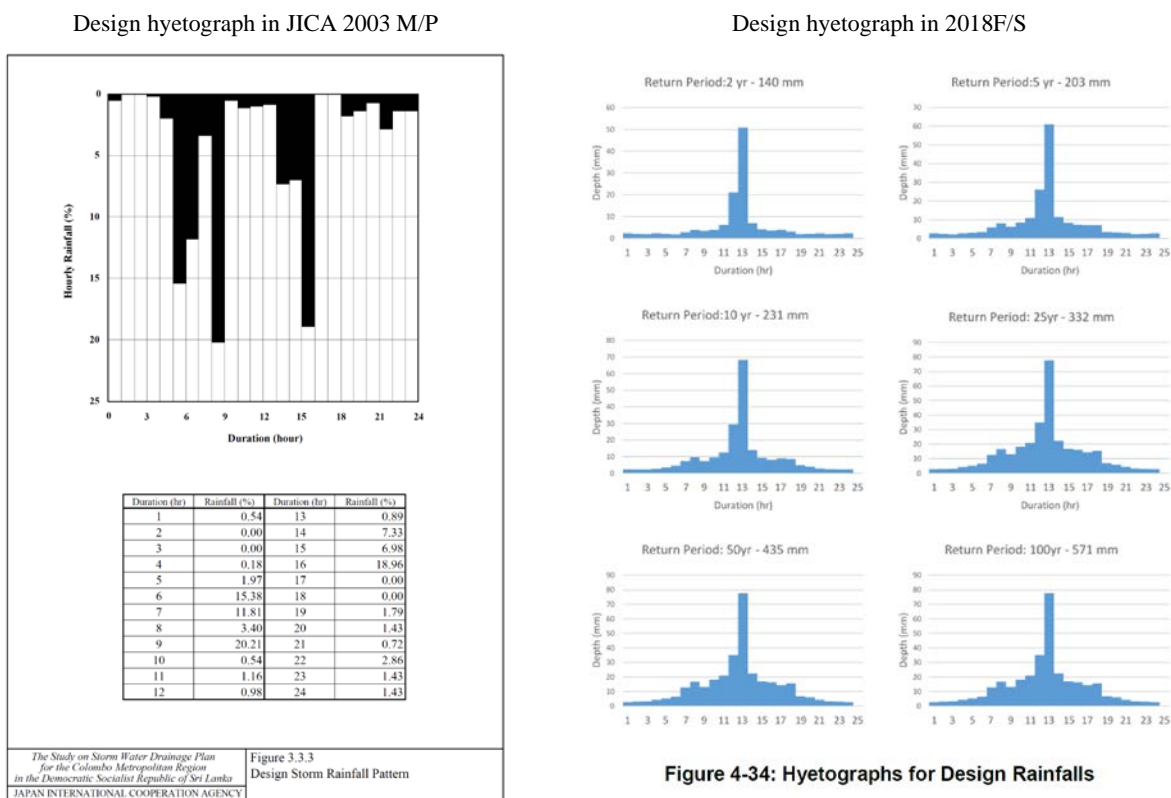
図 5.2.12 対象3流域の年最大流域平均雨量と年最大ポイント雨量の相関図

5.2.3 計画降雨波形

5.2.3.1 概要

JICA 2003 M/P では、複数の実績降雨パターンから 1992 年 6 月降雨をモデルハイエトグラフとして選定し、流域平均雨量を用いた確率規模別雨量相当に引き延ばし計画ハイエトグラフとしている（図 5.2.13 の左図参照）。一方、2018F/S では、MCUDP で検討されている Colombo 観測所の降雨強度式を用いて作成した確率規模別の中央集中型のハイエトグラフに、面積低減係数を乗じ、Kalu Oya 流域に適用している。

本調査では、MCUDP や 2018F/S と同様に、Colombo 観測所および Rathmalana 観測所の降雨強度式を用いて中央集中型の確率規模別降雨波形を計画降雨波形とした。ただし、前述までの年最大雨量の経年変化、降雨の地域分布、流域平均雨量とポイント雨量の関係から Colombo 観測所や Rathmalana 観測所の算出値を直接各流域に適用できないと判断し、既往検討の MCUDP で用いられている次項「5.2.3.2 面積低減係数」に示す方法を参考に面積低減係数を設定した。



出典：JICA 2003 M/P および 2018F/S

図 5.2.13 過去の検討における計画ハイドログラフの例

5.2.3.2 面積低減係数

本調査で提供する降雨強度式は MCUDP で使用された面積低減係数を引用して補正を行った。以下にその概要を示す。

MCUDP では、ポイント雨量強度を面的な雨量強度に変換するため、面積低減係数 (ARF=0.9) を採用している。さらに、短時間降雨になるほど補正を大きくする必要があることを提案しており、降雨継続時間に応じて、以下に示す補正係数を乗じている。

Duration (hrs):	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24
Reduction:	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	1.00

出典：「CONSULTANCY SERVICES FOR CONDUCTING A DETAILED FLOOD RISK ASSESSMENT FOR COLOMBO METROPOLITAN REGION January 2017 (Deltales)」

これは、ポイント雨量を流域全体に適用するために、面積低減係数 (ARF=0.9) にさらに、降雨継続時間による補正係数を乗じたものである。

本調査では、この手法を採用することとし、表 5.2.10 に示す係数を乗じて Colombo 観測所ならびに Rathmalana 観測所の降雨強度を補正した。

表 5.2.10 補正係数

降雨継続時間 (hr)	時間補正係数 (1)	面積低減係数 (2)	(3)=(1)*(2)	降雨継続時間 (hr)	時間補正係数 (1)	面積低減係数 (2)	(3)=(1)*(2)
1	0.80	0.90	0.72	13	0.92	0.90	0.83
2	0.82	0.90	0.74	14	0.93	0.90	0.84
3	0.83	0.90	0.75	15	0.94	0.90	0.85
4	0.84	0.90	0.76	16	0.95	0.90	0.86
5	0.85	0.90	0.77	17	0.95	0.90	0.86
6	0.86	0.90	0.77	18	0.96	0.90	0.86
7	0.87	0.90	0.78	19	0.97	0.90	0.87
8	0.88	0.90	0.79	20	0.98	0.90	0.88
9	0.89	0.90	0.80	21	0.98	0.90	0.88
10	0.89	0.90	0.80	22	0.99	0.90	0.89
11	0.90	0.90	0.81	23	1.00	0.90	0.90
12	0.91	0.90	0.82	24	1.00	0.90	0.90

表 5.2.11 降雨強度式 (補正なし)

$$R = a (T - b)^c$$

	2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
a	6844.65	4383.95	2832.77	1579.57	1124.45	831.49
b	-31.22	-22.87	-15.39	-5.82	-0.83	3.49
c	-0.99	-0.88	-0.77	-0.63	-0.54	-0.46

$$R = a (T - b)^c$$

	2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
a		1513.00	1522.00	1557.00	1596.00	1647.00
b		8.00	8.10	8.30	8.50	8.60
c		-0.6795	-0.6535	-0.6270	-0.6115	-0.5994

Rainfall Intensity (mm/hr)

T (hr)	2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1.0	79.6	91.9	100.7	114.9	123.8	132.6
2.0	48.3	57.1	64.1	76.6	85.7	95.4
3.0	34.7	42.0	48.3	60.0	69.0	79.0
4.0	27.1	33.5	39.3	50.4	59.2	69.1
5.0	22.3	28.0	33.4	43.9	52.5	62.4
6.0	18.9	24.1	29.2	39.3	47.6	57.4
7.0	16.4	21.2	26.0	35.7	43.8	53.4
8.0	14.5	19.0	23.5	32.9	40.8	50.3
9.0	13.0	17.2	21.5	30.6	38.3	47.6
10.0	11.8	15.7	19.9	28.6	36.2	45.4
11.0	10.8	14.5	18.5	27.0	34.4	43.5
12.0	9.9	13.5	17.3	25.6	32.8	41.8
13.0	9.2	12.6	16.3	24.3	31.5	40.3
14.0	8.6	11.8	15.4	23.2	30.2	38.9
15.0	8.0	11.2	14.7	22.3	29.1	37.7
16.0	7.6	10.6	13.9	21.4	28.1	36.6
17.0	7.1	10.0	13.3	20.6	27.2	35.6
18.0	6.7	9.5	12.8	19.9	26.4	34.7
19.0	6.4	9.1	12.2	19.2	25.7	33.9
20.0	6.1	8.7	11.8	18.6	25.0	33.1
21.0	5.8	8.4	11.3	18.0	24.3	32.3
22.0	5.6	8.0	10.9	17.5	23.7	31.7
23.0	5.3	7.7	10.6	17.1	23.2	31.0
24.0	5.1	7.5	10.2	16.6	22.6	30.4

Colombo 観測所

Rainfall Intensity (mm/hr)

T (hr)	2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1.0	72.5	86.0	96.5	110.2	120.4	130.6
2.0	45.7	56.0	63.8	74.2	81.9	89.6
3.0	34.5	43.1	49.7	58.3	64.8	71.2
4.0	28.2	35.7	41.5	49.0	54.7	60.4
5.0	24.0	30.8	36.0	42.8	48.0	53.0
6.0	21.1	27.3	32.0	38.3	43.0	47.7
7.0	18.9	24.6	29.0	34.8	39.2	43.6
8.0	17.1	22.5	26.6	32.1	36.2	40.3
9.0	15.7	20.8	24.7	29.8	33.7	37.6
10.0	14.5	19.4	23.1	28.0	31.7	35.3
11.0	13.6	18.2	21.7	26.4	29.9	33.4
12.0	12.7	17.2	20.5	25.0	28.4	31.7
13.0	12.0	16.3	19.5	23.8	27.0	30.2
14.0	11.4	15.5	18.6	22.7	25.8	28.9
15.0	10.8	14.8	17.8	21.8	24.8	27.8
16.0	10.3	14.2	17.0	20.9	23.8	26.7
17.0	9.8	13.6	16.4	20.1	23.0	25.8
18.0	9.4	13.1	15.8	19.4	22.2	24.9
19.0	9.1	12.6	15.2	18.8	21.5	24.1
20.0	8.7	12.2	14.7	18.2	20.8	23.4
21.0	8.4	11.8	14.3	17.6	20.2	22.7
22.0	8.1	11.4	13.8	17.1	19.6	22.1
23.0	7.9	11.1	13.5	16.7	19.1	21.5
24.0	7.6	10.8	13.1	16.2	18.6	21.0

Rathmalana 観測所

表 5.2.12 降雨強度式（補正あり）

Rainfall Intensity (mm/hr)

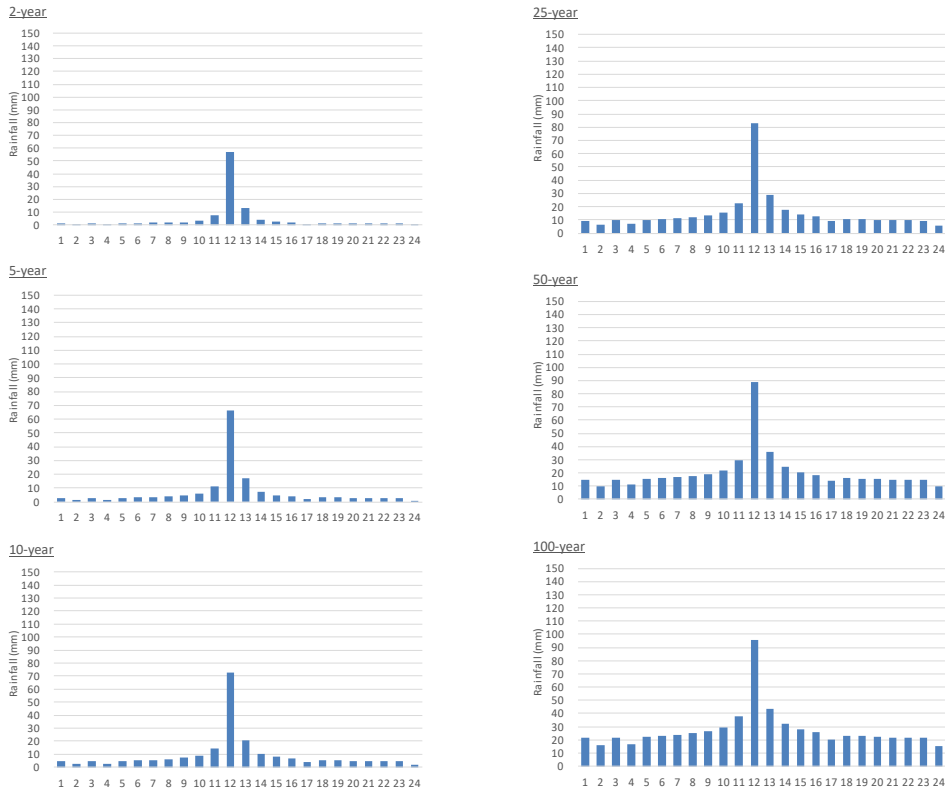
T (hr)	2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1.0	57.3	66.2	72.5	82.7	89.2	95.5
2.0	35.7	42.1	47.3	56.5	63.2	70.4
3.0	26.0	31.4	36.1	44.8	51.5	59.0
4.0	20.5	25.3	29.7	38.1	44.7	52.3
5.0	17.0	21.4	25.5	33.6	40.2	47.7
6.0	14.6	18.6	22.6	30.4	36.8	44.4
7.0	12.9	16.6	20.4	28.0	34.3	41.8
8.0	11.5	15.0	18.6	26.0	32.3	39.8
9.0	10.4	13.8	17.3	24.5	30.7	38.2
10.0	9.4	12.6	15.9	22.9	29.0	36.4
11.0	8.7	11.8	15.0	21.9	27.9	35.2
12.0	8.1	11.0	14.2	20.9	26.9	34.2
13.0	7.6	10.4	13.5	20.1	26.0	33.3
14.0	7.2	9.9	12.9	19.4	25.3	32.6
15.0	6.8	9.4	12.4	18.8	24.6	31.9
16.0	6.5	9.0	11.9	18.3	24.1	31.3
17.0	6.1	8.6	11.4	17.6	23.3	30.4
18.0	5.8	8.2	11.0	17.2	22.8	30.0
19.0	5.6	8.0	10.7	16.8	22.4	29.6
20.0	5.4	7.7	10.4	16.4	22.0	29.2
21.0	5.1	7.4	10.0	15.9	21.4	28.5
22.0	5.0	7.2	9.8	15.6	21.1	28.2
23.0	4.8	7.0	9.5	15.3	20.8	27.9
24.0	4.6	6.7	9.2	14.9	20.4	27.4

Colombo 観測所

Rainfall Intensity (mm/hr)

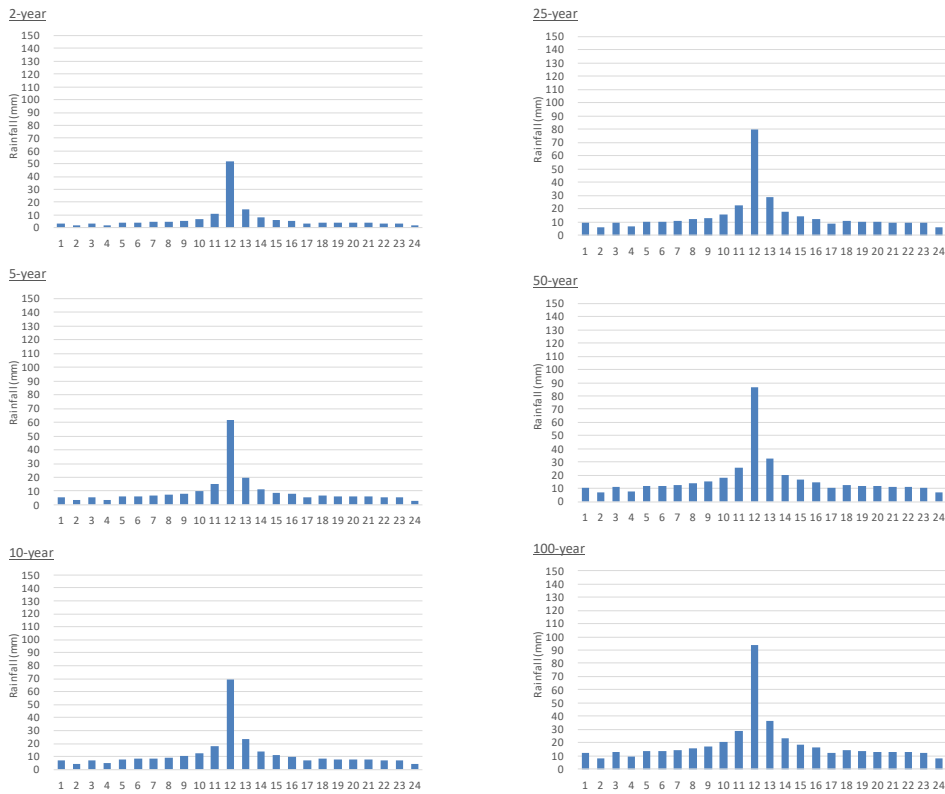
T (hr)	2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1.0	52.19	61.94	69.47	79.33	86.66	94.04
2.0	33.76	41.31	47.12	54.76	60.46	66.14
3.0	25.80	32.20	37.10	43.58	48.42	53.22
4.0	21.31	27.00	31.34	37.08	41.38	45.64
5.0	18.39	23.58	27.52	32.76	36.69	40.57
6.0	16.32	21.14	24.79	29.65	33.30	36.90
7.0	14.77	19.30	22.72	27.29	30.72	34.10
8.0	13.56	17.86	21.10	25.42	28.68	31.89
9.0	12.58	16.69	19.78	23.91	27.02	30.09
10.0	11.65	15.55	18.48	22.40	25.36	28.27
11.0	10.99	14.75	17.57	21.36	24.21	27.03
12.0	10.42	14.07	16.80	20.46	23.22	25.95
13.0	9.93	13.48	16.13	19.68	22.37	25.02
14.0	9.51	12.96	15.54	19.00	21.62	24.21
15.0	9.13	12.51	15.02	18.40	20.96	23.49
16.0	8.80	12.10	14.56	17.87	20.37	22.84
17.0	8.41	11.62	14.00	17.21	19.64	22.04
18.0	8.15	11.30	13.63	16.78	19.17	21.52
19.0	7.91	11.01	13.30	16.39	18.74	21.06
20.0	7.69	10.74	12.99	16.04	18.35	20.64
21.0	7.42	10.39	12.59	15.56	17.82	20.05
22.0	7.24	10.17	12.34	15.27	17.50	19.70
23.0	7.07	9.97	12.11	15.00	17.20	19.38
24.0	6.85	9.69	11.78	14.61	16.76	18.89

Rathmalana 観測所



出典：JICA 調査チーム

図 5.2.14 計画ハイエトグラフ (Colombo 観測所)



出典：JICA 調査チーム

図 5.2.15 計画ハイエトグラフ (Rathmalana 観測所)

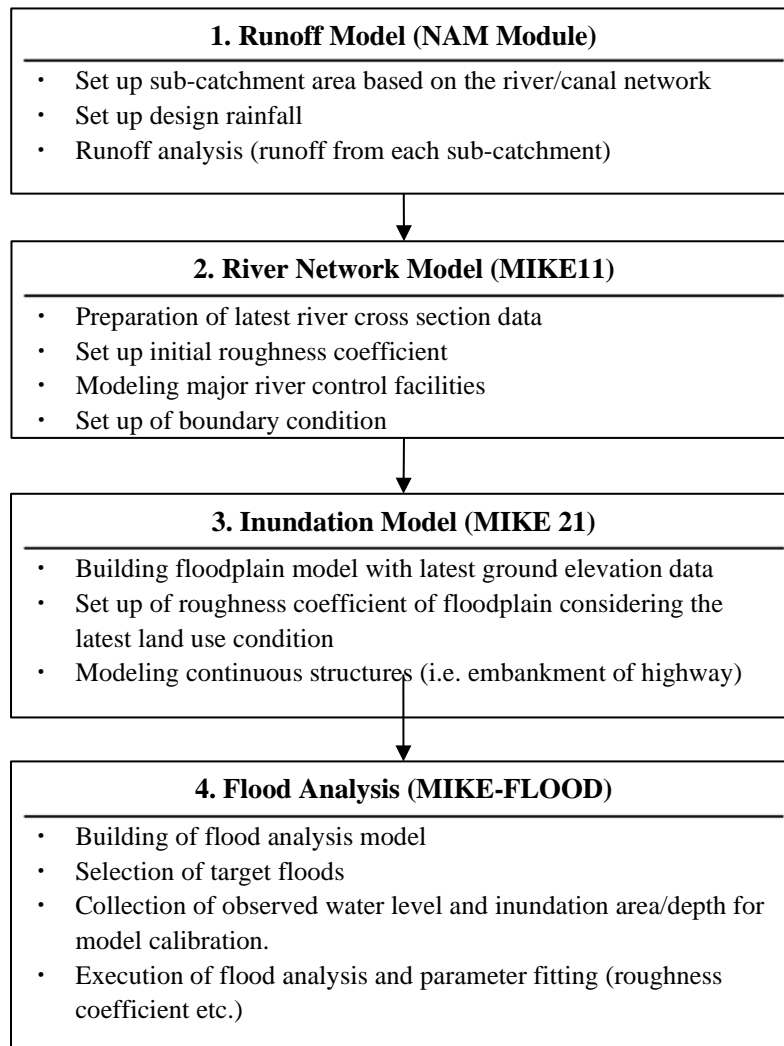
5.3 水文・水理解析モデルの構築

5.3.1 基本方針

5.3.1.1 解析モデル

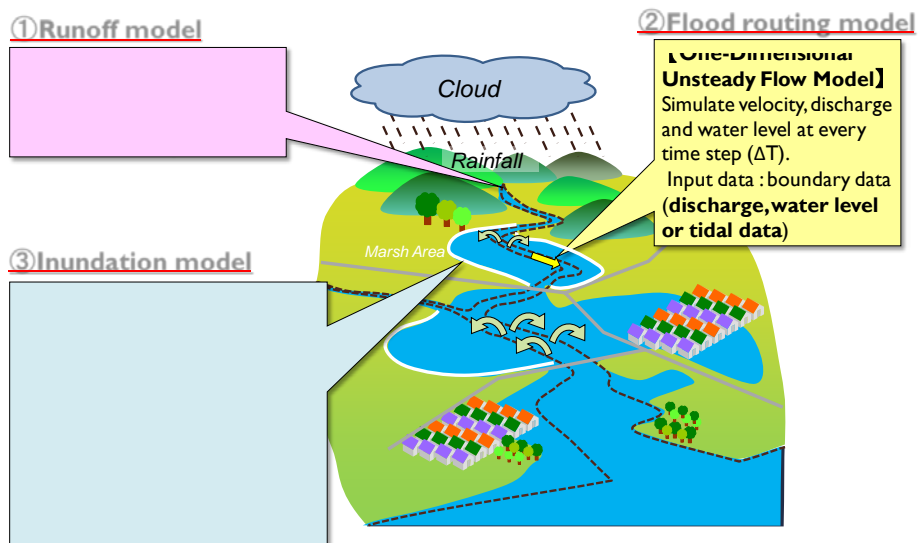
対象流域の洪水特性の把握や効果的な排水対策案の立案のため、水文水理解析モデルを構築し検討を行う。解析モデルは、MIKE シリーズ (DHI 社) を使用する。このモデルは流出解析モデル、河道ネットワークモデル (洪水追跡モデル)、氾濫解析モデルでの3つのパートで構成される。JICA 2003 M/P においても流出解析モデルおよび河川ネットワークモデルにおいて MIKE シリーズが使用されており、その後、SLLDC では同調査で提供された解析モデルに改良を加え、独自に排水計画に利用している。本調査では、2003 年に構築された解析モデルと SLLDC が改良した解析モデルを入手した。これをベースに最新の横断測量、土地利用、標高分布等のデータを更新する。

解析モデル構築の手順を図 5.3.1 に示す。



出典：JICA 調査チーム

図 5.3.1 解析モデルの構築手順



出典：JICA 調査チーム

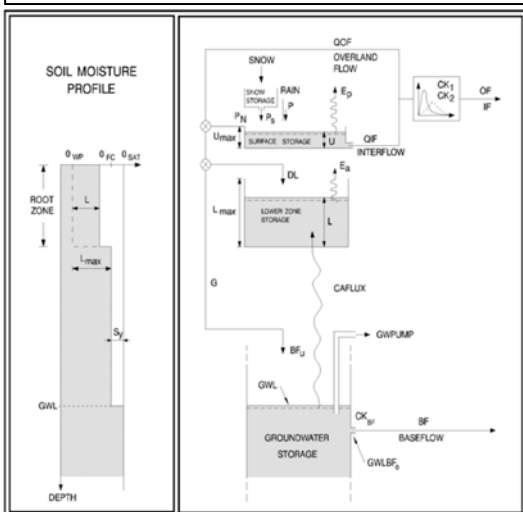
図 5.3.2 水文水理解析の基本コンセプト

5.3.2 流出解析

各小流域からの流出量は、短期流出だけでなく長期流出にも利用される NAM (Nedbor-Afstromnings-Model) モジュールによって解析する。降雨流出解析モデルである 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、短期および長期の流出現象を解析できる。NAM は、相互に関連する4つの異なるタンクの含水量を継続的に計算することにより、降雨流出解析を行う。

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.



Structure of NAM model

出典：JICA 調査チーム

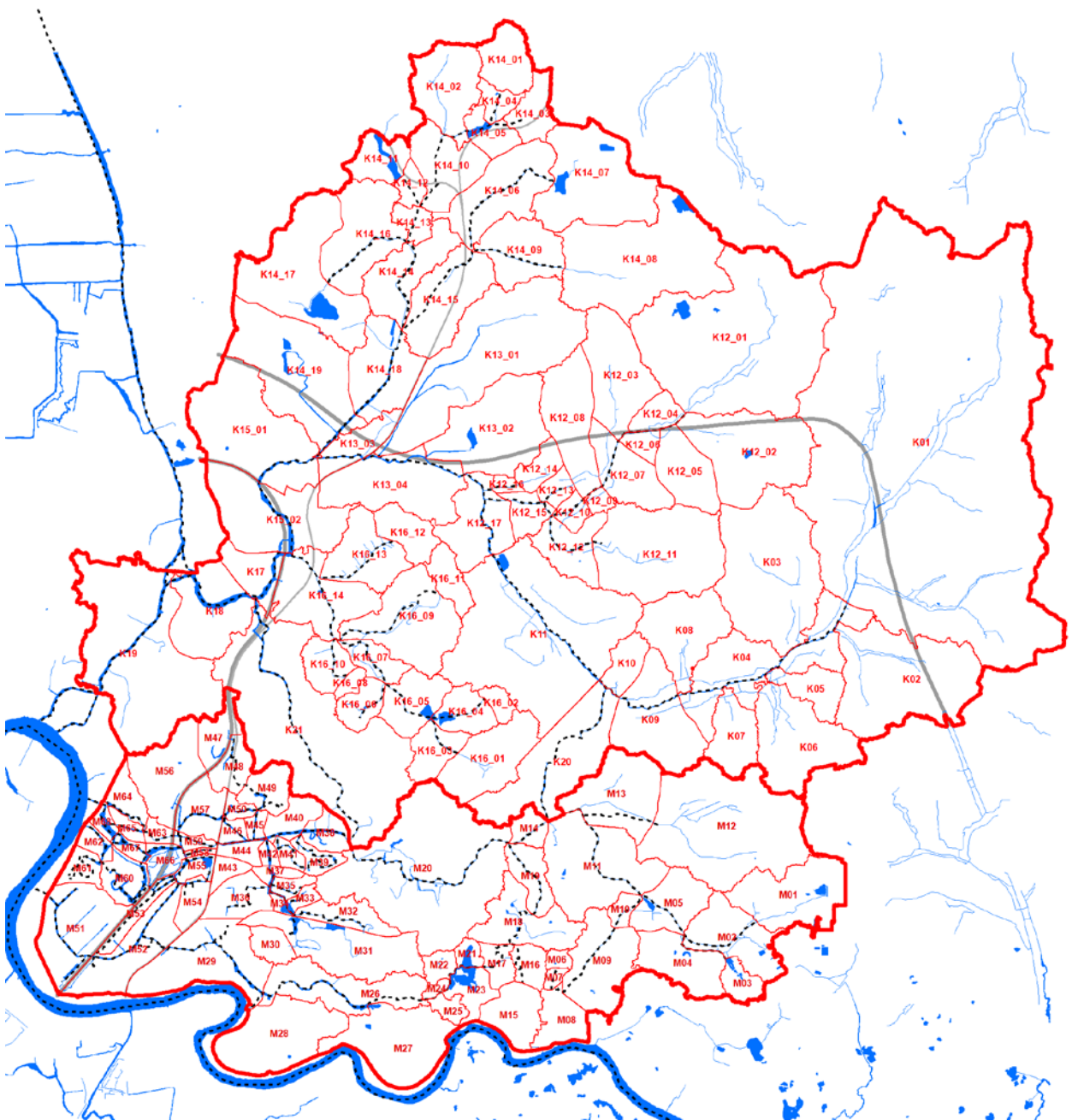
Run-off parameters

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 5.3.3 NAM の概要およびパラメータ

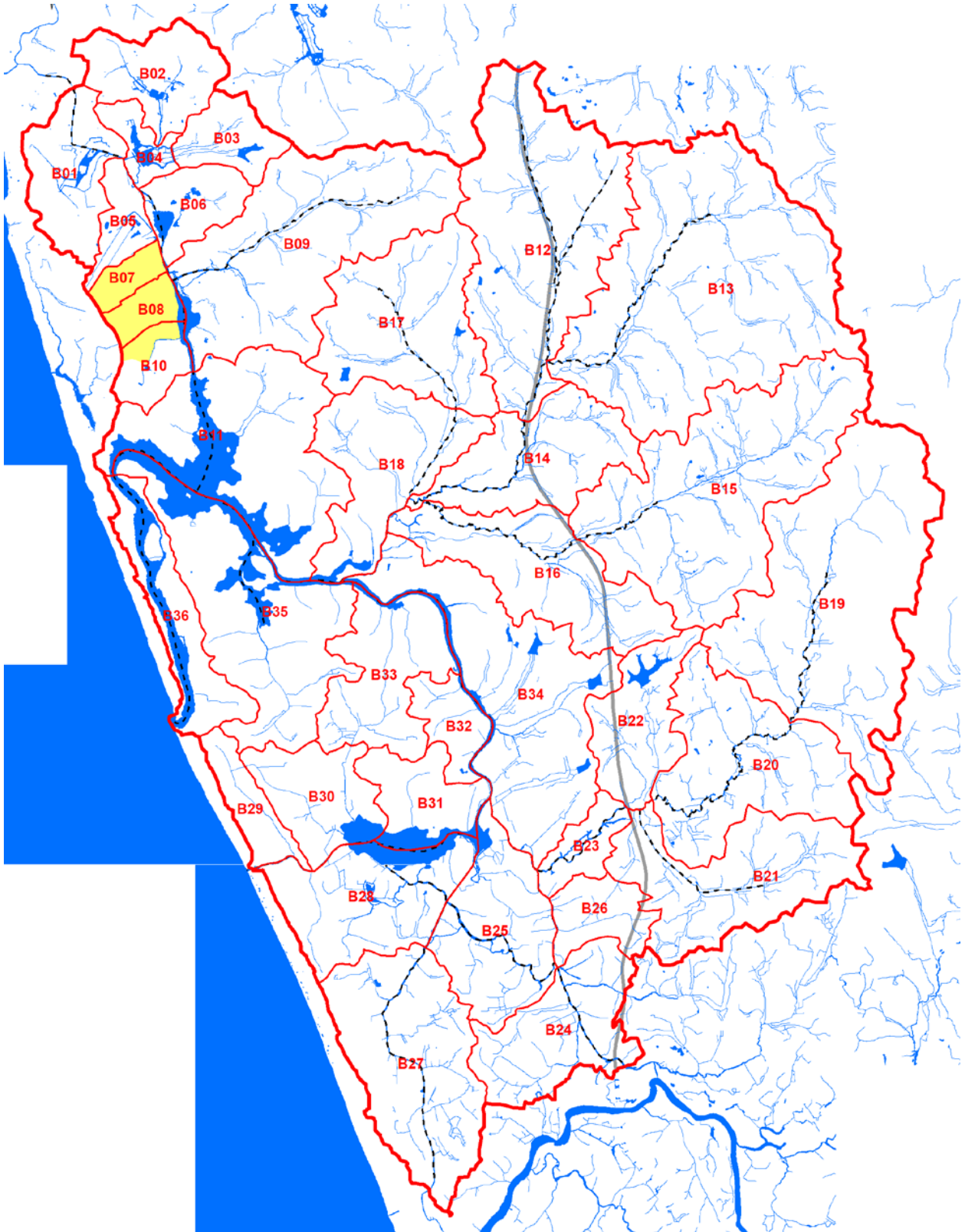
5.3.2.1 小流域分割

対象流域においては、近年の都市開発や高速道路の建設などによって、地形や土地利用状況が大きく変化している。特に Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の変化は著しく、SLLDC よって必要な小流域分割の再構築が行われ、独自に排水計画が検討されてきた。よって Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域においては、SLLDC が再構築中の小流域分割を入手するとともに、LiDAR データおよび現地踏査による確認結果を用いて小流域分割の修正を行った。Bolgoda 流域については、JICA 2003 M/P で構築された小流域分割情報は参考情報として LiDAR データおよび現地踏査によって再構成した。それぞれの小流域分割図を図 5.3.4 および図 5.3.5 に示した。



出典：JICA 調査チーム

図 5.3.4 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域における小流域分割

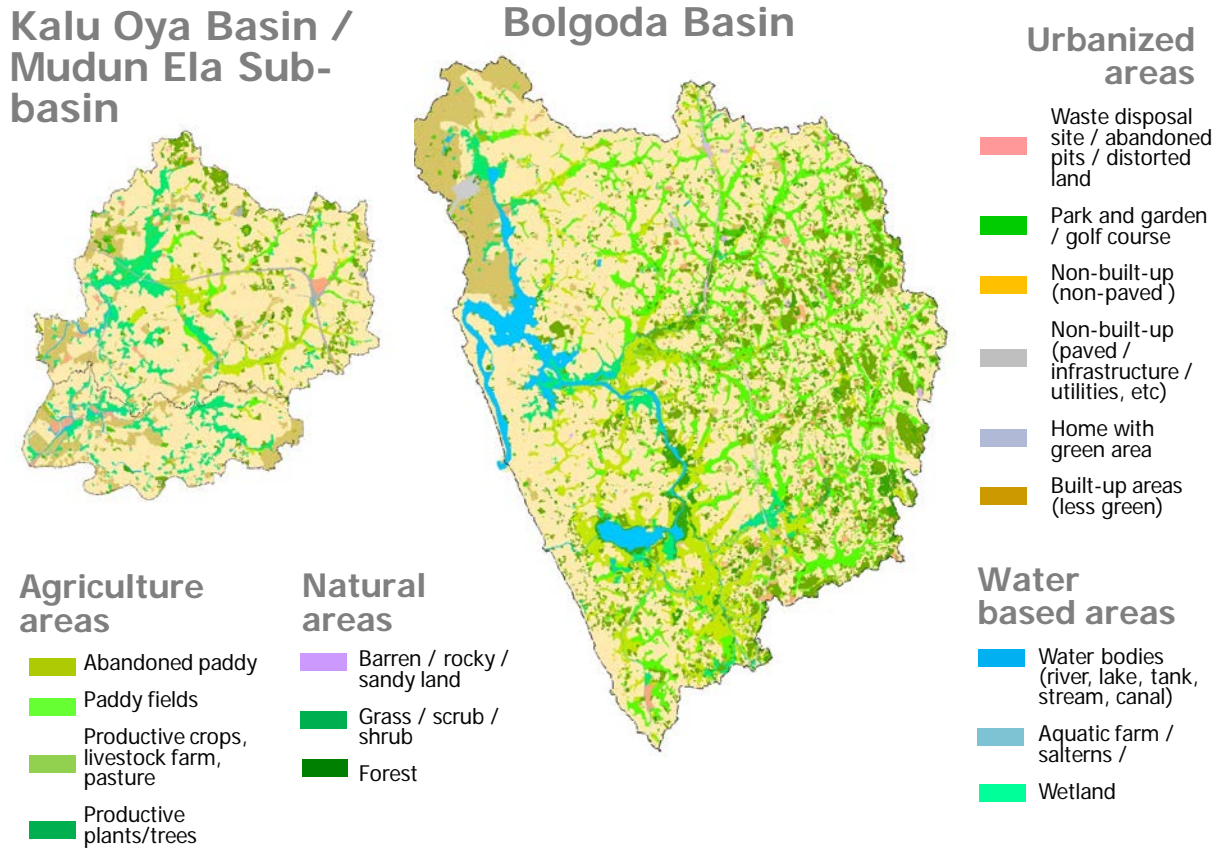


出典：JICA 調査チーム

図 5.3.5 Bolgoda 流域における小流域分割

5.3.2.2 土地利用

NAM モデルの流出パラメータ決定の参考情報として土地利用分布データが必要であり、本調査において、現況および将来土地利用データが更新された。土地利用に関する事項は、第4章に詳述する。



出典：JICA 調査チーム

図 5.3.6 現況土地利用分布図

5.3.2.3 パラメータの初期設定

NAM モデルにおける流出パラメータの初期値は、JICA 2003 M/P の設定方法を参考として設定するとともに、解析モデルのキャリブレーションによって変更を行う。JICA 2003 M/P では、土地利用状況を表 5.3.1 に示す Type-1~Type-4 の 4 つのカテゴリーに分類し、表 5.3.2 に示す NAM パラメータを適用している。本調査においても同様の手法で図 5.3.6 で示した土地利用分布カテゴリーを Type-1~Type-4 にタイプ分けするとともに、各小流域の土地利用面積割合を算出し面積加重平均にて NAM パラメータを設定した。

表 5.3.1 パラメータ設定に用いる土地利用タイプの分類

Types	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Land Use Category	Urbanized area	Semi-Urbanized area	Rural area	Marsh, Water

出典：JICA 調査チーム

表 5.3.2 土地利用タイプ別の NAM パラメータ

	Land Use Type			
	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Umax	5.00	7.00	9.00	1.00
Lmax	16.00	68.00	85.00	6.70
CQOF	0.80	0.65	0.50	0.90
CKIF	500	500	500	500
CK12	3.50	6.00	9.00	0.50
TOF	0.20	0.20	0.20	0.20
TIF	0	0	0	0

出典：JICA 調査チーム

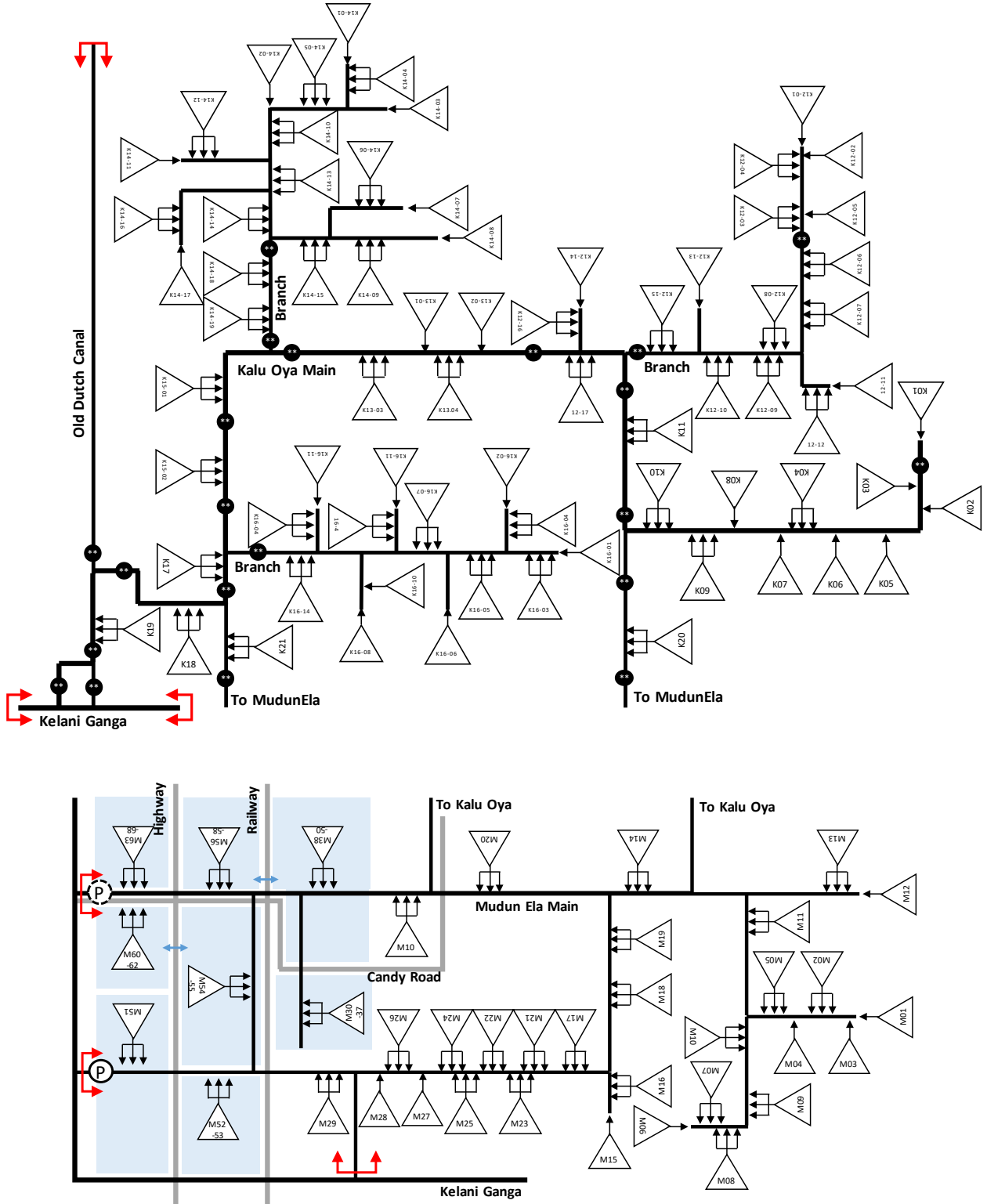
表 5.3.3 現況土地利用のカテゴリーとパラメータ設定に用いる土地利用タイプの対応表

Class		Type
AG1	Productive plants/trees	3
AG2	Productive crops, livestock farm, pasture	3
AG3	Paddy	3
AG4	Abandoned agriculture areas	3
N1	Forest	3
N2	Grass Lands / scrub / shrub	3
N3	Barren / rocky land / sandy land	3
W1	Wetland / marsh / swamp	4
W2	Aquatic farm / abandoned / Salterns / Tanks / Canal	4
W3	Water Surface (river, pond, lake, stream, tanks, canal, sea)	4
U1	Building Areas (building 60~80% covered)	1
U2	Home with green area covered by 30~60%	2
U3	Non-built-up (paved, non-natural materials, infra, utilities)	2
U4	Non-built-up (non-paved, quarries, mining pits, naturally covered)	2
U5	Park and Garden, golf course	3
U6	Waste disposal land, abandoned pits, Distorted land	2

出典：JICA 調査チーム

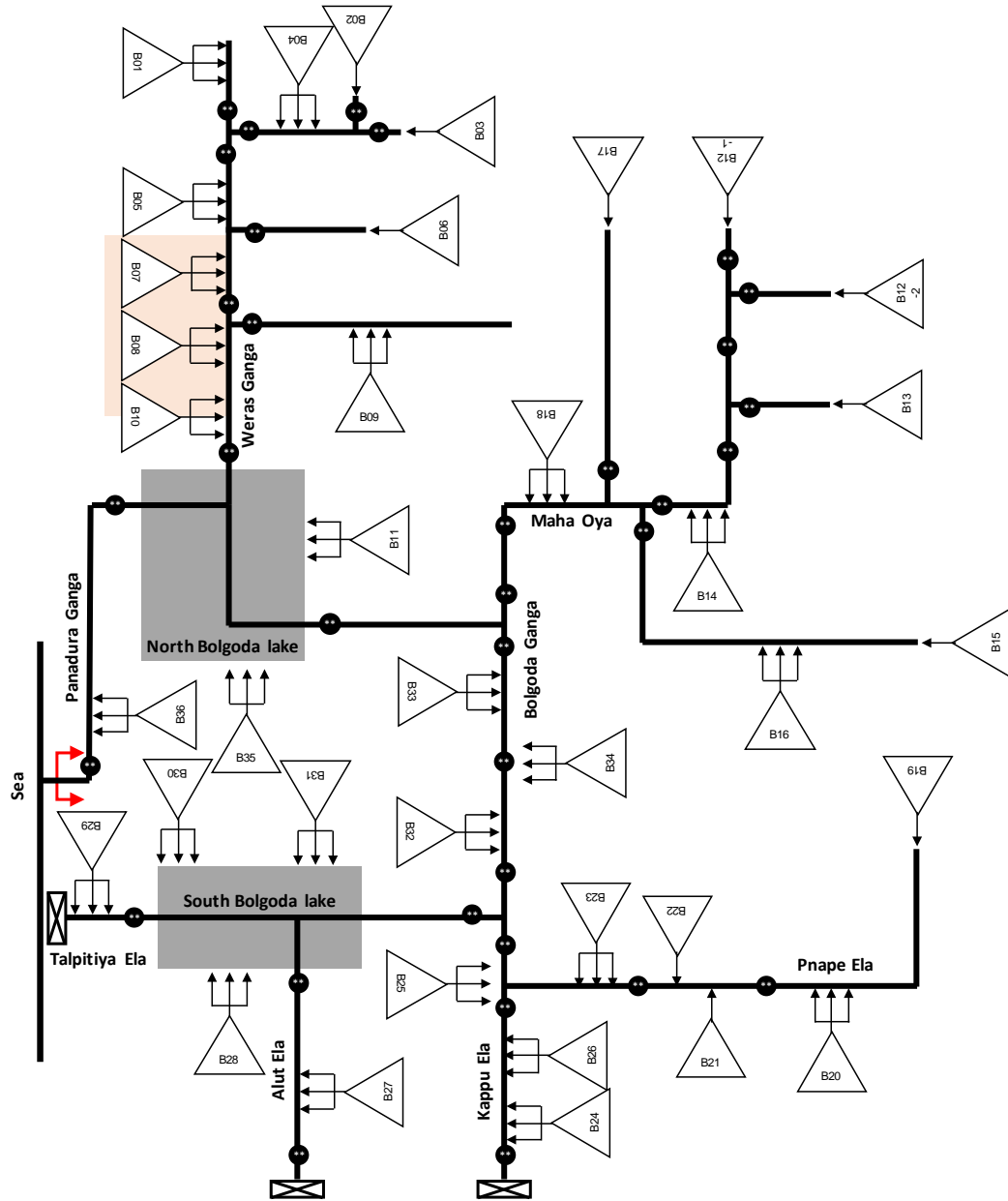
5.3.3 河川ネットワークモデル

図 5.3.7 および図 5.3.8 に各流域の河川ネットワークと流入地点の模式図を示す。流出モデルと河川ネットワークモデルを組合せた MIKE-11 を用いて各河川流量を解析する。



出典：JICA 調査チーム

図 5.3.7 河川ネットワークおよび流入模式図 (Kalu Oya 流域・Mudun Ela 流域)



出典：JICA 調査チーム

図 5.3.8 河川ネットワークおよび流入模式図 (Bolgoda 流域)

5.3.3.1 河川ネットワークモデルにおけるその他の条件 (MIKE-11)

河川ネットワークモデルにおける主な計算条件は下記の通りである。

表 5.3.4 河川ネットワークモデルにおける諸条件

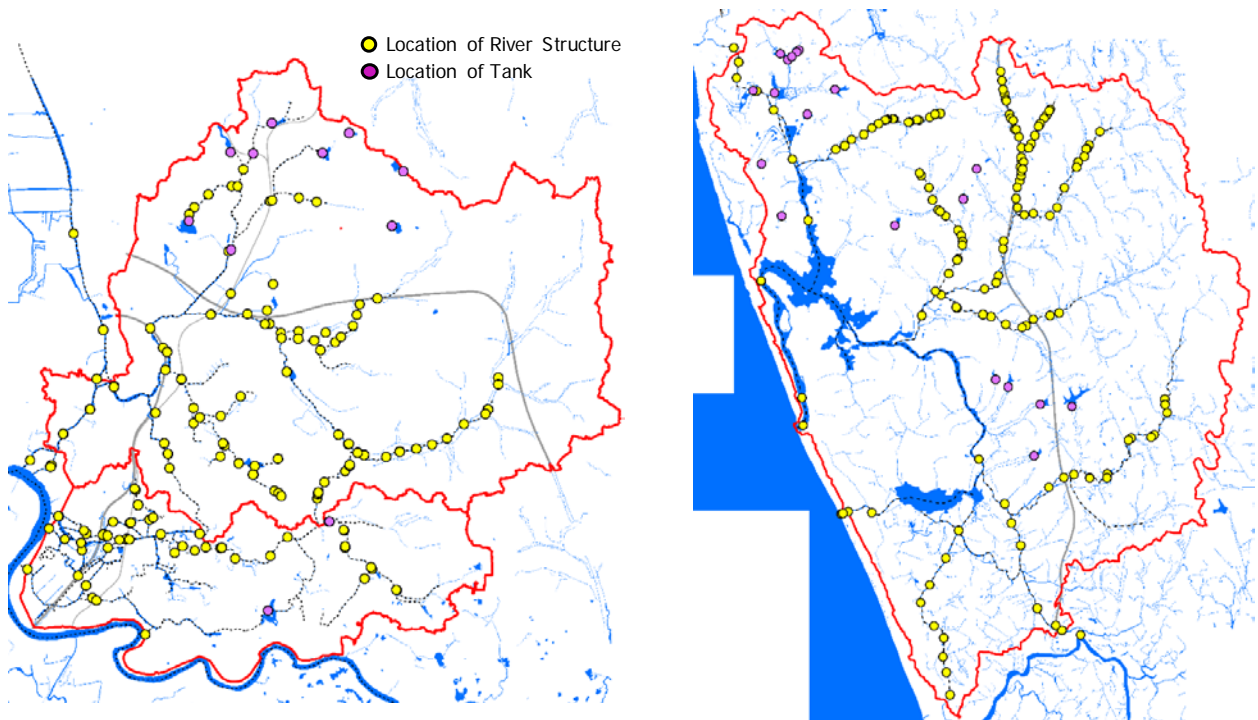
Items	Kalu Oya and Mudun Ela Basin	Bolgoda Basin
Roughness Coefficient	0.030 ※2016年洪水を用いた再現計算に合うようにトライアルによって設定	同左
River Network	本川および主要な1~2次支川	本川および主要な1~2次支川
Cross Section	2017年および2018年測量成果	2019年測量成果および、Weras Ganga Project 竣工断面
Structures	主要橋梁、堰およびカルバートならびにポンプ施設	同左
Boundary Condition	上流 降雨条件毎の流出計算流量 下流端 潮位 (0.6 m 一定) ※朔望平均満潮位	同左

出典：JICA 調査チーム

(1) 河川構造物のモデル化

洪水流に影響を及ぼす河川構造物（橋梁、堰、カルバート）は、流出現象や氾濫現象を解析する上で極めて重要である。また、対象流域の上流域に点在する貯水池の洪水調節効果も流出量に影響することから解析モデルへの考慮が必要である。

これらの河川構造物のデータは、2018F/S および JICA 2003 M/P から構造物諸元データを入手した。入手データの現地確認を本調査内で実施した上で解析モデルに反映した。



出典：JICA 調査チーム

図 5.3.9 モデル化対象河川構造物位置図

(2) 解析モデル構築に資する現地踏査

水文水理解析モデルを構築する上で、対象流域の概況を把握するために、現地踏査を行った。モデル構築において特筆すべき点のみ以下に示した。

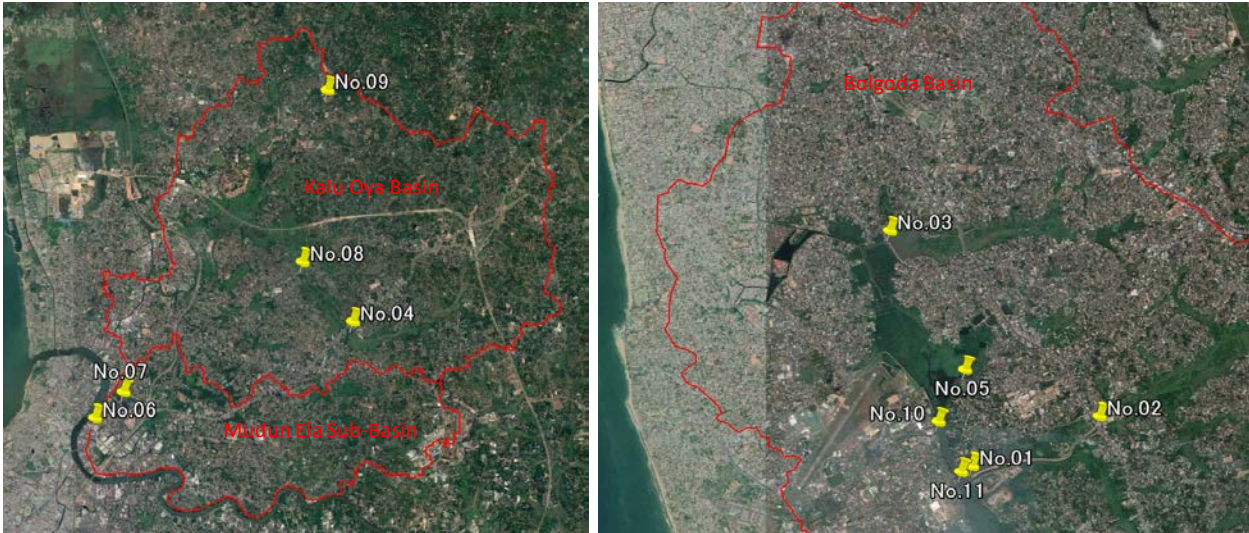


図 5.3.10 現地踏査写真位置図（代表地点のみ）

1) Weras Ganga Storm Water Drainage and Environment Improvement Project

JICA 2003 M/P で提案された優先プロジェクトの一つである Bolgoda 流域の Weras Ganga における改修計画は、一部を除いて概ね完了の見込みである。このプロジェクトでの対策メニューは主に、河川改修と洪水調節池の建設である。本調査では、このプロジェクト完了時点を現況として解析モデルを構築した。



出典：JICA 調査チーム

写真 5.3.1 Weras Ganga プロジェクトの状況

2) 湿地エリア

M/P 調査で検討する洪水対策案の中で最も重要なメニューの一つが、湿地エリアの保全による洪水調節機能の維持である。Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域では近年都市化の進行で、これら湿地エリアの保全が課題となることが予想されるが、将来予測した土地利用状況を加味した上で、これらの湿地エリアの洪水調節機能をモデルで再現した。



出典：JICA 調査チーム

写真 5.3.2 湿地エリアの状況

3) ポンプ場

対象流域内のポンプ場は、Mudun Ela 流域に一基設置されているのみであるが、2019年9月現在 SLLDC は、同流域内において新規のポンプ場（Oliyamulla ポンプ場：ポンプ容量 35 m³/s）の設置に着工したところである。これらの洪水調節施設も他の河川構造物同様に解析モデルに考慮した。



出典：JICA 調査チーム

写真 5.3.3 ポンプ施設（左：既設ポンプ場、右：Oliyamulla ポンプ場建設予定地）

5.3.4 洪水氾濫モデル

洪水氾濫モデルにおける主な計算条件は表 5.3.5 の通りである。

表 5.3.5 洪水氾濫モデルにおける諸条件

Items	Kalu Oya and Mudun Ela Basin	Bolgoda Basin
Grid Size	25m	50m
DEM (Digital Elevation Model)	Averaged elevation for each grid will be arranged using LiDAR data.	Same as left
Roughness Coefficient of flood plain.	0.080 ※2016年洪水を用いた再現計算に合うようにトライアルによって設定	0.100 ※2016年洪水を用いた再現計算に合うようにトライアルによって設定

出典：JICA 調査チーム

5.3.5 再現計算結果

以上の条件に基づいて氾濫解析モデルを構築し、2016年10月洪水を対象とした再現計算を行った。同定に用いる水位等の時間データ等が存在しないことから、モデル同定は、インタビュー調査結果（浸水箇所・浸水深）との比較により実施した。Kalu Oya 流域および Bolgoda 流域ともに浸水箇所・浸水深ともに概ねインタビュー調査と一致している。ただし、計算値と明らかに異なる箇所での浸水が報告されている箇所はいわゆる局所的な排水不良による浸水と想定される。

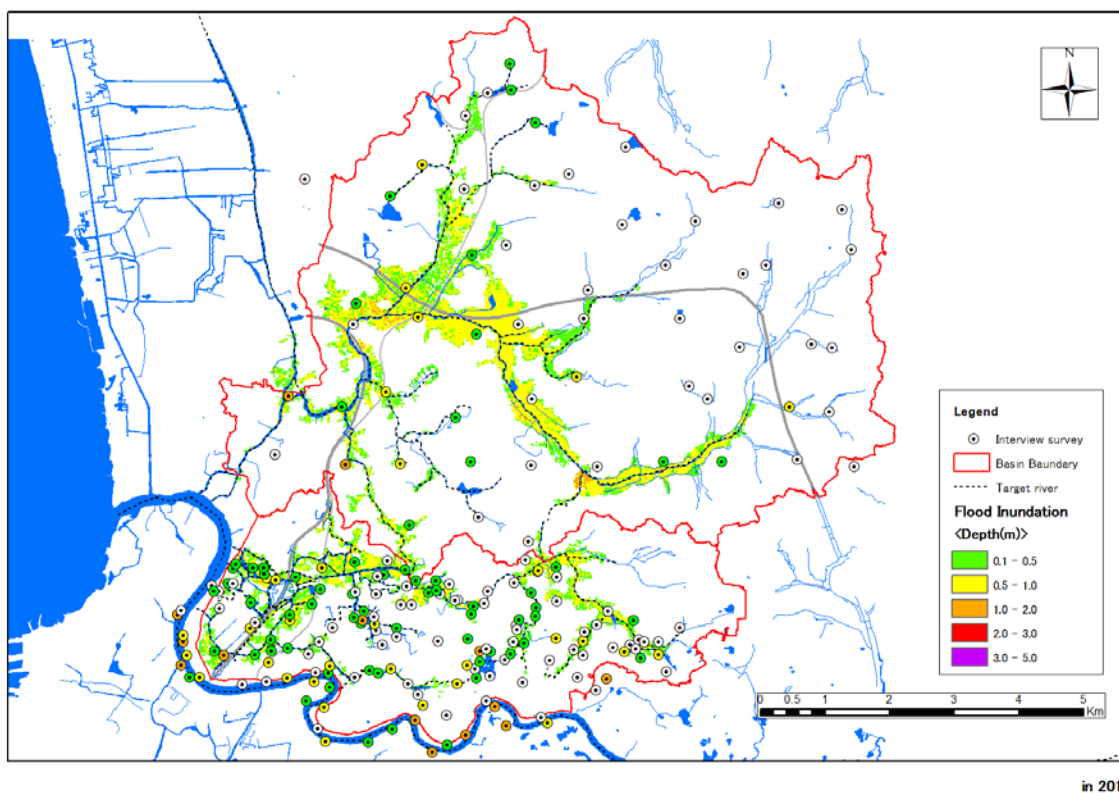


図 5.3.11 再現計算結果（2016年10月洪水：Kalu Oya 流域）

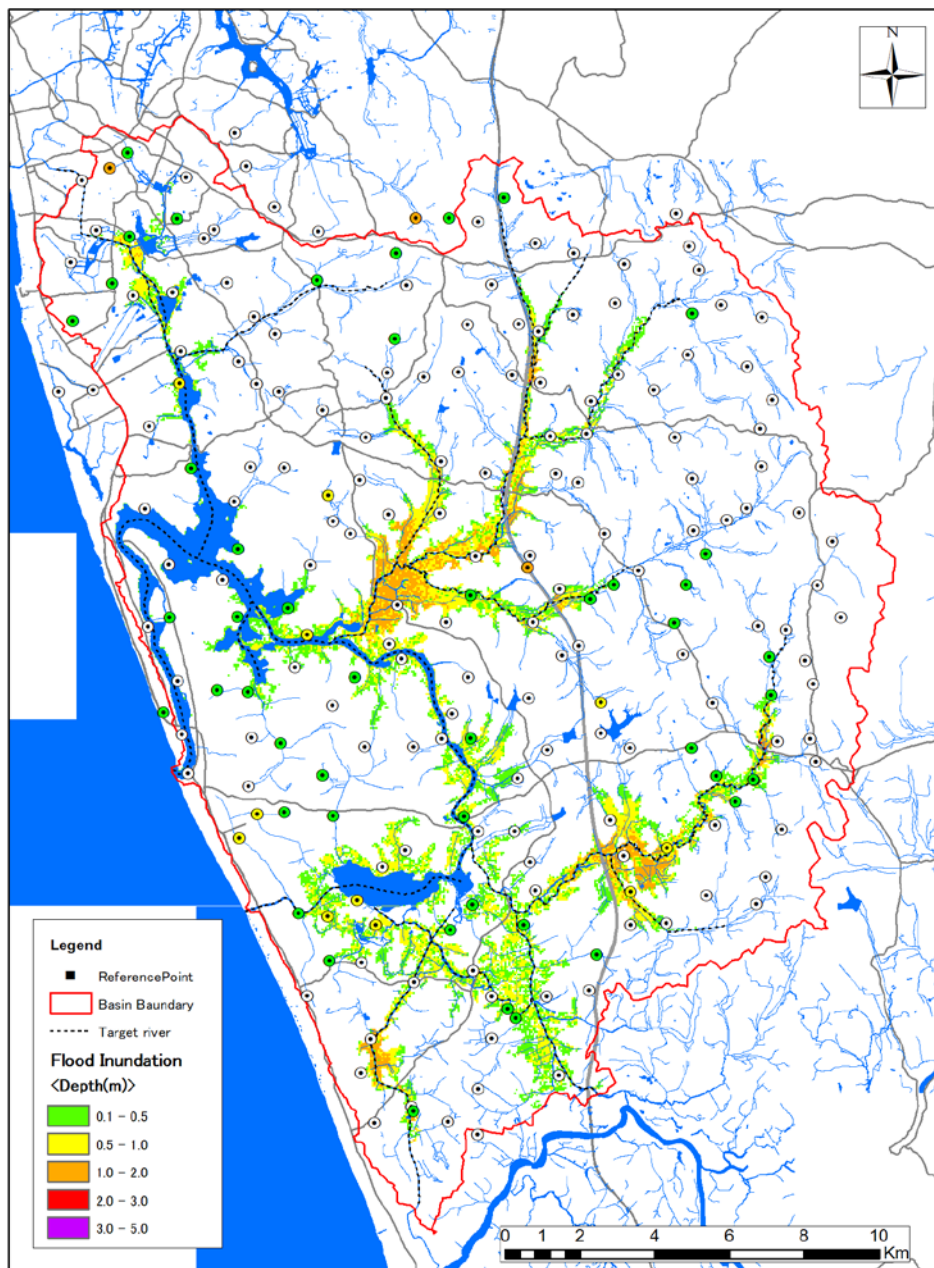


図 5.3.12 再現計算結果 (2016年10月洪水: Bolgoda流域)

第6章 雨水排水計画検討

6.1 雨水排水に係る現状と課題

6.1.1 流域の市街化と河川水路の治水安全度の現状と課題

6.1.1.1 市街地における低い治水安全度

Kalu Oya 流域では、2003 年に JICA が M/P を策定し、2018 年にはスリランカ予算により F/S が実施されたが M/P に基づく事業は未実施であり、隣接する Mudun Ela 流域で新規ポンプ場の整備がおこなわれている。氾濫シミュレーションを行った結果、Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の現況の河道は2年確率程度の安全度である。上流部の氾濫は主に湿地と水田に限定されているが、資産の集中している下流部では家屋が氾濫区域に含まれている。

Bolgoda 流域では、2003 年の JICA M/P 調査で実施した F/S に基づいて Weras Ganga で事業が実施されているが、一部区間は未着手となっている。氾濫シミュレーションを行った結果、中上流部での遊水機能により下流部河道の安全度が確保されているが、中上流部の浸水区域には住宅地等の市街地も含まれている。また、上流部においては、詳細な街区・土地利用計画は未だ明らかになっていないが、Science and Tech City および Industrial City Horana という大規模な開発計画が立てられており、将来的には、Bolgoda 上流域は隣接している Colombo District に連担し都市化が進んでくるものと考えられる。

以上のように、各流域ともに都市部は低い治水安全度となっており、上中流の遊水地の機能を活かしつつ、現在と将来の土地利用を踏まえた上での対策が課題である。

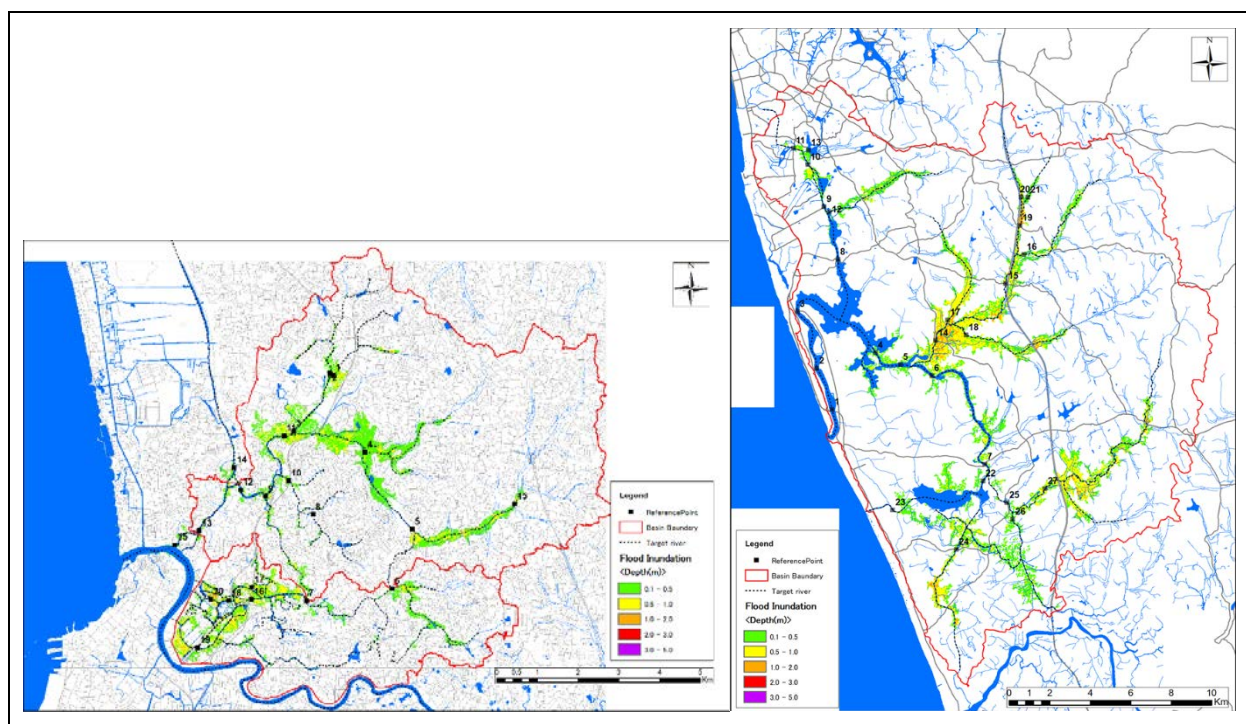


図 6.1.1 2年確率洪水時における氾濫区域(左:Kalu Oya & Mudun Ela 右: Bolgoda)

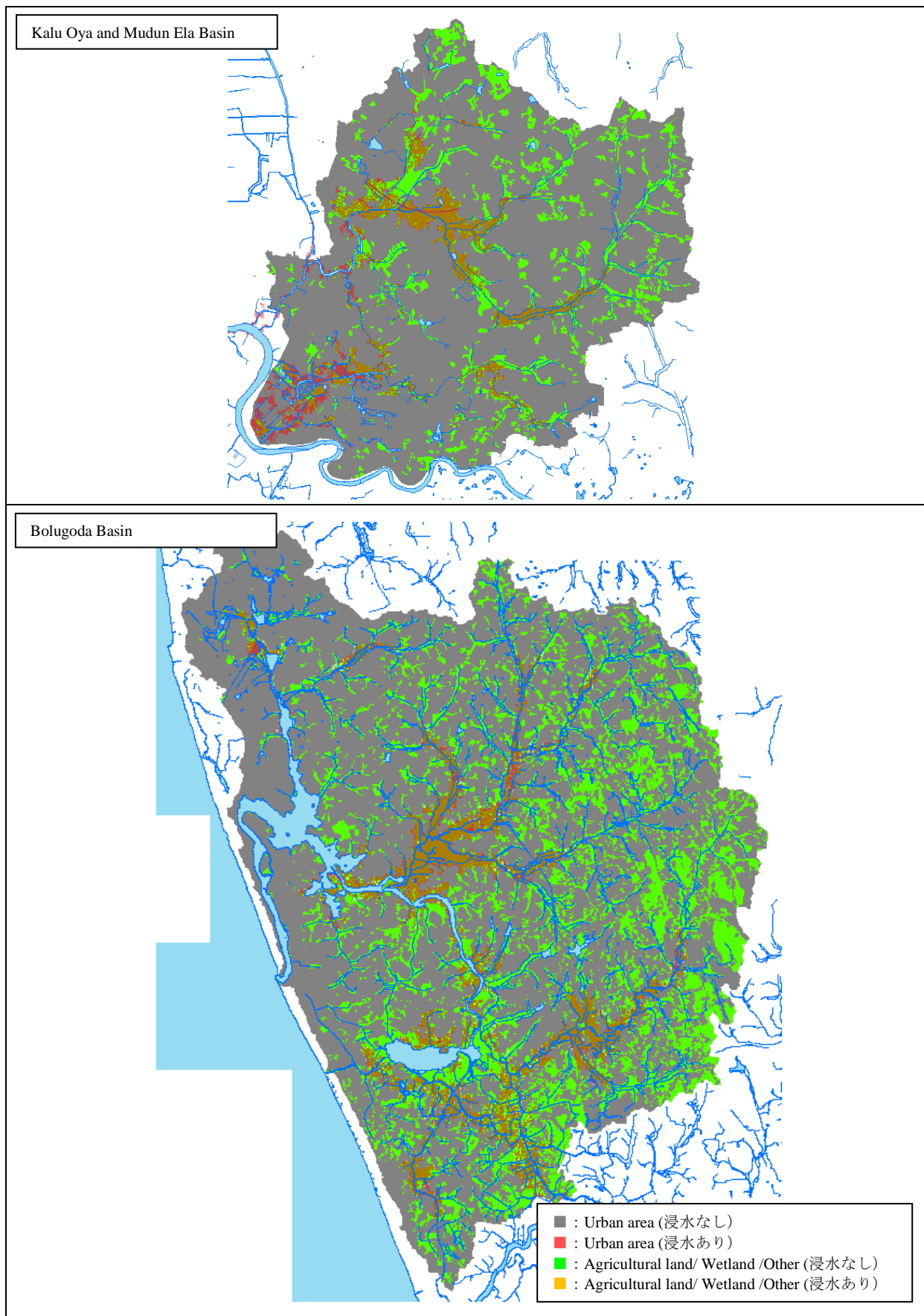


図 6.1.2 2年確率洪水時における氾濫区域と市街地エリアの重ね合わせ

6.1.1.2 上流耕作放棄地の都市開発による下流浸水リスクの増加

調査対象地域では、上流部沿川の低地は水田として耕作されているが、周辺の都市化によって、農家の水田耕作に対する意欲の低下、灌漑用水としての表流水の水質悪化、都市ごみの投棄による水質のみならず周辺環境悪化が認められ、水田耕作を放棄する区域も多々見られる。こうした状況は、沿川の低地への都市施設の侵入を促すが、併せて当該地域のみならず下流部への浸水リスクを増大させる。

6.1.1.3 道路橋・鉄道橋の横断箇所の流下能力不足

調査対象地域では、流域の都市化に対応し、道路網や鉄道網の整備が進んでいるが、高速道路計画時の協議不足等により、高速道路横過区間の流下能力が不足して浸水が発生している。また、既存の鉄道が横断する区間は河道断面が不足し極めて流下能力が低い。道路橋梁・カルバートも同様に多くは架け替え、付け替えが必要である。

6.1.2 浸水被害発生時の対応の現状と課題

6.1.2.1 移動式ポンプ車の計画的配置と運用

市街地の排水不良地域や地形的な凹地で慢性的に浸水が発生する区域に対して、深刻な浸水災害が発生した場合、DMC¹がコーディネータとなって、関連省庁・部局と協同して災害軽減、救援活動を実施し、SLLDC や軍隊（陸軍・海軍）、National Disaster Relief Service Center (NDRSC) 等が参加する。

SLLDC は、移動式排水施設（水陸両用ポンプ車両2基、移動式ポンプ車2基）と専門知識を有しており、豪雨時の浸水湛水の処理については不可欠の存在である。

都市域に点在する局所的な浸水区域を、水路改修のみによって早期に防止することは予算面でも困難であり、水路改修による浸水被害軽減を可能な限り図るとともに、浸水被害発生時には早急に湛水の解消が可能となるよう、移動式ポンプ車の計画的配置と運用が必要である。

6.1.3 排水施設の運用維持管理および組織制度の現状と課題

6.1.3.1 雨水排水対策事業に関する政府機関間の管理責任の不明確さ

調査対象地域では、SLLDC、ID、ADD、PID および LA が、河川、水路の開発と運用・維持管理を担当している。これらのうち、河川および灌漑事業に係る農業水路は、ID、ADD または PID によって開発および運用・維持管理がなされている。農業水路は、都市化に伴う土地利用の変化等により、都市域からの排水路が接続され、現状では重要な都市排水路としても機能している。一方、調査対象地域では、都市化による土地需要を満たすため、農地から宅地等への転用が進み、灌漑事業の規模が縮小しており、水路やゲート等の灌漑施設の運用・維持管理が適切にされていない

調査対象地域では、一般認識として、一次 (Major) 排水路は SLLDC の管理、二次・三次 (Minor)

¹ 防災関連部局 DMC、NDRSC、National Building Research Organization (NBRO)、Department of Meteorology (DoM) 等は、2019年12月の省庁再編に伴って、すべて Ministry of Defense の下に集められた。

排水路は地方自治体の管理とされているが、SLLDC は、指定された水路、湖沼等（Major：44 km、Minor：54 km）でのみ雨水排水対策の開発、運用・維持管理を行っている。一次排水路以外については、基本的には、地方自治体が、開発、運用・維持管理を行うこととなっている。しかしながら、SLLDC の管理範囲が地方自治体に周知されていないことや、多くの地方自治体では、雨水排水対策に投入できる予算や人的リソースが十分でないことから、事実上、管理者不在の排水路が数多く存在する。

6.1.3.2 雨水排水対策の人材、予算の不足

調査対象地域では、SLLDC と地方自治体が、雨水排水対策を実施する主要な組織である。それぞれの組織の課題を以下に示す。

(1) SLLDC

SLLDC は、近年、MCUDP 等の大規模な雨水排水対策事業の実施を通じて、管理職員、技術職員、および作業員を含むその他の職員、さらに建設、維持管理用の機材等を拡充してきた。

一方、排水路へのゴミの不法投棄、生活雑排水の雨水排水路への流入による水質の悪化等、都市排水路特有の水路環境整備の課題への対応が年々増加の傾向にあり、広範囲におよぶ排水路システムの運用・維持管理作業を適切に行うためには、担当職員と機材が十分でない状況でもある。

また、今後、SLLDC の担当指定地域が拡張された場合、他の機関からの移管された排水路等施設の対応、地方自治体からの要請や契約ベースでの運用・維持管理業務の引き継ぎ、さらに地方自治体職員に対する技術指導等のトレーニングの提供も必要となる。これらの将来のニーズを満たすためには、さらなる人材開発と維持管理用機材の増強が必要となる。

(2) Colombo Municipal Council (CMC)

CMC は、本調査対象地域外に位置するが、西部州の中でも最も雨水排水対策に対する予算および人的リソースが充実している地方自治体である。以下、参考情報として CMC の雨水排水対策への取り組みの概要を示す。

CMC の雨水排水対策に対する活動は、CMC 技術サービス部門の Water Supply & Drainage Division が上水、下水とともに雨水排水を管理している。市庁舎とは別に Division Head Office を構え、さらに CMC 域内を 6 地区に分割した Reginal Office が配置され、それぞれ専任の技術スタッフが常駐している。雨水排水対策に関しては、CMC 域内の小規模排水路の設計、建設、維持管理を担当している。2020 年度の雨水排水関係予算として 336 百万ルピーを計上している。内訳は CMC 管内の排水路の清掃等維持管理および水路補修が主要業務となっている。ただし、CMC 管内の総排水路延長は非常に長く（約 350 km）、この内の約 33 km を重要な管理対象区間と位置づけているが、その他ほとんどの排水路は十分に維持管理されていないのが実情である。

CMC は、人材と維持管理用機材の不足をその理由として、2018 年に 10 地区の排水路を対象に契約額約 31 百万ルピーで排水路の年間維持管理（2018 年 8 月～2019 年 8 月）を SLLDC に委託している。2019 年も引き続き同様の SLLDC への委託契約を計画したが、その予算申請は議会で否決された。

これらの状況は、建設・維持管理用機材（トラクター、バックホー、水中ポンプ、発電機等）の

不足に加えて、技術職員および運用・維持管理作業員の不足を意味している。雨水排水対策に割り当てられる予算は、維持管理されるべき排水路延長に比べて十分ではない。

(3) その他の地方自治体 (MC, UC, PS)

CMC の様な予算規模の大きな地方自治体を除くその他の地方自治体では、雨水排水関連の活動は、道路側溝を含む小規模排水路の清掃と補修にほぼ限定されている。ほとんどの地方自治体には専任の技術職員は常駐していない。作業監督者レベルの職員が、雨水排水関連業務だけではなく他の公共施設関連業務も同様に兼務し、多くの地方自治体において技術担当職員は限定的である。また、通常ほとんどの地方自治体が所有する機材はバックホーと複数のトラクター程度であり、これら機材は雨水排水路の維持管理専用の機材とはなっていない。

これらの地方自治体の年間予算規模を考慮した場合、地方自治体にとっては、雨水排水水路システムを維持するための人材と機材を増やすことは容易ではない。しかしながら、既存市街地の郊外への都市化が拡大するにつれて、市民サービスとしての雨水排水施設も増加し、地方自治体による適切な雨水排水路の運用・維持管理業務の必要性が年々高まることから、今後、人材と機材の拡充を考慮してゆく必要がある。

6.1.4 水質悪化と・不十分なごみ処理

雨水排水に影響を及ぼす水質問題とごみ処理の現状と課題を整理する。

(1) 水質の悪化が間接的な要因となり雨水排水に与える影響

表流水の水質の悪化は、次のような雨水排水上の課題を引き起こす。

- Kalu Oya 上流部および Bolgoda 中下流部では水田耕作が行われており、水路・河川の表流水を灌漑用水として利用している。しかし、家庭雑排水の流入により水質が悪化しており、水質の悪化は営農意欲を削ぐ結果にも繋がりがねず、遊水機能を期待している雨水排水計画にも影響を及ぼしかねない。
- コロンボ都市圏の汚水排水は、1902年に建設された污水管システムにより、南北2地点で海域に投棄されている。しかし、この処理区域は、コロンボ旧市街のみであり、外縁部に位置している Kalu Oya および Bolgoda 流域では、セプティックタンク等によるオンサイト処理に依存している。この処理機能を維持していくためには、定期的な汚泥の引き抜きを各家庭が行っていかなければならず、不十分な維持管理のから水質悪化は免れない。こうした水質悪化、栄養塩濃度の高まりは、灌漑用水に悪影響を及ぼすとともに、下流部でホテイアオイの大量発生を助長し、水路の流下阻害の要因ともなる。とくに Mudun Ela、Old Dutch Canal、Bolgoda の Weras Ganga でこうした状況は顕著である。

(2) 浮遊ゴミや沈降ゴミが雨水排水に与える影響

浮遊ゴミや沈降ゴミが河積阻害となる恐れもあり、排水路内を流れるごみの削減や適切な維持管理が必要である。

ごみ処理の現状として、対象流域が位置している Gampaha、Colombo、Kalutara の 3District を統

括する西部州では、Waste Management Authority を作り、ごみ処理に対する 5 カ年行動計画（2015-2020）を策定し以下の目標をたて、廃棄物管理の事業を進めている。

- ごみ収集率を 61% から 72% に高める。
- 発生量ベースでの分別率を 17% から 38% に高める。
- コンポストや焼却などによる資源化率を 13% から 71% に高める。

こうした努力の結果、特に都市域である Gampaha と Colombo については、今後、ごみ処の改善に伴い、排水路の浮遊ゴミや沈降ゴミの減少が期待できる。

6.2 雨水排水改善の目的と整備戦略

6.1.1 節で整理した現状と課題等を踏まえて、雨水排水改善の目的と整備戦略を以下に示す。

6.2.1 雨水排水改善の目的

Kalu oya 流域、Mudun Ela 流域、Bolgoda 流域においては、既存の都市部の治水安全度は 2 年確率程度しかなく度々浸水被害が生じている。また、都市化の進展により浸水被害リスクが今後さらに大きくなることが危惧される。そのため、本調査では、各流域における既存施設の整備状況や将来土地利用等を踏まえた上で、雨水排水改善計画を策定し、各流域における浸水被害の防止・軽減を図ることを目的とする。

6.2.2 雨水排水計画整備戦略

現状の河道の安全度は上中流部の遊水機能を加味して 2 年確率程度しかなく、これを大幅に向上させるためには多大な事業費を必要とする。このため、治水効果や家屋移転などの社会的影響、運用・維持管理の容易さ、コスト等を踏まえた上で、改修の河道改修と遊水地などの貯留施設などを組み合わせた対策を検討し、河川・水路の上下流・本支川のバランスを踏まえて優先順位を付けながら整備を行い、現状の 2 年確率からまずは 10 年確率、そして 25 年確率と段階的整備計画を提案し、順次治水安全度を高めていく方式とする。

また、都市化によって、浸水リスクの高い土地に資産が集積し、浸水被害が増加する懸念があることから、河道内の対策と貯留施設の整備によりリスクの軽減を優先的に図るとともに、雨水排水計画に位置付けられた施設の整備中や整備後の残存リスクへの対応として、都市開発管理の観点から土地利用の規制・誘導策を検討し、被害のさらなる軽減を図る。

以上により雨水排水計画において目標とする洪水に対して浸水被害の防止・軽減を図る。

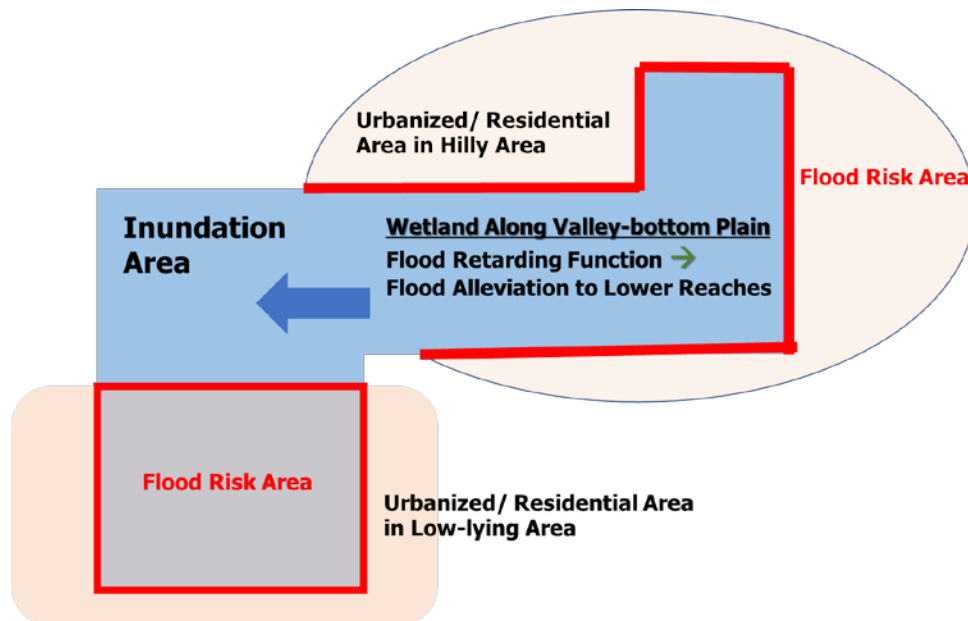
6.2.2.1 現在の浸水リスクの分析と事業の方針

浸水リスク軽減を考える場合、まず把握すべきは、次の事項である。

- 流域内で浸水リスクが大きい地区の確認
- リスクを発生させている流域の構造特性の確認
- 流域全体での浸水リスク最小化

上記の考えのもと、本調査対象地域である Kalu Oya 流域および Bolgoda 流域の確認を行うと次のようになり、簡単に模式化したものが次図である。

- 流域の構造特性として、まず流域内の浸水リスクは、排水枝線等の排水不良による小規模な局所湛水を除けば、地形的に谷底平野や沖積低地等の氾濫原に限定できる。
- 流域全体での浸水リスク最小化のためには、この氾濫原を極力保全し、本来有している遊水機能を保全しつつ、流域の開発を図るべきである。
- 本調査対象地域における中上流部の谷底平野では、未だに水田が残存し湿地も広がっているため、これらの遊水機能を保全活用し、下流の市街地および谷底平野外縁の居住地の浸水リスクを軽減することが事業の方針である。



出典：JICA 調査チーム

図 6.2.1 調査対象区域の浸水リスクと遊水機能の保全の必要性

6.2.2.2 浸水リスクの軽減シナリオ

調査対象流域における中上流部では、谷底平野に広がる水田を含む湿地群が、洪水調節効果（遊水効果）を発揮している。しかし、下流部の河道の排水能力が低いことが下流低地の浸水リスクを高めているため、まず構造的対応で排水能力を高める必要がある。

これとともに、中上流部の水田・湿地の遊水機能を保全する方策として、自然湿地公園の設置を提案している。これによって、湿地への住居等の侵入を防止するとともに、谷底平野外縁部に沿って展開する住宅地の浸水被害の防止・軽減をはかる。

このように、水路改修等の構造物対策と湿地の保全等の非構造物対策によって浸水リスクを軽減させていく。

Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域、Bolgoda 流域で浸水リスクを軽減するシナリオとしては、現況の治水安全度や沿川の住宅地等の資産の集積、上下流・本支川バランス等を踏まえた上で、目標の治水安全度に向けて構造物対策により段階的に治水安全度を向上させ浸水リスクを軽減する。このシナリオを図化すると次表および次図のようになる。詳細は、6.6 節に記載する。

表 6.2.1 Kalu Oya 流域の河道処理、自然遊水機能（自然湿地公園を含む）および計画遊水地の流量分担

Storm Water Drainage Function	Flood Carrying and Retarding Capacity in Flood Safety Level							
	2- Yr	(Share)	10- Yr	(Share)	25- Yr	(Share)	50- Yr	(Share)
River / Water Channel	24.5	18.4%	63.6	31.0%	107.0	35.1%	151.8	36.8%
Planned Retarding Basin	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	5.5	1.3%
Natural Wetland Park	45.9	34.5%	63.2	30.8%	80.7	26.5%	87.2	21.1%
Other Inundation	62.7	47.1%	78.6	38.3%	117.0	38.4%	168.1	40.7%
Total	133.1	100.0%	205.4	100.0%	304.7	100.0%	412.6	100.0%

Unit: m3/sec, 出典：JICA 調査チーム

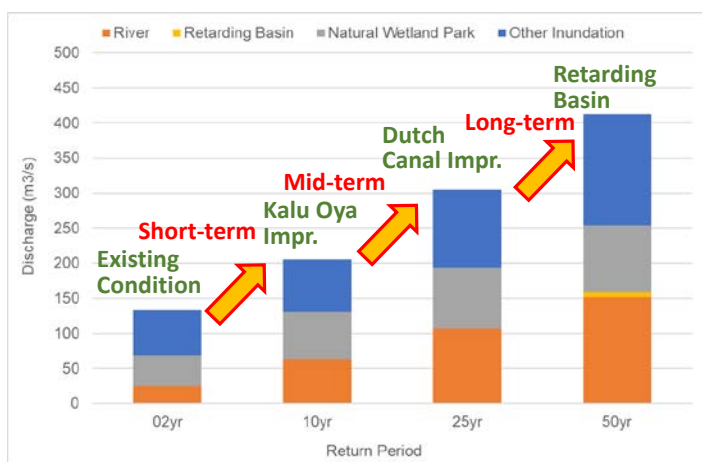


図 6.2.2 段階的な浸水リスク軽減シナリオ（Kalu Oya 流域）

表 6.2.2 Mudun Ela 流域の河道処理、自然遊水機能(自然湿地公園を含む)および計画遊水地の流量分担

Storm Water Drainage Function	Flood Carrying and Retarding Capacity in Flood Safety Level					
	2- Yr	(Share)	10- Yr	(Share)	25- Yr	(Share)
River / Water Channel	8.2	34.3%	17.9	32.8%	24.1	30.8%
Planned Retarding Basin	0.0	0.0%	0.0	0.0%	6.8	8.7%
Natural Wetland	3.2	13.5%	14.4	26.4%	9.6	12.3%
Other Inundation	12.5	52.1%	22.2	40.7%	37.7	48.3%
Total	24.0	100.0%	54.5	100.0%	78.1	100.0%

Unit: m3/sec, 出典：JICA 調査チーム

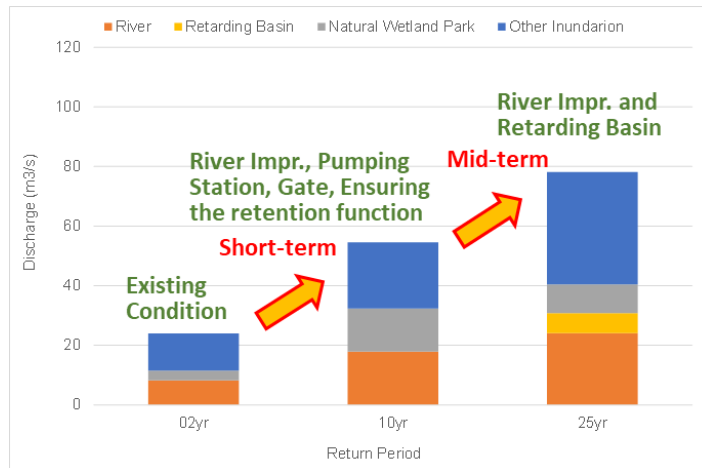


図 6.2.3 段階的な浸水リスク軽減シナリオ (Mudun Ela 流域)

表 6.2.3 Bolgoda 流域の河道処理、自然遊水機能の流量分担

Storm Water Drainage Function	Flood Carrying and Retarding Capacity in Flood Safety Level					
	2- Yr	(Share)	25- Yr	(Share)	50- Yr	(Share)
River / Water Channel	236.9	54%	535.1	53%	605.7	52%
Natural Wetland	119.4	27%	282.9	28%	329.1	28%
Other Inundation	83.0	19%	198.2	20%	241.0	20%
Total	439.3	100%	1016.2	100%	1175.8	100%

Unit: m3/sec, 出典：JICA 調査チーム

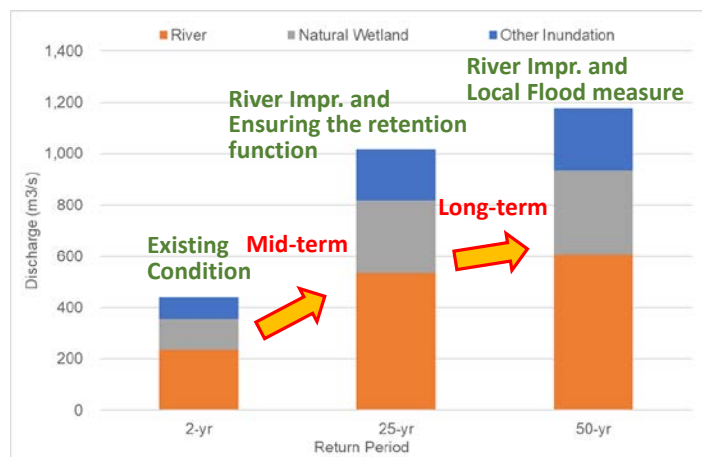


図 6.2.4 段階的な浸水リスク軽減シナリオ (Bolgoda 流域)

6.3 計画フレームの設定

6.2.2.2 節の被害軽減シナリオに基づき、雨水排水計画を「長期計画」と「中期計画」に分け、計画フレームとして、計画目標年および目標治水安全度を設定した。

6.3.1 計画目標年の設定

現在西部州の基本計画「Western Region Magapolis Master Plan 2030」（旧 Ministry of Megapolis and Western Development）に基づいて都市のフレームを考えることを UDA と合意し、計画目標年を 2030 年に設定した。しかし、目標年に対して 10 年程度の余裕しかないが、これに代替できる条件はないとのことで双方合意し、2030 年までの計画を「中期計画」として位置づけた。また、「長期計画」に向けては本中期計画後に次期中期計画を立案し段階的に整備を進めていくため、目標年は設定していない。例えば、Kalu Oya の合流先である Kelani Ganga の目標年次と整合させることも想定されるが、Kelani Ganga の具体的な整備スケジュールが明確でなく、整備は少なくとも Kelani Ganga と同時期かそれ以降とすることが適切であることから、整備時期は Kelani Ganga の整備スケジュールが明確になった後に SLLDC と関係機関の協議によって決定すると考えられる。

6.3.2 目標治水安全度の設定

6.3.2.1 長期計画における計画規模

(1) Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域の計画規模

改修計画規模を設定するには、河川の重要度、被害実態、経済効果等を総合的に勘案して設定すべきものである。Kalu Oya と Mudun Ela の隣り合った流域では、都市化が同じように進んでいるため、これらの条件は同程度と考えられる。そのため、本支川計画規模の整合、既存計画との整合、流域の規模等を踏まえて SLLDC と協議の上で計画規模を設定した。

1) 本支川の計画規模の整合

Kalu Oya および Mudun Ela は、Kalani Ganga の支川に相当し、現在 Kalani Ganga は、世銀による CRIP プロジェクト（2.7.2 節参照）が実施されている。CRIP によれば、Kalani Ganga 下流部は 50 年確率で整備される計画である。したがって、Kalu Oya および Mudun Ela の長期的な目標治水安全度は本支川バランスを考慮して 50 年確率以下とする。

2) 既存計画との整合

既存計画では、Kalu Oya は JICA 2003 M/P で 50 年確率となっている。一方で Mudun Ela は目標安全度が設定されたことはない。

3) 流域の規模

流域の規模を比較すると Kalu Oya は 55.3 km²、Mudun Ela は 20.0 km² である。日本における、中小河川の流域規模別の計画規模は、概ね流域面積 50 km² を境界として、流域面積 50 km² 以下は 30 年確率、流域面積 50 km² ～ 100 km² は 50 年確率となっており、これを参考とすると、Kalu Oya と Mudun Ela の流域規模を踏まえた目標治水安全度にすることが考えられる。

4) スリランカ内の他河川の計画規模設定

スリランカでは、30年確率よりも25年確率が一般的であり、Kalani Gangaの計画でも25年確率、50年確率、100年確率を比較検討し決定している。

5) 既往最大洪水の規模

既往最大洪水（雨量）規模は、Colombo観測所雨量で、1992年6月に発生した日雨量494mmが最大あり、約50年確率規模相当である。

以上から、長期計画における計画規模は、Kalu Oyaは本支川バランスおよび既存計画との整合を踏まえ50年確率、Mudun Elaは本支川バランス、流域の規模およびスリランカ内の他河川の計画規模設定を踏まえ25年確率とする。（表 6.3.1 参照）

(2) Bolgoda 流域の計画規模

Bolgoda流域においてもKalu Oya流域、Mudun Ela流域と同様の観点で計画規模を検討し、SLLDCと協議の上で計画規模を設定した。

1) 本支川の計画規模の整合

Bolgoda流域の計画は本支川を含んだ計画である。Bolgoda流域内に含まれるWeras Ganga流域においてのみ既往計画が存在し、その計画規模は50年確率である。他の支川には既往計画は存在しない。

2) 既存計画との整合

既存計画では、上記の通り、Bolgoda流域内に含まれるWeras Ganga流域においてのみ既往計画が存在し、JICA 2003 M/Pで50年確率となっている。

3) 流域の規模

流域面積は394 km²である。日本における、中小河川の流域規模別の計画規模は、流域面積50 km²～100 km²は50年確率となっており、大規模河川では100年確率などにも設定されている。

4) スリランカ内の他河川の計画規模設定

隣接したMetro Colombo Urban Development Projectでは計画規模を50年確率としている。

5) 既往最大洪水の規模

既往最大洪水（雨量）はRathumalana観測所で2010年11月に発生した日雨量383mmが最大であり、約50年確率相当である。

以上から、長期計画における計画規模は、既存計画との整合およびスリランカ内の他河川の計画規模設定を踏まえ50年確率とする。（表 6.3.1 参照）

6.3.2.2 中期計画（2030年）における計画規模

(1) Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域の計画規模

両流域ともに、上流域の遊水機能を踏まえつつ、せいぜい2年確率の安全度を有している両河川の現状、10年確率対応を治水安全度として想定した2018F/Sの結果、整備目標年次の2030年までの期間（における事業資金や施工可能量）を考慮し、SLLDCと協議の上、中期計画（2030年）の計画規模は25年確率とした。（表6.3.1参照）

(2) Bolgoda 流域の計画規模

Bolgoda流域もKalu Oya流域、Mudun Ela流域と同様な傾向であることから、SLLDCと協議の上、中期計画（2030年）の計画規模は25年確率とした。（表6.3.1参照）

表 6.3.1 計画規模の設定に係る情報の整理

既往調査成果等の参考情報	対象流域（流域面積）		
	Kalu Oya (55.3 km ²)	Mudun Ela (20.0 km ²)	Bolgoda (394 km ²)
1.従前計画（JICA2003M/P） ● 全体的な整備目標：1/50 ● Weras Gangaの支川流域（3～20 km ² ）：1/10	1/50	—	1/50
2.従前計画（2018F/S）	当初:1/25 最終:1/10	—	—
3.近傍類似流域計画（MCUDP ^{注1} ）：1/50（105 km ² ） *MCUDP流域もJICA 2003 M/P対象内でBolgoda流域に隣接	—	—	1/50
4.日本の中小河川流域の計画規模 ～50 km ² ：1/30、50～100 km ² ：1/50	1/50	1/30	
5. 既往最大洪水の規模	約 1/50	約 1/50	約 1/50
本調査における長期計画における計画規模 ^{注2} （括弧内）は中期計画（2030年）における計画規模	1/50 (1/25)	1/25	1/50 (1/25)

注1) MCUDP：Metro Colombo Urban Development Project

注2) スリランカでは、1/30よりも1/25が一般で、Kelani Gangaの計画でも1/25、1/50、1/100を比較検討している

出典：JICA調査チーム

6.4 計画条件の設定

6.4.1 計画降雨波形

5.2.3 節で示した通り、本調査では、2018 年の F/S 調査と同様に、Colombo 観測所および Rathmalana 観測所の降雨強度式を用いて中央集中型の確率規模別降雨波形を計画降雨波形とした。ただし、前述までの年最大雨量の経年変化、降雨の地域分布、流域平均雨量とポイント雨量の関係から Colombo 観測所や Rathmalana 観測所の算出値を直接各流域に適用できないと判断し、既往検討の MCUDP で用いられている「5.2.3.2 面積低減係数」に示した方法と同様に降雨継続時間に応じた補正係数を乗じた面積低減係数を設定した。

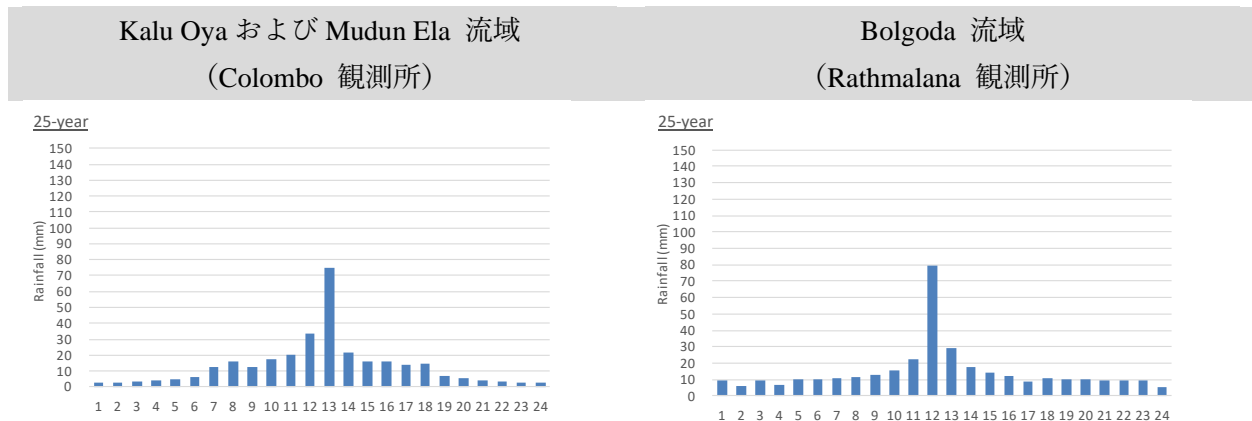


図 6.4.1 計画ハイトグラフ

6.4.2 計画高水位および余裕高

計画高水位は、Kalu Oya（基準地点：Negombo-Colombo Road Bridge）で 1.53 m、Mudun Ela（基準地点：Candy Road Bridge）で 1.84 m、Bolgoda（基準地点：Weras Ganga 下流端 Kospalana Bridge）で 1.50 m とする。余裕高は 3 流域とも 0.50 m とした。設定の考え方等は以下のとおりである。

6.4.2.1 計画高水位の設定の考え方

計画高水位は河川管理上の基準の一つであり、この水位以下で計画高水流量を安全に流下させることができるようにする基準である。一般的に背後地の土地利用や地盤高、過去の洪水履歴、それまでの河川整備の経緯から、対象河川の状況に応じて必要な事項が勘案される。対象流域においては水系一貫で統一された計画基準は定められておらず、計画高水位が明確に定められていない。一部の流域、例えば、Weras Ganga 左岸流入水路（図 6.4.2 参照）では、計画堤防高を 2.0 m、HWL を 1.5 m、余裕高を 0.5 m と設定して SLLDC による水路改修が完了している。これらを踏まえて、計画高水位は下記の方針で設定するものとした。なお、上記の余裕高は対象流域において経験的に設定された値であり、既存構造物との整合性を確保するため、本調査においてもこれを踏襲する。

- ・ 基本的に掘込河道を原則とし、計画高水位は堤内地盤高程度に設定する
- ・ 築堤が必要な場合でも、過度な築堤は、破堤時の浸水リスクを増大させることから、堤内地盤高との比高を余裕高（0.5 m）程度とする

- ・ 検討対象構造物の付近に既往の構造物がある場合には、その計画諸元を踏襲し計画水位を設定する。

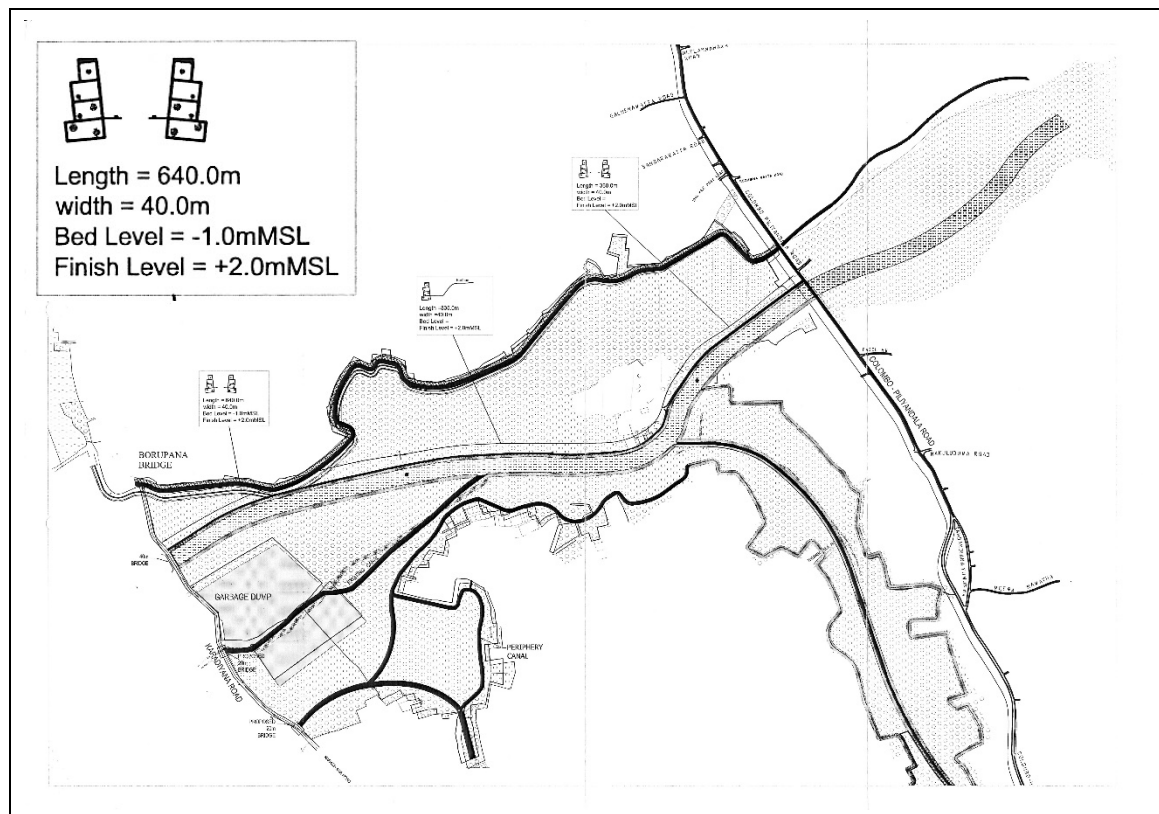


図 6.4.2 Weras Ganga 流域左岸における既設水路の計画図 (Madiwera South 放水路)

6.4.2.2 Kalu Oya の計画高水位の設定

(1) 背水の影響と出発水位の設定方針

Kalu Oya 下流区間は河床勾配が極めて小さく、本川背水の影響を大きく受けるため、出発水位の設定は極めて重要である。

本川の背水の影響がある場合で、かつ流出計算が同時にできる場合には、合流時差を考慮した最大水位を設定するのが適切である。しかし、Kelani Ganga と Kalu Oya を同時に計算するモデルは今のところ存在しない。CRIPにおける計画ハイドログラフを比較した場合、洪水継続時間は、Kelani Ganga が5日と Kalu Oya が1日とピーク時差は極めて大きい

本調査では、合流時差を明確に判断できる資料は存在しないため、日本の基準（中小河川計画の手引き（案））で示されているように、本川の計画を踏まえて、(1)バック堤、(2)自己流堤の比較をおこない、その結果、自己流堤を基本として設定した。比較検討内容を次に示す。

(2) バック堤とした場合の出発水位

合流先の Kelani Ganga では、世銀の支援による CRIP（河川事業の投資計画）が立案され、Pre-F/S 調査が実施されている。同 Pre-F/S 調査では、下流区間において50年確率対応の築堤計画が立

案され、この築堤計画は全体事業の中でも最も優先度が高いメニューとなっている。ただし、事業実施期間および完成時期等の具体的な事業スケジュールの記載はない。

CRIP 報告書における Kelani Ganga の計画縦断形は、築堤の堤内地盤高との比高が最大で 3m（余裕高 0.5m）となっており、Pre-F/S 調査報告書では、日本の河川整備計画で設定されるべき計画高水位という記述はみられず、水位縦断図と一部の水位値（表 6.4.1 参照）が示されているのみである。

表 6.4.1 Kelani Ganga の代表地点の流量および水位

確率規模	上流端流量条件	築堤の有無	Kelani Ganga 水位		
	Glencouse 地点		河口から 0.0km	KaluOya 合流点 河口から 1.0km	NS 地点 河口から 4.0km
50年	2,450	With dike	最大約 0.6m	1.780	3.138

注：NS (Nagalagam Street)

注：河口の水位条件：CRIP では 2016 年の実績水位に気候変動による水位上昇分 0.124m を加算（概ね最大水位 0.6m）、本調査では直近の朔望平均満潮位 0.6m（SLLDC から入手）で一定

出典：調査チーム



図 6.4.3 Kelani Ganga 水位観測所位置図

(3) 自己流堤とした場合の出発水位

CRIP の Pre-F/S 調査においては、主な支川に対する合流処理の詳細検討が必要であると言及しており、この支川合流に関する検討が次期 CRIP2 の詳細設計フェーズに含まれるかどうかは不明であるが、CRIP 内では、Kelani Ganga 築堤に伴う複数の支川合流処理として、ゲートおよびポンプの設置を提案している。報告書には Kalu Oya も含まれるとの記述があるが詳細は未定である。

(4) 堤防形式を踏まえた計画高水位設定の比較

出発水位を (2) で示した本川水位 1.780 m としてバック堤の整備を前提として計画高水位および計画堤防高を設定した場合、必要なバック堤の延長は相当の延長が必要となることが想定され、自然遊水区間として設定する予定エリアの湛水位にも影響することが予想されるなど、影響範囲

は極めて大きい。よって、河口部へのゲートおよびポンプ施設ありの自己流堤の整備を前提として計画高水位を堤内地盤高程度に設定した。設定した計画高水位を下図に示す。設定に至る詳細は、6.6.2節に示す。

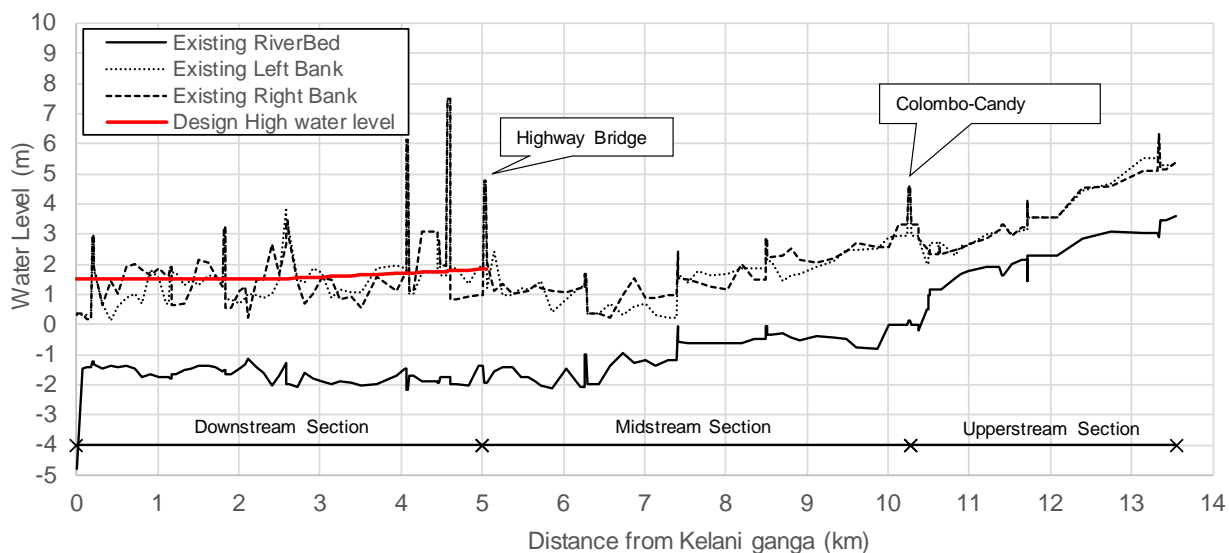


図 6.4.4 Kalu Oya の計画高水位の設定結果

(5) GRIP の事業スケジュールの考慮

CRIP の築堤事業は、現時点で事業スケジュールが未定であり、次期詳細設計フェーズにて詳細が決定する。詳細設計フェーズの終了時期も不明であり、本川側が検討すべき合流点処理の詳細が判明するのはまだ先である。事業実施スケジュールでも、Kelani Ganga 築堤が数年(少なくとも 2030 年までに)で完成するとは考えにくいことから、本調査の 2030 年を目標とした整備メニューにゲートおよびポンプ施設計画含める必要性は少ないと考えられる。また、Kelani Ganga の築堤高および計画高水位が決定された後で、Kalu Oya 合流点のゲートやポンプ施設諸元の詳細を検討する方が全体的な手戻り等が無く合理的である。

6.4.2.3 Mudun Ela の計画高水位の設定

(1) 既往計画 (Oliyamulla ポンプ場) の現状

Mudun Ela 流域の各水路の下流端は Kelani Ganga に接続しており、従前からゲートおよびポンプ施設による排水処理を行っている。さらに、SLLDC は Mudun Ela 下流部の Oliyamulla 地区に新たなポンプ施設の建設を計画しており、本調査で対象とする 1 次水路 Mudun Ela の流末は Oliyamulla ポンプ場に接続する。

ヒアリングの結果 Oliyamulla ポンプ場の調整池の周囲堤の天端高さは MSL+4.0 m (下図参照) となっており、35 m³/s のポンプ能力としての低水位が MSL+0.0 m、高水位が MSL+3.0 m と設定されている。いわゆる河道の計画高水位ではない。

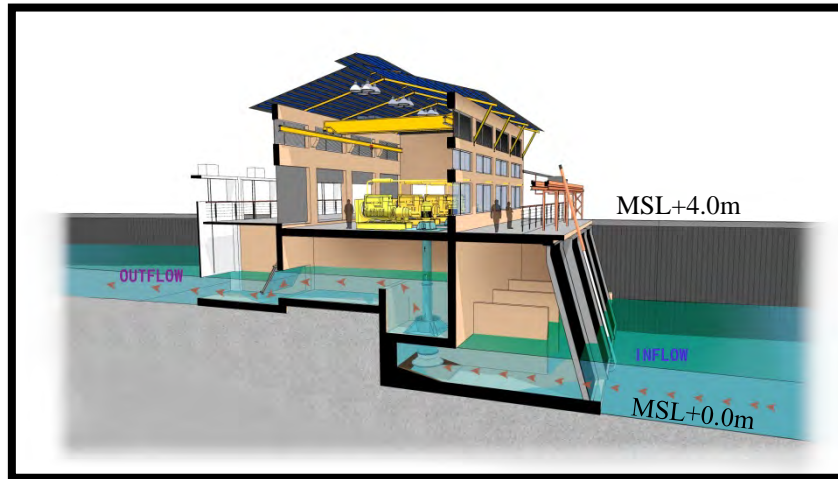


図 6.4.5 Oliyamulla ポンプ場計画図

(2) Mudun Ela の出発水位および計画高水位

Mudun Ela 下流域は堀込河道であり、図 6.4.6 に示す通り、地盤高は、3.0 km 付近まで MSL+1.0 ~2.0 m である。河床勾配が小さく、流末水位の背水の影響が大きい。出発水位としてポンプ施設の計画高水位 3.0 m の設定が考えられるが地盤高を大きく上回るため現実的ではない。

よって、計画高水位は、以下の手順で設定した。ポンプ手前の周囲堤高 (4.0 m) については、過大な設定であるため、SLDLC が有する最終計画を確認の上で、Mudun Ela 計画と整合するように諸元の変更を提案する予定である。

- ① ポンプ運転 (35 m³/s)を考慮した水理計算の実施
- ② 河川改修幅や掘削深をトライアル
- ③ 水理計算より得られた水面形の包絡線を計画高水位とする。
- ④ 計画高水位 (下流端) を地盤高程度の MSL+1.5 m に設定

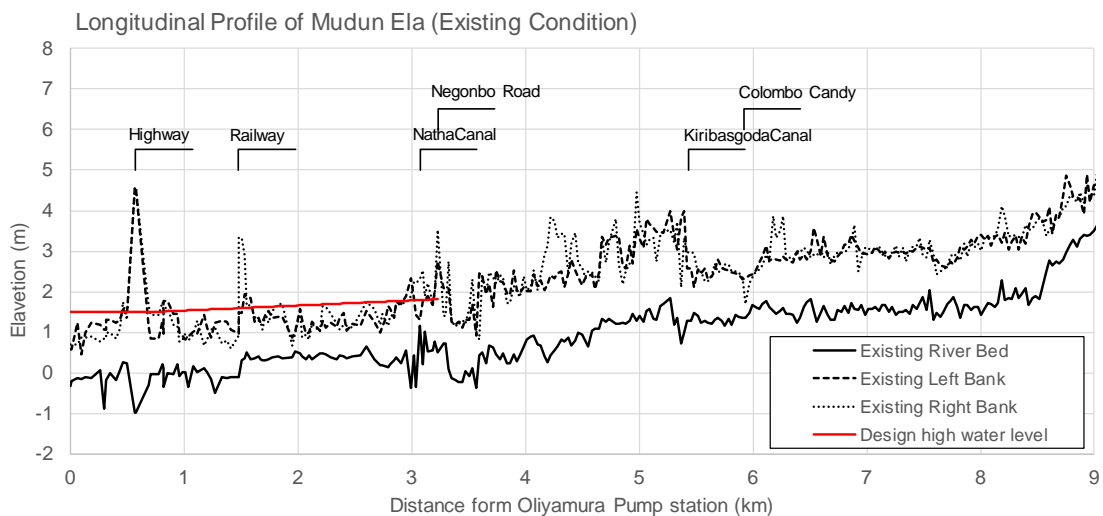


図 6.4.6 Mudun Ela の計画高水位の設定結果

6.4.2.4 Bolgoda 流域の計画高水位の設定

(1) 出発水位および計画高水位

Bolgoda 流域の流末は海であることから、出発水位として朔望平均満潮位 0.6m を設定した。Kalu Oya および Mudun Ela とは異なり、SLLDC の計画による北側最上流部の Weras Ganga で河川改修が完成または実施中であることから、同諸元を参考とし齟齬のない範囲で、上記の基本方針を踏まえた水理計算のトライアル（改修幅、掘削深）によって計画高水位を設定した。

6.4.3 計画潮位

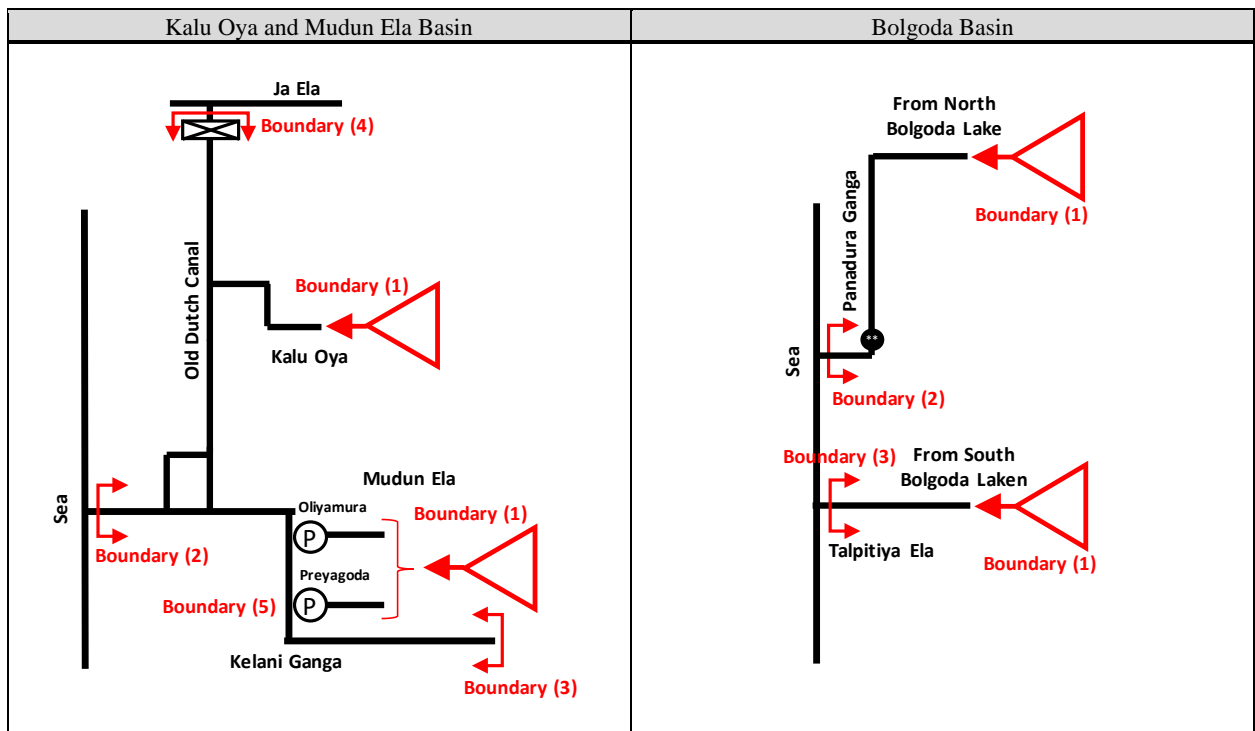
計画潮位には、SLLDC から提供された近年の潮位データを用いて算出された朔望平均満潮位 (MSL+0.6 m) を採用する。

6.4.4 境界条件

計画に用いる境界条件は以下に示す通りである。なお、洪水貯留効果を把握するため、各対象河川からの氾濫ありの条件としている。

表 6.4.2 境界条件一覧表

No	条件	No	条件
(1)	対象河川上流端： ⇒計画降雨波形を用いた流出計算流量	(1)	対象河川上流端： ⇒計画降雨波形を用いた流出計算流量
(2)	Kelani Ganga 河口： ⇒計画潮位 (MSL+0.6m)、	(2)	Panadura Ganga 河口 ⇒計画潮位 (MSL+0.6m)、
(3)	Kelani Ganaga 上流端： ⇒Kelani Ganga 観測流量を用いて算出した確率規模別流量 (一定値)	(3)	Talpitiya Ela 河口： ⇒堆砂による河口閉塞を現状維持 ※開削等の改良の想定はなし
(4)	Old Dutch Canal 上流端： ⇒JaEla 合流点の水門閉鎖	-	-
(5)	MudunEla 下流ポンプ場： ⇒ポンプ排水モデルにて所定の流量を排水	-	-

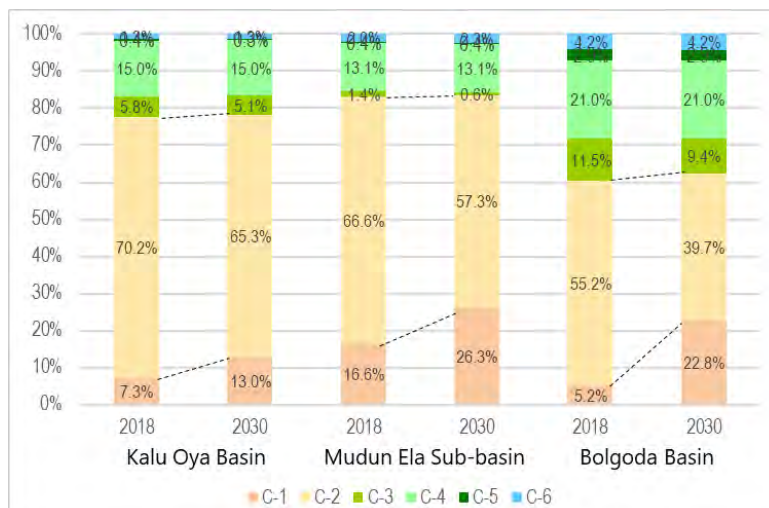


備考：図中の No は、表 6.4.2 に対応

図 6.4.7 境界条件設定位置図

6.4.5 将来土地利用

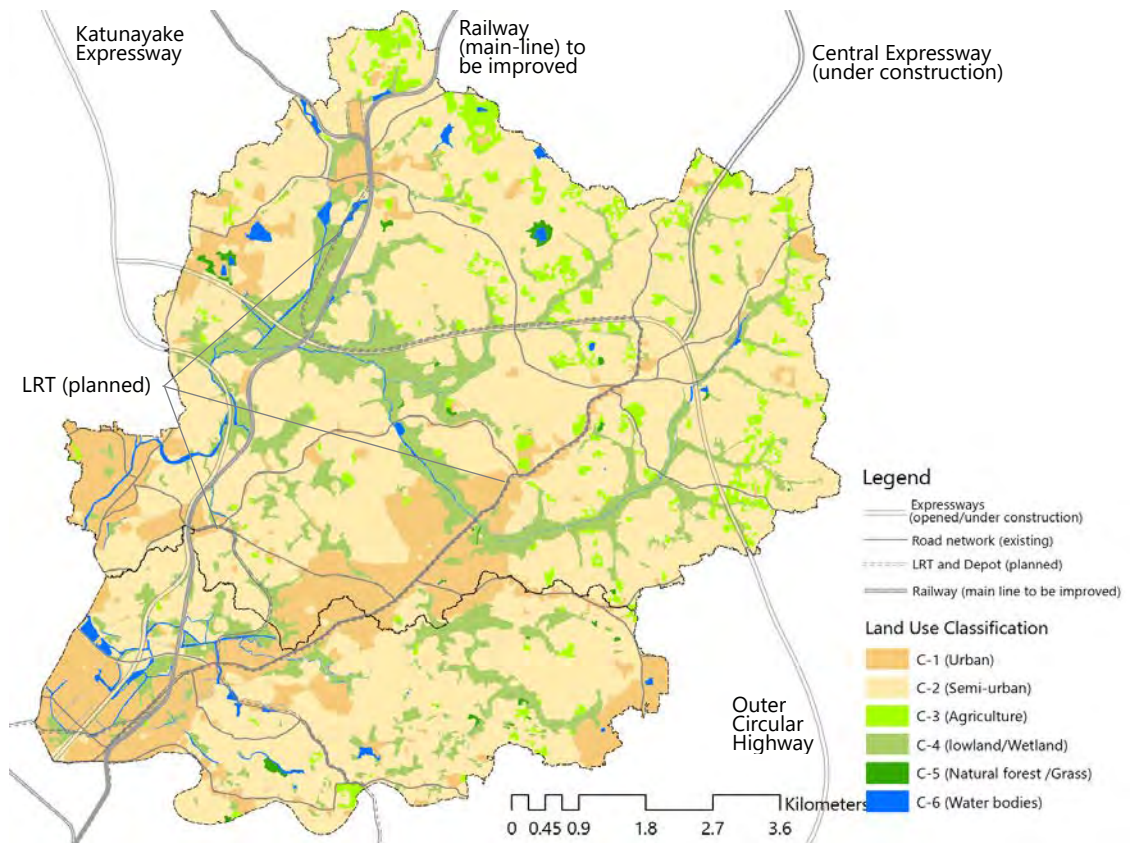
将来土地利用は、西部州メガポリス・マスタープラン（WRMMP2030）の将来人口と最新の郡の開発計画（未承認）の提案ゾーン・密度を参照して、将来土地利用を想定した。各流域の現況および土地利用比率の変化を図 6.4.8 に、Kalu Oya および Mudun Ela 流域の将来土地利用パターンを図 6.4.9 に、Bolgoda 流域の将来土地利用パターンを図 6.4.10 に示す。



C-1(urban)は中高密度かつ緑地の少ない人工地盤が主、C-2 (semi-urban)は、緑地が多い宅地が中心、C-3 (agriculture)は丘の野菜畑、果樹園等、C-4 (lowland green)は、低地自然植生湿地帯および水田、放棄水田を含む、C-5 (natural green)は丘の森林、草地等、C-6 (water bodies)は河川、小川、池、溜池等

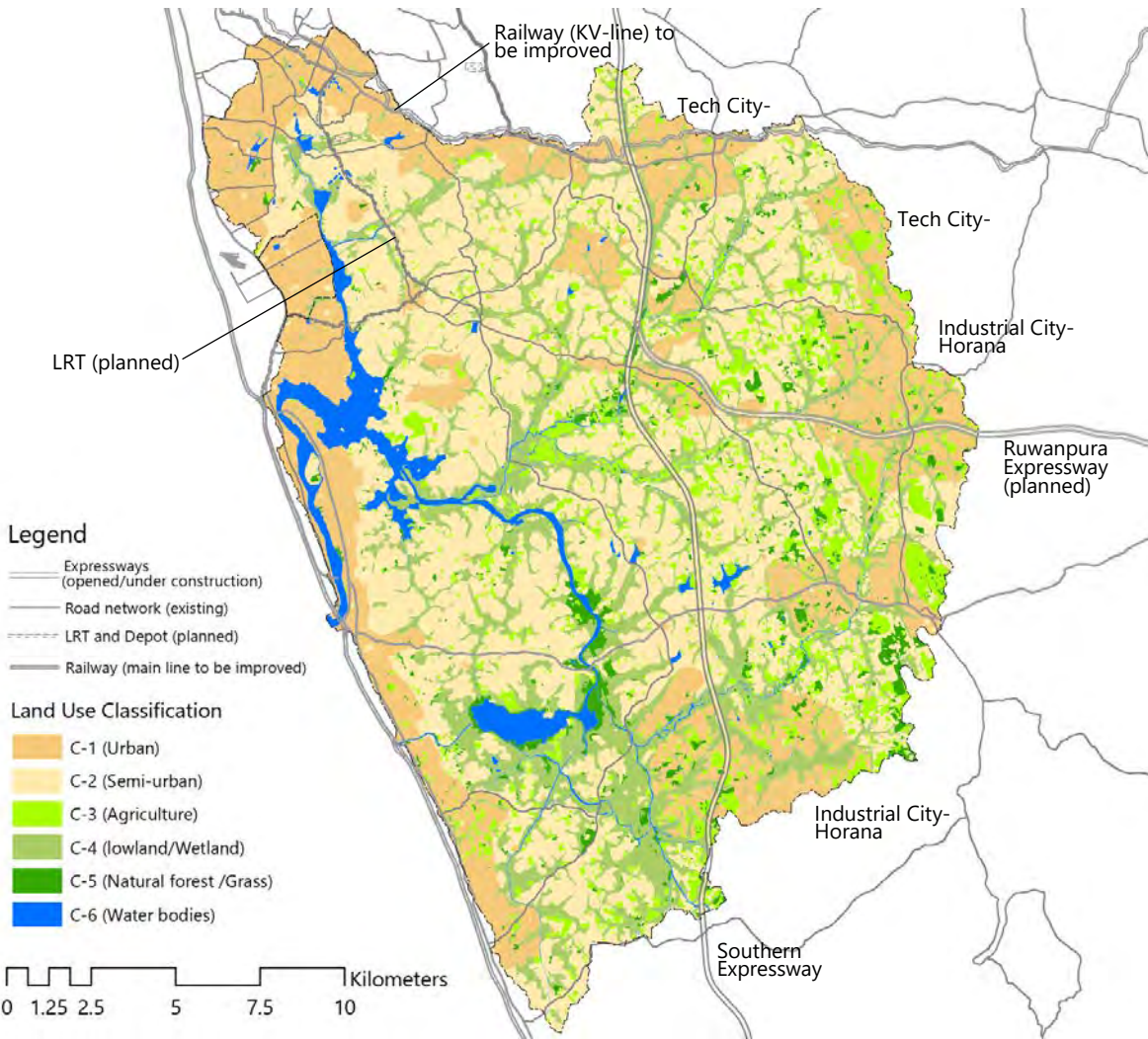
出典： JICA 調査チーム

図 6.4.8 Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域および Bolgoda 流域の将来土地利用区分別の構成比率 (2030 年)



出典： JICA 調査チーム

図 6.4.9 Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域の将来土地利用パターン



出典： JICA 調査チーム

図 6.4.10 Bolgoda 流域の将来土地利用パターン

6.5 浸水解析および浸水リスク評価

6.5.1 確率流量

中期計画のハイエトグラフ（25年確率）を用いて、対象流域の流出計算（氾濫あり、なし）を行った。図 6.5.4 および図 6.5.5 に流量配分図を示す。Kalu Oya 流域の基準点での 25 年規模の確率流量は、約 305 m³/s、氾濫を考慮した流量は 72 m³/s であり、上流における氾濫貯留効果により大きく流量が低減している。同様に Mudun Ela 流域の基準点での 25 年規模の確率流量は 78 m³/s、氾濫を考慮した流量は、17 m³/s、Bolgoda 流域の基準点での 25 年規模の確率流量は、1,009 m³/s であり、氾濫を考慮した流量は 464 m³/s に低減する。氾濫域の多くは湿地帯であり、両流域ともに、対策検討において流域の湿地帯における氾濫貯留効果を考慮することは極めて重要であることがわかる。なお、確率規模毎の流量配分図は巻末資料に記載した。

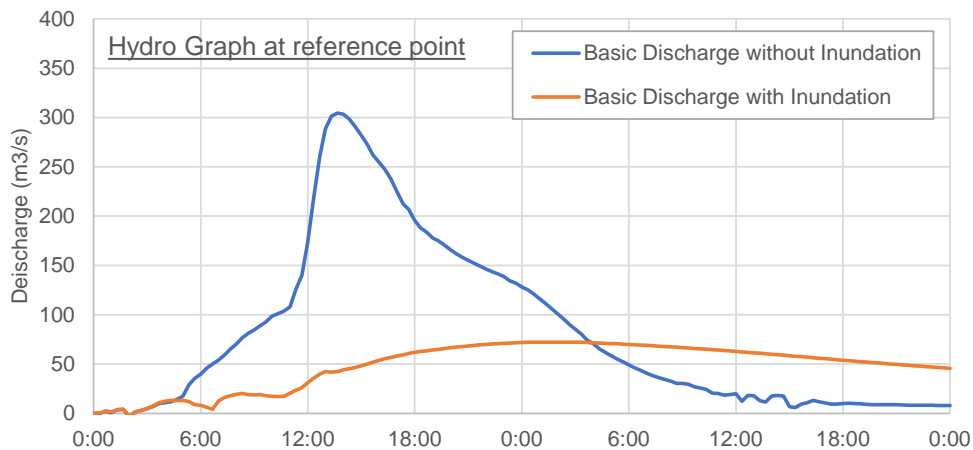


図 6.5.1 25年確率流量ハイドログラフ (Kalu Oya) 【現況河道】

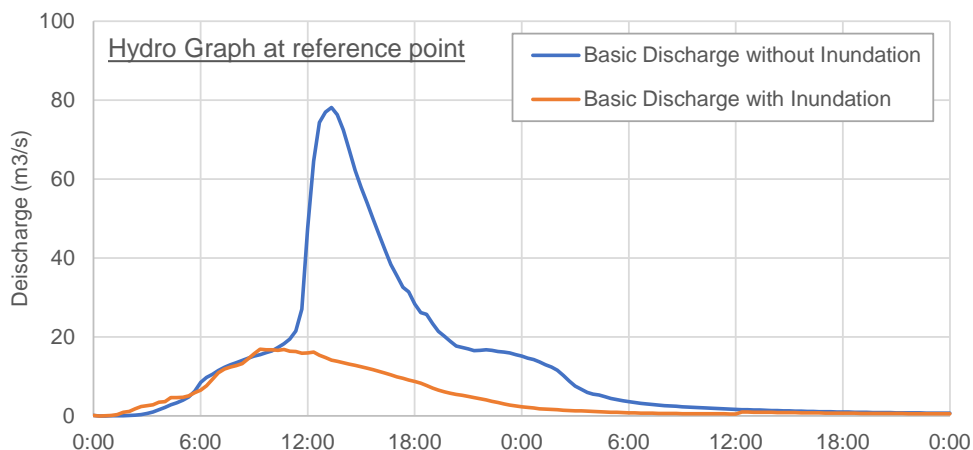


図 6.5.2 25年確率流量ハイドログラフ (Mudun Ela) 【現況河道】

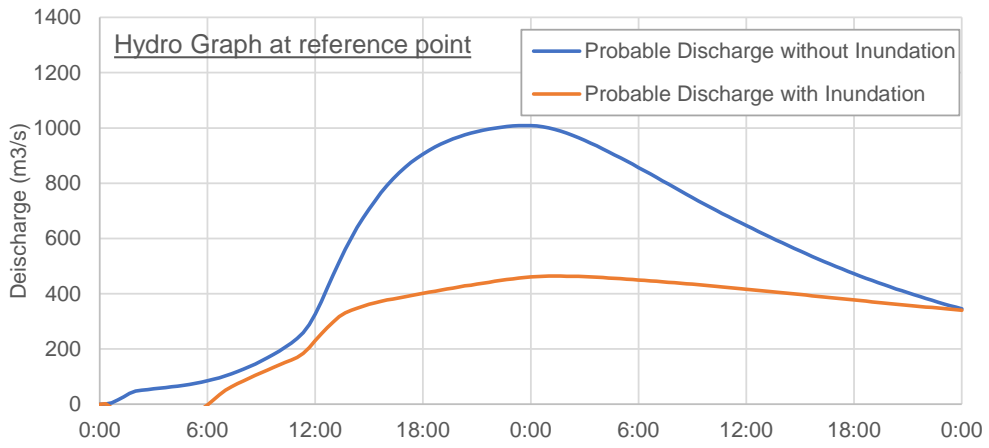


図 6.5.3 25年確率流量ハイドログラフ (Bolgoda) 【現況河道】

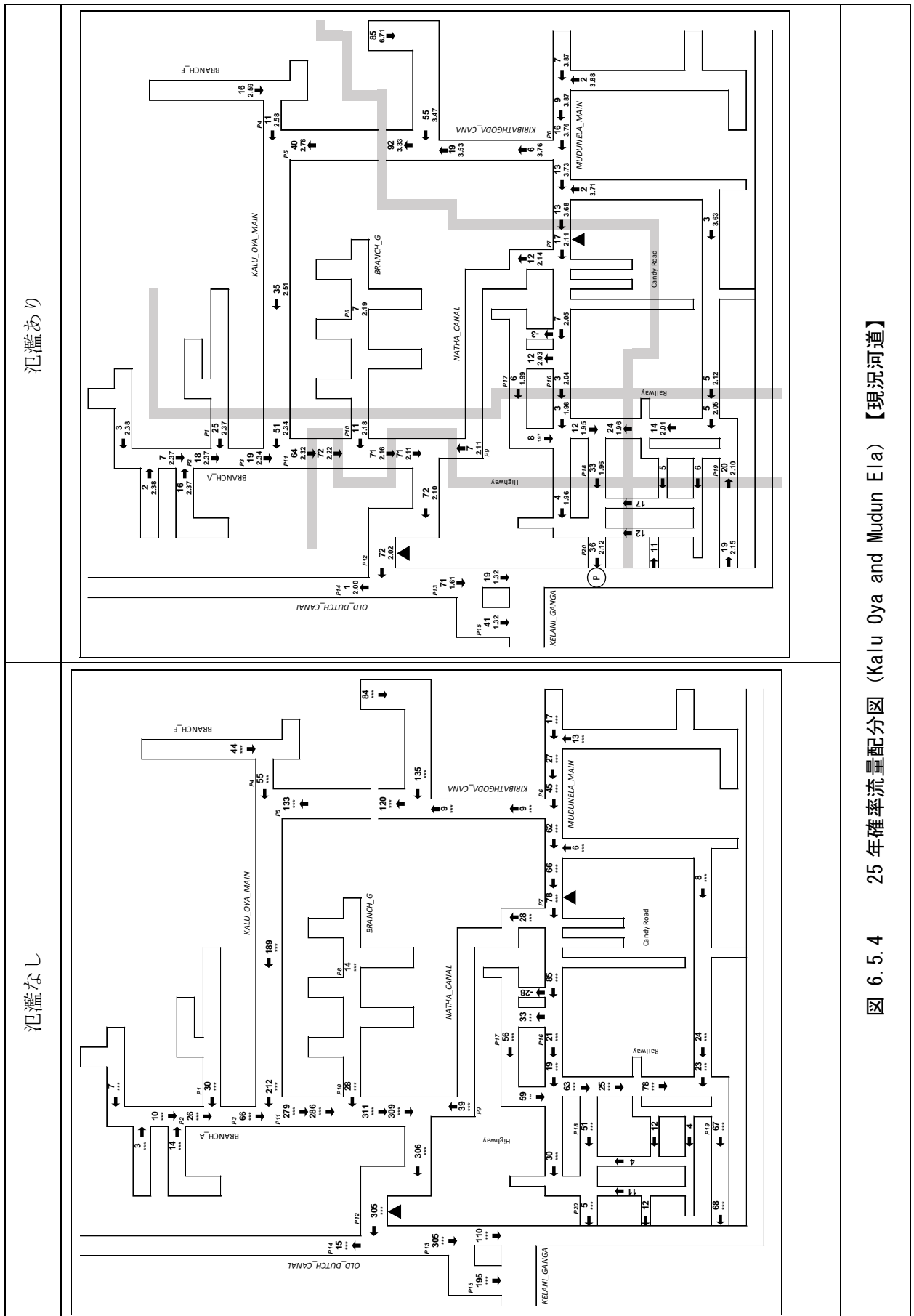


図 6.5.4 25年確率流量配分図 (Kalu Oya and Mudun Ela) 【現況河道】

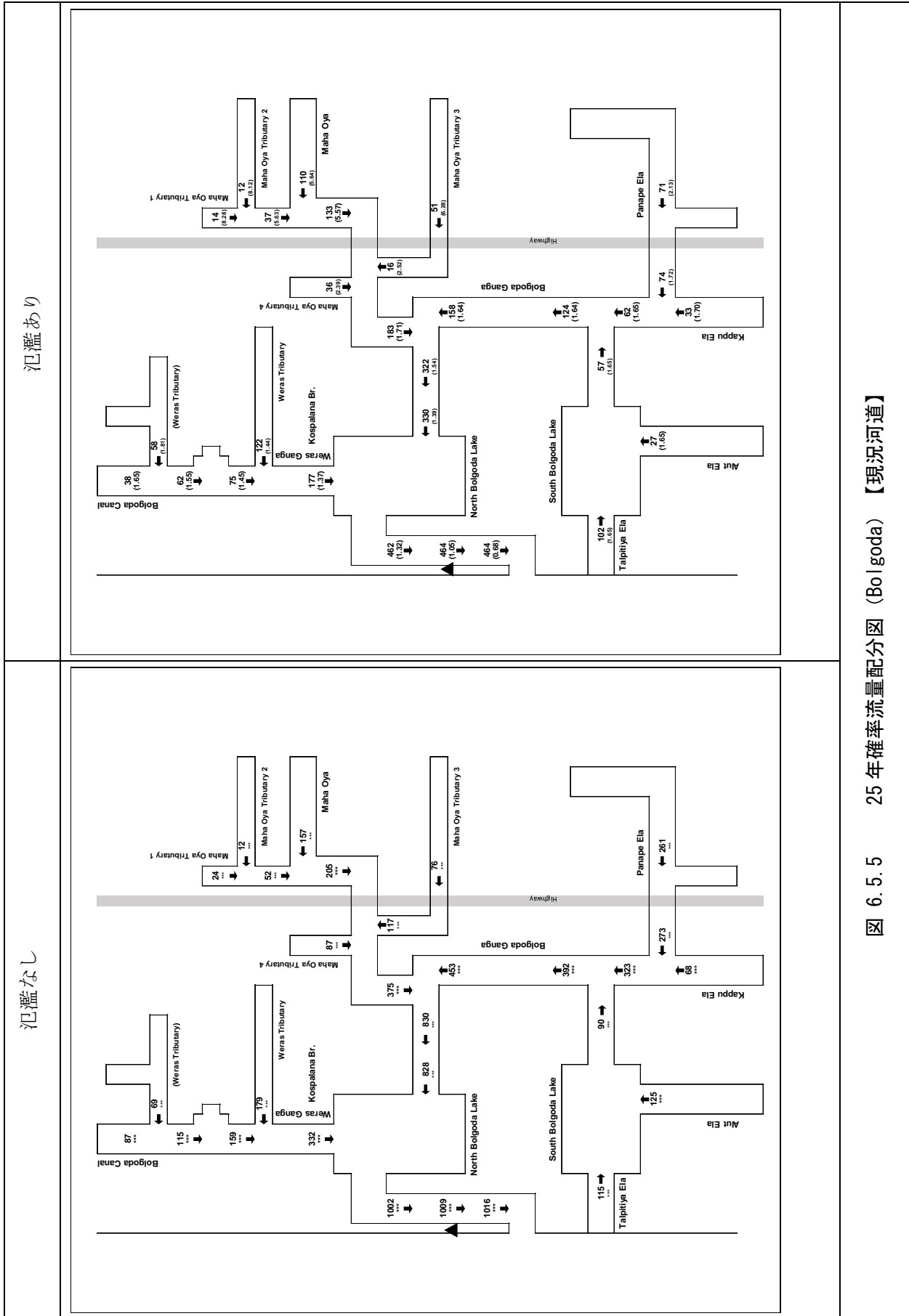


図 6.5.5 25年確率流量配分図 (Boligoda) 【現況河道】

6.5.2 確率規模別浸水想定区域図

構築した氾濫解析モデルを用いて確率規模別の氾濫シミュレーションを行った。それぞれの計算結果を図 6.5.6～図 6.5.11 に示す。

6.5.3 浸水想定面積および家屋数

想定される浸水区域と土地利用区域図を重ね合わせて土地利用別浸水面積を算定した。表 6.5.1 に示す。Bolgoda 流域における全体の想定浸水面積に対する居住地域の割合は、25 年確率で 19.7%であるが、資産が集中する Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域では、42.1%、65.8%と見積もられた。特に Mudun Ela 流域における 25 年確率の想定浸水家屋数は約 4,000 世帯と想定されており（表 6.5.2(1) 参照）、これは、全体の約 11%に相当する。Mudun Ela 流域は最も浸水リスクが高く、早急な雨水排水対策の実施が求められる。一方で、Kalu Oya 流域および Bolgoda 流域については、浸水リスクが高いエリアが局所的に分布しており、ターゲットを絞った雨水排水対策が必要である。

表 6.5.1 土地利用別浸水想定面積と割合【現況河道】

Kalu Oya

Land Use	2-year		5-year		10-year		25-year	
	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio
Agricul Area	5.9	1.0%	7.0	0.9%	9.0	1.0%	13.2	1.1%
Lowland (Wetland)	407.9	66.7%	493.9	62.9%	548.4	59.8%	597.3	52.1%
Nature Area	2.0	0.3%	2.0	0.3%	2.0	0.2%	4.8	0.4%
Water Area	41.9	6.9%	46.1	5.9%	47.5	5.2%	49.4	4.3%
Settlement Area	153.9	25.2%	235.6	30.0%	310.1	33.8%	482.4	42.1%
Total	611.7	100.0%	784.7	100.0%	917.1	100.0%	1,147.1	100.0%

Mudun Ela

Land Use	2-year		5-year		10-year		25-year	
	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio
Agricul Area	0.6	0.2%	1.4	0.3%	2.4	0.5%	4.3	0.6%
Lowland (Wetland)	135.6	34.8%	158.5	35.4%	172.2	33.0%	191.0	27.7%
Nature Area	1.3	0.3%	2.3	0.5%	2.5	0.5%	2.6	0.4%
Water Area	30.6	7.8%	32.3	7.2%	34.8	6.7%	37.8	5.5%
Settlement Area	221.7	56.9%	253.1	56.6%	310.1	59.4%	454.2	65.8%
Total	389.8	100.0%	447.6	100.0%	522.0	100.0%	689.9	100.0%

Bolgoda

Land Use	2-year		5-year		10-year		25-year	
	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio	Area(ha)	Ratio
Agricul Area	316.3	10.0%	476.0	9.0%	544.4	8.4%	617.5	8.1%
Lowland (Wetland)	1,867.7	59.0%	3,213.7	60.7%	3,882.4	60.0%	4,435.8	58.3%
Nature Area	167.4	5.3%	279.6	5.3%	343.2	5.3%	404.0	5.3%
Water Area	427.4	13.5%	542.8	10.3%	606.0	9.4%	649.4	8.5%
Settlement Area	388.2	12.3%	782.1	14.8%	1,099.2	17.0%	1,499.2	19.7%
Total	3,167.0	100.0%	5,294.2	100.0%	6,475.2	100.0%	7,606.0	100.0%

表 6.5.2(1) 浸水深別想定被災家屋数と割合【現況河道】

Kalu Oya

Flood Depth (m)	2-year		5-year		10-year		25-year	
	Number of Houses	Ratio	Number of Houses	Ratio	Number of Houses	Ratio	Number of Houses	Ratio
0.0-0.1	236	35.6%	455	38.3%	554	31.3%	871	24.7%
0.1-0.5	393	59.2%	628	52.8%	924	52.3%	1,762	50.0%
0.5-1.0	35	5.3%	106	8.9%	290	16.4%	688	19.5%
1.0-1.5	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	203	5.8%
1.5-2.0	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
2.0-	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Total	664	100.0%	1,189	100.0%	1,768	100.0%	3,525	100.0%

Mudun Ela

Flood Depth (m)	2-year		5-year		10-year		25-year	
	Number of Houses	Ratio	Number of Houses	Ratio	Number of Houses	Ratio	Number of Houses	Ratio
0.0-0.1	480	38.6%	589.4	28.5%	795	24.5%	1,170	17.7%
0.1-0.5	1,037	58.5%	1,110.0	58.4%	1,297	54.0%	2,304	48.6%
0.5-1.0	197	3.0%	216.6	13.0%	259	20.7%	519	25.4%
1.0-1.5	0	0.0%	0	0.1%	0	0.8%	0	8.2%
1.5-2.0	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.1%
2.0-	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Total	1,714	100.0%	1,916	100.0%	2,351	100.0%	3,993	100.0%

Bolgoda

Flood Depth (m)	2-year		5-year		10-year		25-year	
	Number of Houses	Ratio	Number of Houses	Ratio	Number of Houses	Ratio	Number of Houses	Ratio
0.0-0.1	40	11.0%	70	7.2%	55	2.7%	158	4.1%
0.1-0.5	252	70.0%	515	53.0%	1,052	52.1%	1,909	49.0%
0.5-1.0	32	8.9%	173	17.9%	373	18.4%	665	17.1%
1.0-1.5	36	10.0%	171	17.6%	487	24.1%	1,018	26.1%
1.5-2.0	1	0.2%	42	4.3%	44	2.2%	129	3.3%
2.0-	0	0.0%	0	0.0%	10	0.5%	17	0.4%
Total	360	100.0%	971	100.0%	2,021	100.0%	3,897	100.0%

表 6.5.2(2) 想定被災家屋数と流域全体における割合【現況河道】

Target Basin	2-year		5-year		10-year		25-year		Number of Houses in Target Basin (5)
	Number of Houses (1)	Ratio (1)/(5)	Number of Houses (2)	Ratio (2)/(5)	Number of Houses (3)	Ratio (3)/(5)	Number of Houses (4)	Ratio (4)/(5)	
Kalu Oya	664	1.0%	1,189	1.7%	1,768	2.5%	3,525	5.1%	69,360
Mudun Ela	1,714	4.8%	1,916	5.4%	2,351	6.6%	3,993	11.2%	35,710
Bolgoda	360	0.1%	971	0.3%	2,021	0.7%	3,897	1.3%	304,315

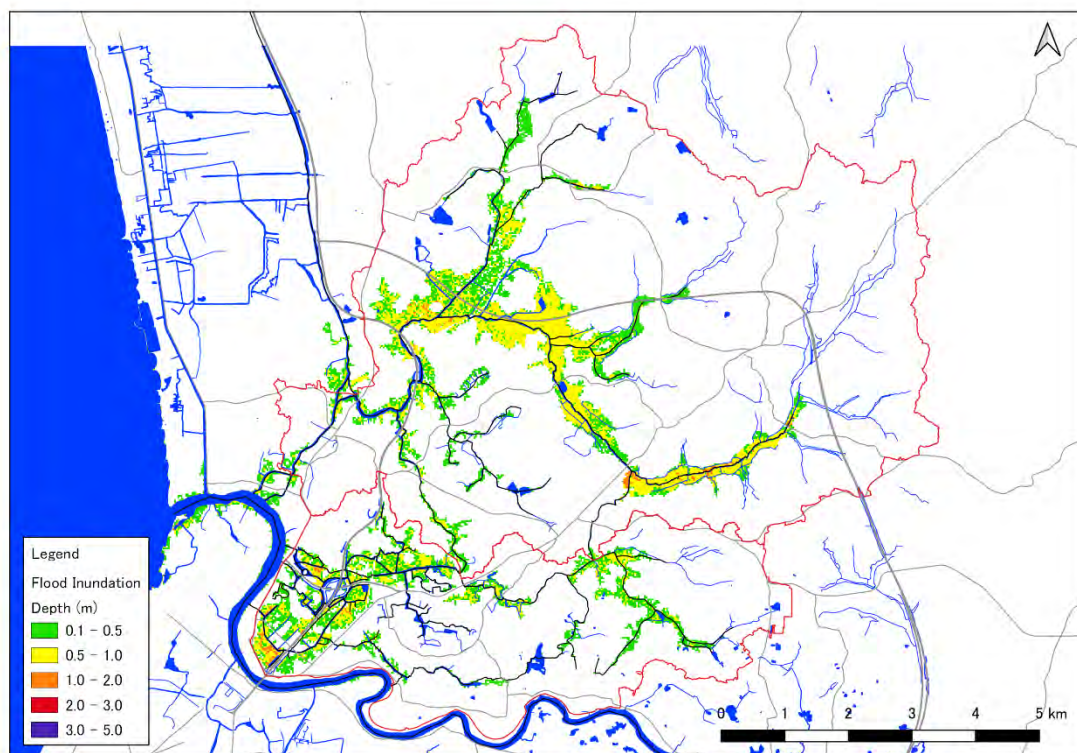
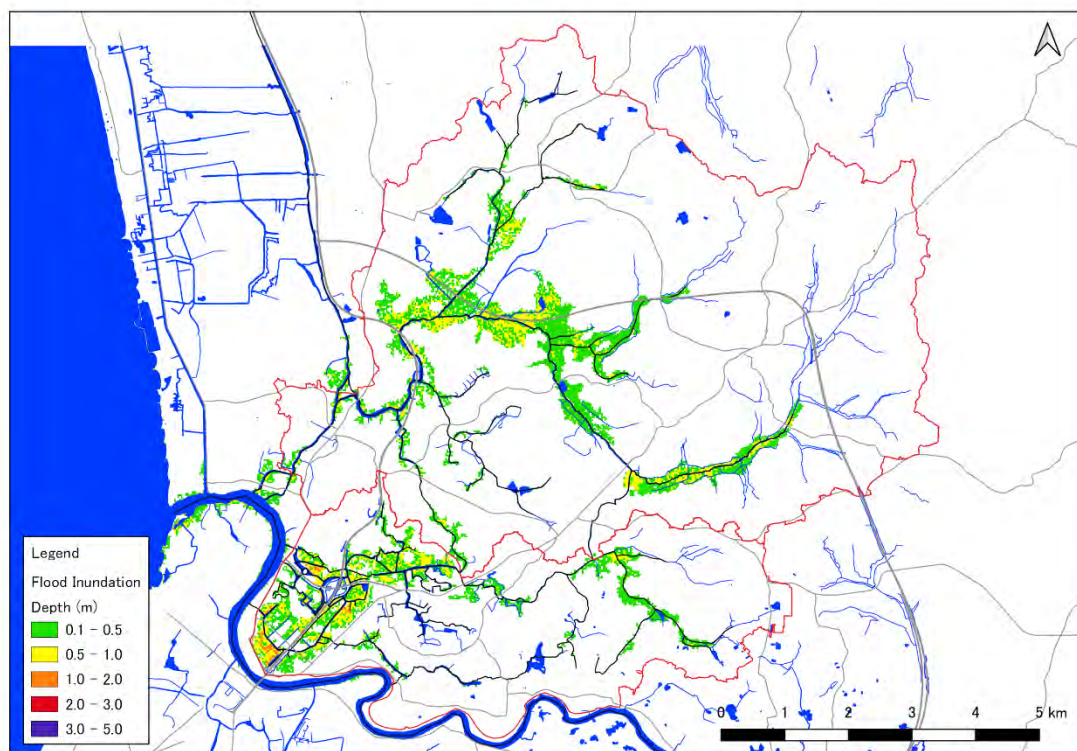


図 6.5.6 Kalu Oya 流域氾濫計算結果（上：2年確率、下：5年確率）【現況河道】

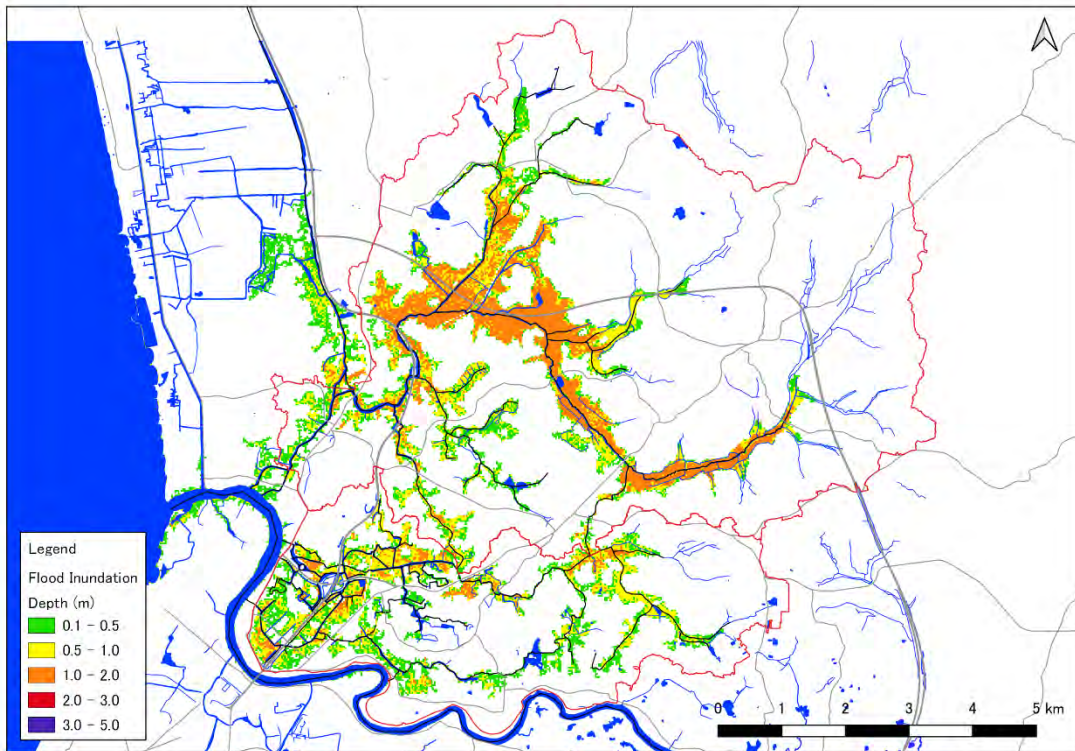
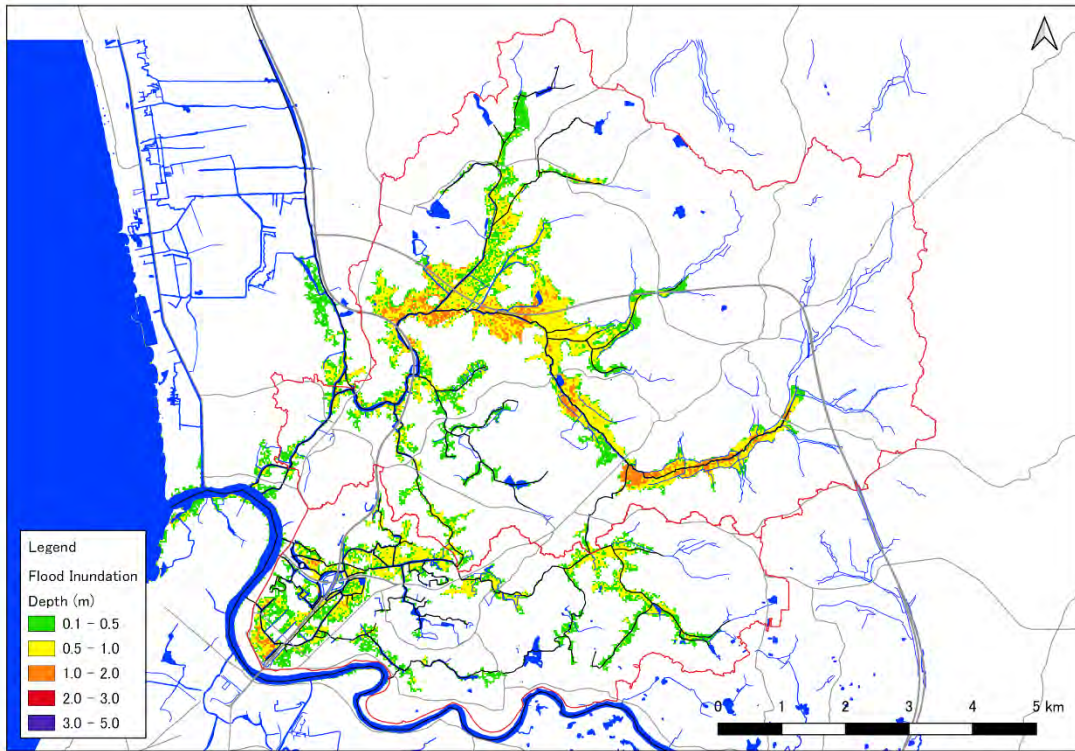


図 6.5.7 Kalu Oya 流域氾濫計算結果（上：10年確率、下：25年確率）【現況河道】

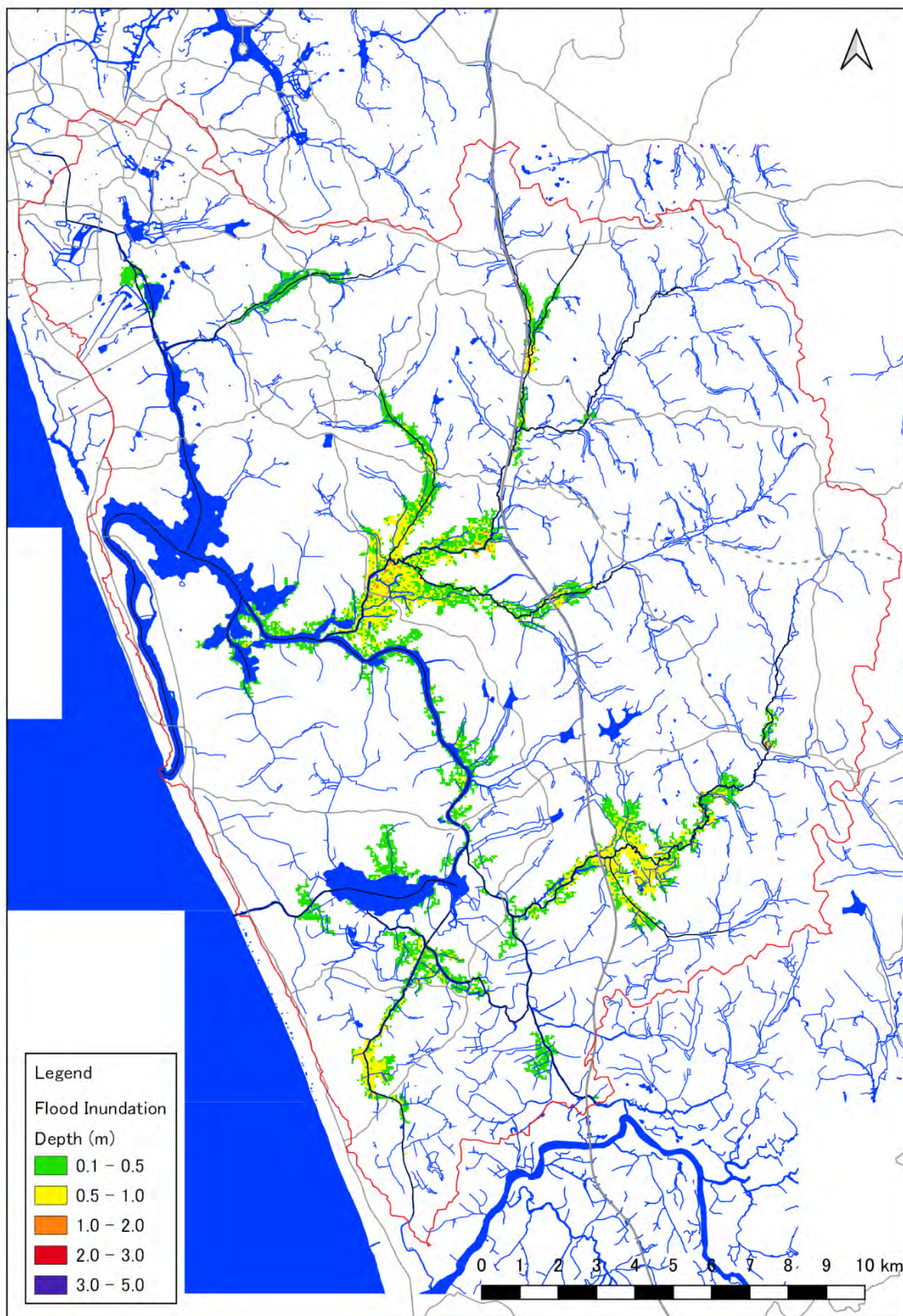


図 6.5.8 Bolgoda 流域氾濫計算結果 (2年確率) 【現況河道】

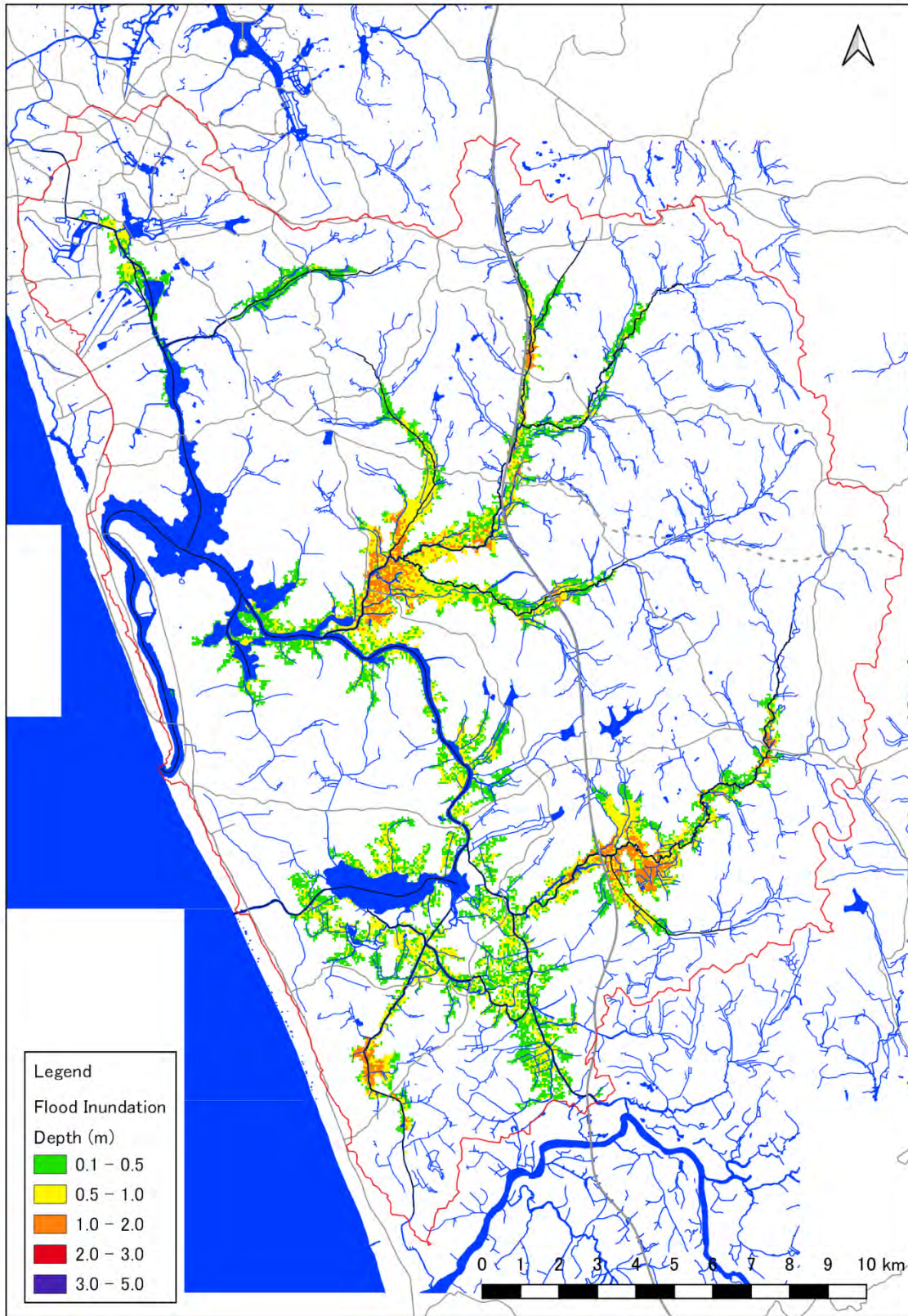


図 6.5.9 Bolgoda 流域氾濫計算結果 (5年確率) 【現況河道】

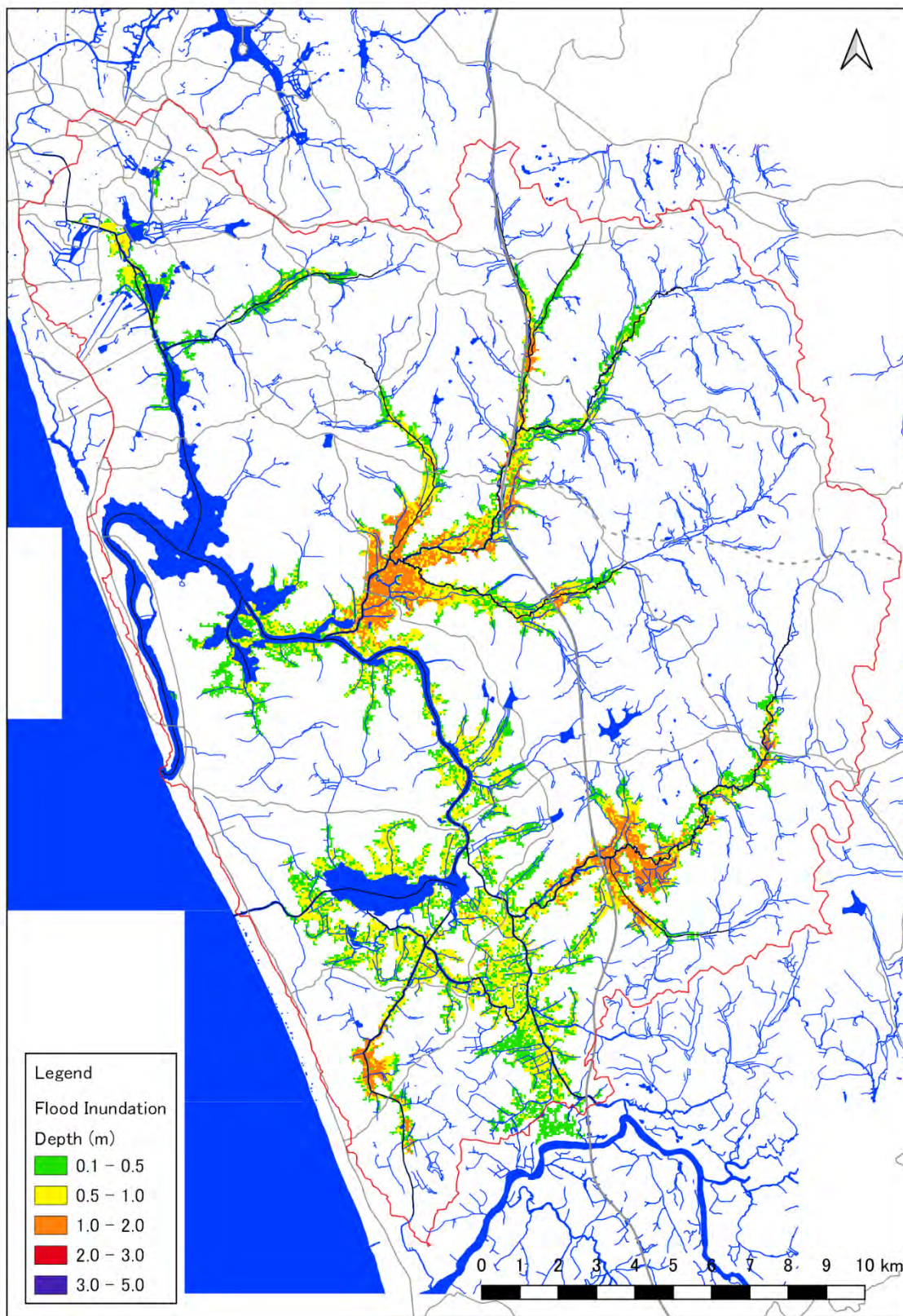


図 6.5.10 Bolgoda 流域氾濫計算結果 (10年確率) 【現況河道】

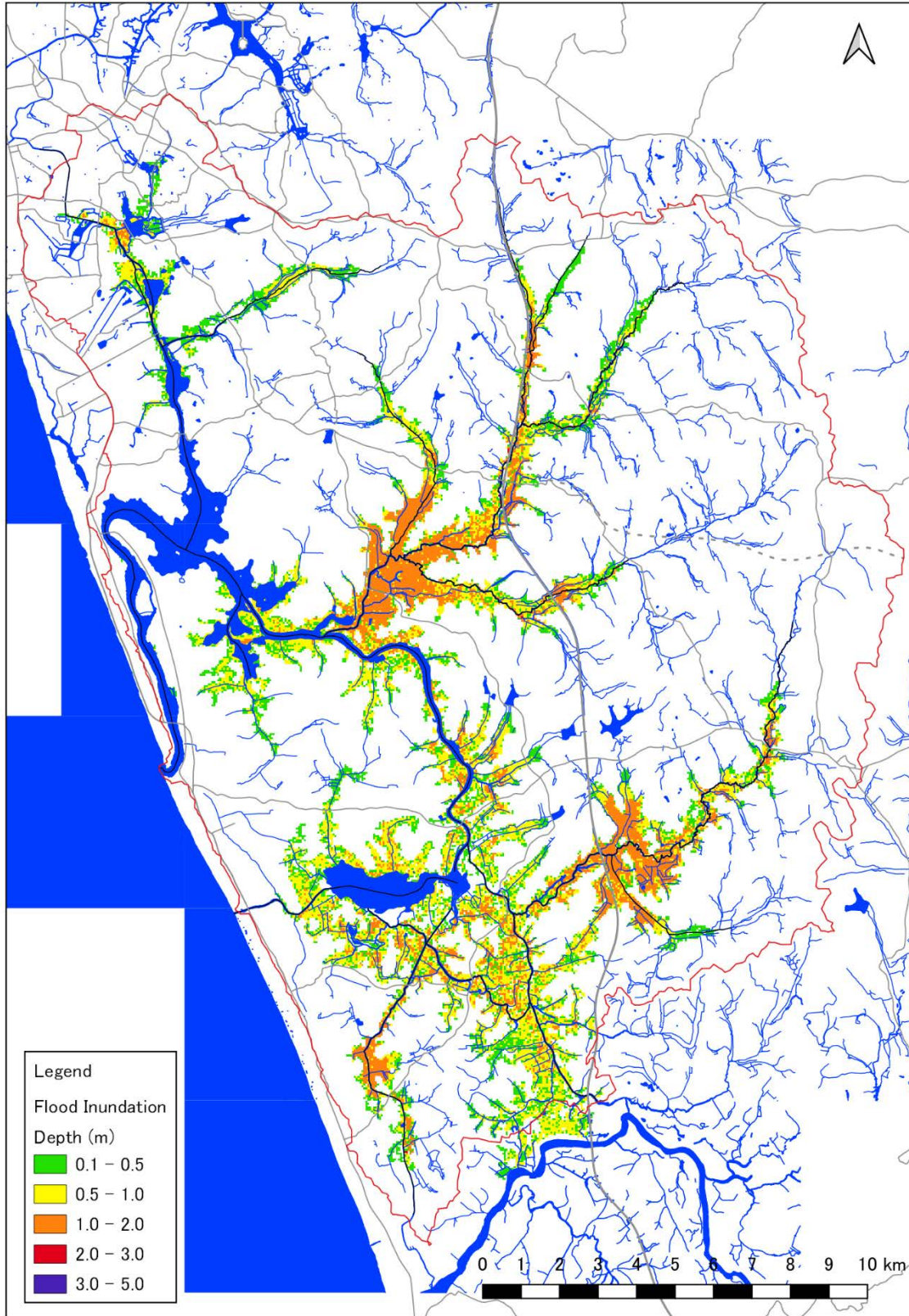


図 6.5.11 Bolgoda 流域氾濫計算結果 (25年確率) 【現況河道】

6.5.4 確率規模別計算水位

確率規模別の氾濫シミュレーションにより求められた、下図に示した主要水路の水位縦断図を以下に示す。

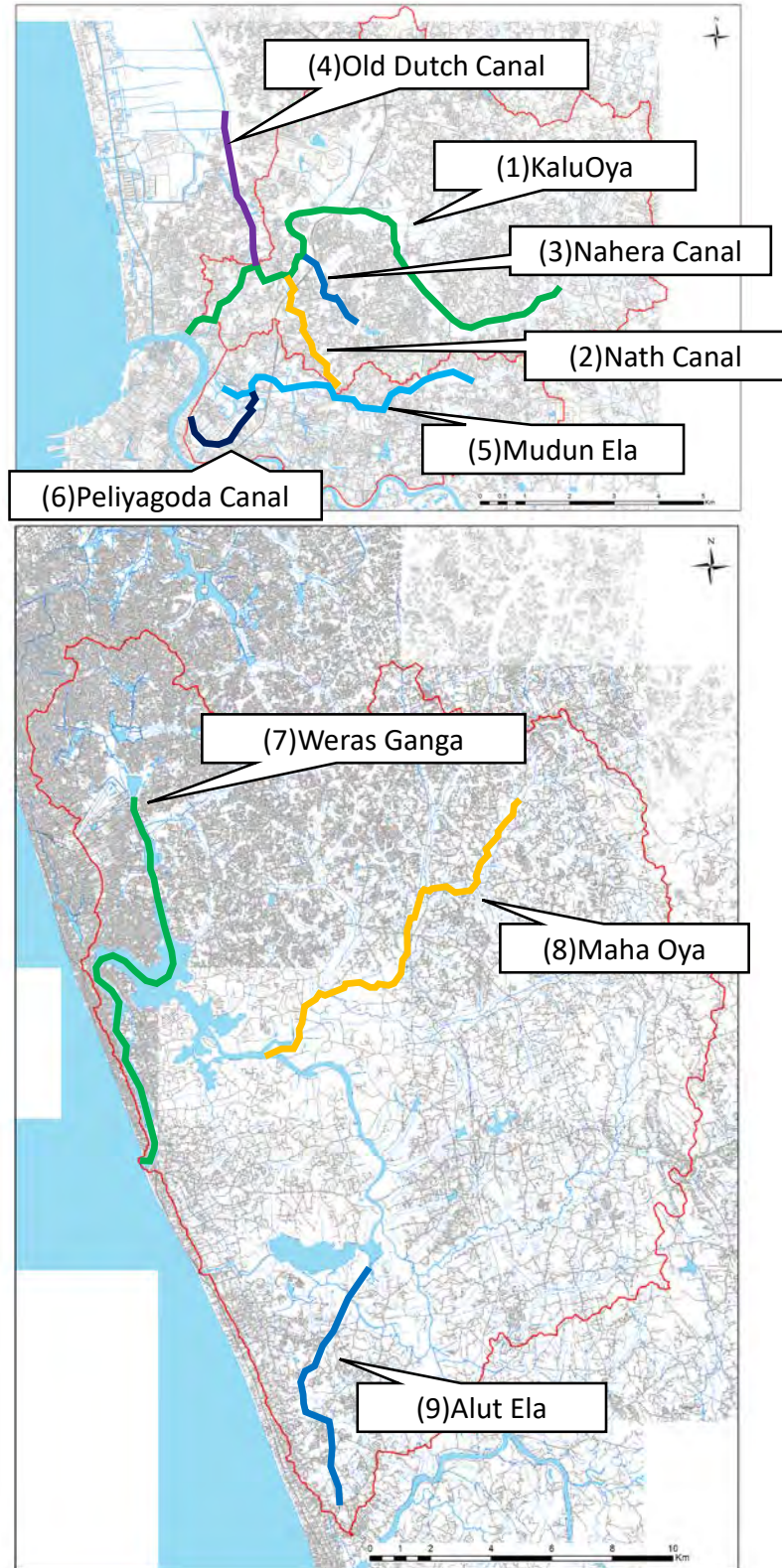


図 6.5.12 確率規模別水位縦断図の位置図

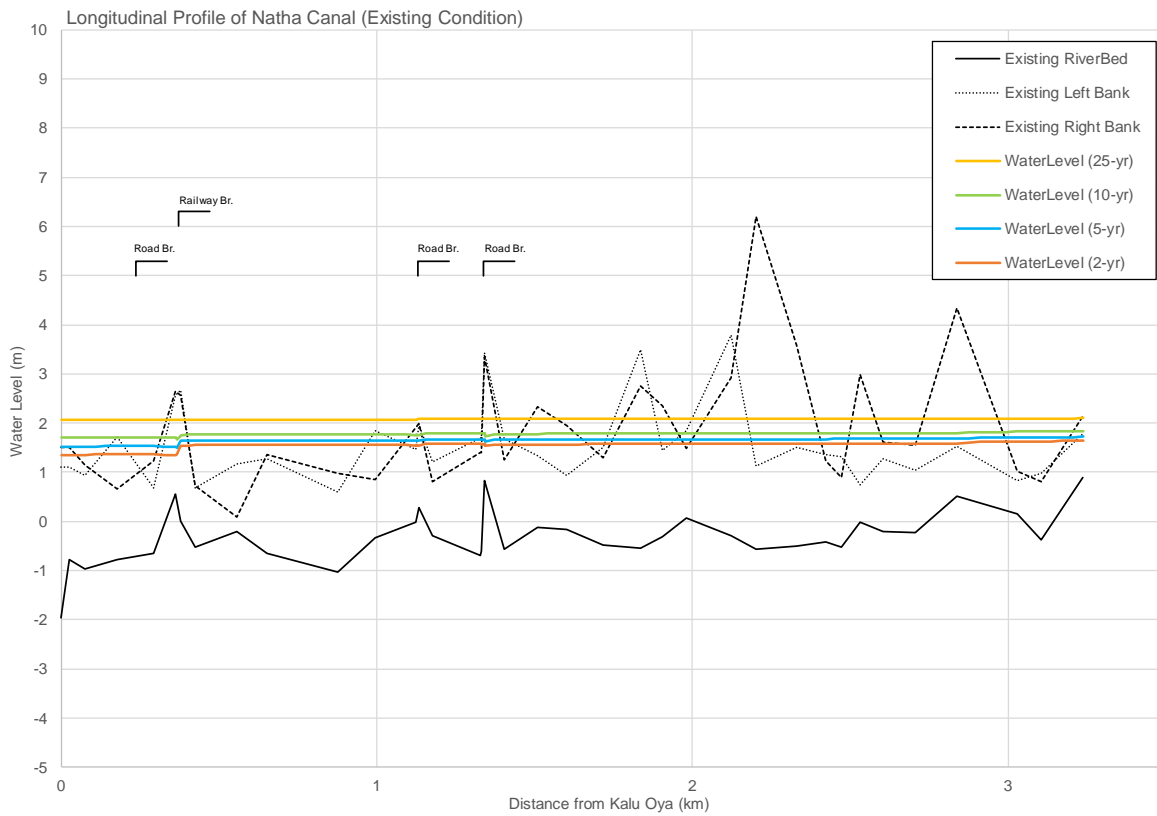
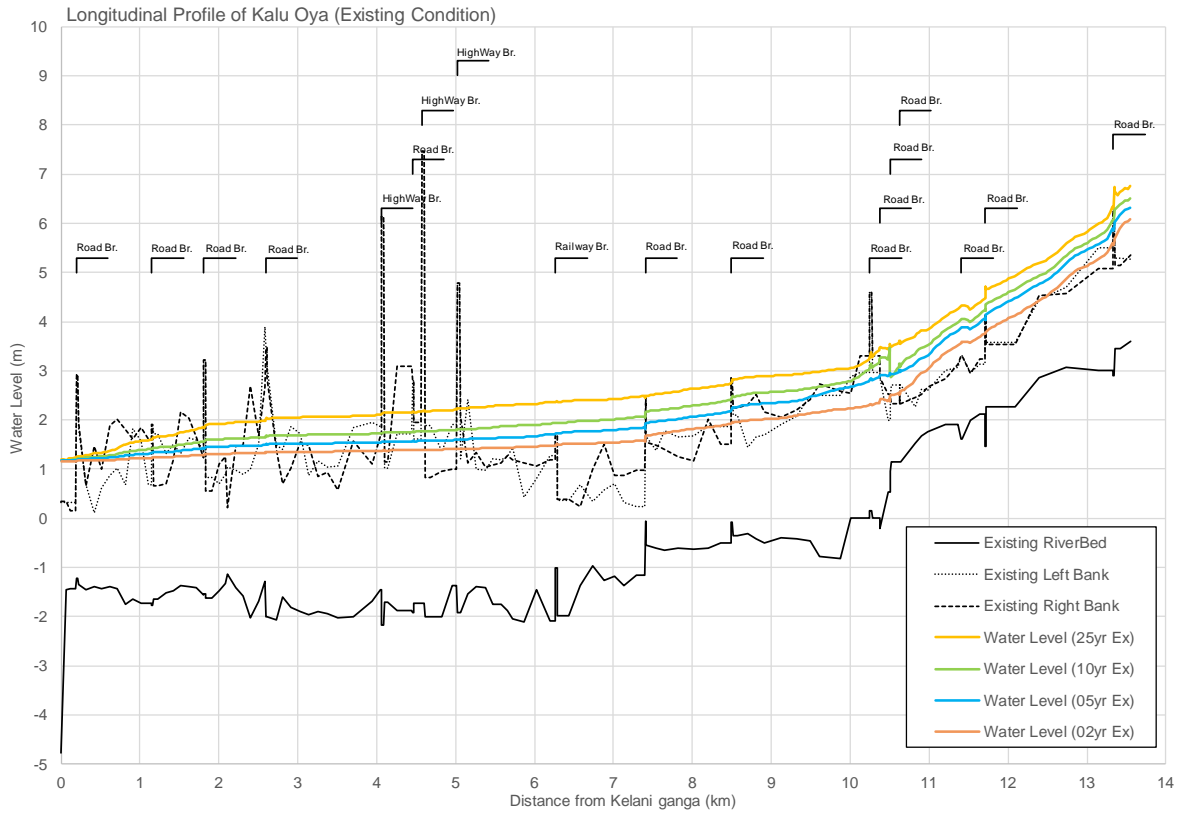


図 6.5.13(1) 確率規模別水位縦断図 (上 : KaluOya, 下 : Natha Canal) 【現況河道】

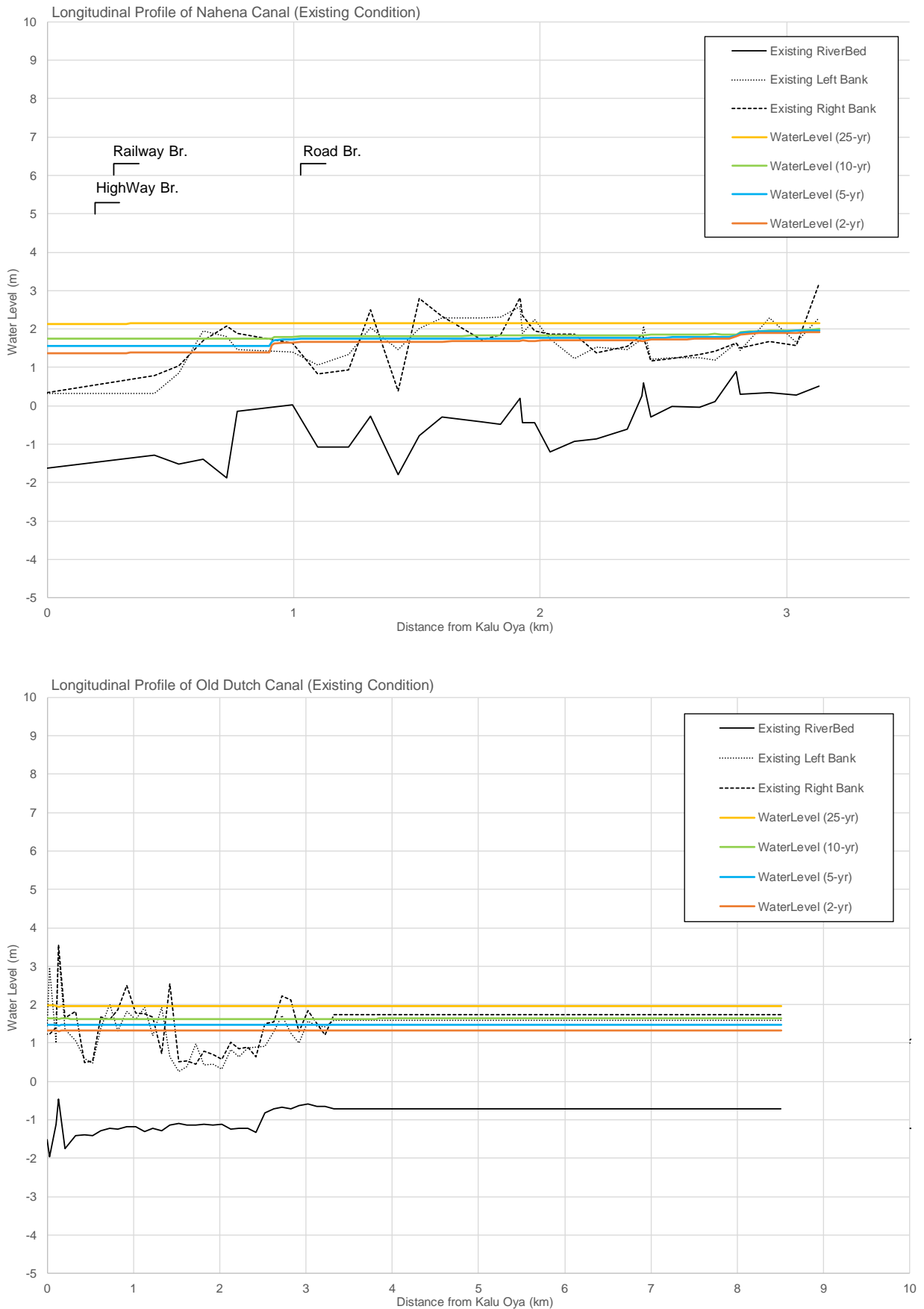


図 6.5.13(2) 確率規模別水位縦断面図 (上 : Nahena Canal, 下 : Old Dutch Canal) 【現況河道】

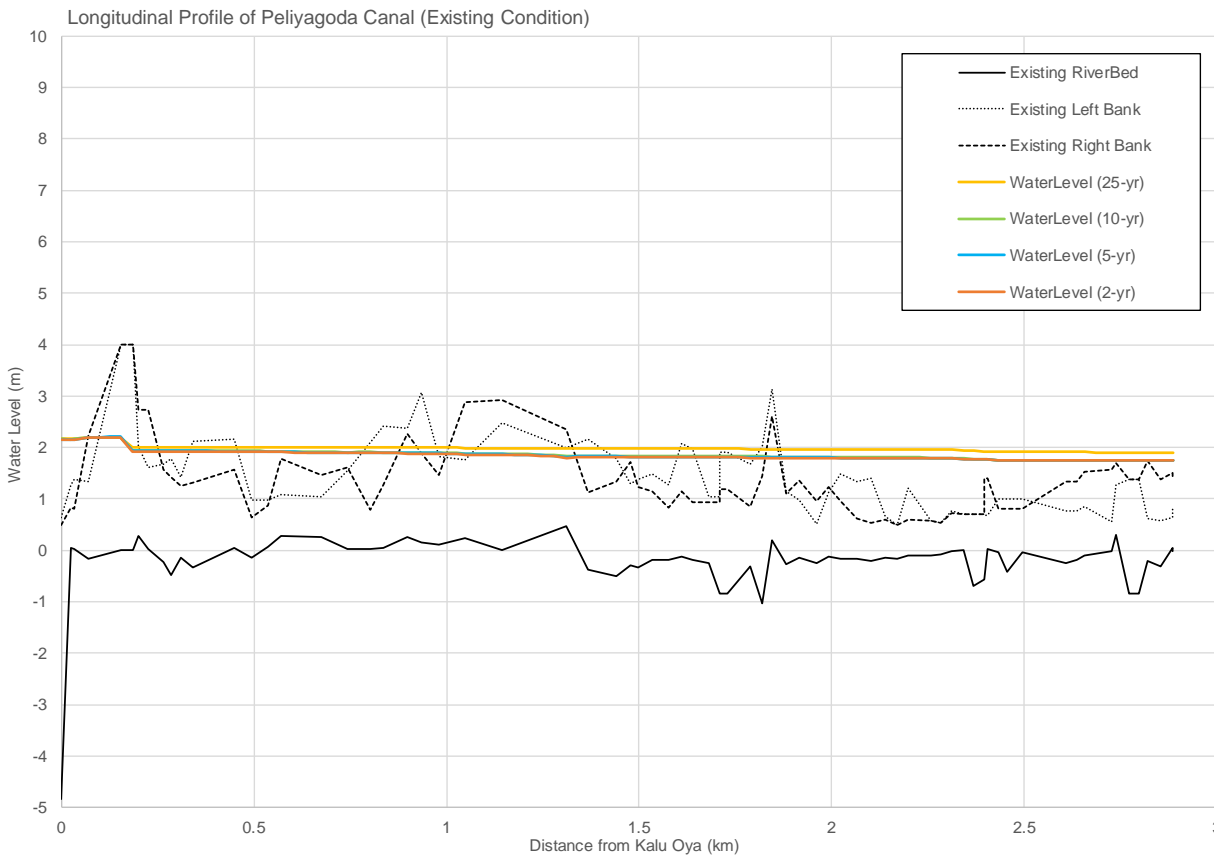
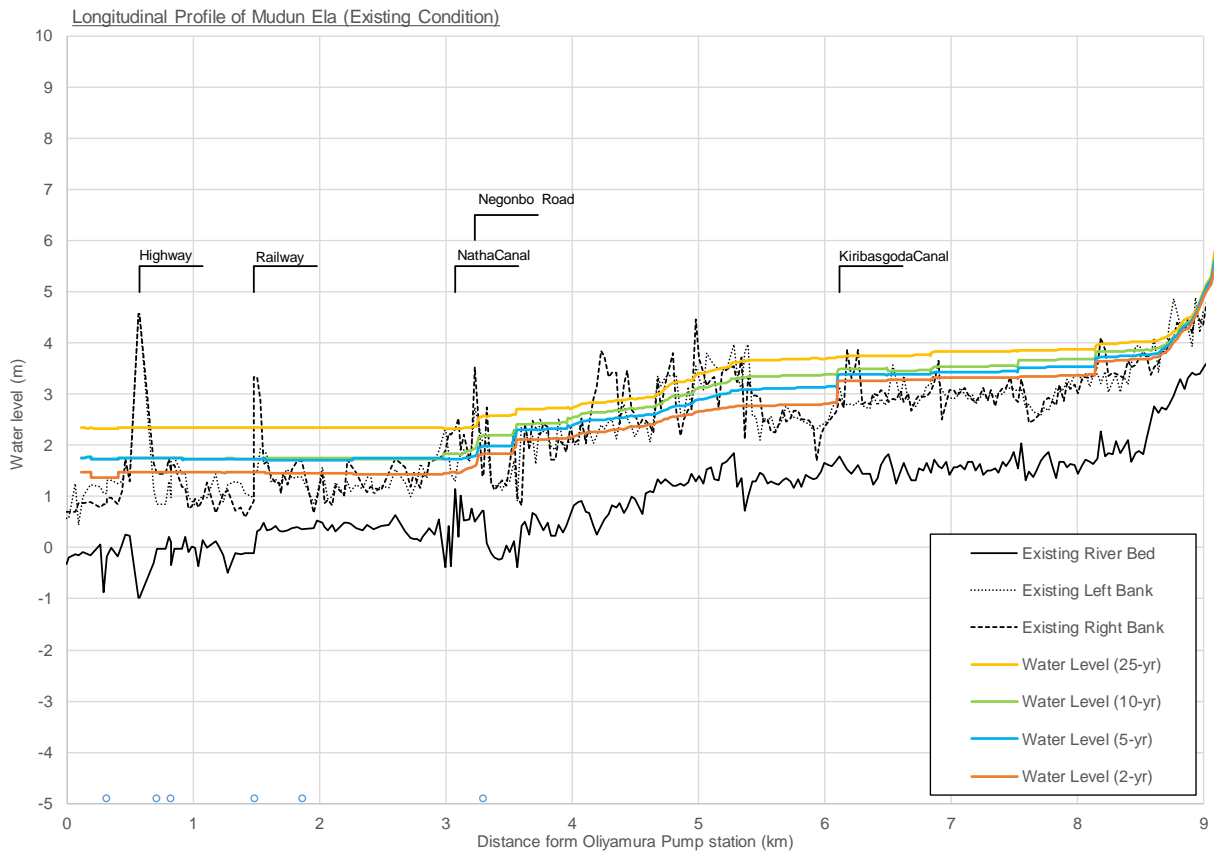


図 6.5.13(3) 確率規模別水位縦断面図 (上: Mudun Ela, 下: Peliyagoda Canal) 【現況河道】

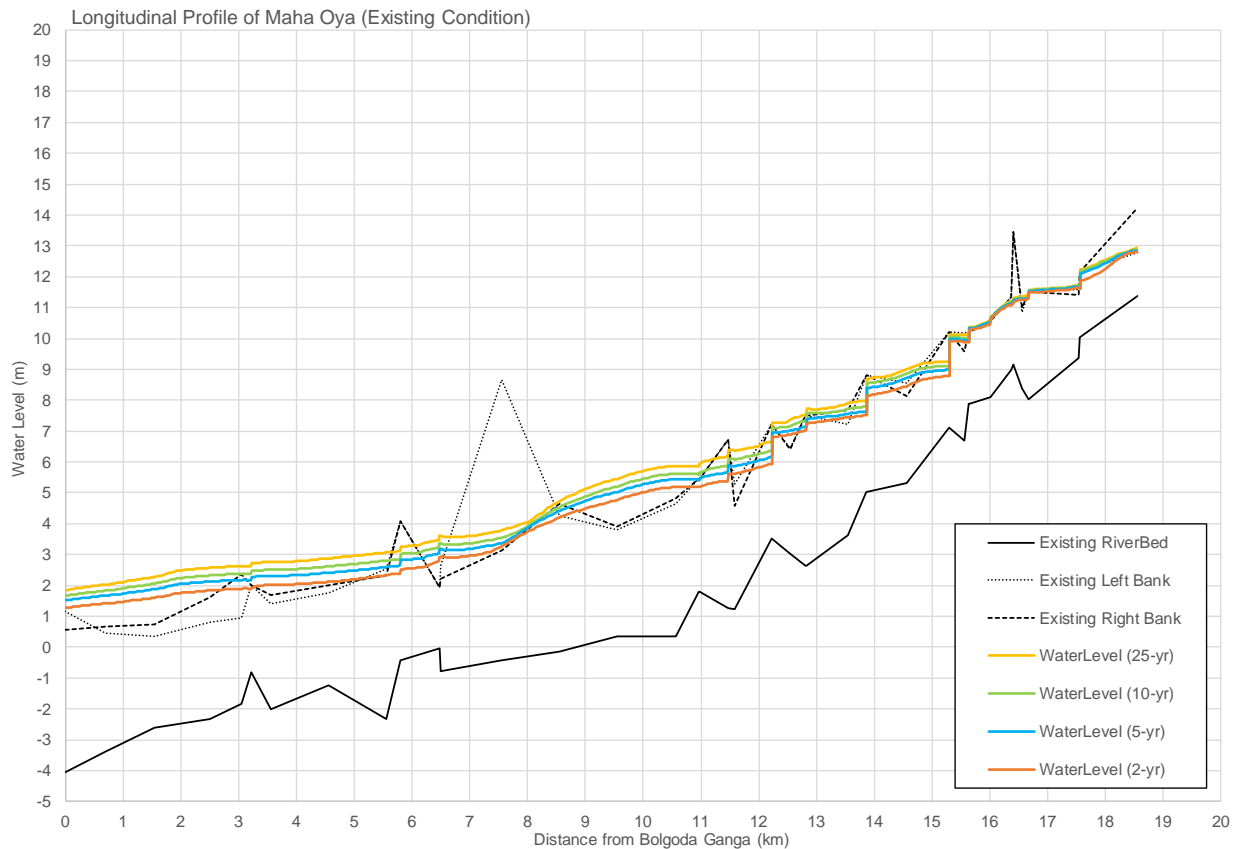
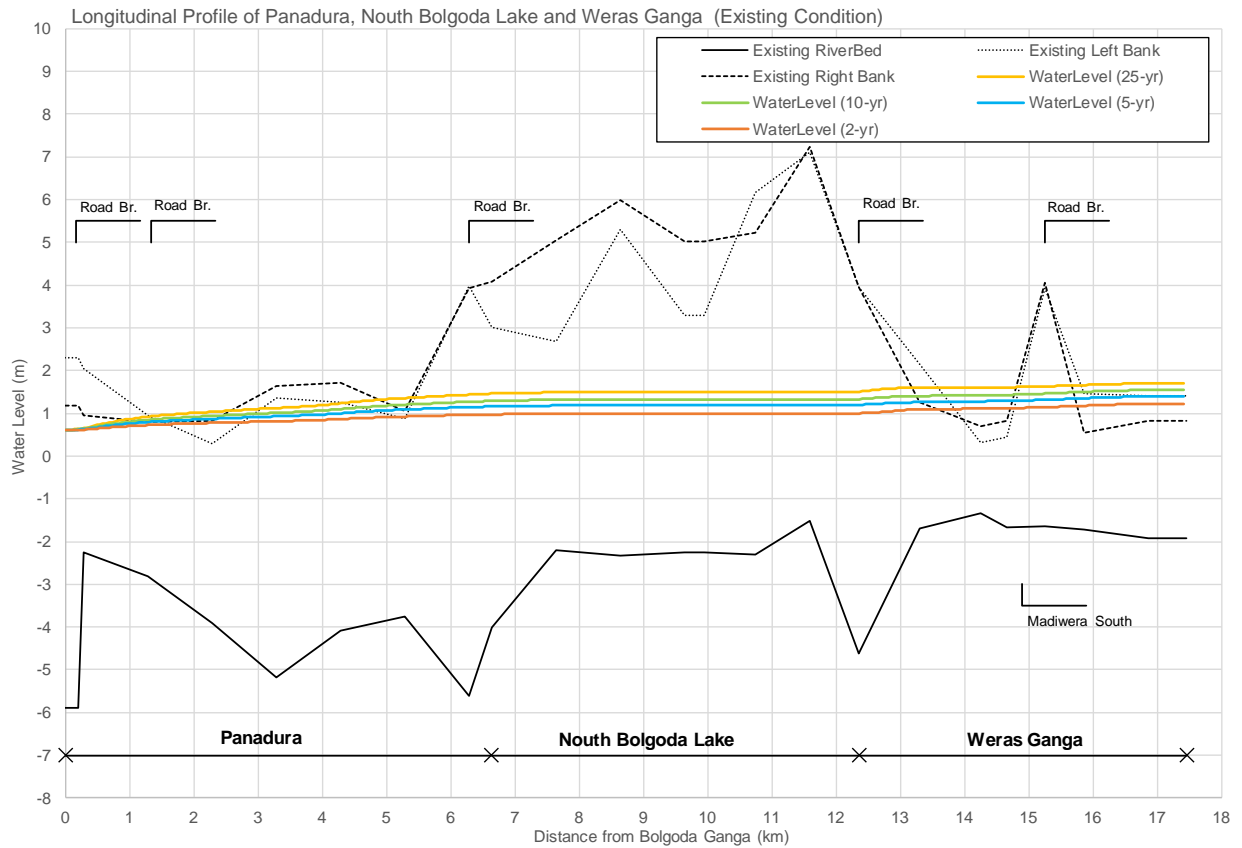


図 6.5.13(4) 確率規模別水位縦断図 (上 : Weras Ganga 他, 下 : Maha Oya) 【現況河道】

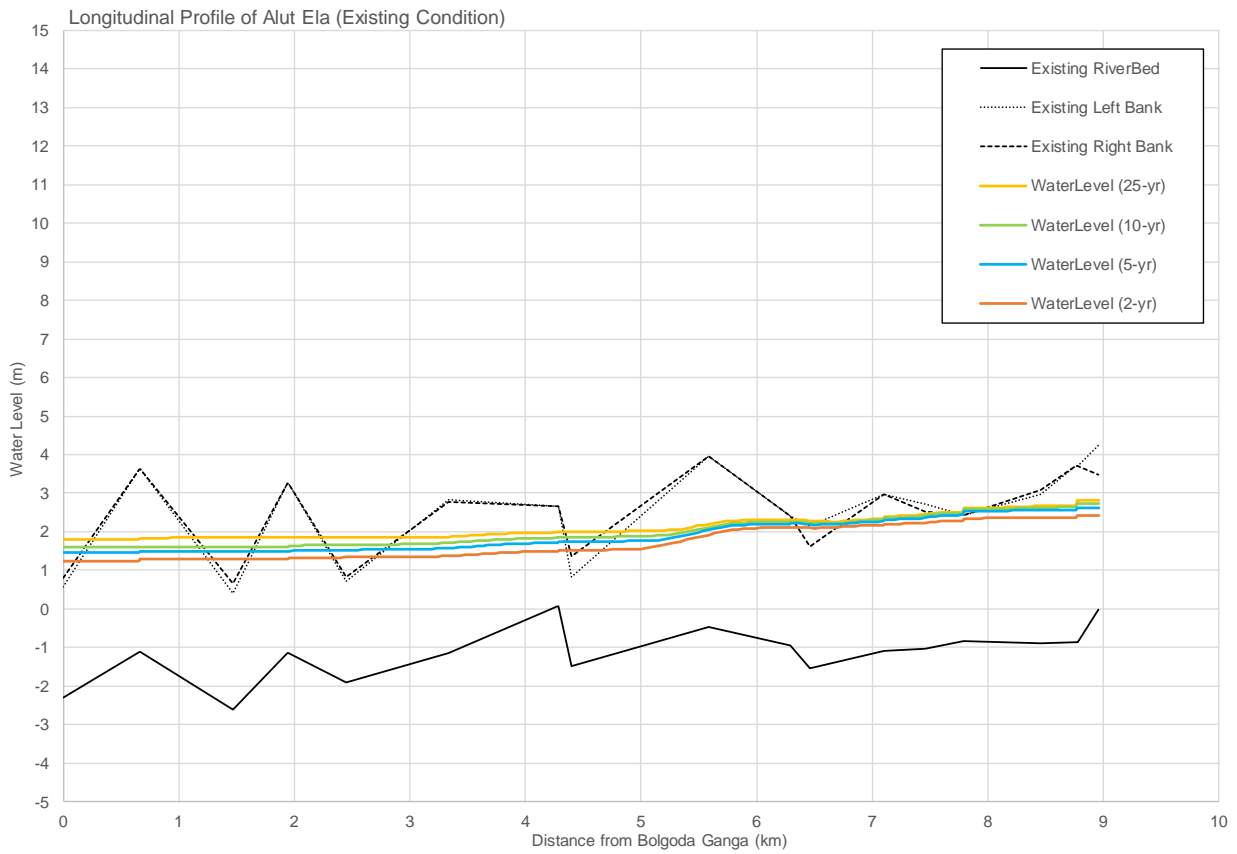


図 6.5.13(5) 確率規模別水位縦断図 (Alut Ela) 【現況河道】

6.5.5 気候変動影響評価

6.5.5.1 計算条件

構築された氾濫解析モデルを用いて、気候変動による浸水リスクの変化について検討した。検討においては、『2.8 気候変動関連情報』に示した通り、RCP4.5（温室効果ガス中位排出シナリオ）とRCP8.5（温室効果ガス高排出シナリオ）の2つに該当するSSP2-4.5およびSSP5-8.5の2シナリオに関し検証を実施することとした。増加した降雨条件および海面上昇による下流端水位条件は表 6.5.3の通りである。

表 6.5.3 気候変動の影響を加味した降雨量および下流端水位条件

シナリオ	日雨量	STA 0+000（下流端）
Existing	358.70 mm	+0.000 m
SSP2-4.5	373.33 mm (+4.1%)	+0.093 m
SSP5-8.5	367.41 mm (+2.4%)	+0.101 m

6.5.5.2 計算結果

今回、第6次 IPCC 報告の中から気候変動シナリオを参照し、日雨量で2.4～4.1%の変化、海面上昇（下流端水位）で約0.1mの変化を氾濫解析モデルに適用した。図 6.5.14 には、Kalu Oya 本川の水位縦断面図を、図 6.5.15 には想定氾濫区域図を示す。当然ながら、降雨量の増加に伴う流量増と海面上昇による下流端の水位上昇によって河川水位には上流10km以上まで影響を与え、氾濫エリアにも若干の変化を与えることがわかった。

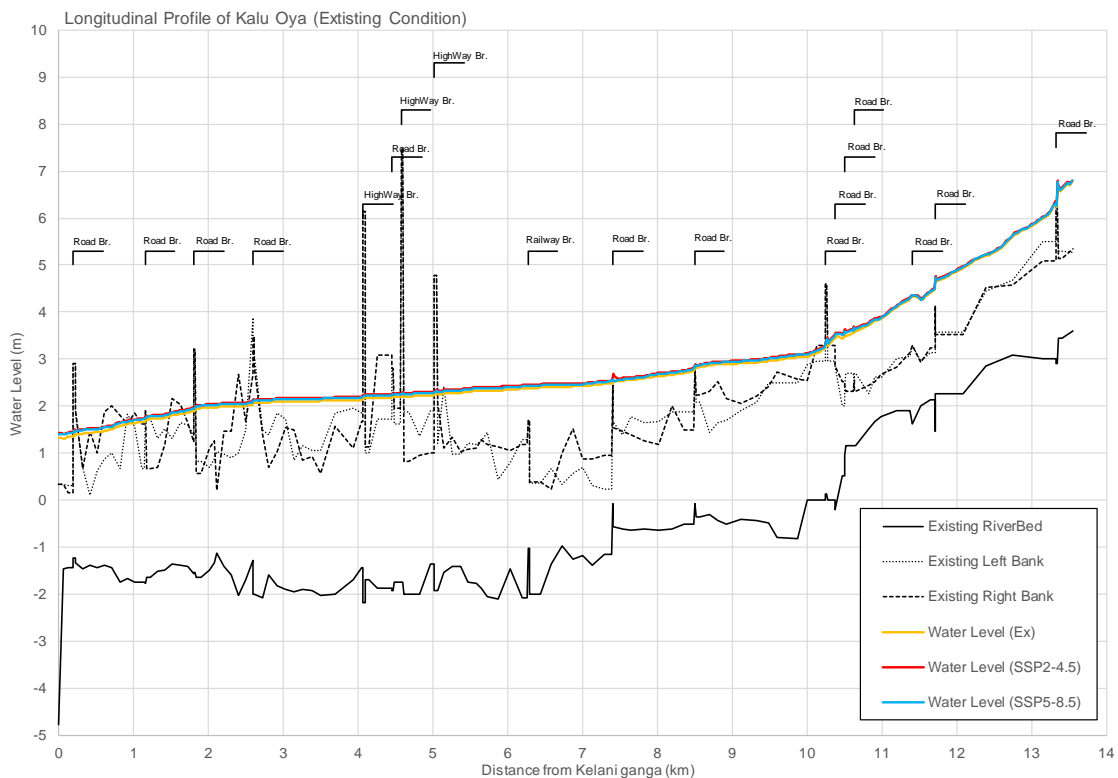


図 6.5.14 Kalu Oya 水位縦断面図

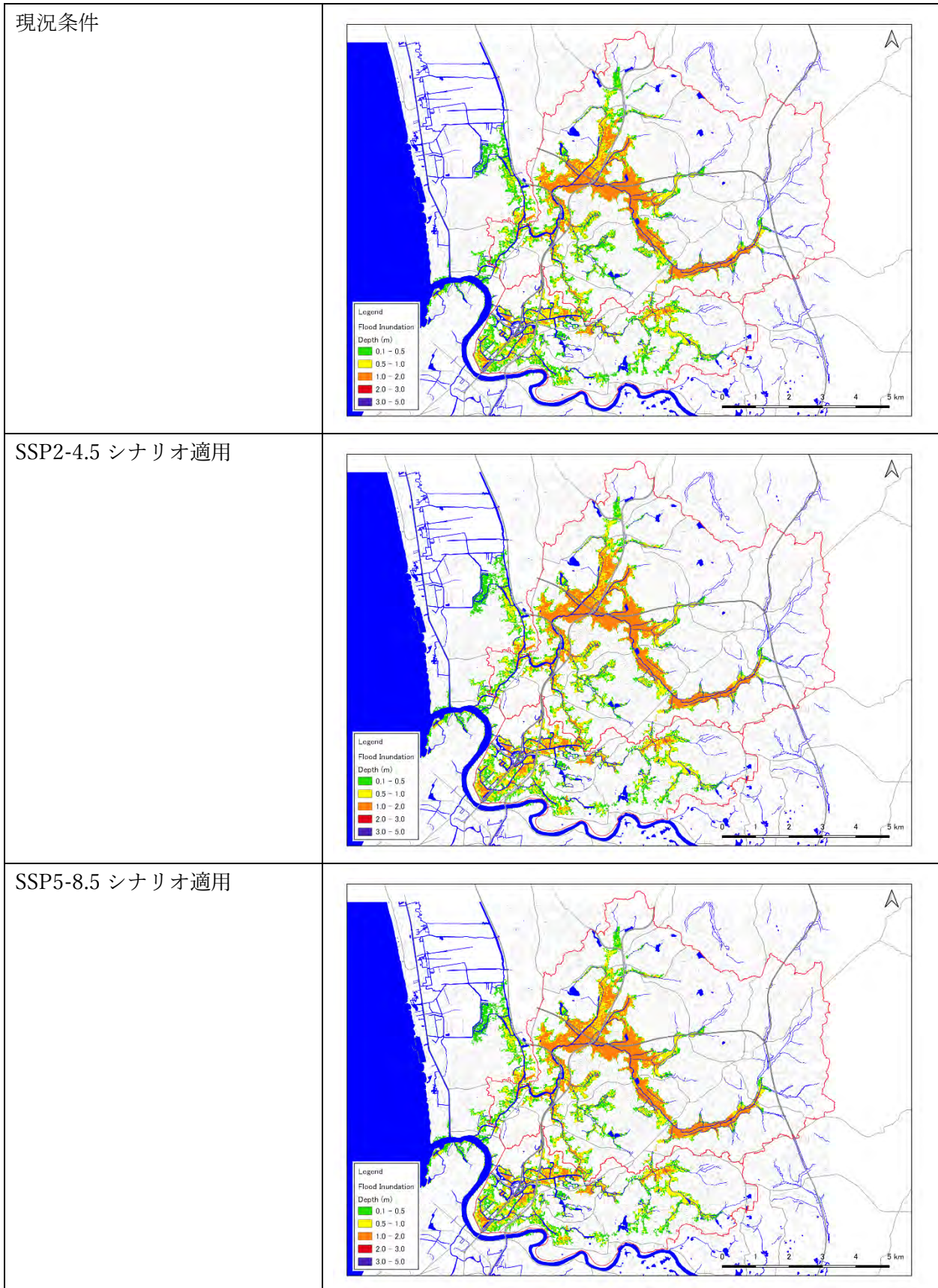


図 6.5.15 気候変動による想定氾濫エリアの変化

6.6 雨水排水対策案の検討

6.6.1 雨水排水整備方針

6.6.1.1 Kalu Oya 流域の整備方針

(1) 既往調査 (2018F/S) における対策工の見直し方針

既往調査 (2018F/S) における単独の対策工による効果には大きな違いがあり、既往調査で提案された対策工の見直し方針を以下の通り整理した。

1) Widening of Channel Constriction (12 bridges and culverts)

橋梁およびカルバートの改修は、改修の必須項目であるが、表 6.6.1 に示すように流域の 15 地点での水位低減効果は 0 m~0.48 m となり、また広域な効果は期待できず、構造物上流の局所浸水対策といえる。

JICA 2003 M/P においては、同対策は考慮されていない。鉄道橋は近い将来始まる鉄道の電化工事の際に必要な改修諸元を SLLDC から関係所管へ提言すべきである。本調査では、2018 F/S を踏襲した上で排水の改修区間に合わせて橋梁およびカルバートの改修に必要な諸元を整理するとともに提言として取りまとめる。

2) Upstream Tank Improvement (Kapua and Paralanda reservoirs)

上流部のため池に治水機能を付加する本改修は下流の局所浸水には有効である。JICA 2003 M/P においては、同対策は考慮されていない。本調査では、2018F/S を踏襲し、局所浸水対策メニューの一つとして必要箇所の見直しを行う。

3) Kalu Oya Improvement, Natha Canal Improvement, Nahena Canal Improvement

Kalu Oya Improvement を最優先として、Kalu Oya の支川の Natha Canal と Nahena Canal の改善は Kalu Oya 流域の対策案として極めて有効である。JICA 2003 M/P においても、Kalu Oya の改修 (5km) が対策メニューとして提案されている。本調査では、2018F/S を参考として改修が必要な対象水路および改修区間、改修諸元の見直し検討を行う。

4) Old Dutch Canal Improvement

Old Dutch Canal の改修は、図 6.6.2 に示す Muthurajawela 放水路の放流先として改修するものである。しかし、この放水路案は、JICA 2003 M/P において技術的・社会的な問題を指摘され、さらには 2018F/S ではルートの変更を行っているが、技術的かつ社会的な課題が残っている。そのため、本調査では、Old Dutch Canal への新たな接続 (放水) ルートを踏まえた上で Old Dutch Canal 改修の見直し検討を行う。

5) Muthurajawela Diversion

Muthurajawela 放水路は、JICA 2003 M/P で検討対象とされたが、放水路ルートが Colombo Katunayake Expressway と Negombo-Colombo Road が交差する地点を通り、社会的影響かつ技術的な困難性のため棄却された。再び 2018F/S で取り上げられたが、Express 沿いの家屋移転と Negombo-Colombo Road のアンダーパス施工の困難さが考えられる。しかしながら、放水路による流量低減は有効な対策案と期待されることから、本調査では、新たな接続 (放水) ルート

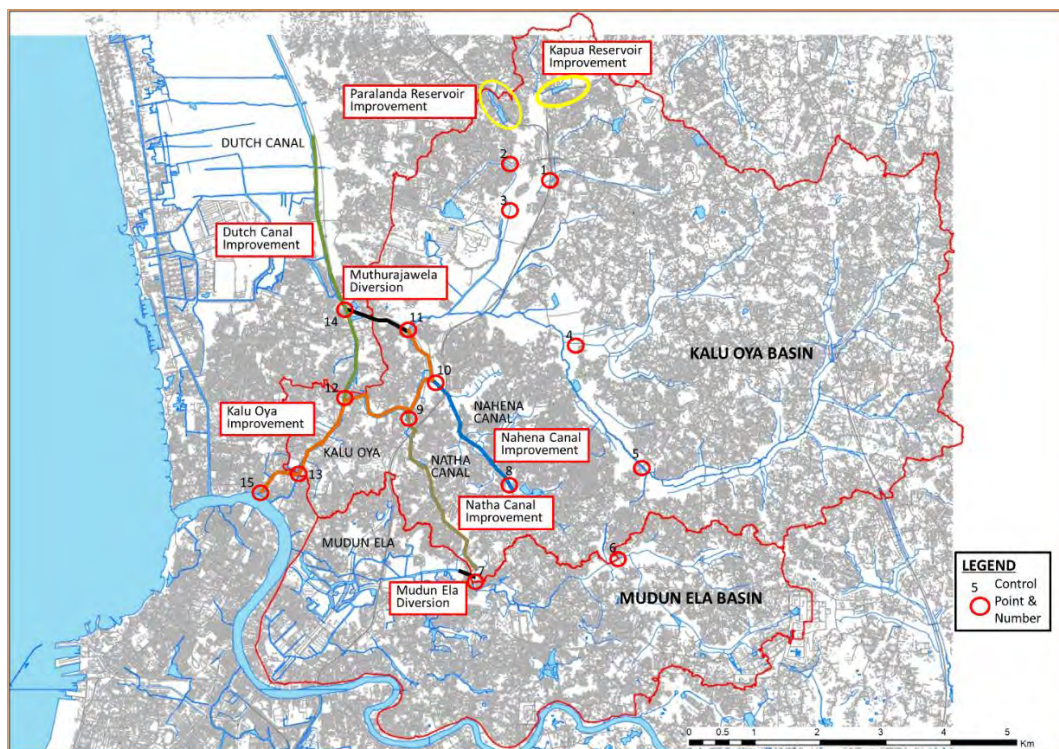
を見直し検討する。

6) Mudun Ela Diversion

2018F/S では、表 6.6.1 に示すように流域内の 3 地点で水位低減効果が得られており、連結水路の改修による流域変更は治水効果を有している。JICA 2003 M/P では考慮されていないが、本調査では、2018F/S を踏襲し、連結水路の拡幅と流域分断のために必要な Natha Canal への流下を止める締切堤ないしゲートの諸元の見直し検討を行う。

7) Hekitta Pumping Station

Kalu Oya が流入する Kelani Ganga の背水影響を考慮する必要があり、JICA 2003 M/P および 2018F/S とともに、ポンプ排水案が検討されている。しかしながら、その効果を得るためには調節地が必要であるが、下流部には十分な用地を取得することが困難なためポンプ規模を 100 m³/s 程度に設定する必要がある。このような社会的・経済的視点から、JICA 2003 M/P と 2018F/S とともに棄却されている。しかしながら、本調査時点では、CLIP (WB) において流入先の Kelani Ganga の治水計画検討が実施されており、同計画から得られた Kelani Ganga の水位条件を踏まえて Kalu Oya の計画高水位を見直し検討する必要があるため、ポンプ排水案を含めた合流点処理方法についても見直し検討を行う。



出典：JICA 調査チーム作成（下記資料に基づく）
Storm Water Drainage and Environment Improvement Project for Kalu Oya Basin-Feasibility Study, SMEC, 2018

図 6.6.1 2018F/S で提案された対策案の位置図（再掲）

表 6.6.1 各代替案単独での水位低減効果 (対象洪水: 1/25 確率)

Control Point Number	Countermeasures Ground Elevation (m MSL)	No Action (25-yr)	Widening of channel constriction (bridges and culverts)	Upstream tank improvement (Kapua & Paralanda)	Kalu Oya improvement (B=45 m, L=5km)	Old Dutch Canal improvement (B=30 m, L=5km)	Natha Canal Improvement (B=15 m, L=3.2 km)	Nahena Canal Improvement (B=15 m, L=3.0 km)	Diversion to Muthurajawela (to Old Dutch Canal)	Diversion to Mudun Ela (Decreasing catchment of Natha Canal)	Pumping at Hekitta (Rivermouth)
1	3	3.17	2.85 (-0.32)	3.18(0.01)	3.16(-0.01)	3.16(-0.01)	3.17(0)	3.17(0)	3.16(-0.01)	3.17(0)	3.17(0)
2	3.5	2.86	2.86(0)	2.85(-0.01)	2.68(-0.18)	2.84(-0.02)	2.88(0.02)	2.90(0.04)	2.74(-0.12)	2.85(-0.01)	2.85(-0.01)
3	2	2.85	2.85(0)	2.85(0)	2.67(-0.18)	2.84(-0.01)	2.87(0.02)	2.90(0.05)	2.74(-0.11)	2.85(0)	2.85(0)
4	2	2.90	2.90(0)	2.90(0)	2.85(-0.05)	2.89(-0.01)	2.91(0.01)	2.94(0.04)	2.86(-0.04)	2.88(-0.02)	2.89(-0.01)
5	2.5	3.46	3.46(0)	3.46(0)	3.46(0)	3.46(0)	3.46(0)	3.46(0)	3.46(0)	3.46(0)	3.46(0)
6	4	3.71	3.71(0)	3.68(-0.03)	3.71(0)	3.71(0)	3.71(0)	3.71(0)	3.71(0)	3.68(-0.03)	3.71(0)
7	1.5	2.42	1.94(-0.48)	2.30(-0.12)	2.22(-0.20)	2.26(-0.16)	2.07(-0.35)	2.32(-0.10)	2.32(-0.10)	1.63(-0.79)	2.30(-0.12)
8	2	2.58	2.58(0)	2.59(0.01)	2.52(-0.06)	2.57(-0.01)	2.59(0.01)	2.44(-0.14)	2.57(-0.01)	1.99(-0.59)	2.58(0)
9	1.5	2.35	2.18(-0.17)	2.27(-0.08)	1.94(-0.41)	2.15(-0.20)	2.13(-0.22)	2.28(-0.07)	2.28(-0.07)	2.27(-0.08)	2.26(-0.09)
10	2	2.45	2.38(-0.07)	2.43(-0.02)	2.10(-0.35)	2.36(-0.09)	2.37(-0.07)	2.44(-0.01)	2.35(-0.10)	2.42(-0.03)	2.42(-0.03)
11	2.5	2.84	2.83(-0.01)	2.83(-0.01)	2.63(-0.21)	2.82(-0.02)	2.86(0.02)	2.88(0.04)	2.71(-0.13)	2.83(-0.01)	2.83(-0.01)
12	2	2.17	2.00(-0.17)	2.09(-0.08)	1.75(-0.42)	1.86(-0.31)	1.96(-0.21)	2.09(-0.08)	2.22(0.05)	2.09(-0.08)	2.06(-0.11)
13	1.5	1.88	1.73(-0.15)	1.82(-0.06)	1.59(-0.29)	1.60(-0.28)	1.73(-0.15)	1.83(-0.05)	1.90(0.02)	1.83(-0.05)	1.72(-0.16)
14	1.3	1.97	1.76(-0.21)	1.84(-0.13)	1.54(-0.43)	1.62(-0.35)	1.73(-0.23)	1.84(-0.13)	2.34(0.37)	1.84(-0.13)	1.81(-0.16)
15	0.55	1.59	1.50(-0.09)	1.54(-0.05)	1.45(-0.14)	1.45(-0.14)	1.50(-0.09)	1.56(-0.03)	1.60(0.01)	1.56(-0.03)	1.39(0.20)

出典: Storm Water Drainage and Environment Improvement Project for Kalu Oya Basin-Feasibility Study, SMEC, 2018

Number in parentheses is a difference of water level from the one in no action case.

Most effective alternatives showing the lowest water level at each key location

表 6.6.2 各代替案単独での水位低減効果 (対象洪水: 1/25)

Countermeasures Evaluation Parameters	Widening of channel constriction	Upstream tank improvement (Kapua and Paralanda)	Kalu Oya improvement (B=45 m, L=5km)	Old Dutch Canal improvement (B=30 m, L=5km)	Natha Canal Improvement (B=15 m, L=3.2 km)	Nahena Canal Improvement (B=15 m, L=3.0 km)	Diversion to Muthurajawela (to Old Dutch Canal)	Diversion to Mudun Ela (Decreasing catchment of Natha Canal)	Pumping at Hekitta (Rivermouth)
Major Construction Item	Widening of openings of 12 bridges and culverts	2 reservoirs: dredging & outlet structural improvement	Channeling including slope protection works and dredging	Channeling including slope protection works and dredging	Channeling including slope protection works and dredging	Channeling including slope protection works and dredging	Channeling and diversion tunnel	Connection channel widening	Closing gate and pumping station
Effects Measures	Limitation of extent in effect	Suitable measures for local flooding	Widely extensive effects	Effects depending on diverting location	Insignificant effects due to backwater of Kalu Oya	Insignificant effects due to backwater of Kalu Oya	Insignificant effects due to hydraulic limitation	Significant effects along Natha canal	Significant effects limited around rivermouth
Measure's Cost	High	Low	High	High	High	High	High and technically difficult	Low	High and high OM cost
Adverse Impacts	Minimal	Minimal	Some houses to be resettled	Some houses to be resettled	Some houses to be resettled	Some houses to be resettled	Many houses to be resettled	Minimal	Many houses to be resettled
Construction Period	Medium	Short	Long	Long	Long	Long	Medium	Short	Medium
Measures Selected in Optimum Plan	Selected	Selected	Selected	Selected	Selected	Selected	Selected	Selected	Excluded
Candidates of Measures for this M/P	Basic candidates	Much more effective reservoir to be selected	Basic candidates	Basic candidates	Basic candidates	Basic candidates	Alternative route to examine through hydraulic simulation	Basic candidates	Gate alternative to be examined

出典: 「Storm Water Drainage and Environment Improvement Project for Kalu Oya Basin-Feasibility Study, SMEC, 2018」を基に調査チームが作成

(2) Kalu Oya 流域における対策案の立案

既往計画 JICA 2003 M/P および 2018F/S において提案された対策工を参考としながら本調査で検討する Kalu Oya 流域の対策案を以下の通り整理した。これらの対策の適切な組み合わせと事業実施手順を検討し、対象流域の全体的な対策方針である長期計画の事業（治水安全度 50 年確率規模）と 2030 年までに実施する中期計画の事業（治水安全度 25 年確率）を立案する。

表 6.6.3 Kalu Oya 流域対策工

No	Measure	Specification
(K1)	Kalu Oya Improvement	Channel widening and dredging (L=5.1 km W=30-40 m)
(K2)	Natha Canal Improvement	Channel widening and dredging (L=0.5 km W=15-20 m)
(K3)	Mudun Ela Flood way	Channel widening and dredging (L=0.3 km W=15 m) New Gate Structure
(K4)	Old Dutch Canal Improvement	Channel widening and dredging (L=5.0 km W=30-40 m) Flood diversion channel (L=0.4 km W=30m)
(K5)	Natural Wetland park	6 location (A=245.1 ha, L=28.8 km (outer perimeter))
(K6)	Tank Improvement	4 location (A=8.4 ha, V=126,900 m ³)
(K7)	Kalu Oya Gate Structure and Pumping station	1 unit (Capacity 35.0m ³ /s)
(K8)	Upper Kalu Oya Retarding Basin	Retarding Basin Dredging A=13.6 ha Depth=2.0m

※No は、図 6.6.6 に対応

出典：調査チーム

1) Kalu Oya 改修 (K1)

Kalani Ganga 合流点より CKE との最後の交差までの約 5km 区間の改修で、これは JICA 2003 M/P、2018F/S ともに主軸となる対策となっている。今回の検討では、Kalani Ganga 合流点処理方式として自然流下案とポンプ排水案の水理的機能を比較する。ポンプ排水案はすでに JICA 2003 M/P では費用便益の低さから、2018F/S でも同様に規模が大きくなり非効率なることから棄却されている。しかし、将来的に 50 年確率対応の整備にグレードアップするためには、Kelani Ganga からの背水の影響を減殺するゲートの設置とポンプ場の計画は不可欠となると考えられる。ゲートの設置とポンプ場の整備時期としては、Kelani Ganga 本川で 50 年確率対応の改修を優先的に実施するため、その後と考えられる。また、Kalu Oya 改修が約 5 km に及ぶことから、完成までには期間を要するため、4) の Old Dutch Canal 改修は、Kalu Oya 改修後に次のステップとして実施するなど、対策工の実施手順についても提案する。

2) Natha 水路改修 (K2)

2018F/S で提案された対策工であり、Natha 水路の合流点から鉄道交差までの約 0.5km 区間の改修を行う。同水路の改修は、Kalu Oya 本川ならびに下流への負担を考慮し、1) の Kalu Oya 本川整備が完了の後に実施することを提案する。

3) Mudun Ela 放水路 (K3)

Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域は、Natha Canal の連結水路を通じて接続しており、Natha Canal の中上流部の流量の一部は Mudun Ela 流域に流入しており、水位差によって逆流（Mudun Ela 流域から Kalu Oya 流域への流入）も発生する状況にある。2018F/S で提案された対策工であるが、具体的な記述はなされていない。今回の検討で現地確認した結果、現存する灌漑用と思われる連結部分のゲート（老朽化して機能していない）を取り除き、Colombo-Kandy 道路の交差までの改修と Natha 水路への分岐個所に締切工の設置を提案する。対策工として、この連結水路の拡幅と Natha Canal への流下を止める締切堤ないしゲートが必要である。これによって、雨水排水処理上、次のような利点が生じる。なお、同放水路の改修時期は、本 M/P で提案する Mudun Ela 本川の水路改修完了後の実施が適切である。

- ・ 現在 Mudun Ela 最下流で 35 m³/s の排水能力を有する Oliyamulla ポンプ場を建設中であり、この Mudun Ela 放水路は、Kalu Oya の洪水の一部をこの新規ポンプの能力を活用して処理する絶好の対策と言える。
- ・ Kalu Oya 流域にしても、Natha Canal 中上流部を Mudun Ela に流域変更することは、洪水の負荷を減らす意味でも大きな意味がある。



図 6.6.2 Mudun Ela Diversion の改修概要

4) Old Dutch Canal 改修および放水路 (K4)

Old Dutch Canal の改修は、図 6.6.3 に示す Muthurajawela 放水路の放流先として改修するものである。しかし、本調査ではこの放水路案は、JICA 2003 M/P において技術的・社会的な問題を指摘され、さらには 2018F/S ではルートの変更を行っているが、技術的かつ社会的な課題は残るため、Old Dutch Canal への新たな接続（放水）ルートを検討する。これと併せて、Kalu Oya 改修に引き続き、Old Dutch Canal の改修が必要となる。

前述のように、Muthurajawela 放水路は、JICA 2003 M/P で検討対象とされたが、放水路ルートが Colombo Katunayake Expressway と Negombo Colombo Road が交差する地点を通り、社会的影響かつ技術的な困難性のため棄却された。再び 2018F/S で取り上げられたが、Express 沿いの家

屋移転と Negombo-Colombo Road のアンダーパスの困難さが考えられるため、本検討では次図のような他の障害物のないルートを提案する。すでに分岐水路が存在するが、ほとんど流下能力がなく、これを 400 m にわたって改修して分派量を増やし、Old Dutch Canal に放流し、最終的には Muthurajawela 湿地に放流する案である。これについては、水理的な自然分派量の算出が極めて重要であるため、シミュレーション結果によって妥当性を検討する。

この効果が明らかとなれば、従来から JICA 2003 M/P と 2018F/S で提案している Muthurajawera 放水路の代替として提案する。工法的には、開水路方式をとる放水路であり、区間も 400 m と短く、既設の水路の拡幅という利点がある。水理的に分派が可能であれば、この放水路案が優位に立つと考えられ、水理的な検討のみで優劣を判断する。なお、Old Dutch Canal は放水路に接続して、Muthurajawera 湿地に接続している既存水路の改修を提案する。



図 6.6.3 Dutch Canal Diversion の新ルート（本調査で提案）

以上の水路改修と放水路建設に関して、これらの組合せとその水理効果を 2018F/S レポートに掲載されているシミュレーション結果を参考にして整理したものが次図であるが、この結果から下記のようなことが分かる。

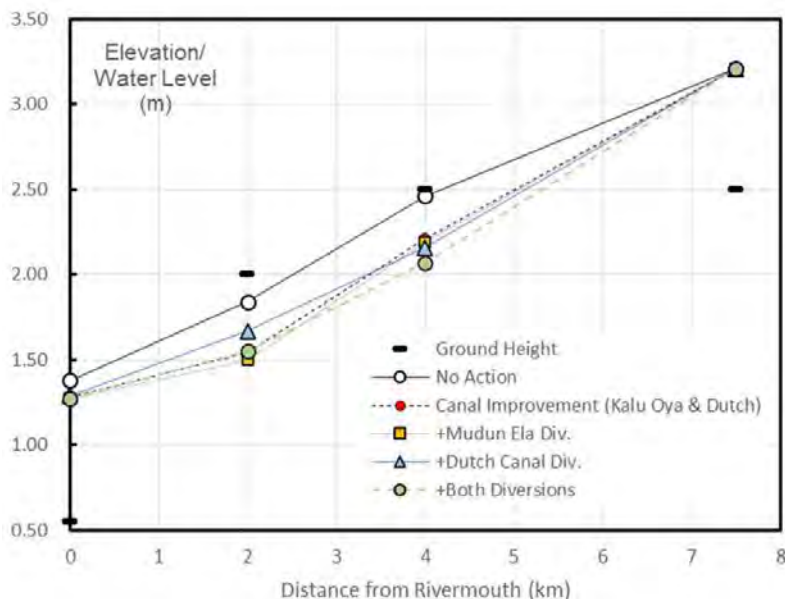


図 6.6.4 水路改修と放水路の組合せによる水理的効果（10年確率洪水対応）

- ・ 背後地地盤高を併せてプロットしているが、上流の遊水機能が各ケースには考慮されており、湿地による自然遊水機能のみ（No Action のケース）では堤内地盤高から見た洪水水位は安全とはいえ、水路改修が必要である。
- ・ Kalu Oya では河口から概ね 5 km 区間が主たる改修対象となるため、この区間の洪水水位を低下させるためには、水路改修に加えて、Old Dutch Canal および Mudun Ela への放水路建設が不可欠の対策工と考えられる。

5) 自然湿地公園の整備 (K5)

Kalu Oya 流域において、2003年にJICAにより実施されたM/Pおよび2018年にSLLDCの独自資金により欧米のコンサルタント（SMECおよびDeltares）により実施されたF/Sの両者を見ると、提案された対策は類似している。水路改修と放水路を主体とする構造的対策と、湿地と水田の遊水効果に期待し、これらを保全対象とした非構造的対策である。こうした構造的対策と非構造的対策の効果量を氾濫シミュレーション結果から整理すると次のようである。Kalu Oyaの基準点をNegombo道路との交差点に定めると、現況河道における2年確率洪水は次のように表される。

- ・ 全流出量（氾濫無し） : 120 m³/s
- ・ 河道処理流量 : 25 m³/s (21%)
- ・ 上流水田による低減 : 40 m³/s (33%)
- ・ 中流湿地による低減 : 55 m³/s (46%)

シミュレーションの結果、現況河道は流量換算にして79%を上流の水田、中流の湿地の遊水機能に依存しており、水路の流下能力はわずかに21%に相当している。いわば下流河道の治水安全度が中上流部の遊水機能に依存している構造であるが、この構造を壊してしまうと一気に下流河道の治水安全度が下がり、浸水リスクが高まる恐れがある。これを踏まえて、下流部の市街地における河道拡幅の困難性をも考慮に入れると、構造的対策による安全度向上には限界があり、

上中流部の低湿地の保全策を考えながら、総合的な雨水排水計画を立案することが肝要と考える。

こうした湿地の保全による遊水機能の確保は JICA 2003 M/P および 2018F/S でも提案されている方策である。水路改修により治水安全度を高めることが第一義であるが、この実現には時間と事業費の投入を要するため、現在有している遊水機能を将来的にも担保できるような方策として、現在の湿地を保全するために自然湿地公園の整備を行うことを提案する。つまり、本対策は遊水機能の“増強”ではなく、“維持”が目的であり、他の構造物対策と並行して実施することを基本とする。具体的には次のような方法で計画する。

- ・ 湿地部分を 0.5m 程度の高さ、天端幅 3 m 程度の小堤で囲み、通常は付近住民にジョギングや散歩道として活用してもらう。
- ・ 水理シミュレーションに基づく、2 から 10 年確率程度の洪水をこの区域で小堤内に貯留し洪水を緩和させながら流下させることが出来る。さらに大きな外力対しては、小堤は水没するため、自然遊水機能を発揮する。
- ・ さらに小堤は、2 から 10 年確率の中小規模な洪水に対して、周辺住宅地・建物を洪水浸水から防護するための地域の防災堤的役割も期待できる。

6) 上流部の灌漑用ため池 Tank の活用 (K6)

Kalu Oya 流域上流部には、灌漑用のため池 (Tank) が設置されている。下流の水田が耕作をやめたため、用水補給の目的が消滅し、放流施設も老朽化している。これらの池を治水目的に改良していく動きが SLLDC にあり、2018F/S でも改良を提案している。流域内のため池の中で用水補給目的が終了したと考えられるため池は、次の図表に示す 4 基である。

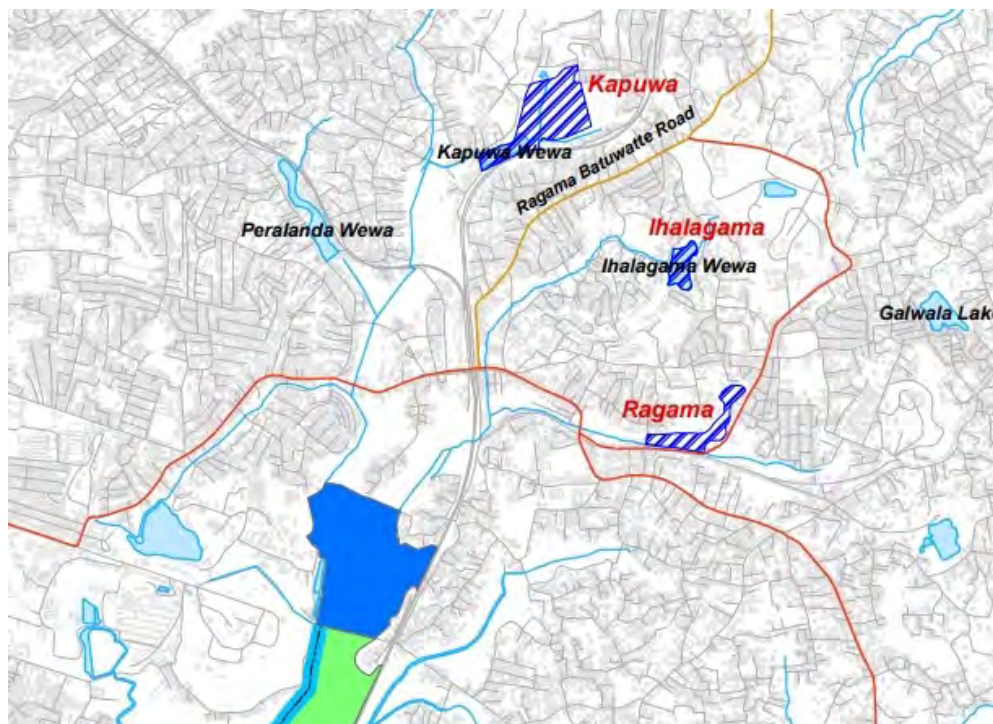


図 6.6.5 Kalu Oya 支川上流域の灌漑目的を終えた農業用ため池

表 6.6.4 Kalu Oya 支川上流域の灌漑目的を終えた農業用ため池

名称	池面積(ha)	概算容量 (1,000m ³)	備考
Ihalagama	1.8	27.6	改修効果有
Kapua	1.7	25.2	改修効果有
Paralanda	2.5	38.1	改修効果小 (集水面積小)
Ragama	2.4	36.0	改修効果有

出典：JICA 調査チーム

4つのため池のうち、集水域が比較的大きく、貯水池も掘削等により容量を拡大できる池は 1) Kapuwa、2) Iharagama、3) Ragama の3つであり、洪水調節用の改修は、洪水調節効果が地域的に限定されるものの、局所的な浸水防除対策としては有効であるため整備を提案する。なお、改修の際には、次の点に留意すべきである。

- ・ 現在の Tank の貯水面を可能な限り拡張し、さらに容量を拡大するために掘削する。
- ・ 水文水理解析をもとに放流施設および洪水吐きを計画整備する。
- ・ 堤体が土堤のため、非常時の越水破堤を想定し、その防止策を施す。

6.6.1.2 Mudun Ela 流域の整備方針

(1) Mudun Ela 流域における対策案の立案

Mudun Ela 流域は、JICA 2003 M/P や 2018F/S の対象から外れており、今回の検討が初めての計画提案である。かつての灌漑水路網であったようで、排水路が網状に張り巡らされており、この中から整備すべき主排水幹線を特定し、次に二次排水路を定めて、対策工を検討した。Mudun Ela 流域の対策案を以下の通り整理した。

表 6.6.5 Mudun Ela 流域対策工

No	Measure	Specification
(M1)	Mudun Ela Improvement	Channel widening and dredging (L=3.1 km W=20 m)
(M2)	Peliyadoga Canal Improvement	Channel widening and dredging (L=2.8 km W=15-20 m)
(M3)	Peliyadoga Pumping Station	1 unit (Capacity 1.0m ³ /s)
(M4)	New Gate Structure	1 location
(M5)	Upper Mudun Ela Improvement	Channel dredging (L=3.0km)
(M6)	Upper Mudun Ela Retarding Basin	Retarding Basin Dredging A=17.0ha Depth=2.0m
(M7)	Additional New Pumping Station	2 location (1 unit)
(M8)	Natural Wetland Park	2 location (A=71.3 ha, L=16.9 km (outer perimeter))

※No は、図 6.6.6 に対応

出典：調査チーム

1) 主排水幹線の改修 (M1)

現在建設中の Oliyamulla ポンプ場から Colombo-Kandy 道路の交差までの 3.1 km 区間を改修す

る。対象区間の流下能力増強を図ることによって、容量 35 m³/s ポンプの建設後の十全な機能発揮を図る。これにより、改修区間上流からの流量を効率的に排水することが可能となる。

2) Peliyagoda 二次排水路の改修 (M2)

既設 Peliyagoda ポンプ場に接続する二次排水路の浚渫を行い、この水路をポンプ場の調整池として活用する。

3) Peliyagoda ポンプ場の改修 (M3)

既設の Peliyagoda ポンプ場は、0.5 m³/s の吐出量で老朽化している施設である。氾濫シミュレーションでも現況水路で 5 年確率以上で水路沿いに氾濫が生じている。これを解消するために Peliyagoda ポンプ場を改修し吐出能力を 0.5m³/s から 1.0m³/s に増強する。

4) 締切ゲートの設置 (M4)

流域を明瞭に分割し流向を確定するため、2カ所に締切施設(切堤ないしゲート)を設置する。

- ・ 図 6.6.6 に示す Kalu Oya 流域の Mudun Ela 放水路で示した Natha 水路へ接続する個所に締切ゲートを設置する。
- ・ Peliyagoda ポンプ場に続く二次排水路の上流 Naranmini Oya 水路の勾配変化点に締切ゲートを設置し、Peliyagoda 排水路への負荷を軽減させる。

5) Mudun Ela 上流水路の掘削 (M5)

Colombo-Kandy 道路交差から上流に向けて掘削し、計画遊水地地点までの水路を掘削形成による流下能力の増強によって、遊水地からの排水の自然流下を可能とする。掘削形成される河床高は遊水地の排水ゲート敷高を限度とする。

6) Mudun Ela 上流遊水地の建設 (M6)

Mudun Ela 上流遊水地を建設し、5)の Mudun Ela 上流水路の掘削の対象区間において想定される拡幅を伴うような大規模な河川改修の代替施設とする。この Mudun Ela 上流遊水地は、Kalu Oya 流域も含めた地域の遊水地モデル事業として建設する。

7) 局所浸水対策としての小規模ポンプ場の設置 (M7)

Kelani Ganga 沿いの Pethiyagoda 地区、Shiharamulla 地区の 2ヶ所の低地部については局所的な浸水常習地区になっているが、密集市街地であることから抜本的な水路改修には限界があるため、ポンプ排水施設の設置が SLLDC から提案された。これを本調査における計画のひとつに位置付ける。ポンプの吐出先は Kelani Ganga である。

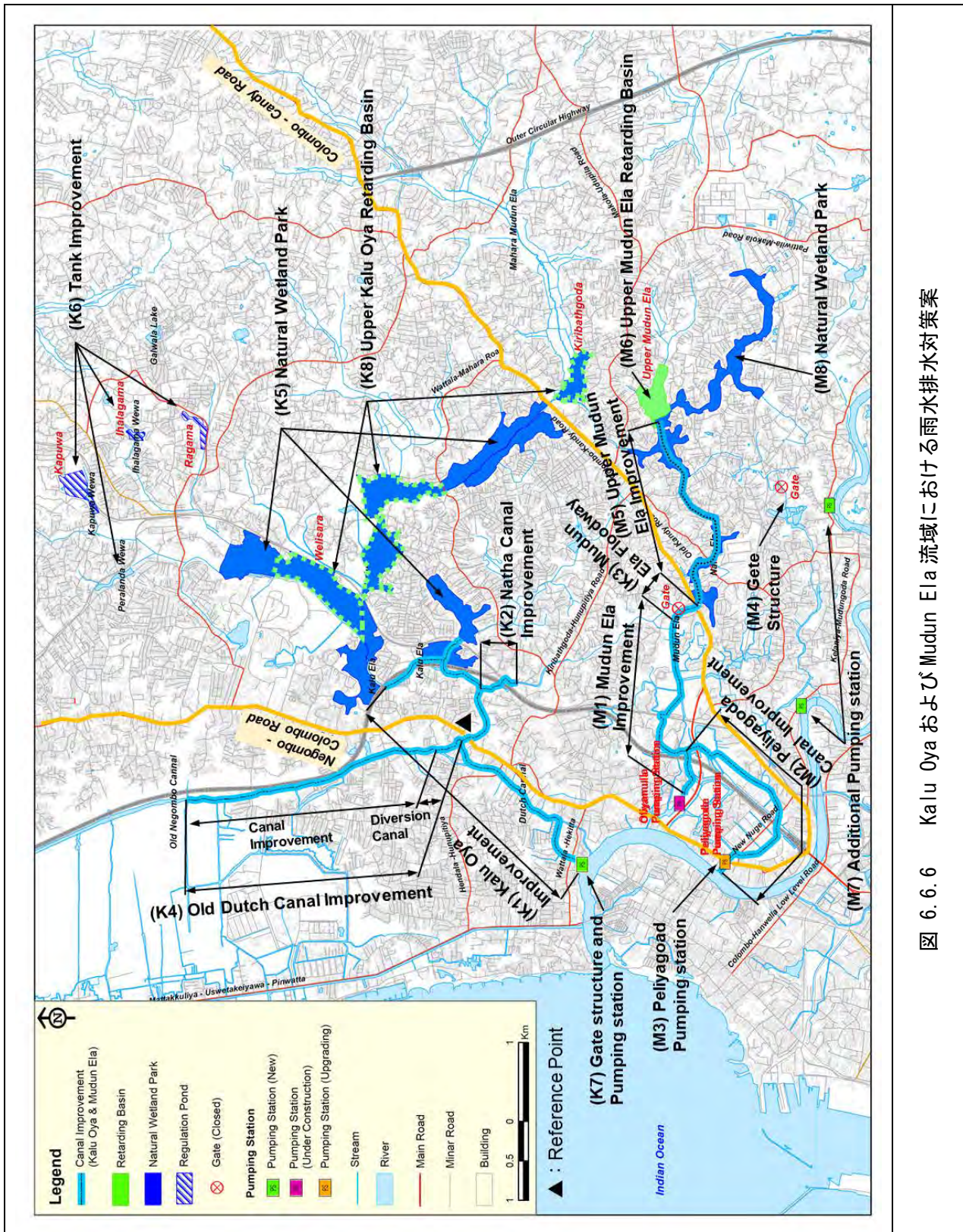


図 6.6.6 Kalu Oya および Mudun Ela 流域における雨水排水対策案

(2) Mudun Ela 流域におけるその他の対策（参考）

1) Mudun Ela 流域における開発計画

MudunEla 流域の最西部のエリアは、高速道路の出入り口およびジャンクションが位置し、公共および民間の開発事業者にとって極めて魅力的な地域であり、すでに大規模な開発地区として設定されている。洪水流量を低減するために有効だった湿地等も当然ながら開発区に含まれている。C/P である SLLDC は、図 6.6.7 に示した都市開発部局が示す開発計画の現状を踏まえて独自に雨水排水計画を検討している状況である。

SLLDC は、幹線水路、2次支川に関わらず、地先の浸水被害（いわゆるローカルフラッド）も軽減し、効率的な排水を行うための「3次水路の改修」および「2つの新規ポンプ施設」等を提案している。これらの対策案は、SLLDC が今後実施していく事業としても明確にリストアップされており、調査チームの提案と SLLDC の事業方針を整合させる必要がある。

急激な開発による流出率の増加に対応するため、JICA チームが提案する対策に加えて、この SLLDC の提案事業を積極的に実施していくことも肝要である。

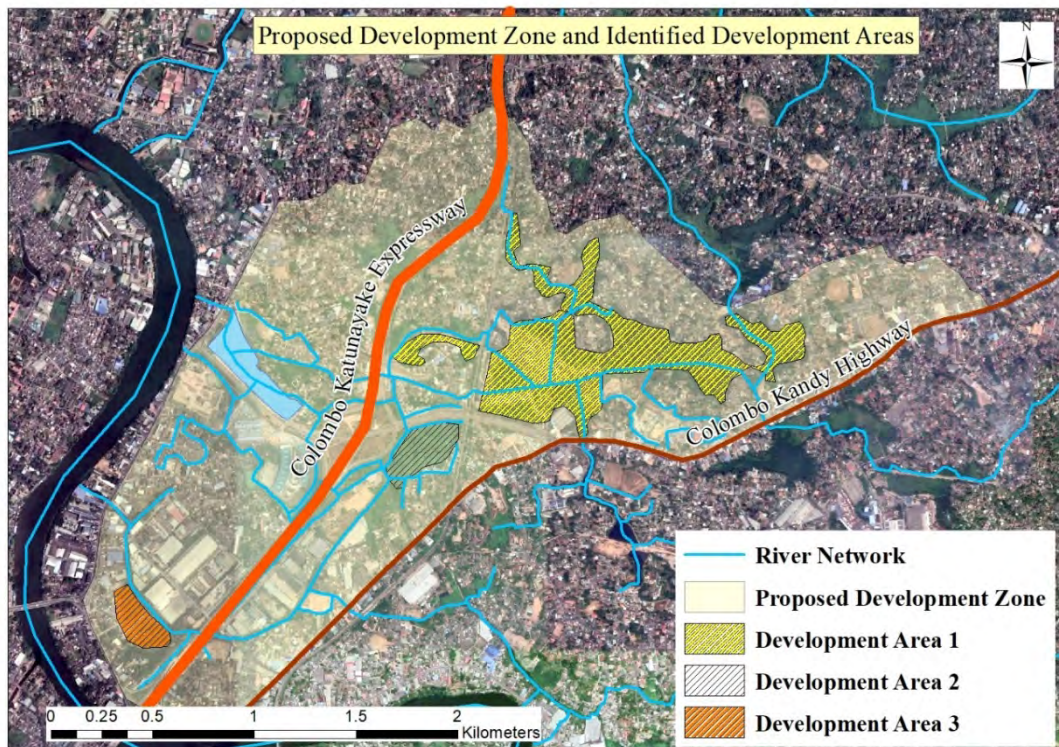


図 6.6.7 Mudun Ela 流域における開発計画の範囲

2) SLLDC が示す対策案リスト

SLLDC によって提案されている Mudun Ela 流域の対策案のリストおよび位置図を表 6.6.6、図 6.6.8 に示す。JICA 調査チームは、Mudun Ela 流域における幹線水路および 2 次水路を対象として対策案を示している。一方 SLLDC は、いわゆる 3 次水路も含めて対策案を提案しており、特に南側の Kelani Ganga 流域に近い、Naranmini Oya の改修とその周辺の排水を担う 2 つのポンプ施設を提案している。

表 6.6.6 Mudun Ela 流域における SLLDC が示す対策案

SLLDC 対策案	JICA チームが提案した対策案との関連	備考
(1)MudunEla 改修	Mudun Ela 排水幹線水路改修 [M1] Mudun Ela 放水路 [K3]	
(2)Peliyagoda 改修	Peliyagoda 二次水路改修 [M2]	
(3)NaranminiOya 改修	-	
(4)Koholwila 改修	-	
(5)Pethiyagoda ポンプ場	-	ポンプ新設：15 m ³ /s
(6)Koholwila ポンプ場	-	ポンプ新設：5 m ³ /s
(7)Pliyagoda ポンプ場	Peliyagoda ポンプ場の改修 [M3]	ポンプ改良：1 m ³ /s へ改良
(8)Gete Structure	締切り施設の設置 [M4] ※一部	

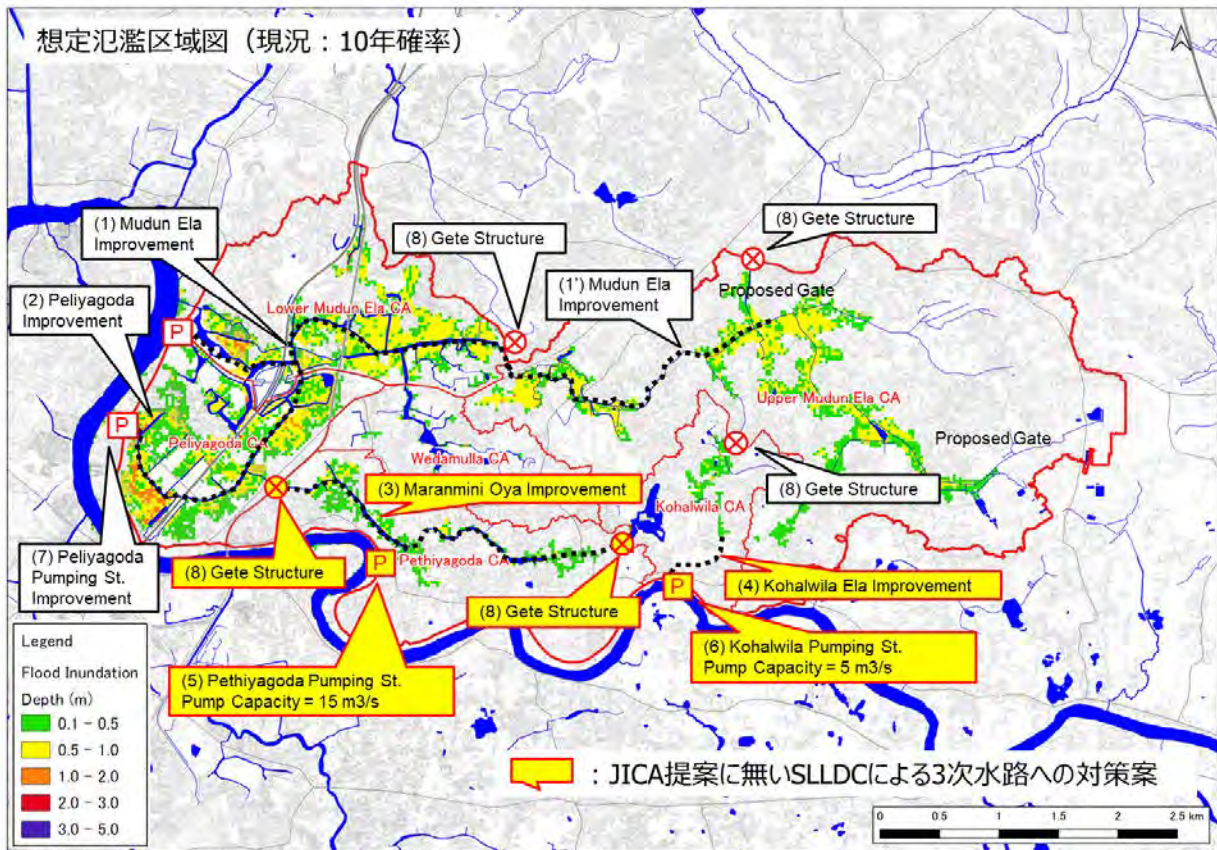


図 6.6.8 Mudun Ela 流域における SLLDC が提案する対策案

6.6.1.3 Bolgoda 流域の整備方針

(1) 対策案の検討方針

Bolgoda 流域の北部に位置する最上流部 Werass Ganga は、特に Colombo District に位置しているため、JICA 2003 M/P の F/S 対象として取り上げられ、その後 D/D を経て改修事業が進められている。しかし、その他の中南部に位置する河川については、JICA 2003 M/P の立案時点では、水田地帯ということあって、改修案が提示されていない。未だ自然河川の状況を呈している中南部の河川は、自然堤防状の高まりの間を流下している。こうした河川に通常タイプの連続堤防を計画するのは、事業費面および洪水軽減効果面の両者から見て合理性および経済性を欠いている。いずれ流域内の都市化が進み、守るべき資産が集積し、そのような改修方式も妥当性が増してくるものと思われる。したがって、本 M/P では、2030 年に想定される土地利用と 25 年確率洪水の浸水シミュレーション結果をオーバーレイさせて、宅地・市街地と浸水区域が重複する個所を抽出し、特に対策が必要な箇所について、水路の部分改修、周囲堤等の対策を提案する。

- 当該区域の流下能力不足 ⇒ 一部区間の河川改修
- 当該区域の河川からの溢水氾濫 ⇒ 一部区間の居住地区を防御する周囲堤の建設

対策箇所の抽出については Bolgoda 流域内のそれぞれの地区で、地形・土地利用状況や資産分布的にも異なる特徴を有していることから、下図に示す 14 地区（小流域）毎に特徴を把握し、地区別の想定浸水エリアおよび想定浸水家屋数の分布等の情報から洪水対策重点地区を設定し、それぞれに適した対策案を検討することとした。



図 6.6.9 Bolgoda 流域における小流域分割図

(2) 将来土地利用 (2030年)

洪水対策の立案にあたって、Bolgoda 流域の将来土地利用の概況を再整理した。

- ボルゴダ流域の主要河川沿い（低地部）は湿地や農地が広く分布している（図 6.6.10 参照）。
- 資産が集中するいわゆる土地利用区分での都市部は、北部の Weras Ganga 周辺、海岸エリア、上流部の縁部に限定されている（図 6.6.10 参照）。
- 将来的に計画されている都市開発地（工業団地）は、図 6.6.10（赤丸）に示す通り、支川の上流域に分布し、高速道路建設に伴う都市部の拡大が進行することも想定される。ただ、一方で、Bolgoda Lake 周辺はいまだ開発されるような状況にない。
- これは、Bolgoda Lake および Bolgoda Ganga 周辺は環境省によって自然保護区に設定されていることも一つの要因であり、今後も大規模な都市開発が進められるとは考えにくい。

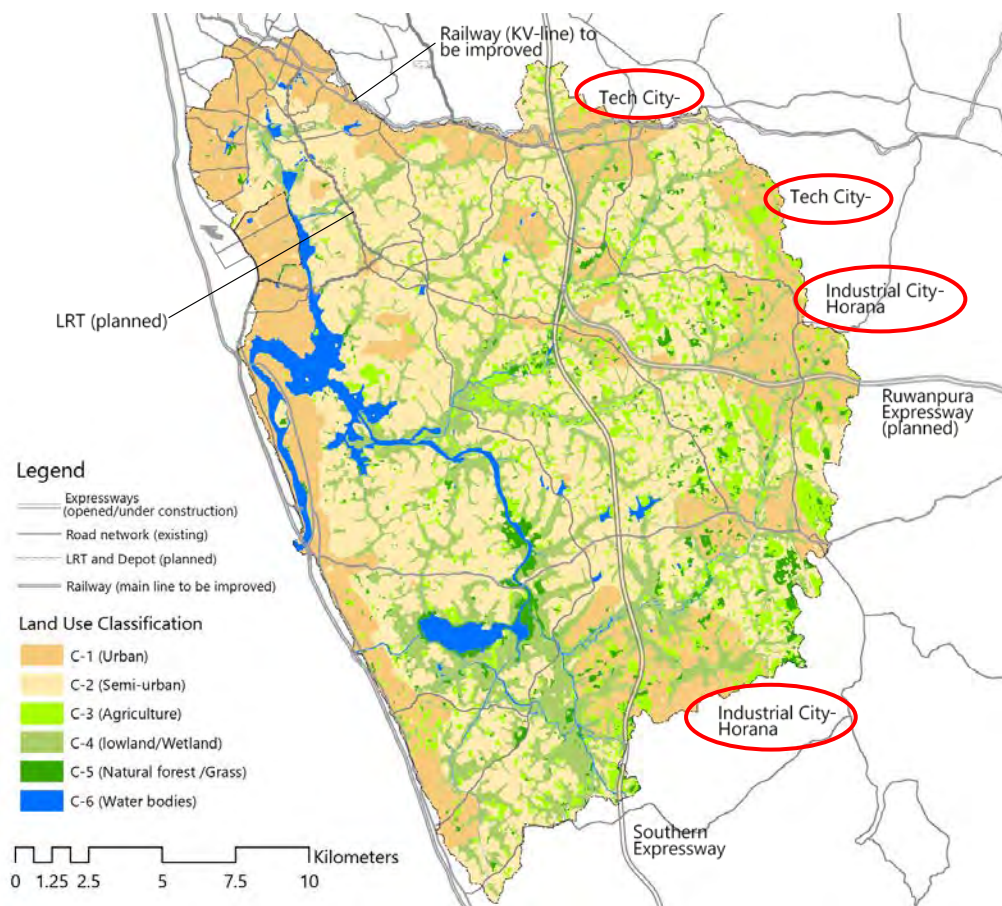


図 6.6.10 Bolgoda 流域の将来 (2030年) 土地利用パターン (再掲)

(3) 公共施設等重要施設および道路・交通状況

Bolgoda 流域の公共施設の分布は、必然的に都市自治体を有する Moratuwa-Rathmalana や Panadura 地区等に集中している。その他では、域内の主要道路沿いの比較的人口密度の多い地域に分布しており、Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域と比較して総人口は少ないものの、重要な公共施設である病院や消防署当は一定の密度で分布している。なお、大半の施設は、丘地に配置されており、低湿地が有する浸水リスクは低い。幹線道路網は、流域内の都市化の度合いにより都市化の進む Colombo District (北側) と都市化度合いの低い Kalutara District (南側) で異なる整備密度となっている。Colombo District 内では、GN 間、郡間の幹線および地区道路網が高い密度で整備されている。流域を縦断する既設の高速道路 (Southern Expressway) に接続するために、流域東部中央に Ruwanpura 高速道路が計画されている。

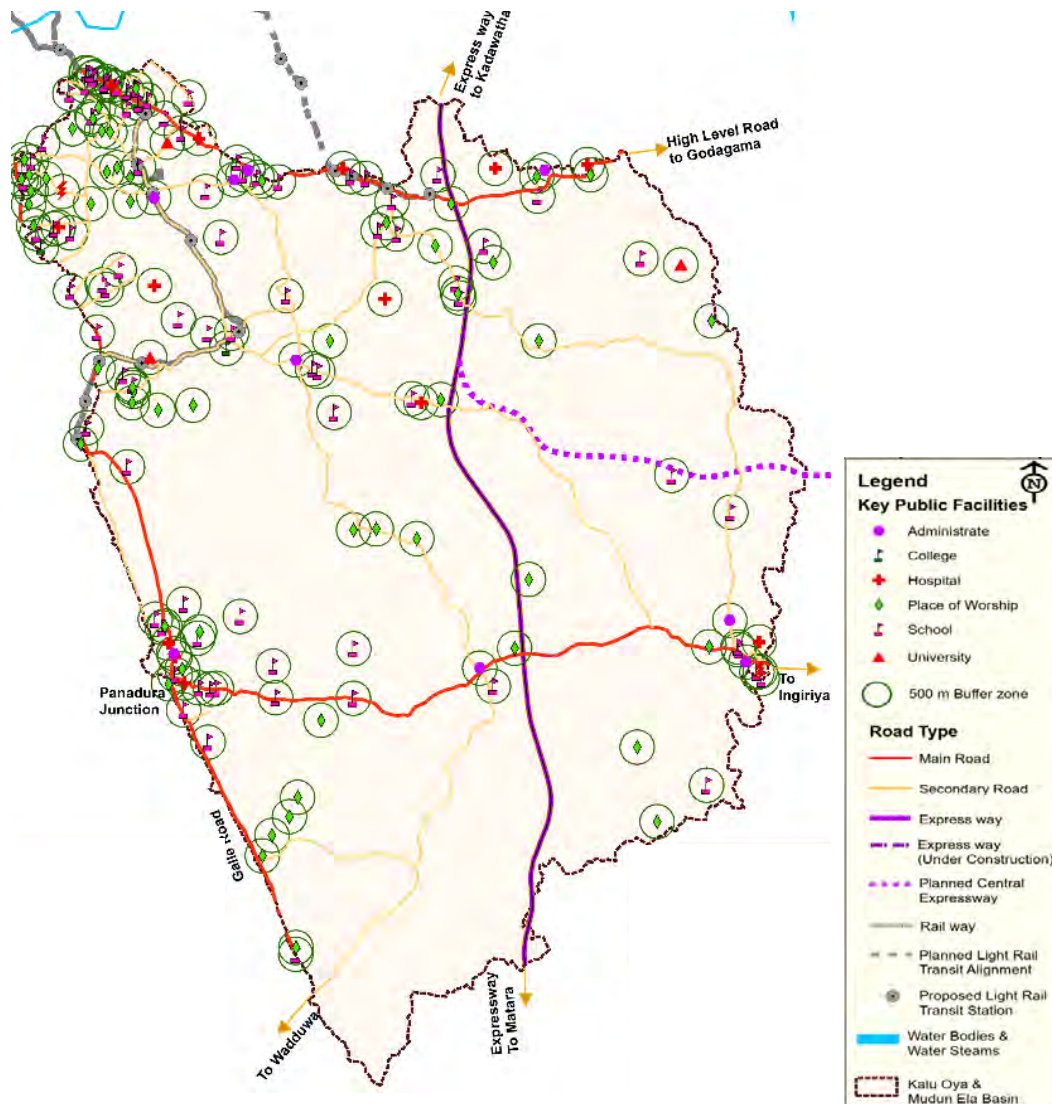


図 6.6.11 Bolgoda 流域の公共施設および主要道路交通ネットワーク (再掲)

(4) Bolgoda 流域における一般資産分布（世帯数分布）

洪水対策の立案にあたって、Bolgoda 流域の居住エリア（世帯数分布）の概況を再整理した。

- 世帯数分布から、一般資産が集中する地区は、市街地分布の傾向と同様に流域北西部の Weras Ganga 流域および Bolgoda 湖西側周辺（図 6.6.12 中の 01_Weras Ganga、13_North Bolgoda Lake、14_River Mouth）であり、20 戸/ha を超えている地域が広く分布している。（図 6.6.12 参照）。
- また、Panape Ela 下流部（図 6.6.12 中の 07_Lower Panape Ela）においても、一部で 40 戸/ha を超える地域が分布しており、同時に Panape Ela の下流河道に近接していることから、浸水した場合の被害リスクは比較的高いと言える。
- 上流域については、工業団地等の都市開発が進められているものの、世帯数は、Maha Oya 上流（支川上流を含む）、Panape Ela 上流の一部に若干みられるだけであり、一般資産が集中しているという見方はできない。

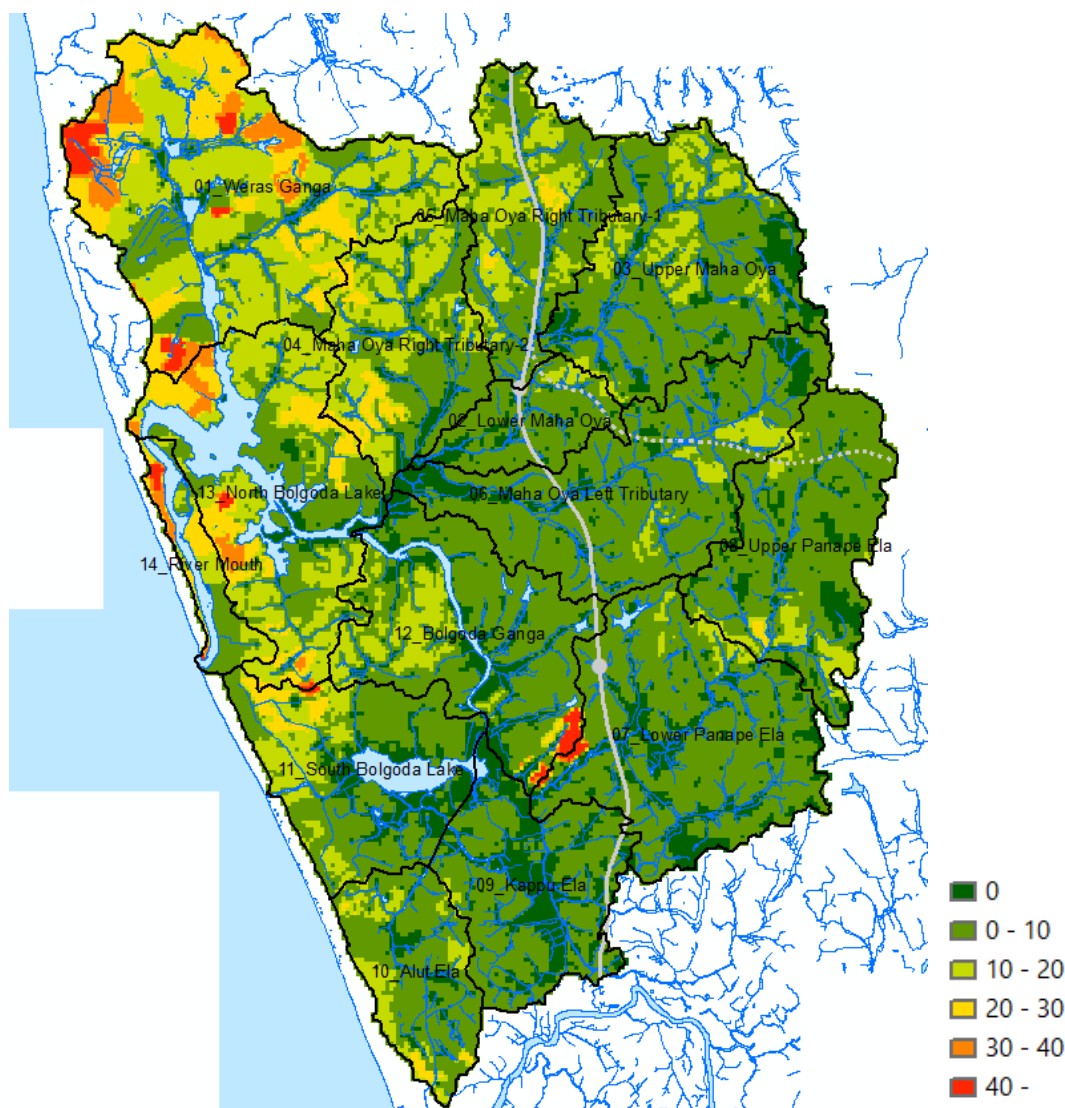


図 6.6.12 Bolgoda 流域の将来（2030 年）世帯数分布（戸/ha）

(5) 想定浸水区域と市街地分布

想定される浸水区域（25年確率）と市街地分布の重ね合わせ図を図 6.6.13 に、地区別の市街地内浸水面積を表 6.6.7 に、想定浸水家屋数を、表 6.6.8 および図 6.6.14 に示す。

- 想定浸水区域と市街地分布の重ね合わせを確認すると、分布的には Weras Ganga 流域（01_Weras Ganga）、Maha Oya 流域（02_Lower Maha Oya、03_Upper Maha Oya）、Alut Ela 流域（10_Alut Ela）において市街地の浸水が多い傾向にある。
- その他の地区は、主に湿地・農地の縁部に位置する一部の市街地（宅地）の浸水が想定される。
- 市街地内の想定浸水面積は、Weras Ganga 流域（01_Weras Ganga）が最も大きく 327 ha となっている。
- 一方で、想定される浸水家屋数は、一般資産が集中する Weras Ganga 流域（01_Weras Ganga）で約 2,600 戸、Panape Ela 下流（07_Lower Panape）、South Bolgoda Lake および North Bolgoda Lake 周辺において約 300 世帯以上の浸水が想定されている。

表 6.6.7 地区別の市街地内の想定浸水面積（25年確率）とその割合

No	Sub basin name	Basin Area (ha)	Urban Area (ha) and Ratio		Estimated Flood Inundation Area (ha) and Ratio (%)							
					2-yr		5-yr		10-yr		25-yr	
			(1)	(2)	(3)= (2)/(1)	(4)	(5)= (4)/(2)	(6)	(7)= (6)/(2)	(8)	(9)= (8)/(2)	(10)
1	Weras Ganga	5,583	4,682	83.9%	38	0.8%	78	1.7%	136	2.9%	230	4.9%
2	Lower Maha Oya	1,061	604	56.9%	26	4.3%	60	9.9%	73	12.1%	79	13.2%
3	Upper Maha Oya	3,329	2,022	60.8%	2	0.1%	23	1.1%	28	1.4%	35	1.7%
4	Maha Oya Right Tributary 2	2,635	1,805	68.5%	42	2.3%	60	3.3%	61	3.4%	75	4.2%
5	Maha Oya Right Tributary 1	2,419	1,724	71.3%	21	1.2%	48	2.8%	61	3.6%	71	4.1%
6	Maha Oya Left Tributary	3,762	2,224	59.1%	36	1.6%	55	2.5%	67	3.0%	72	3.3%
7	Lower Panape Ela	3,890	1,980	50.9%	63	3.2%	104	5.3%	129	6.5%	158	8.0%
8	Upper Panape Ela	2,914	1,601	54.9%	8	0.5%	24	1.5%	29	1.8%	32	2.0%
9	Kappu Ela	2,483	884	35.6%	15	1.6%	74	8.3%	128	14.5%	177	20.0%
10	Alut ela	1,639	1,083	66.0%	29	2.7%	40	3.7%	57	5.3%	92	8.5%
11	South Bolgoda Lake	2,731	1,497	54.8%	21	1.4%	65	4.4%	99	6.6%	151	10.1%
12	Bolgoda Ganga	3,352	1,885	56.2%	40	2.1%	72	3.8%	111	5.9%	157	8.3%
13	North Bolgoda Lake	3,767	2,499	66.3%	45	1.8%	78	3.1%	117	4.7%	159	6.4%
14	River Mouth	754	552	73.2%	2	0.3%	2	0.3%	3	0.6%	8	1.5%

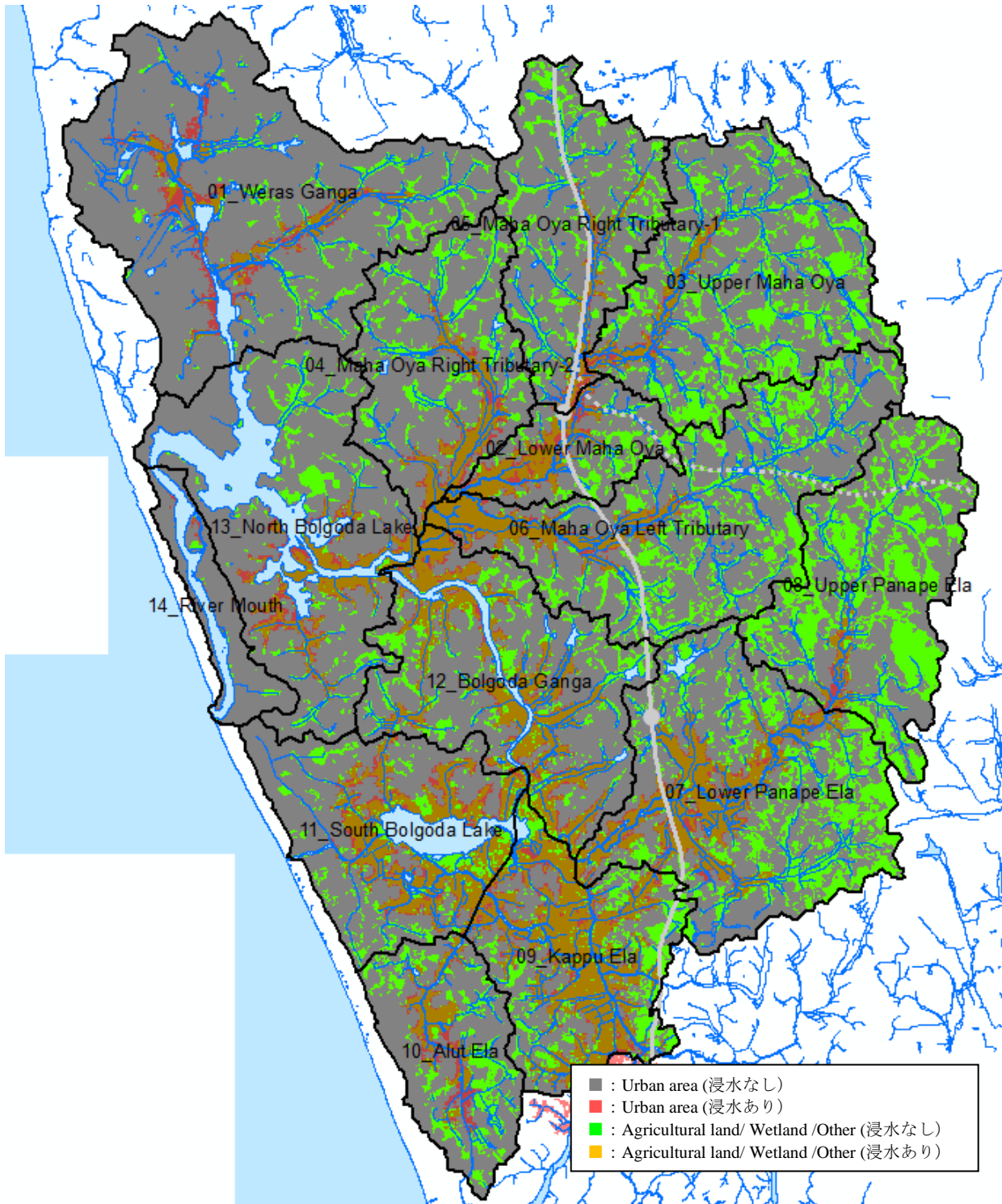


図 6.6.13 Bolgoda 流域における想定浸水区域（25年確率）と土地利用図の重ね合わせ図

表 6.6.8 Bolgoda 流域における地区別の想定浸水世帯数（25年確率）とその割合

No	Sub basin name	Number of House hold (1)	Number of Affected Household							
			2-yr		5-yr		10-yr		25-yr	
			(2)	(3) =(2)/(1)	(4)	(5) =(4)/(1)	(6)	(7) =(6)/(1)	(8)	(9) =(8)/(1)
1	Weras Ganga	94,990	205	0.2%	329	0.3%	735	0.8%	1,467	1.5%
2	Lower Maha Oya	4,634	23	0.5%	72	1.6%	194	4.2%	272	5.9%
3	Upper Maha Oya	17,482	1	0.0%	2	0.0%	2	0.0%	12	0.1%
4	Maha Oya Right Tributary 2	22,901	52	0.2%	102	0.4%	140	0.6%	246	1.1%
5	Maha Oya Right Tributary 1	19,777	10	0.0%	43	0.2%	138	0.7%	226	1.1%
6	Maha Oya Left Tributary	17,719	17	0.1%	37	0.2%	71	0.4%	109	0.6%
7	Lower Panape Ela	10,862	12	0.1%	53	0.5%	119	1.1%	204	1.9%
8	Upper Panape Ela	12,184	1	0.0%	122	1.0%	130	1.1%	143	1.2%
9	Kappu Ela	3,441	0	0.0%	1	0.0%	11	0.3%	55	1.6%
10	Alut Ela	10,530	3	0.0%	51	0.5%	129	1.2%	316	3.0%
11	South Bolgoda Lake	15,913	10	0.1%	32	0.2%	82	0.5%	197	1.2%
12	Bolgoda Ganga	19,925	0	0.0%	6	0.0%	66	0.3%	191	1.0%
13	North Bolgoda Lake	41,607	27	0.1%	120	0.3%	203	0.5%	394	0.9%
14	River Mouth	10,653	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	65	0.6%

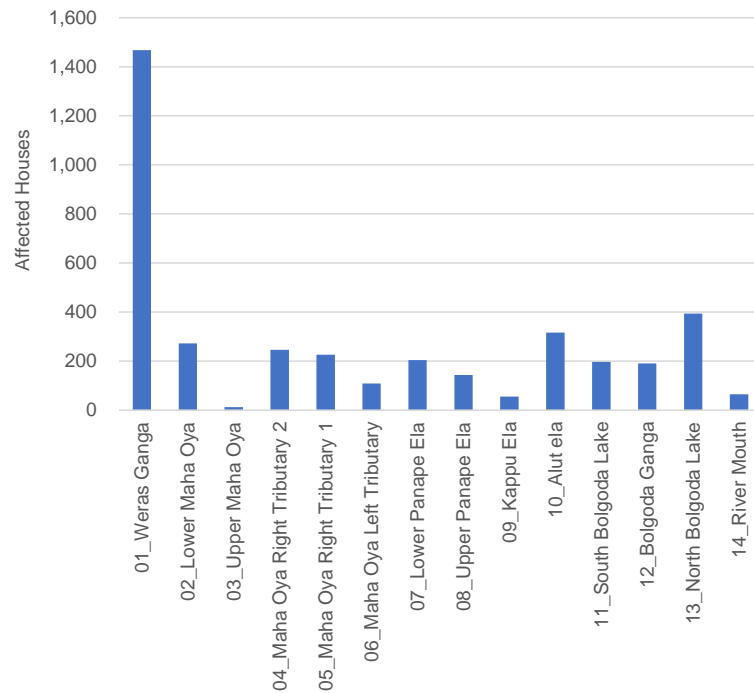


図 6.6.14 Bolgoda 流域における地区別の想定浸水家屋数（25年確率）

(6) 対策重点地区の設定

将来土地利用や一般資産、想定浸水区域（25年確率）等から得られる情報を総合的に検討し、対策重点地区を4グループ（重点①～④）に分けて設定した。明確な基準は存在しないが、本調査では、基本的に浸水家屋数が200戸以上の地区を重点地区とし、SLLDCと協議の上設定、グループ毎に地区の特性に応じた対策の方向性を検討した。概要を以下に示す。

表 6.6.9 対策重点地区設定表

No	地区名	将来土地利用	重要施設の浸水	一般資産分布	市街地の浸水想定	想定浸水家屋数	重点	選定理由
1	Weras Ganga	密集市街地		大		200戸以上	重点①	200戸以上（2,500戸以上）の被災が想定されており、一般資産が大きいため。排水対策の対象とする。
2	Lower Maha Oya		高速IC		10%以上	200戸以上	重点②	200戸以上の浸水が想定されるとともに、重要施設である高速ICの浸水が想定されていることから対象とする。
3	Upper Maha Oya							
4	Maha Oya Right Tributary 2					200戸以上	重点②	200戸以上の浸水が想定されていることから対象とする。
5	Maha Oya Right Tributary 1		高速IC			200戸以上	重点②	200戸以上の浸水が想定されるとともに、重要施設である高速ICの浸水が想定されていることから対象とする。
6	Maha Oya Left Tributary							
7	Lower Panape Ela			大		200戸以上	重点③	200戸以上の浸水が想定されるとともに、一般資産分布が比較的大きいため対象とする。
8	Upper Panape Ela							
9	Kappu Ela				10%以上			
10	Alut Ela				10%以上	200戸以上	重点③	200戸以上の浸水が想定されるとともに、市街地の浸水想定が比較的大きいため対象とする。
11	South Bolgoda Lake			大	10%以上	200戸以上	重点④	200戸以上の浸水が想定されるとともに、一般資産分布が比較的大きいため対象とする。ただし、自然保護エリアに該当するため、構造物対策は困難であり、土地利用規制等の非構造物対策にて対応する
12	Bolgoda Ganga			大	10%以上	200戸以上	重点④	同上
13	North Bolgoda Lake	密集市街地		大		200戸以上	重点④	同上
14	River Mouth	密集市街地		大				

重点地区①：既往計画の優先事業として洪水対策が実施中であり、資産集中地区の洪水防御対策を完成させることが必要。既往計画との整合性を保った洪水対策を立案

- 最も資産が集中する地区は、流域北西部の Weras Ganga 地域。洪水防御の対象とする。

重点地区②：高速道路とその進入路とその周辺市街地への洪水対策を立案

- 支川上流部では工業団地等の都市開発計画が存在し、将来的に、工業・商業的な経済活動が活発することが想定されるため、交通の要である高速道路とそのアクセス路周辺は洪水防御の対象とする。

重点地区③：湿地・農地の縁部における市街地の浸水について拠点防御の視点で地先の洪水対策を立案

※ただし、今後の都市開発や周辺地域の変遷に合わせて改修計画が整合されるよう、過度な設定は行わない。

- その他、想定浸水区域を詳細に評価すると、特に湿地・農地の縁部における市街地浸水が散見されるため、洪水防御の対象とする。

重点地区④：自然保護区エリアに位置するため、自然遊水効果を維持する対策を立案、

- South Bolgoda Lake、Bolgoda Ganga 周辺、North Bolgoda Lake、は、自然保護区に設定されているとともに、自然河川の様相と呈し、湿地・農地が広がるエリアであり、環境保護の観点も含めて自然の遊水効果を維持する地域として設定。一部の市街地浸水を洪水防御の対象とする。

(7) Bolgoda 流域における対策案の立案

1) 重点地区①における対策案

(a) Weras Ganga 右岸堤 (重点地区①)

2003 年の M/P および F/S で提案されている施設であるが、建設には着手されておらず、用地確保を開始した段階である。この右岸堤については、すでに他の地点では、HWL を 1.5 m と設定して構造物が建設されていることから、これを遵守すべく計画を立案する。

(b) Weras Ganga 右岸 (Muratuwa-Rathmalana 地区) の排水システムの改良 (重点地区①)

2003 年の M/P および F/S で提案されている施設であるが、建設には着手されていない。Weras Ganga 右岸築堤に伴う水門およびポンプ施設ならびに接続 1 次水路の改修を行う。

2) 重点地区②における対策案

(a) Maha Oya 流域 (重点地区②)

高速道路に交錯する区間の流下能力が小さくネックとなっており、この区間を 4.0 km にわたって拡幅・浚渫・築堤する。また居住地を防御する堤防 (周囲堤) を 2 地区 5.9 km にわたって建設する。

(b) Maha Oya 支川流域 (重点地区②)

浸水が想定される支川上流の道路沿いに周囲堤を設置し局所的な浸水防御を図る。

3) 重点地区③における対策案

(a) Alut Ela 流域 (重点地区③)

最上流区間の河道 3.4 km を拡幅・浚渫・築堤し、居住地域の浸水防御を図る。

(b) Panape Ela 流域 (重点地区③)

Panape Ela 中流部において浸水が発生しているため、居住地域を拠点防御する堤防を 3 ヲ所、総延長 6.7 km にわたり建設する。

4) 重点地区④における対策案

(a) South Bolgoda Lake 流域 (重点地区④)

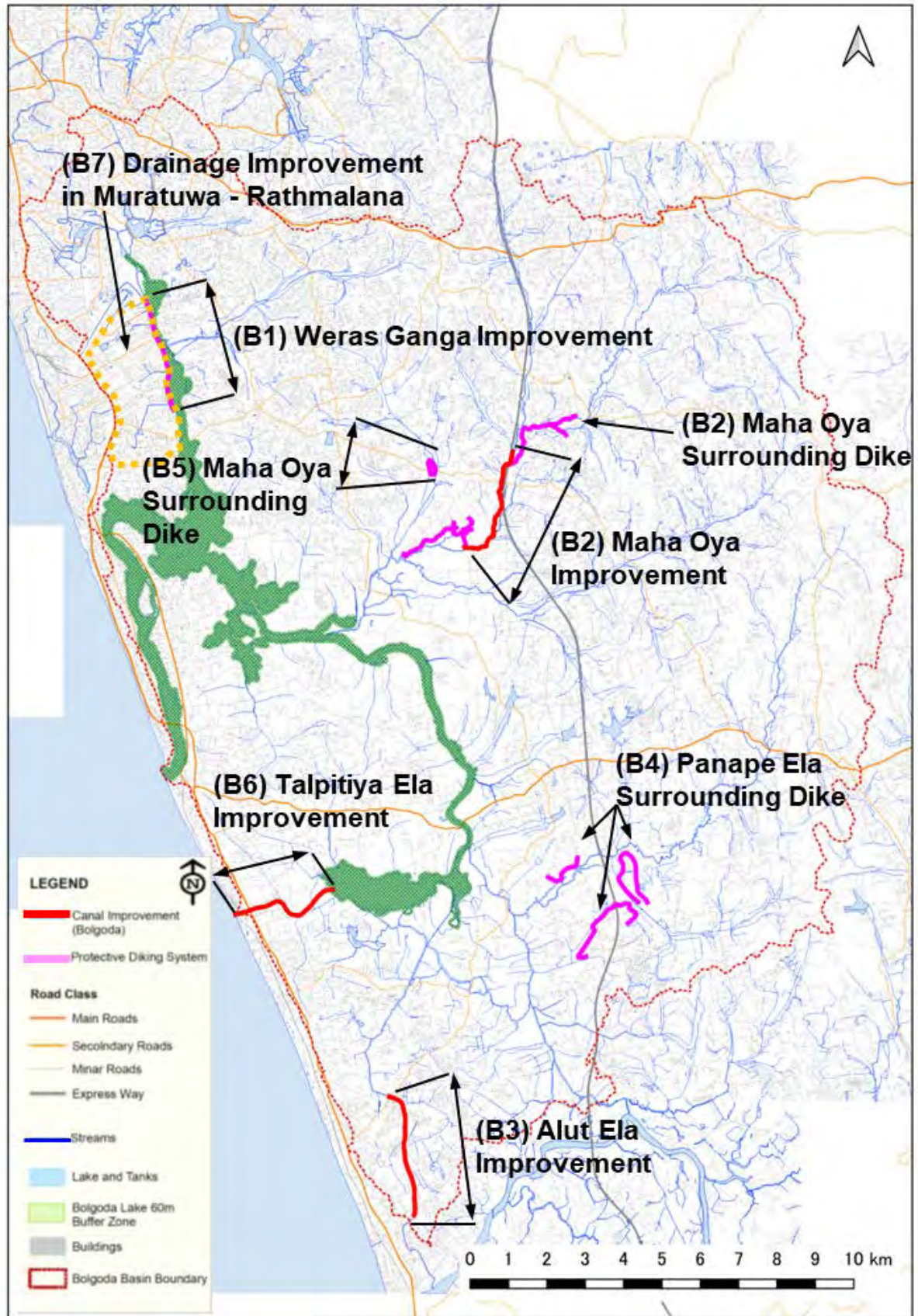
自然保護区に設定されている同地域は、自然河川の様相と呈し、湿地・農地が広がるエリアであり、環境保護の観点も含めて自然の遊水効果を維持する地域として保全する必要がある。しかしながら、Bolgoda Lake 周辺（湖岸）ではおよびリゾート施設・別荘等の開発も進行していることから、下流地域の浸水被害の防止・軽減を図るため、浸水被害に強い建築構造（ピロティ方式等）の推進を含めた都市開発管理方策を実施し、浸水リスクの高い当該地区の無秩序な開発を抑制する。また、これら自然保護区である遊水エリアの縁部に分布する居住地域のリスク低減を目的として South Bolgoda Lake から海へ接続する Talpitiya Ela の浚渫と河口閉塞部の開削を行う。

これらの施設配置を次図に示す。またそれぞれの詳細な検討内容は、6.6.2.2 に示す。

表 6.6.10 Bolgoda 流域対策工

No	Measure	Specification
(B1)	Weras Ganga Improvement	Embankment (Right bank) (L=3.0 km) Channel dredging (L=2.0 km W=100 m)
(B2)	Maha Oya Improvement	Channel widening and dredging (L=4.0 km W=30 m) Surrounding Dike (L=5.9 km)
(B3)	Alut Ela Improvement	Channel widening and dredging (L=3.4 km W=20 m)
(B4)	Panape Ela Surrounding Dike	Surrounding Dike (L=6.7 km)
(B5)	Maha Oya Surrounding Dike	Surrounding Dike (L=1.0 km)
(B6)	Talpitiya Ela Improvement	Channel dredging (L=4.0 km)
(B7)	Drainage Improvement in Muratuwa-Rathmalana	Improvement of urban drainage system

※No は、図 6.6.15 に対応
出典：調査チーム



出典；JICA 調査チーム

図 6.6.15 Bolgoda 流域における雨水排水対策案

6.6.2 雨水排水対策案の検討

Kalu Oya、Mudun Ela、そして Bolgoda 流域で主要な施設に対してその妥当性を検討した。

6.6.2.1 重要課題の検討 (Kalu Oya および Mudun Ela 流域)

(1) Kalu Oya 改修 (河口処理)

Kalu Oya は Kelani Ganga の支川であり、Kelani Ganga の背水の影響を受け、合流点付近の浸水は背水が原因と言われている。そこで、背水を考慮したバック堤案とゲート案の2ケースを比較し、河口処理方法を検討した。

CRIP によれば、合流先の Kelani Ganga の流域全体の計画規模は、100年確率であり、上流ダム群の洪水調節により下流河道（河口から約35km区間）を50年確率と位置付けている。全体整備のスケジュールは不明であるが、現時点（2020年時点）で河川改修のF/SおよびD/Dが開始されていることが明らかであり、この業務進捗を考慮すると出発水位は、合流先 Kelani Ganga の50年確率水位を基準にすることが適切である。

しかし、6.4.2 で示した通り CRIP の全体事業実施スケジュールが決定されていない現状を踏まえると Kelani Ganga の築堤事業に合わせて合流点の河口処理を行うことが事業の手戻りがなく、合理的な対応である。また、Kalu Oya の河道改修事業にも手戻りがあってはならないため、Kalu Oya の長期計画における治水安全度が50年確率であることを勘案し、2030年まで中期計画の整備において合流先 Kelani Ganga の50年確率水位を基準としたバック堤を計画することについて確認を行った。

1) バック堤案

Kelani Ganga の築堤事業が完成した場合には、表 6.4.1 に示した下流端水位となる。この値を出発水位とした Kalu Oya の計算水位は、図 6.6.16 における Case1 のようになる。

本案を適用の場合の水位は、25年河道水位よりも全体的に0.5m程度水位が高くその影響は、上流10km以上にもおよび、河川改修を想定する高速道路よりも下流の約5km区間のみならず、自然遊水効果を想定する高速道路よりも上流のエリアへの影響が大きく、周辺住宅への浸水リスクが高まる結果となる。

2) ポンプ・ゲート案

河口にポンプ施設を設置した場合は、本川の背水の影響を受けないため、堤防高を低く設定することが可能となるが、調整池の適地が無く、そのためポンプ規模が洪水流量と同程度にならざるを得ず、施設の効率が極めて悪い。そのような理由から JICA 2003 M/P および 2018F/S の両者の検討で棄却されていた。

しかしながら、『①“Old Dutch Canal 放水路”による Kalu Oya からの分派による流量低減効果』と『②Kalu Oya 本川ならびに Old Dutch Canal における河道貯留効果による調整池の効果』の二つの効果の組合せによって、ポンプ・ゲートが効果的に運用されることがわかった。この場合の計算水位は、図 6.6.16 における Case2 のようになる。

本案を適応の場合の水位は、25年対応河道における計算水位とほぼ同程度の水位に抑えることが可能であり、築堤による破堤リスクや上流自然遊水エリア周辺住宅への浸水リスクを低減させることが可能である。

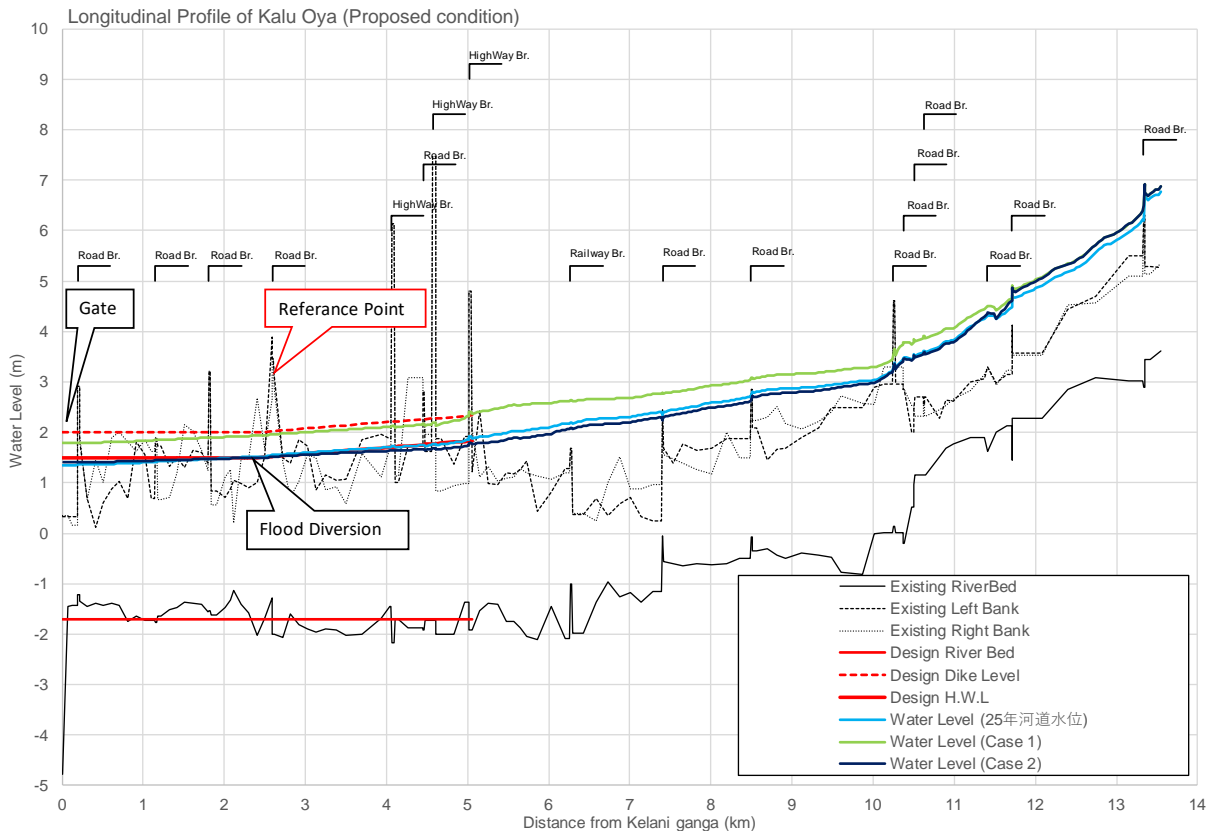
3) バック堤案とポンプ・ゲート案の比較

バック堤案とポンプ・ゲート案の比較表を以下に示す。結果として、バック堤案は、築堤による氾濫リスクの増大と上流自然遊水とその周辺家屋への浸水リスクの増大によって波及する追加の浸水対策が必要となることが想定されることから、ポンプ・ゲート案を選定した。コスト的に若干不利であるが、このポンプ・ゲート事業は、CRIP 報告書に記載されているとおり、Kelani Ganga の河川改修事業内で行われることが本来的に適切であることから、その場合には、コスト的にも極めて優位となる。

表 6.6.11 バック堤案とポンプ・ゲート案の比較表

比較項目	バック堤案	ポンプ・ゲート案
建設費	10,390 million Rs.	11,564 million Rs.
用地費	4,321 million Rs.	3,313 million Rs.
築堤による破堤リスク	大	小
自然遊水区間の浸水位に与える影響	大	小
他の支川等対策案への影響	大	小

出典：JICA 調査チーム



出典：JICA 調査チーム

図 6.6.16 Kalu Oya 水位縦断面図

(2) Old Dutch Canal への放水路改修

JICA 2003 M/P および 20018 F/S で提案された地下トンネルで幹線道路を横断する Muthurajawera 放水路ルートと比較して、下流部で現存する水路を拡幅することによって、自然分派する方式を今回提案した。その放水路案の経路を次図に示す。



図 6.6.17 Old Dutch Canal Diversion の今回提案ルート（再掲）

Old Dutch Canal への放水路は、自然分派方式の既存の開水路の改修のみで可能であり、従来の Muthurajawera 放水路案よりも効果的であり、費用便益から見ても優位である。なお、2018F/S における Muthurajawera 放水路案の 10 年確率洪水における水理的機能は不明確なため、25 年確率洪水の結果を用いて分派効果を比較したのが次表である。このように、既設の幹線道路の下をトンネルで抜く従来提案されてきた放水路案に比して、両者の水理的効果はほとんど変わりなく、延長 400 m 程度の既設水路を拡幅改修して Old Dutch Canal へ放流する方式の方が、工事費、工法、工事期間、環境社会的影響、いずれの観点からも優位である。その概略は次のとおりである。

表 6.6.12 Old Dutch Canal への放水ルートの水理量の比較

Diversion Route	Peak Discharge (m ³ /s)			Remarks
	Before Diverting	Diverting Q	Rivermouth	
Muthurajawera Diversion	103	52	107	25-year Flood
Widening of Existing Canal	116	45	75	25-year Flood

出典: Storm Water Drainage and Environment Improvement Project for Kalu Oya Basin-Feasibility Study, SMEC, 2018 and JICA 調査チーム

表 6.6.13 Old Dutch Canal への放水ルートへの工事費・工法・工事期間・社会的影響面での比較

Alternative Diversion Route Comparative Parameters	Muthurajawela Diversion	Old Dutch Canal Diversion
Approx. Construction Cost	943 million Rs.	240 million Rs.
Major Construction Works	Tunnel excavation & Channel widening	Channel widening
Approx. Construction Period	8 months	3 months
Socio-environmental Issues	Many houses to be relocated	Several houses to be relocated

(3) Peliyagoda ポンプ場の改修

Mudun Ela 流域では、北側の 35 m³/s の排水能力を有する Oliyamula ポンプ場が建設中であり、この効果を十全に発揮させるための一次水路の改修を行い、流域の雨水排水能力を高める。しかし、南側の二次水路の排水を受け持つ Peliyagoda ポンプ場は老朽化しており、排水能力も 0.5 m³/s であり、この排水能力の向上が必要である。

しかし、当該地区は密集市街地であり、既存のポンプ場の拡張は困難である。さらに、ポンプ場の調整池の用地も無いため、周辺を取り巻く水路の貯留効果を期待して流量調整を行うことが考えられる。一方で、Peliyagoda ポンプ場内にはポンプ設置の余地があるため、現況の 0.5 m³/s のポンプを更新し 1.0 m³/s のポンプを設置することが可能である。排水能力を 0.5 m³/s から 1.0 m³/s にした際の効果を次図に示す。

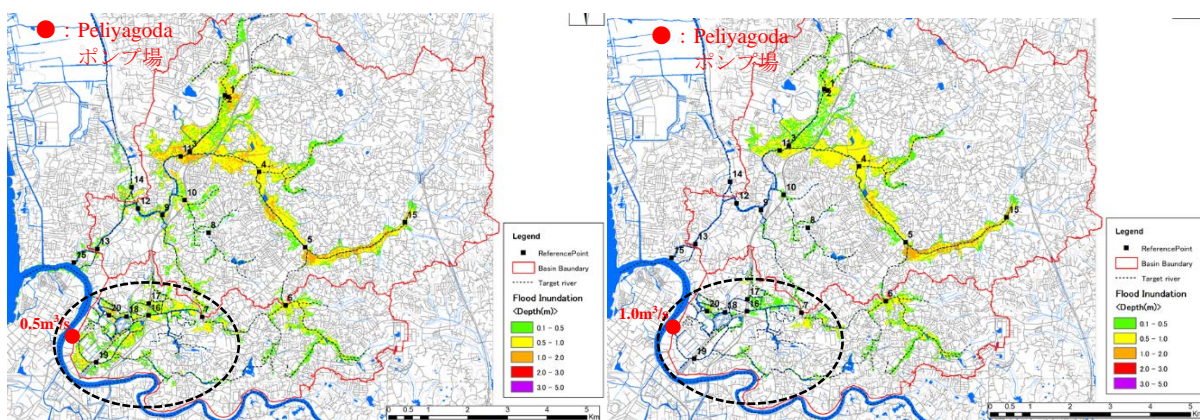


図 6.6.18 Peliyagoda ポンプ場改修前後の比較（10年確率 左：現況、右：1m³/s に改修）

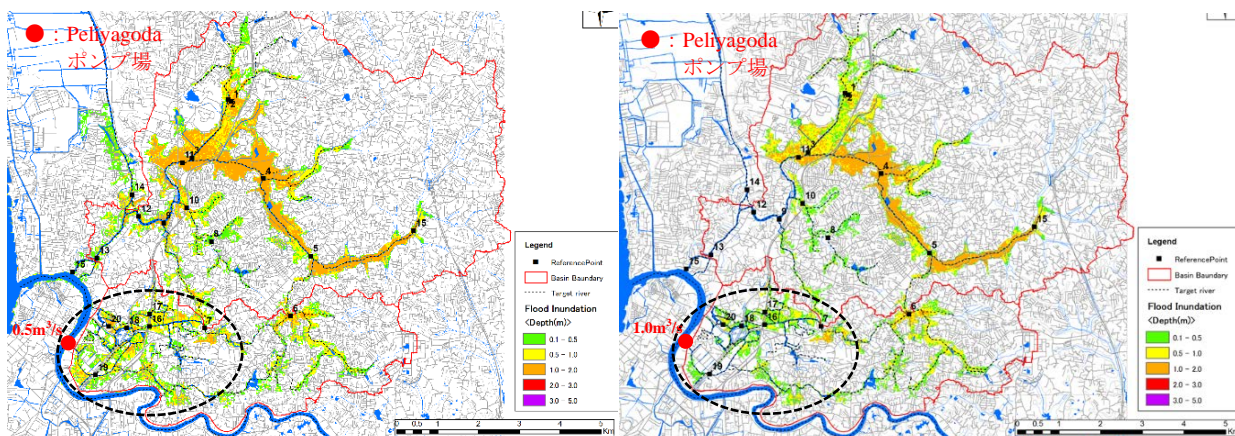


図 6.6.19 Peliyagoda ポンプ場改修前後の比較（25年確率 左：現況、右：1m³/s に改修）

図に示すように、改修の効果として 25 年確率の洪水に対して、水路沿いの湿地のみに浸水区域が軽減され、浸水深も軽微である。

6.6.2.2 重要課題の検討 (Bolgoda 流域)

(1) Werass Ganga の改修 (重点地区①)

Moratuwa-Rathmalana 地区における Werass Ganga からの溢水氾濫による浸水を防御するための対策として、Werass Ganga 右岸への築堤を提案する。Werass Ganga 流域ではすでに JICA 2003 M/P に基づいた改修が概成しており、自然保護区に含まれていることから Werass Ganga 本川の拡幅による抜本的な河川改修は社会的影響が大きく極めて困難であることから、築堤によって溢水防御するのが適切である。すでに左岸側の他の地点では、HWL を 1.5 m と設定して構造物が建設されていることから、これを遵守すべく計画を立案した。

なお、長期計画は 50 年確率規模であるが、既に 2~10 年確率で概成した Werass Ganga 上流域の追加的な洪水対策は極めて困難であるため、築堤の影響による水位上昇が将来的に与える影響とその対応について確認した。以下の方向性で橋梁改修、浚渫の組合せの比較検討を行った。

- 河口付近に乾季に堆積している沿岸漂砂を浚渫し、水位がジャンプすることを防ぐことが肝要である。これを前提に検討を進める。
- 堤防予定区間の狭窄部の洪水疎通能力を増強するための河床掘削の可能性を検討する。
- 橋の上下流の狭窄部の拡幅改修した場合、どの程度水位低下が見込まれるか検討する。

こうした条件下で水理シミュレーションを行い、次のような結果を得た。

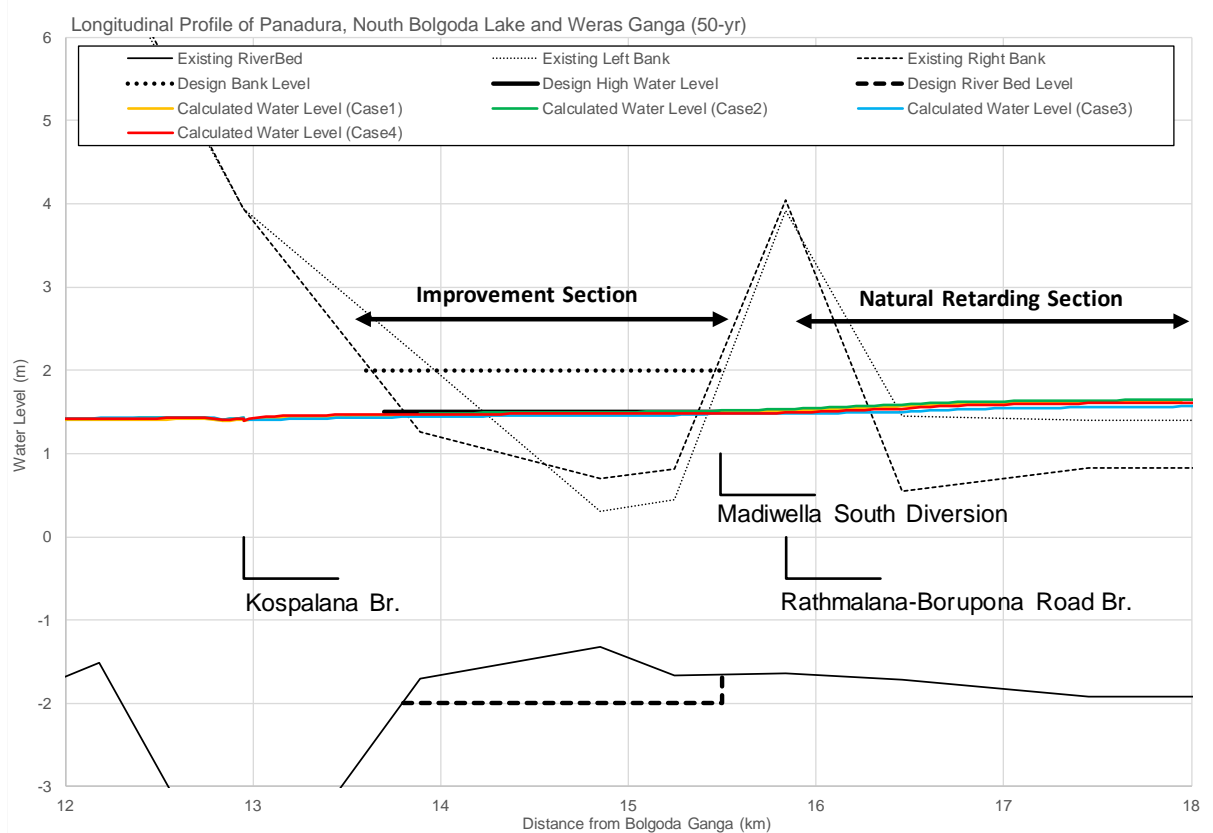
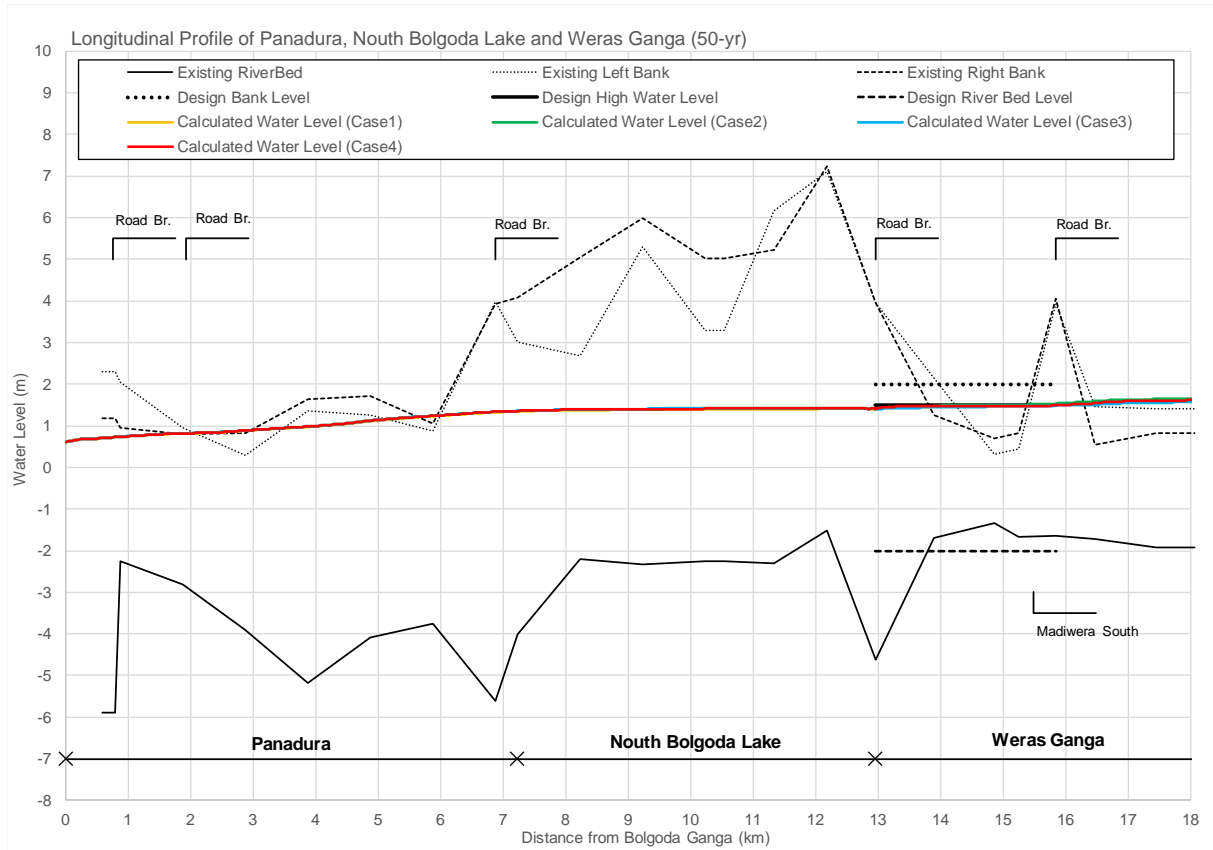
表 6.6.14 Werass Ganag 改修代替案比較

比較案	右岸築堤	居住地区の浸水	橋梁改修 (狭窄部改良)	浚渫	代表地点水位 [対象区間中央] 50 年確率 (25 年確率)	HWL(1.5m MSL) との比較
Case1	無	有	無	無	1.483m (1.344m)	Below HWL
Case 2	有	無	無	無	1.512m (1.364m)	Above HWL
Case 3	有	無	上下流の 2 橋梁	無	1.476m (1.335m)	Below HWL
Case 4	有	無	無	-2mMSL (L=1.4km)	1.478m (1.331m)	Below HWL

注) Case1 は、無対策 (築堤なし) かつ氾濫ありの条件である。

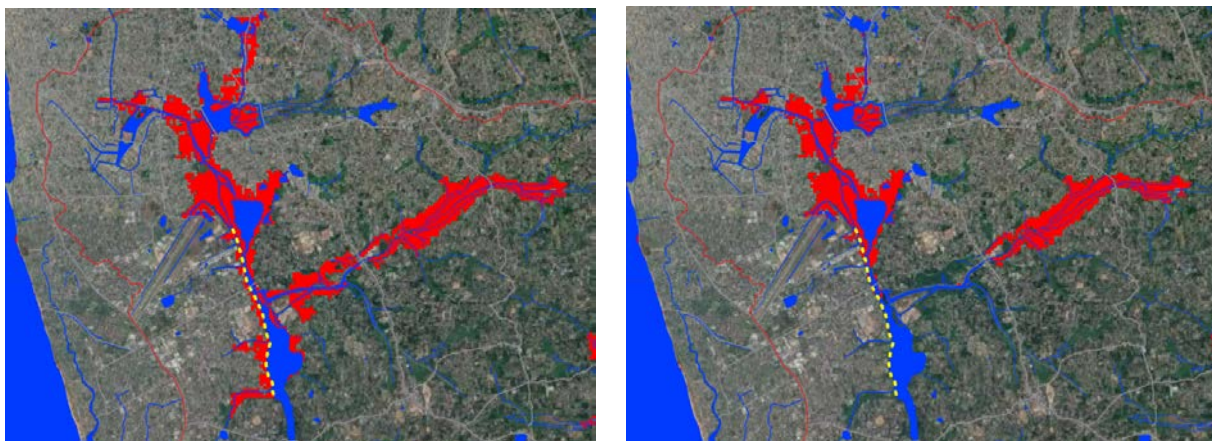
結果として、50 年確率において水位を HWL 以下に維持するためには、Case3 の上下流の 2 橋梁の改築・拡幅ないし、Case4 の河床堆積土砂の浚渫の 2 案が有力である。しかし、上流の橋梁は、仮説的要素が強いが、鳥類保護区に該当しているため、狭窄部改良は困難である。さらに、水位低下効果はあるものの、下流の橋梁は老朽化しておらず架け替えは多額の工事費を伴うものと考えられる。よって、橋梁の架け替えを伴う狭窄部改良は現実的ではないと判断される。したがって、HWL を 1.5 m 以下に保つことができるのは、Case4 の右岸築堤と浚渫の組合せのみである。

また、25 年確率においては、築堤による水位上昇の影響 (Case1 と Case2 の比較) は軽微であり、HWL 以下に収まっている。25 年確率の中期計画においては築堤のみを提案し、長期計画の 50 年確率対応として Werass Ganga の浚渫を提案する。



出典：JICA 調査チーム

図 6.6.20 Weras Ganga 水位縦断面図 (50年確率流量での確認)

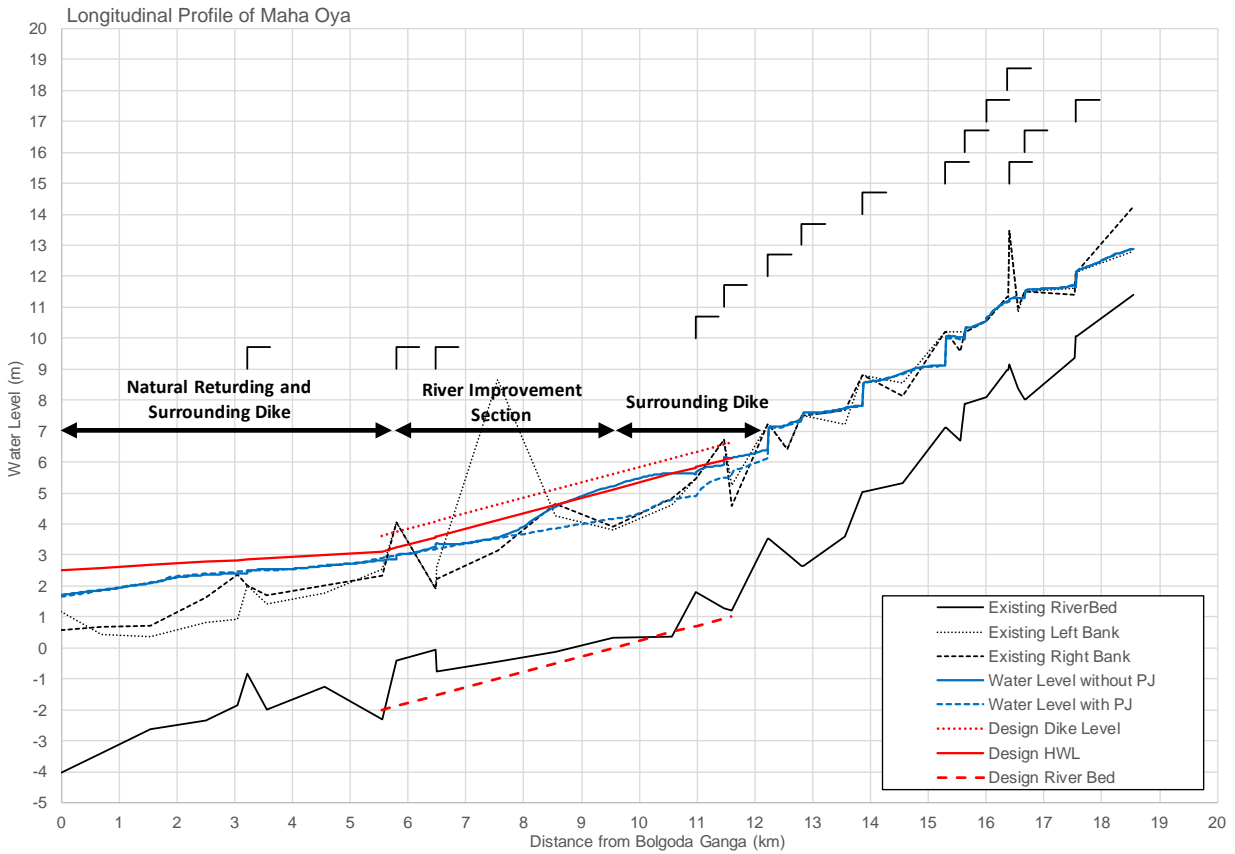


出典：JICA 調査チーム

図 6.6.21 Werasingha Ganga 流域における浸水区域（赤色）の変化（左：対策なし、右：対策あり）

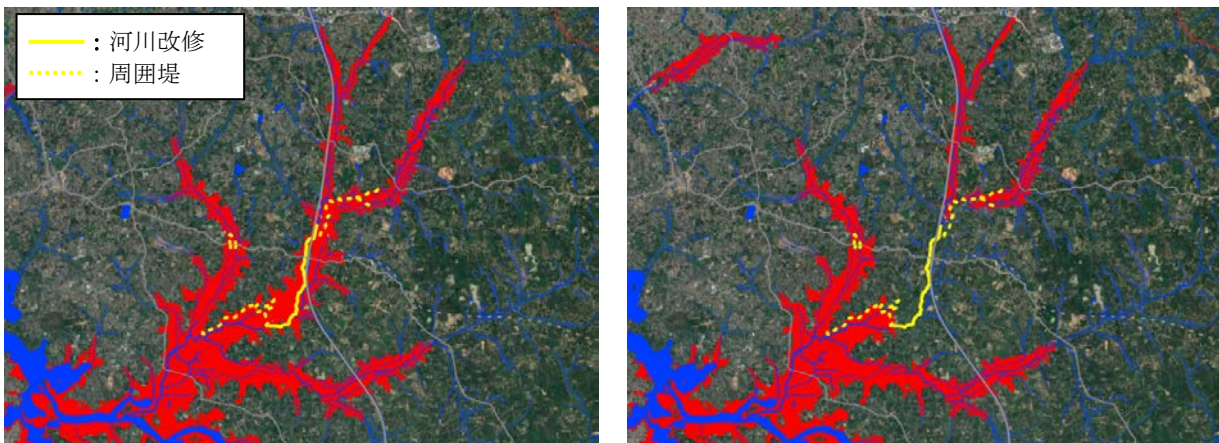
(2) Maha Oya 流域（重点地区②）

Maha Oya 中流部は、幹線道路と高速道路およびインターチェンジが交差する交通の要所となっており、将来的には新たな高速道路が接続する地域となっている。南北に縦断する高速道路の建設に伴って Maha Oya の護岸整備や橋梁の架け替えが一部行われているものの、25 年確率の治水安全度は有していない。下流部から Bolgoda Ganga 合流までは農地・湿地が広がる低地部となっており、治水的には極めて有効な自然遊水エリアとなっている。以上から、下流の自然遊水エリアを保全しつつ、上流の流下能力不足箇所を改善するための区間河川改修が必要である。ただし自然遊水エリアの確保のため、その全域に周囲堤を設置することは経済的でないことが明らかであることから、自然遊水エリアと近傍の市街地の境界の一部に連続堤を設置することで対応する方針とした。



出典：JICA 調査チーム

図 6.6.22 Maha Oya 対策前後の水位縦断図 (25 年確率洪水)

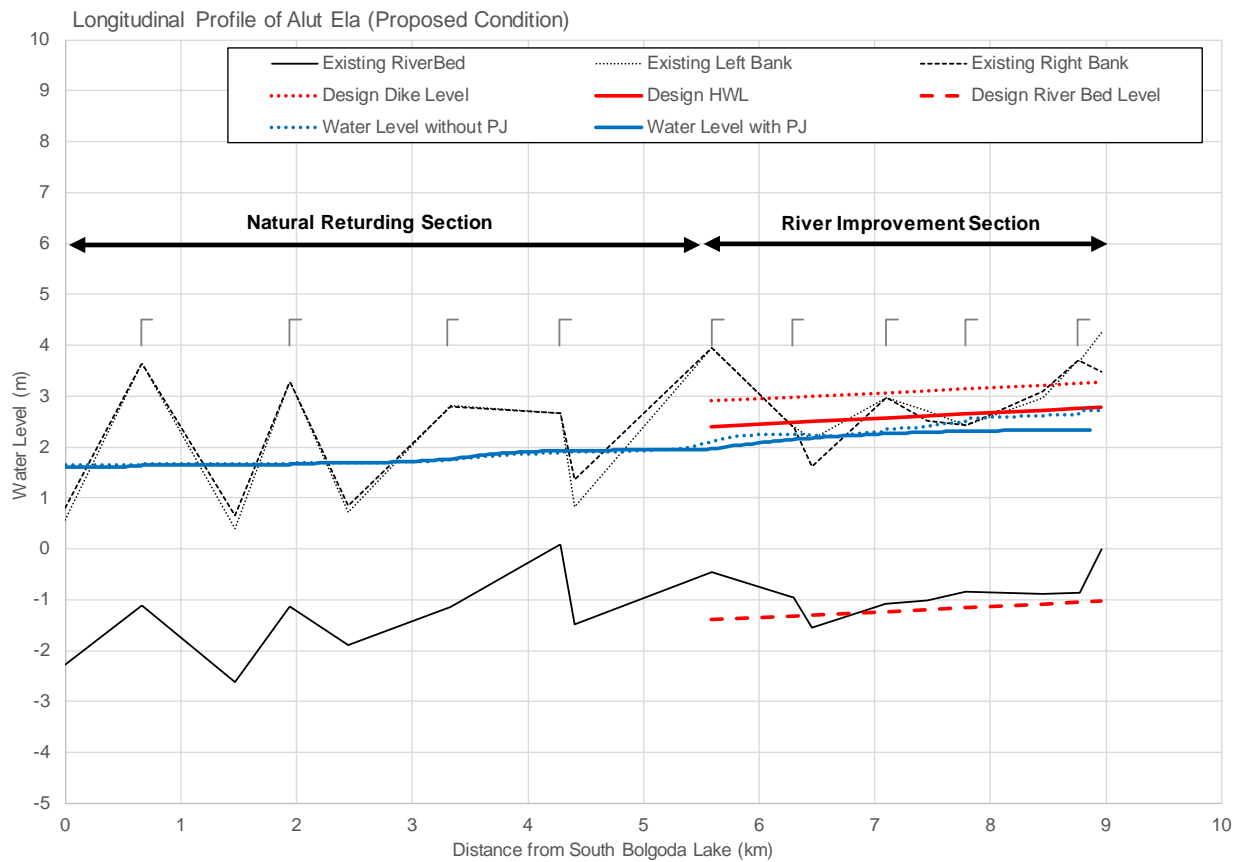


出典：JICA 調査チーム

図 6.6.23 Maha Oya 流域における対策効果 (左：対策なし、右：対策あり)

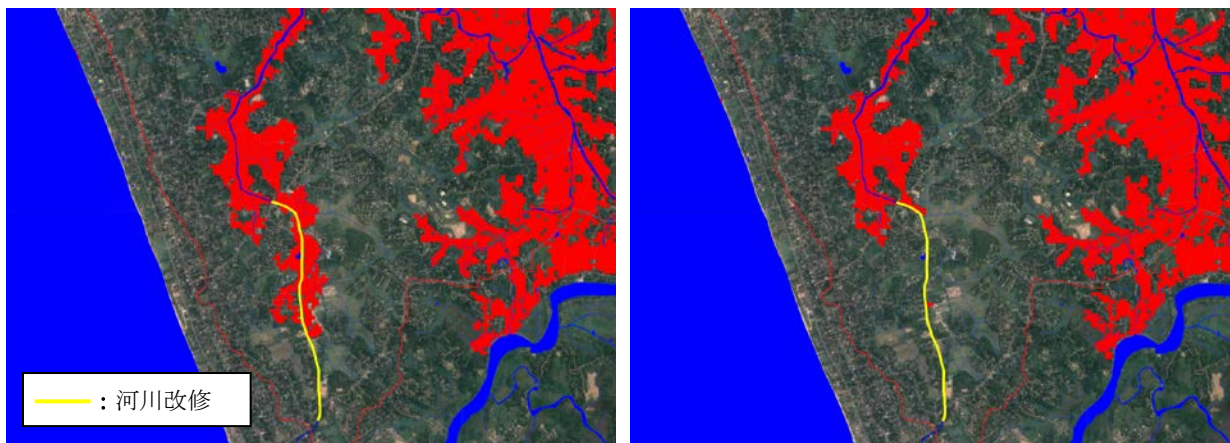
(3) Alut Oya 流域（重点地区③）

Alut Ela 流域は、Bolgoda 流域の最南端に位置し、付近の世帯数分布は比較的小さいため一般資産が集中するエリアではないものの、海岸沿いに分布する密集市街地エリア流下している。河床勾配が極めて緩く、下流の South Bolgoda Lake の背水の影響によって中流・上流部では浸水上流地域である。河床勾配が小さいため、流下能力不足を改善するためには、拡幅と築堤が有効であり。橋梁間で不連続な護岸高と河床高を一定にするとともに、築堤による河川改修を行う。なお、前述の Maha Oya と同様に、下流部は農地・湿地が広がるエリアであることから自然遊水エリアとして設定する。



出典：JICA 調査チーム

図 6.6.24 Alut Ela 対策前後の水位縦断面図

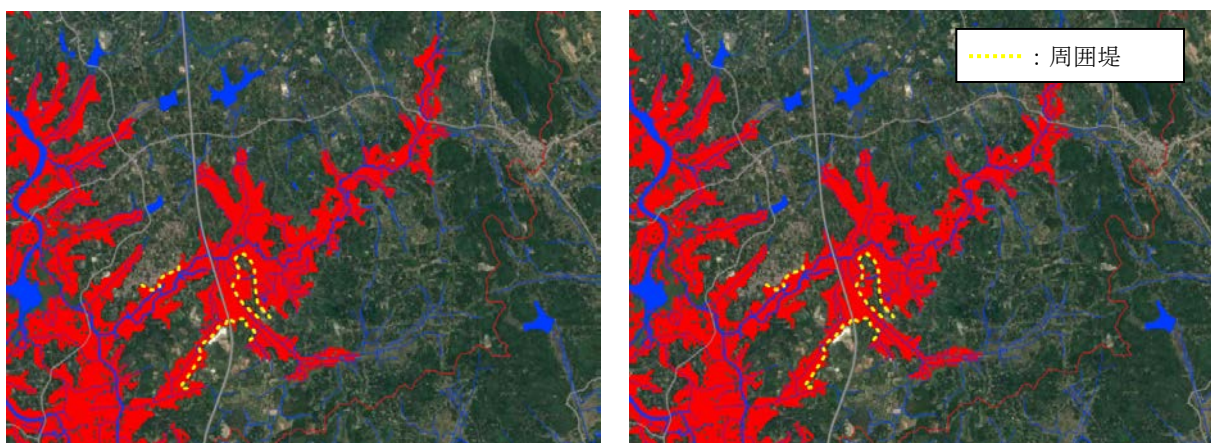


出典：JICA 調査チーム

図 6.6.25 Alut Ela 流域における対策効果（左：対策なし、右：対策あり）

(4) Panape Ela 流域（重点地区③）

Panape Ela 流域は、Bolgoda 流域の南東側に位置し、付近の世帯数分布は比較的小さい。南北に縦断する高速道路によって集水域が分断され、氾濫流は盛土開口部を通じて下流域に広がる。浸水エリアのほとんどは農地・湿地であるが、盛土構造物の氾濫流への影響は大きく、農地・湿地との縁部における住宅街等への浸水の影響は比較的大きいと推察される。よって、農地・湿地を活用した自然遊水効果を保全しつつ、住宅街等への浸水を防御することを目的として、連続堤の設置を提案した。



出典：JICA 調査チーム

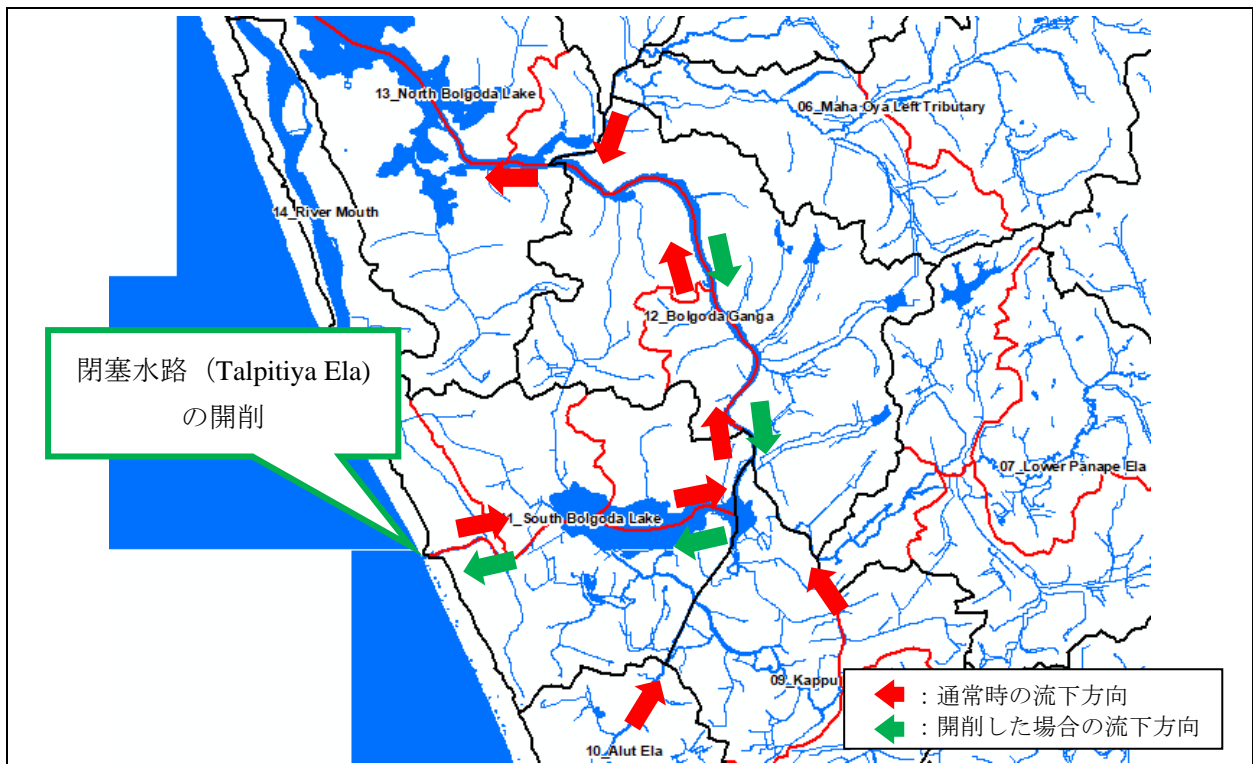
図 6.6.26 Panape Ela 流域における浸水区域（赤色）の変化（左：対策なし、右：対策あり）

(5) South Bolgoda Lake および North Bolgoda Lake 周辺 (重点地区④)

1) 河口閉塞箇所の開削による水位低下措置

重点地区④と設定した、11_South Bolgoda Lake、12_Bolgoda Ganga、13_North Bolgoda Lake 地区は、周辺がスリランカ国環境省によって自然保護区域に設定されていることから、河川改修等の環境改変を伴うような抜本的な構造物対策を実施することは困難である。浸水が想定されている区域の居住者への避難対策の推進（ハザードマップ等の整備）や、都市開発管理に係る浸水に強い建築構造の推進等の方策によって対応する必要がある。加えて、湖面水位や河川水位が上昇することが想定される場合には、緊急時の対応策のひとつとして、South Bolgoda Lake の水位低下措置が考えられる。

図 6.6.27 に示す通り Bolgoda 流域南部の支川流域からの流出は、12_Bolgoda Ganga に流下し、その後 13_Nourth Bolgoda Lake を通じて海域へ流出する。過去には、11_South Bolgoda Lake の西側へ接続する水路（Talpitiya Ela）は直接海に接続しており一定の流量を確保していた。しかしながら、海域からの経年的な堆砂による河道閉塞が進行し 2020 年現在、完全に流路が絶たれている状態にある。この堆砂によって閉鎖した水路を一時的に開削することで、11_Sourh Bolgoda Lake 周辺の流下方向を変えることが可能であり、同時に洪水時の流出量をカットすることで湖および河川水位を低下させることが可能となる。



出典：JICA 調査チーム

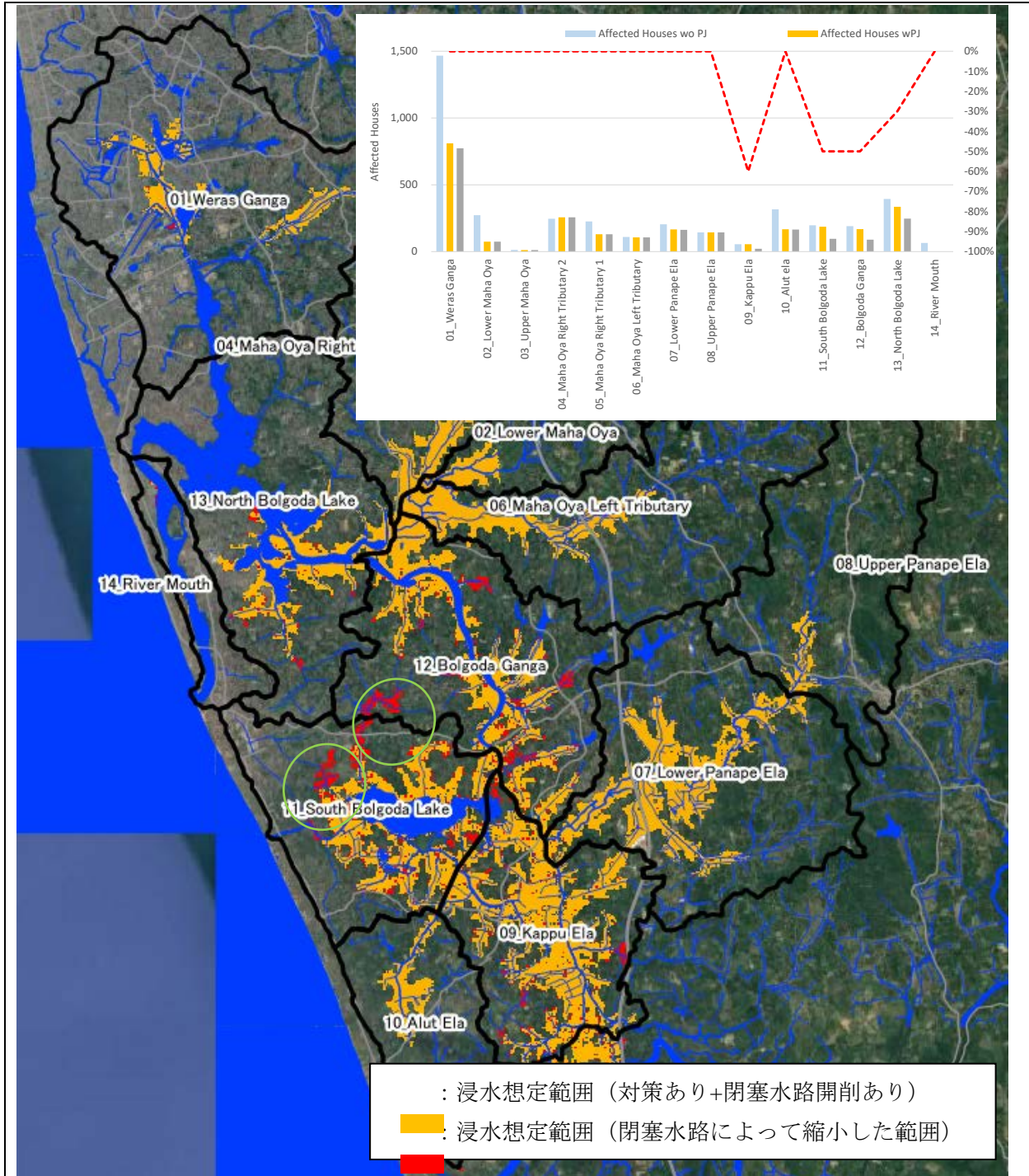
図 6.6.27 South Bolgoda Lake 周辺の流下方向と閉塞水路の開削箇所

2) 河口閉塞箇所の開削の効果

前述の通り、海域からの堆砂の進行は今後も継続すること明白であり、中期的に河道閉塞を防止するための防潮堤、河道の維持浚渫の継続は現実的でない。よって、この対策案は一時的な緊

急対策の位置付け、または長期的な対策として提案する。参考として、Talpitiya Ela を開削した場合の25年確率の浸水シミュレーション結果を図 6.6.28 に示す。

結果として閉塞水路の開削による効果は限定的であるものの、重点地区④と設定した 11_South Bolgoda Lake、12_Bolgoda Ganga、13_North Bolgoda Lake 地区だけでなく、他の周辺地区においても一定の効果があることが判明した。特に影響家屋数は、最大で50%の低減がみられる。



出典：JICA 調査チーム

図 6.6.28 South Bolgoda Lake 西側の閉塞水路の開削による浸水想定範囲の低減効果

3) 河口閉塞箇所の開削のタイミング

本調査で提案する『閉塞箇所の開削』は、洪水時の『緊急時対策』と位置付ける。開削実施のタイミングは、当該河川および南ボルゴダ湖等の水位をモニタリングし、その水位上昇の傾向を把握した上で設定されるべきである。ここでは、そのタイミングに関する基本的な指標（ガイドライン）を検討した。

図 6.6.29 は横断測線、図 6.6.30 は同範囲の標高分布を示している。水位の基準点を St.0+000 とし、この地点の水位がある値に到達したタイミングで開削した場合の Talpitiya Ela 水位変動を水理シミュレーションによって検証した。

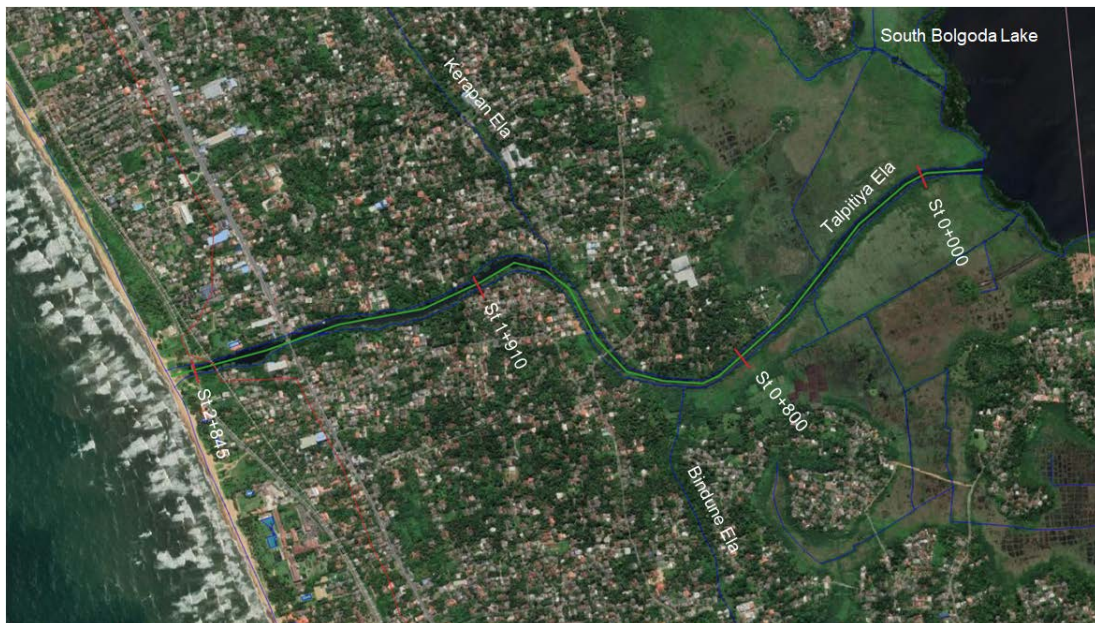


図 6.6.29 Talpitiya Ela の概況と測線位置図

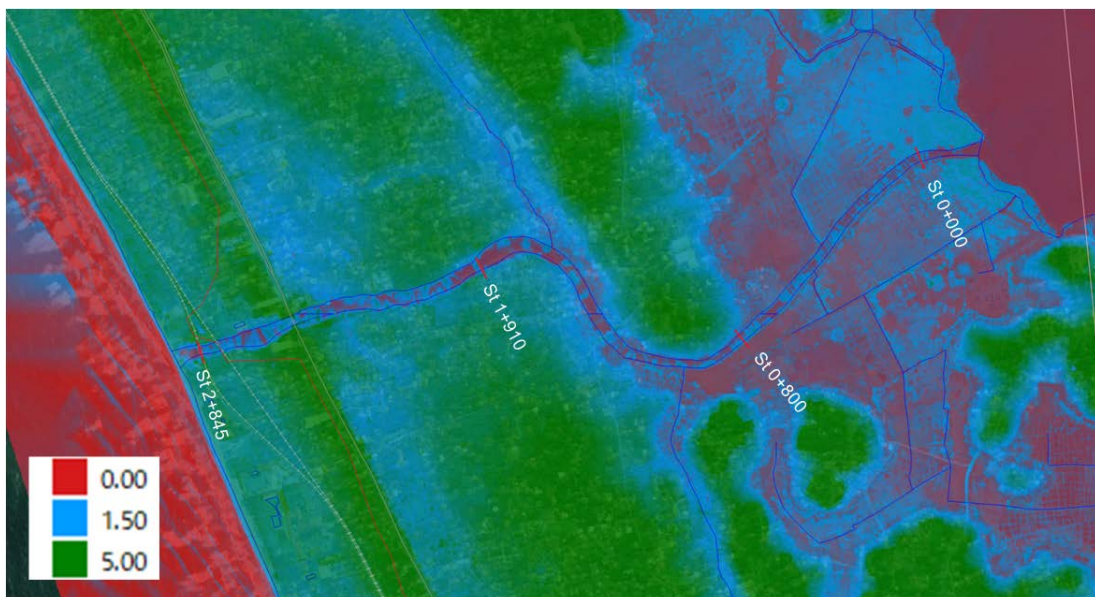


図 6.6.30 Talpitiya Ela 周辺の標高分布図

図 6.6.31 に計算結果を示す。これらの水位は、基準点の水位が“ある値”に達した際に河口閉塞部を開削（解放）した場合の Talpitiya Ela の最大水位を示している。標高分布（図 6.6.30 参照）に示す通り、Talpitiya Ela 周辺および南北に接続する支川（Kerapan Ela および Bindunu Ela）近傍の標高は概ね 1.5m 程度であり、水位がそれ以上の場合に住宅等への浸水が想定される。ちなみに、河口閉塞部の開削を行わない場合、Talpitiya Ela の水位は約 1.9m 程度まで上昇することが想定されており、周辺住宅への浸水は避けられない。河口閉塞部の開削を行うと基準点の水位は 1.5m 以下に抑えられる。計算結果を確認すると、基準点水位が 1.3m よりも大きくなってから開削した場合、水路水位は 1.5m 以上となり、周辺への浸水可能性が高くなることわかる。

以上のことから、基準点の水位観測が継続的に行われることを大前提として、以下に該当する場合に河口閉塞部の開削を行うことが考えられる。ただし、より確実な運用を行うためには、当該箇所の水位観測のみではなく、周辺流域の降雨の傾向も把握することが肝要である。

- ・ 基準点の水位が 1.3m へ到達することが見込まれ、かつ、超過することが明らかな場合

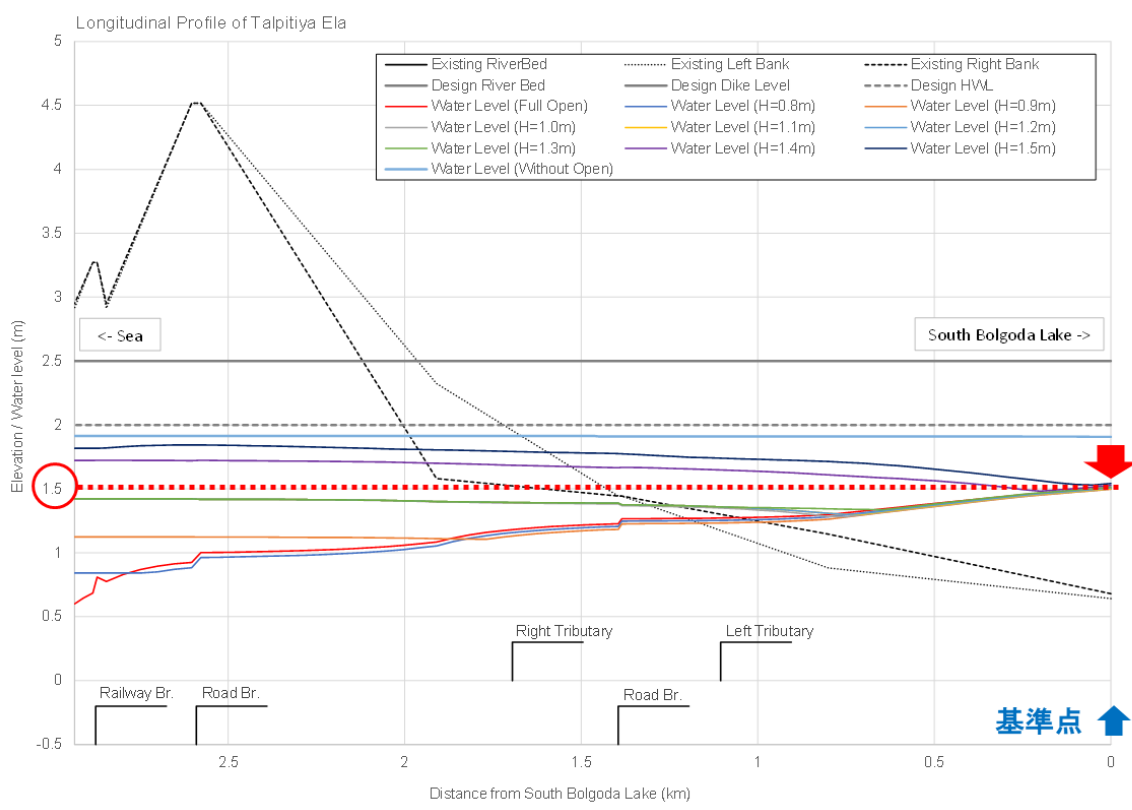


図 6.6.31 Talpitiya Ela 水位縦断面図

4) Talpitiya 支川の改修の必要性

SLLDLC の調査結果によれば、South Bolgoda Lake 周辺地域においては、Talpitiya Ela に南北から接続する支川（Kerapan Ela および Bindunu Ela）の疎通能力不足による浸水被害が頻発しており、河口閉塞対策だけでなく、これら2つの支川の抜本的な排水路改修を積極的に実施していくことは、流域全体の治水安全度を段階的に向上させるために極めて有用である。



図 6.6.32 Bindunu Ela の 2022 年の浸水状況

6.6.2.3 自然湿地公園の保全

(1) 雨水排水対策のための自然遊水機能の保全

対象流域の雨水排水対策において農地や湿地の自然遊水機能の保全は不可欠であり、低湿地の遊水機能の維持と自然環境の保全を非構造対策として位置づけ、遊水機能を有する地域を“自然遊水エリア”として保全することを提案する。

特に、Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域においては、遊水機能を有する既存の湿地・農地の将来的保全のため“自然湿地公園”として整備することを提案する。Bolgoda 流域においては、Bolgoda Lake および Bolgoda Ganga 周辺に設定された自然保護区を中心として支川下流域の自然遊水効果が得られる地域を合わせて“自然遊水エリア”として設定することを提案する。

(2) Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の自然遊水機能の保全

1) 遊水地の計画量と枠組み

Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の排水計画では、2030 年までに 25 年確率の治水安全度を目標とし、全雨水排水量の内、自然湿地により 31%の保水量をもつ遊水地機能の確保を目標としている。表 6.6.15 に流域の各確率年別の遊水地の計画遊水量を示す。そのための必要な遊水地面積とその現況土地利用状況を表 6.6.16 に示す。

表 6.6.15 Kalu Oya 流域の遊水地の安全度（浸水確率年）別の量的枠組み

Storm Water Drainage Function	Flood Carrying and Retarding Capacity in Flood Safety Level (m3/sec)							
	2- Yr	(Share)	10- Yr	(Share)	25- Yr	(Share)	50- Yr	(Share)
River / Water Channel	28.2	24%	84.3	40%	131.5	42%	143.8	36%
Planned Retarding Basin	0	0%	0	0%	0	0%	24	6%
Natural Wetland Park	54.3	45%	76.3	36%	96.3	31%	111.8	28%
Other Inundation	37.5	31%	51.2	24%	84.8	27%	119.9	30%
Total	120	100%	212	100%	313	100%	400	100%

出典：JICA 調査チーム

表 6.6.16 Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の遊水地の必要面積および土地利用現況

Target Basin	Area Requirement and Existing Land Composition for Proposed Natural Wetland Park (ha)				
	Agriculture Land	Natural Grass Land	Wetland*	Water Bodies	Total
Kalu Oya Basin	71.7	0.3	161.8	11.3	245.1
Mudun Ela Sub-basin	4.5	0.2	82.5	0.5	87.8
Total	76.2	0.5	244.4	11.8	332.9

備考：Wetland は水田、放棄水田を含む

出典：JICA 調査チーム

2) 遊水池機能確保のための都市開発管理上の課題

都市化度合いが高い Mudun Ela 流域と比較的緑地も残る Kalu Oya 流域では、大型の都市基盤整備の事業や計画の存在、鉄道や LRT による公共交通施設整備事業が予定され、それらによる利便性の向上から一層の都市化が予想される。都市化圧力の強い流域での効果的な雨水排水対策を都市開発管理から促進するための課題は、以下の通りである。

- 低湿地では、浸水リスクの高い湿地縁周部において不法も含む土地埋立て（宅地化や耕作地化）が進み湿地面積が減少（2004~2018年で対象流域の27%減）し、不適切な埋立ての有効な防止策との都市開発の管理策による遊水地機能の確保が求められている。

低湿地保全では境界線引きと告知による保全管理が制度上位置づけられているが、広大な湿地保全のための量的対応の困難性から境界未線引きの湿地が大半を占め、行政・民間・市民にとって物理的な湿地範囲特定の不明性等が加速要因となり、不法開発や行政手続きによらない開発行為等が発生し、その開発管理体制の物的な強化対策が求められている。

- 低湿地の保全に係る政府方針や自治体レベルでの計画委員会による関連機関（農政局、ID、CEA、SLLDC等）による開発管理体制があるものの、地方分権下で脆弱な地方自治体へ開発許認可権が移譲されたこと、多様な関係機関の調整や一体的な保全体制が不十分なことから、共通目標に基づく協働的な湿地保全や活用策の促進が求められている。

3) Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の自然湿地公園整備計画

公園整備は、遊水地計画区域における既存低湿地の周縁部に物的境界となる小堤を含む”遊歩道“を基本施設として整備し、遊水地機能の確保と周辺居住地の洪水リスクの低減を図ることを目的とする。以下に具体の整備内容を示す。

- 整備テーマ：流域内の遊歩道を中心施設とした8か所の自然湿地公園として、地域特性や公共緑地空間として特色を持たせる整備テーマ（A: 湿地自然教育、B: 防災意識向上、C: 市民の健康余暇、D: 都市農業の理解醸成）を設定し、テーマごとの関連施設整備を行う。
- 整備コンポーネント：自然湿地公園の整備コンポーネントは、1. 公園調査・計画、2. 遊歩道（小堤、歩道舗装、里程標識、照明、休息ベンチ等）、3. ビジターセンター（テーマ展示施設、駐車場、トイレ等）、4. ソフト・プログラム（管理運営計画、学習プログラム、野外活動等に関するコミュニティ・NGO・研究機関等との連携協力等）とする。

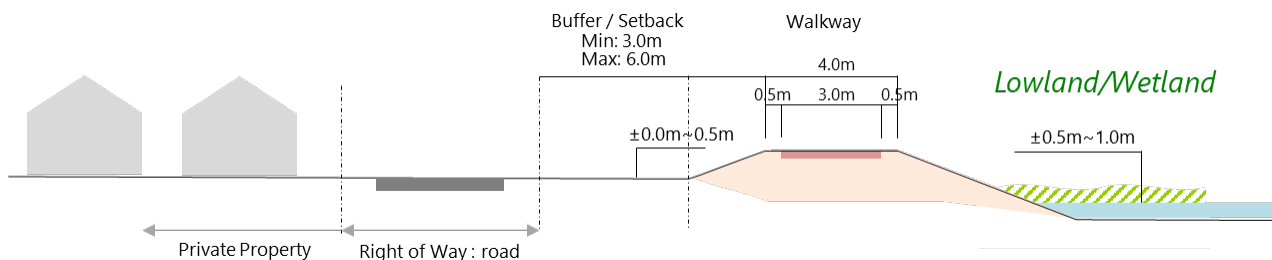
表 6.6.17 Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園計画（案）

Basin	Code	Area (ha)	Amount by Development Component						Development Theme	
			Walkway (km)	Visitor Center (ha)	Ancillary Facilities					No. of Location
TO	PF	EX			TF					
Kalu Oya Basin	NWP-01	98.8	9.6	2.2	✓	✓	✓	✓	1	● C: Outdoor Recreation ● B: Flood Risk Mitigation
	NWP-02	24.6	3.2	1.9	✓	✓	--	--	1	● C: Outdoor Recreation
	NWP-03	75.1	8.4	4.1(1.7+2.4)	✓	✓	✓	✓	2	● A: Wetland Learning
	NWP-04	13.5	2.3	1.8	✓	✓	✓	✓	1	● D: Urban Agriculture
	NWP-05	12.2	2.2	0.5	✓	✓	--	--	1	● C: Outdoor Recreation
	NWP-06	21.0	3.1	0.8	✓	✓	--	--	1	● C: Outdoor Recreation
	Sub-total	245.1	28.8	11.3	--	--	--	--	7	--
Mudun Ela Sub-basin	NWP-07	13.8	4.4	0.6	✓	✓	--	-✓-	1	● C: Outdoor Recreation
	NWP-08*	57.4	12.5	2.1(1.3+0.8)	✓	✓	✓	✓	2	● A: Wetland Learning
	Sub-total	71.3*	16.9	2.7	--	--	--	--	3	--
Ground Total		316.4	45.7	14.0	--	--	--	--	10	--

備考: TO: toilet, PF: parking facilities, EX: exhibition facilities, TF: thematic facilities,

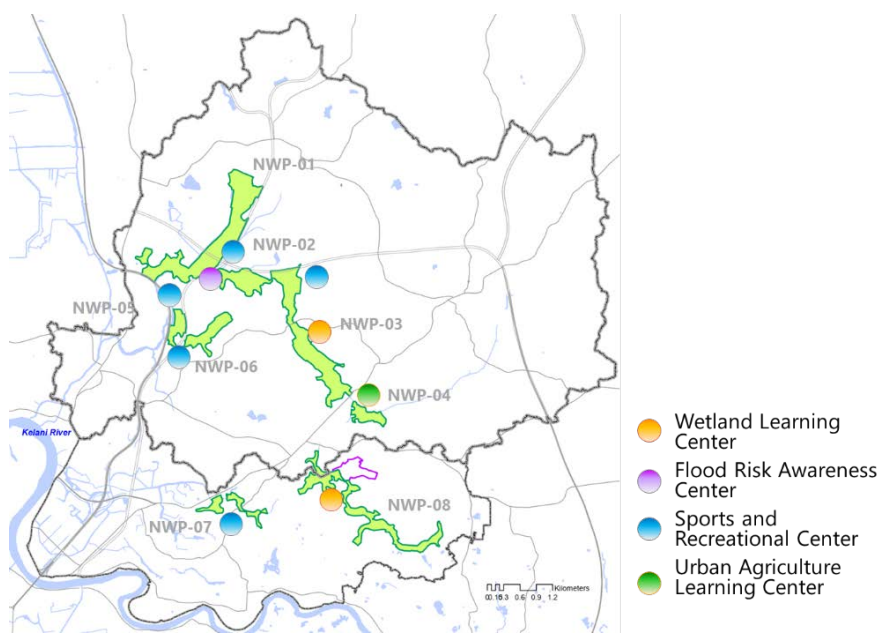
NWP-08: The area includes partially a part in the Kalu Oya Basin. The total area (71.3 ha) of Natural Wetland Parks excludes the area (16.5 ha) for a retarding basin development and not as a Natural Wetland Park.

出典：JICA 調査チーム



出典：JICA 調査チーム

図 6.6.33 遊水地区の保全のための自然湿地公園の遊歩道の整備イメージ（案）



出典：JICA 調査チーム

図 6.6.34 Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園計画（案）

4) 自然湿地公園整備のアクション・プラン

(a) 公園整備の推進体制

公園整備においては、公園の施設整備、維持管理、運営等に対して持続的な推進体制の確立が求められるが、低湿地の多くを占める私有地の存在、自然湿地帯・放棄水田等に係る監督官庁との調整、限られた事業予算、地域の理解と協力の醸成等、実施に向けた多くの課題がある。Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園整備では、Colombo District にて実績のある政府主導型湿地整備事業の可能性と共に、流域の立地条件が Colombo District と異なることにも配慮し、幅広い事業推進体制の整備可能性の検討を通じ、推進体制を構築する。

表 6.6.18 Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園事業の推進体制（案）

Project Components for Implementation of Natural Wetland Park Project		Suitability as Implementation Body for Natural Wetland Park					
		Central Government	SLLDC	Other Semi-Gov. Authorities	Local Government Authorities	NGO / CBO / NPO	University / Academic Institutions
1. Land Expropriation	Wetland	●	△	◎	△	--	--
	Footpath	●	◎	◎	◎	--	--
	Visitor Center	●	◎	◎	◎	--	--
2. Facilities Development		◎	●	●	◎	--	--
3. Operation and Management		◎	●	●	△	△	--
4. Education / Public Awareness Program		◎	◎	◎	◎	●	●

●=適用可能性・妥当性が最も高い、◎=一定状況下での適用可能性あり、△=要検討、--=非適用
出典：JICA 調査チーム

(b) 公園整備の実施フェーズ

自然湿地公園整備では、物的施設整備は雨水排水対策事業の目標年 2030 年の実施期間内とし、基幹施設の歩道整備・小堤 45 km（年間 5~5.5 km の整備量）およびビジターセンター（12 ha）の整備を行う。低湿地の用地取得の是非は、適切な手法を所有者と協議しながら暫時進めていく。想定される公園整備総事業費は、歩道整備が約 700 百万ルピー、ビジターセンター関連施設整備費が約 895 百万ルピーの合計約 1,595 百万ルピー（調査計画設計費および用地取得費を除く）と算定される。

表 6.6.19 Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園事業の実施工程（案）

Project Components for Implementation of Natural Wetland Park Project		Implementation Phase			Beyond 2030
		Short-term (0-3 Y)	Mid-term (3-5 Y)	Long-term (5-10 Y)	
1. Land Expropriation	Wetland			—————
	Footpath	—————		
	Visitor Center		—————	
2. Facilities Development	Footpath	—————	—————	—————	
	Visitor Center		—————	
3. Operation and Management				—————	
4. Education / Public Awareness Program		

出典：JICA 調査チーム

5) KaluOya 流域及び MudunEla 流域の自然遊水エリアと自然湿地公園の指定

KaluOya 流域における自然遊水エリアと自然湿地公園を以下に示す。

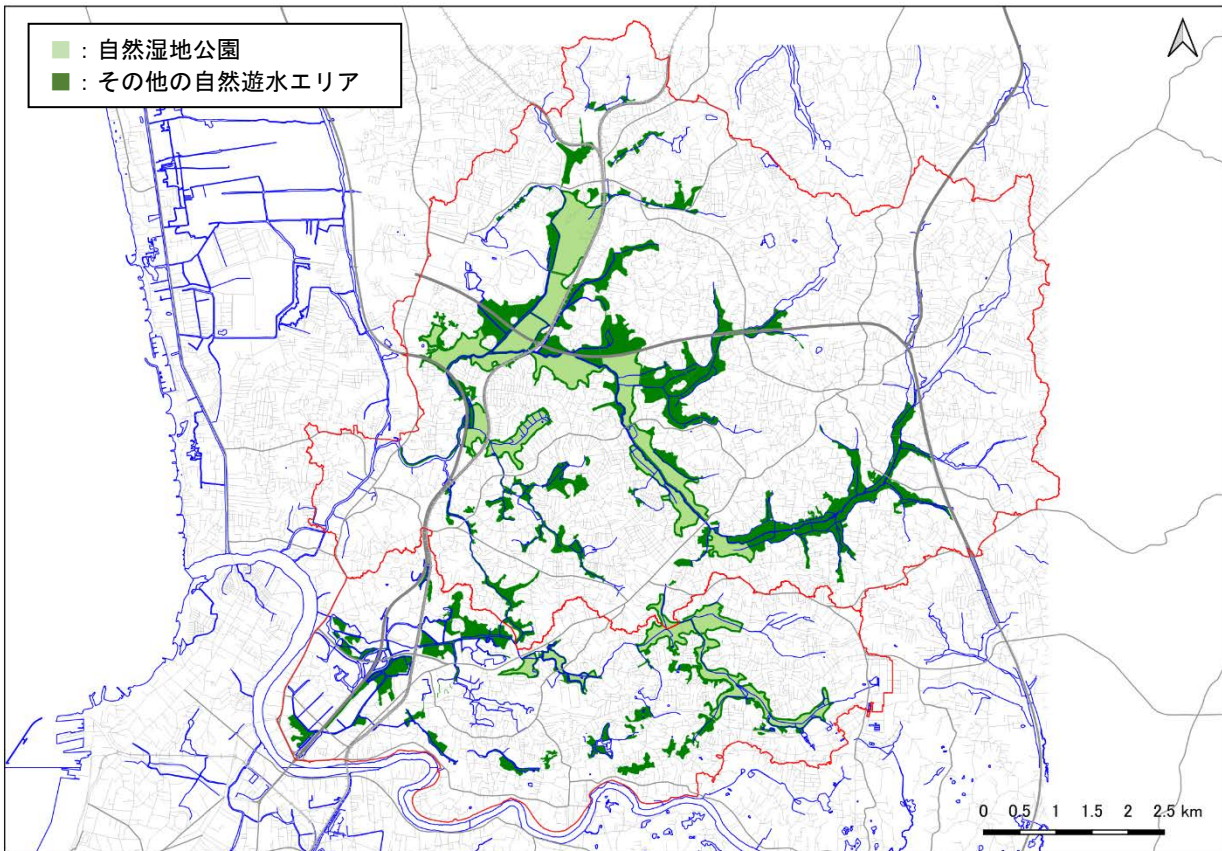


図 6.6.35 Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然遊水エリアと自然湿地公園 (案)

(3) Bolgoda 流域の自然遊水エリア設定の指定による自然遊水機能の保全

1) Bolgoda 流域の自然遊水機能保全の基本方針

Bolgoda 流域で提案される洪水対策を行った場合、一定の浸水面積の低減および被災家屋数の低減がみられるが、KaluOya 流域や MudunEla 流域と比較して効果は軽微である。しかしながら、Bolgoda 流域における湖周辺と支川下流部における自然の遊水効果は絶大であり、中・長期的にこの機能を維持することは極めて重要である。よって、現在、自然保護区に指定されている地区を含む 50 年確率で想定される浸水想定区域を「自然遊水エリア」として設定し、将来的に遊水機能を保全することを非構造物対策として提案する。

2) 自然遊水エリアの計画量と枠組み

Bolgoda 流域の雨水排水計画では、2030 年までに 25 年確率の治水安全度を目標とし、全雨水排水量の内、農地や自然湿地等により約 30%の保水量をもつ遊水地機能の確保を目標としている。表 6.6.20 に流域の各確率年別の自然遊水地の計画保水量を示す。そのための必要な自然遊水エリアとその現況土地利用状況を表 6.6.21 に示す。

- ・ 雨水排水対策案で提示された自然遊水機能を維持すべき区域は、農地、湿地、自然保護区等で構成される。
- ・ 河川水域を除く陸部の自然保護区域（60m 緩衝地区）の土地利用構成は、全洪水想定区域の 3.8%を占め、保護区域内の土地利用別にみると、水田 0.2%、自然草地 15.4%、湿地 15.4%、放棄農地 1.9%、その他農地 1.7%等 となっている。
- ・ 洪水想定区域内に占める最大土地利用は放棄農地 39.6%で、以下に水田 28.8%、その他農地 14.1%、湿地 10.2%が続く。

表 6.6.20 Bolgoda 流域の遊水機能区域の安全度（浸水確率年）別の量的枠組み

Storm Water Drainage Function	Flood Carrying and Retarding Capacity in Flood Safety Level					
	2- Yr	(Share)	25- Yr	(Share)	50- Yr	(Share)
River / Water Channel	236.9	54%	535.1	53%	605.7	52%
Natural Wetland	119.4	27%	282.9	28%	329.1	28%
Other Inundation	83.0	19%	198.2	20%	241.0	20%
Total	439.3	100%	1016.2	100%	1175.8	100%

Unit: m3/sec、出典：JICA 調査チーム

表 6.6.21 Bolgoda 流域の遊水機能区域内の面積および土地利用現況

District	Area Requirement and Existing Land Composition for Retarding Basin (ha)							Total
	Paddy	Other Agriculture Lands	Abandoned Agriculture Lands	Natural Grass Lands	Wetland*	Built-up Area	Aquaculture Area	
Colombo	830.9	198.4	241.4	56.6	262.3	1.7	0.0	1,591.4
Kalu Oya	1,216.6	804.4	2,569.3	443.3	465.8	13.2	0.0	5,512.6
Total	2,047.5	1,002.8	2,810.7	499.9	728.1	14.9	0.0	7,104.0
(share)	28.8%	14.1%	39.6%	7.0%	10.2%	0.2%	0.0%	100.0%
Protected Area*	0.2%	1.7%	1.9%	16.7%	15.4%	0.0%	0.0%	3.8%

備考：Other agriculture land は果樹、野菜等、Built-up Area は住宅、都市的未利用地を含む、(Protected Area) の値は Colombo および Kalutara に含まれる数値、Protected Area は Bolgoda Environment Protection Area で面積比率は、地上部の 60m 緩衝地の用途別全面積と用途別の遊水機能区域に対する比率。

出典：JICA 調査チーム

3) Bolgoda 流域の自然遊水エリアの指定

Bolgoda 流域における洪水想定区域による「自然遊水エリア」を以下にしめす。ただし、指定区域内の現況土地利用の維持や開発規制等に係る制度的対応が必要となるため、これらの事項は別節「6.8 雨水排水管理のための都市開発管理」に詳述する。

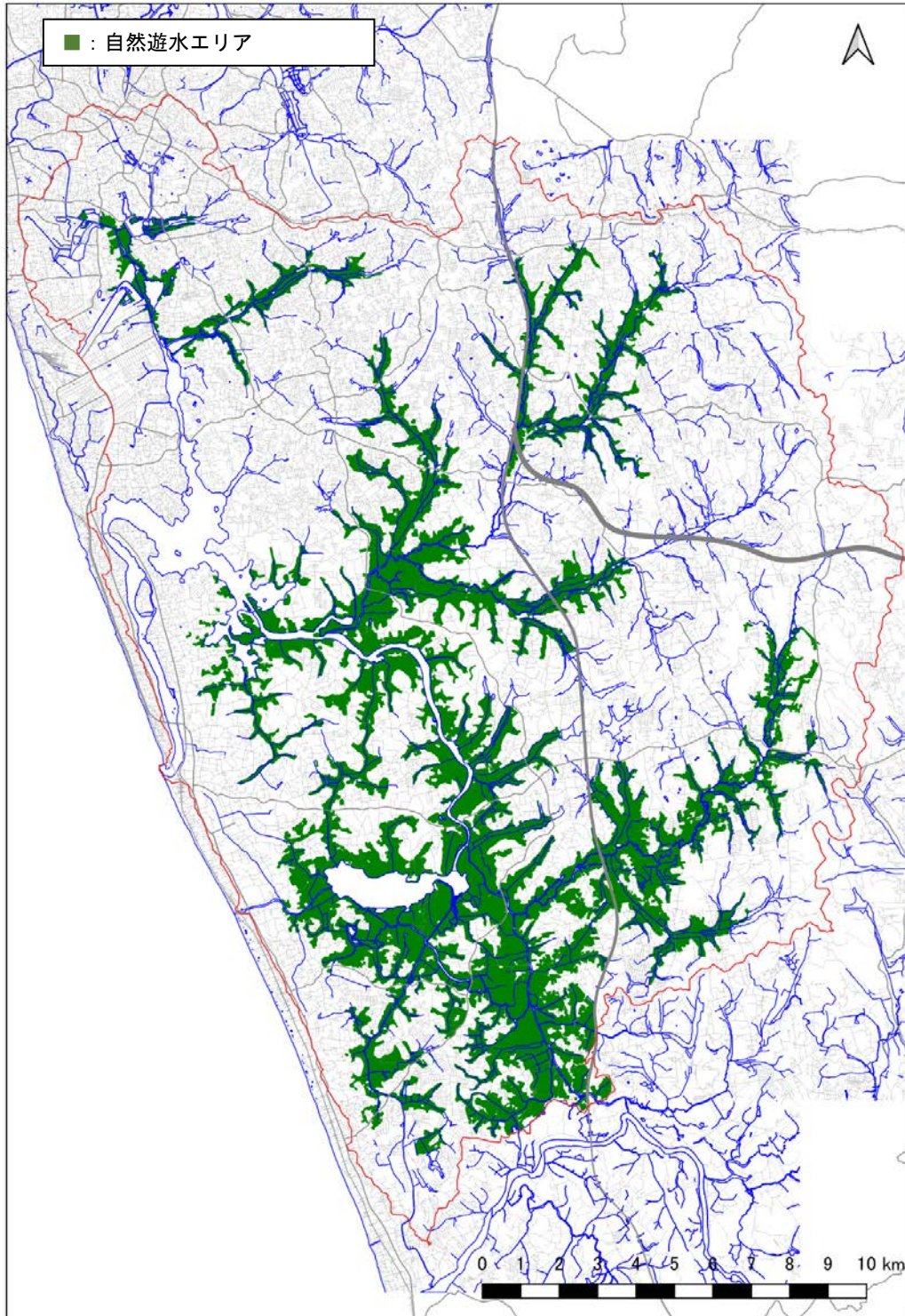


図 6.6.36 Bolgoda 流域の自然遊水エリアの指定 (案)

6.6.2.4 雨水排水計画案の提示

雨水排水計画案は、「6.3 計画フレームの設定」で示した通り、段階的に流域全体の治水安全度を50年確率まで向上させることを前提とした長期計画（全体計画）として提案する。前述までに立案された各流域の対策工に対して、実施可能性（建設費や施工可能量）を考慮するとともに、段階的に治水安全度を向上させるために適切な対策工の組合せ、実施手順を検討し優先順位を設定し、以下の通り整理した。

また、流域全体の対策工のうち2030年までの整備期間で実施される対策工を中期計画として位置付け、2030年までにKalu Oya流域およびBolgoda流域は治水安全度25年確率の達成を目指すこととする。なお、本調査においては、中期計画の2030年までの整備期間で実施される対策工を対象として、概念設計および予備的費用便益分析を行う。これらの配置図を、Kalu OyaとMudun Elaについては図6.6.6に、Bologodaについては図6.6.15に示した。

(1) Kalu Oya 雨水排水計画

Kalu Oya流域の雨水排水計画は次表のようにまとめられる。2030年までの中期計画として25年確率を目標とした事業（優先順位：1～5）を実施し、浸水被害の防止・軽減を図る。

表 6.6.22 Kalu Oya 流域雨水排水計画案

整備水準	優先順位	対策工の概要
10年確率	1	Kalu Oya水路改修 [K1] 地 区： Kalu Oya本川 内 容： 水路改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備） ※河口処理方式（水門・ポンプ排水の自己流堤方式） 延 長： 約5.1 km その他： 道路橋梁架け替え5橋 概略建設費：約 4,811 百万ルピー
	2	Natha Canal水路改修 [K2] 地 区： Kalu Oya合流点より鉄道橋付近 内 容： 水路改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備） 延 長： 約0.5 km 概略建設費：約 177 百万ルピー
	3	Mudun Ela放水路 [K3] 地 区： Natha Canal上流部とMudun Ela交差点付近 内 容： 水路改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備）、既設連結ゲート撤去 Natha水路分岐個所への新規締切り施設（締切堤ないしゲート）の設置 延 長： 約0.3 km 概略建設費：約 284 百万ルピー
	4	自然湿地公園の整備 [K5] 地 区： 本川および支川中上流部の谷底平野に位置する湿地 内 容： 既存湿地の公園化による住居等侵入の防止（約0.5mの小堤で囲み、遊歩道の機能を持たせるとともに周辺住居の浸水防止を図る） 地点数： 6ヶ所（総面積：245.1ha、小堤総延長：28.8km） 概略建設費（小堤のみ）：約 1,266 百万ルピー（ビジターセンターの整備も含め、都市公園セクターの事業内容ととらえ本プロジェクトとしては計上しない。）
25年確率	5	Old Dutch Canal改修および放水路開削 [K4] 地 区： 放水路分派地点からNegombo湿地上流へ 内 容： Old Dutch Canalの改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備） 放水路開削（河道拡幅、浚渫、護岸整備） 延 長： Old Dutch Canal＝約5.0km、放水路＝約0.4km その他： 道路橋梁架け替え2橋

		概略建設費：約 3,141 百万ルピー
50年 確率	6	Kalu Oya河口の水門およびポンプ場整備 [K7] 地 区： Kalu Oya河口 内 容： 合流先のKelani Gangaの築堤事業に併せた、水門およびポンプ場整備 規 模： ポンプ容量=約35m ³ /s、水門幅=約30m 概略建設費：約3,434百万ルピー
	7	自然湿地公園の遊水地化整備 [K8] 地 区： Kalu Oya本川および1次支川沿い自然湿地公園 内 容： 自然湿地公園内の掘削成形、遊水地周囲堤および越流堤整備 地点数： 自然湿地公園4か所 概略建設費：約7,457百万ルピー
-	その 他	ため池改修 [K6] 局地浸水対策のためのため池の改修3か所 概略建設費：約30百万ルピー

出典：JICA 調査チーム

(2) Mudun Ela 雨水排水計画

Mudun Ela 流域の雨水排水計画は次表のようにまとめられる。2030年までの計画として25年確率を目標とした事業（優先順位：1～7）を実施し、浸水被害の防止・軽減を図る。

表 6.6.23 Mudun Ela 流域雨水排水計画案

整備水準	優先順位	対策工の概要
10年確率	1	Mudun Ela排水幹線水路改修 [M1] 地 区： Mudun Ela幹線水路 内 容： 水路改修（河道拡幅、浚渫、護岸整備） 延 長： 約3.1km（Oliyamullaポンプ場からColombo-Kandy道路まで） その他： 道路橋梁架け替え2橋 概略建設費：約954百万ルピー
	2	Peliyagoda二次水路改修 [M2] 地 区： Peliyagodaポンプ場へ接続する水路 内 容： 水路改修（浚渫） 延 長： 約2.8km 概略建設費：約7百万ルピー
	3	Peliyagodaポンプ場の改修 [M3] 地 区： Peliyagodaポンプ場 内 容： 老朽化したポンプ施設の増強（排水能力0.5m ³ /sから1.0m ³ /s） 概略建設費：約31百万ルピー
	4	締切り施設（締切堤ないしゲート）の設置 [M4] 地 区： Peliyagodaポンプ場からの二次排水路の上流にある尾根部分 内 容： 締切りゲート設置（排水区域の分断と明確化） 概略建設費：約25百万ルピー
	5	自然湿地公園の整備 [M8] 地 区： 幹線および二次水路中上流部の谷底平野に位置する湿地 内 容： 既存湿地の公園化による住居等侵入の防止（約0.5mの小堤で囲み、遊歩道の機能を持たせるとともに周辺住居の浸水防止を図る） 地点数： 7ヶ所（総面積=71.3ha、小堤総延長=16.9km） 概略建設費（小堤のみ）：約743百万ルピー（都市公園セクターの事業内容であり、本プロジェクトとしては計上しない。）
25年確率	6	Mudun Ela上流水路改修 [M5] 地 区： Mudun Ela 幹線水路のColombo-Kandy道路交差から上流区間 内 容： 水路改修（浚渫） 延 長： 約3.0km（遊水地からの排水の自然流下を可能とするため、計画遊水地まで掘削） その他： 道路橋梁架け替え6橋 概略建設費：約248百万ルピー
	7	Mudun Ela上流の自然湿地公園の遊水地化整備 [M6] 地 区： 計画遊水地の建設 内 容： 自然湿地公園内の掘削成形、遊水地周囲堤および越流堤整備、流入水路部分改修（浚渫、護岸整備） 地点数： 自然湿地公園1か所 概略建設費：約548百万ルピー
-	その他	Pethiyagoda ポンプ場および Koholwilaポンプ場の新設と接続水路（Naranmini Oya/ Koholwila canal）の改修 [M7] 地 区： Naranmini Oya（Peliyagodaポンプ場上流の三次水路）に沿った浸水常習区域 内 容： 内水排除のためのポンプ施設の設置と接続水路の改修 地点数： 2カ所（Pethiyagoda Pumping Station: 15m ³ /s, Koholwila Pumping Station: 5m ³ /s） 概略建設費（SLLDCにて計画中）

出典：JICA 調査チーム

(3) Bolgoda 雨水排水計画

Bolgoda 流域の雨水排水計画は次表のようにまとめられる。地区ごとの優先順位は、防御区域の想定浸水家屋数、想定浸水人口の規模に従った。2030年までの中期計画として25年確率を目標とした事業（優先順位：1～5）を実施し、浸水被害の防止・軽減を図る。

表 6.6.24 Bolgoda 流域雨水排水計画案

整備水準	優先順位	対策工の概要
25年確率	1	Weras Gangaの水路改修 [B1] 地区： Moratuwa-Rathmalana地区 (Wearas Ganaga右岸) 内容： 水路改修 (築堤) ※築堤によるMoratuwa-Rathmalana地区の浸水防御 延長： 約3.0km 概略建設費：約 158 百万ルピー
	2	Panape Ela流域の居住地区の拠点防御 [B4] 地区： Panape Ela沿川の浸水常習地区 内容： 居住地の拠点防御のための周囲堤設置 延長： 総延長6.7km (3か所) 概略建設費：約 367 百万ルピー
	3	Maha Oya流域の居住地区の拠点防御 [B2] 地区： Maha Oyaが高速道路と交錯している区間および居住地エリア 内容： 水路改修 (築堤、浚渫)、居住地防御のための周囲堤設置 延長： 水路改修延長=4.0km、周囲堤=5.9km (4か所) その他： 道路橋梁架け替え2橋 概略建設費：約 3,403 百万ルピー
	4	Alut Ela流域の水路改修 [B3] 地区： Alut Ela沿川の浸水常習地区 内容： 水路改修 (築堤、浚渫、護岸整備) 延長： 約3.4km その他： 道路橋梁架け替え4橋 概略建設費：約 2,836 百万ルピー
	5	Maha Oya支川上流の居住地区の拠点防御 [B5] 地区： Maha Oya支川が高速道路への接続道路と交差している区間および居住地エリア 内容： 居住地防御のための周囲堤設置 延長： 周囲堤=1.0km (2か所) 概略建設費：約59百万ルピー
50年確率	6	Weras Gangaの水路改修 [B1] 地区： Moratuwa-Rathmalana地区 (Wearas Ganaga右岸) 内容： 水路改修 (浚渫) 延長： 約2.9km 概略建設費：約215百万ルピー
	7	Talpitiya Ela 水路改修および、堆砂箇所 (海岸) の開削 [B6] 【暫定】 地区： 南ボルゴダ湖から海へ接続する水路であるTilpitiya Elaの改良と海岸閉塞箇所 内容： 水路改修 (築堤、浚渫) と堆砂箇所の開削、河口処理によって、南ボルゴダ湖からの排水を促進させる 延長： 水路改修延長=2.8km (本コンポーネントは暫定状態より概略建設費の算出は省略)
-	その他	Muratuwa-Rathmalana地区の排水システムの改良 [B7] 地区： Muratuwa-Rathmalan 地区 内容： Weras Ganga 築堤に伴う水門およびポンプ施設の設置、並びに接続1次水路の改修 延長： 水路改修延長=約 4.0km その他： ゲート=2カ所、ポンプ施設=2か所 (概算費用は Pre-F/S にて算出する。)

出典：JICA 調査チーム

6.6.3 雨水排水対策効果

前述の対策を実施した場合の想定氾濫区域図、浸水面積・家屋数の比較を以下に示す。

25年確率規模対応の洪水対策を行った場合、被害軽減（想定浸水面積の減少、想定浸水家屋数の減少）が見込まれる。ただし、Kalu Oya および Mudun Ela 流域の場合には、湿地を利用した自然湿地公園以外の農地における遊水効果、Bolgoda 流域の場合には、湖周辺の自然保護区を利用した遊水効果等が雨水排水対策全体の前提条件となっている。この前提条件の上には、特にその縁部に居住する世帯への浸水が一定程度残存することとなる。この残存する想定浸水エリアに対しては、居住者に対して、ハザードマップ等を通じた浸水危険個所の提示、土地利用規制等の居住制限等のソフト対策にて対応することが考えられる。

6.6.3.1 対策効果（Kalu Oya および Mudun Ela 流域）

表 6.6.25 に示したとおり、洪水対策を実施した場合、Kalu Oya 流域全体では、25年確率で、影響家屋数が、約3,500戸から約800戸に減少する。Mudun Ela 流域全体では、4,600戸が2,200戸に減少する。両流域ともに、影響家屋が残存するが、ほとんどが0.5m以下の浸水深に収まっていることから、影響は軽微といえる。

図 6.6.37 およびに示す通り、段階的な整備により治水安全度の向上をさせ、Kalu Oya 基準地点においては現況の72 m³/s（2年確率相当）から107 m³/sまで流下能力が向上する。Mudun Ela 基準地点において現況の12 m³/s（2年確率相当）から25 m³/sまで流下能力が向上する。

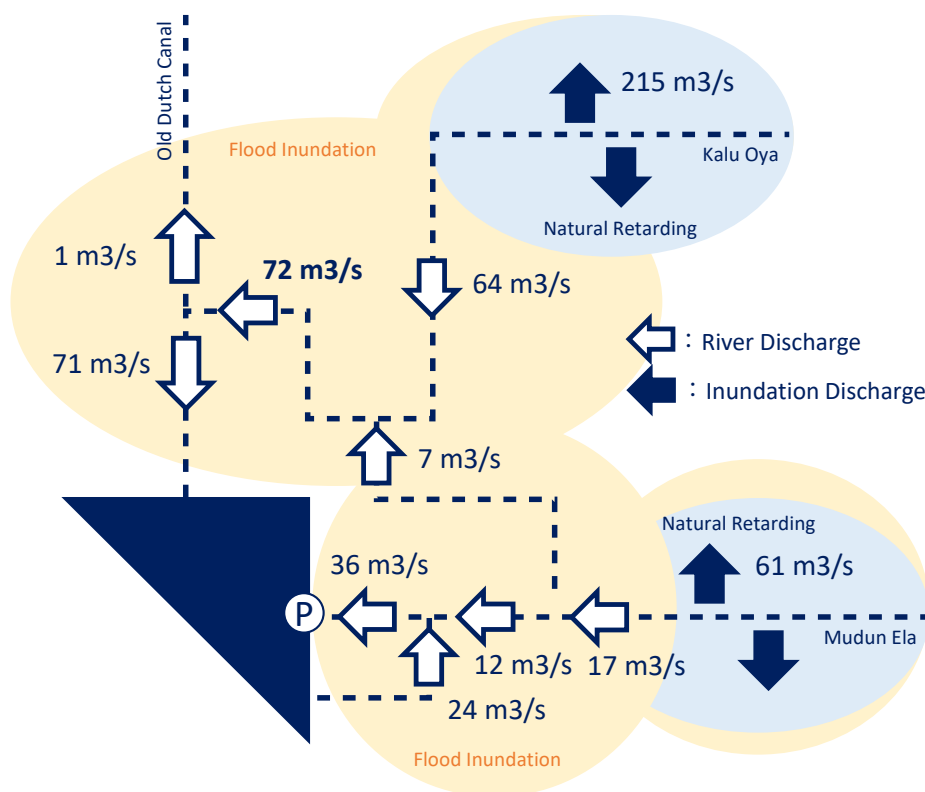


図 6.6.37 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域 流量配分模式図（25年確率：現況河道）

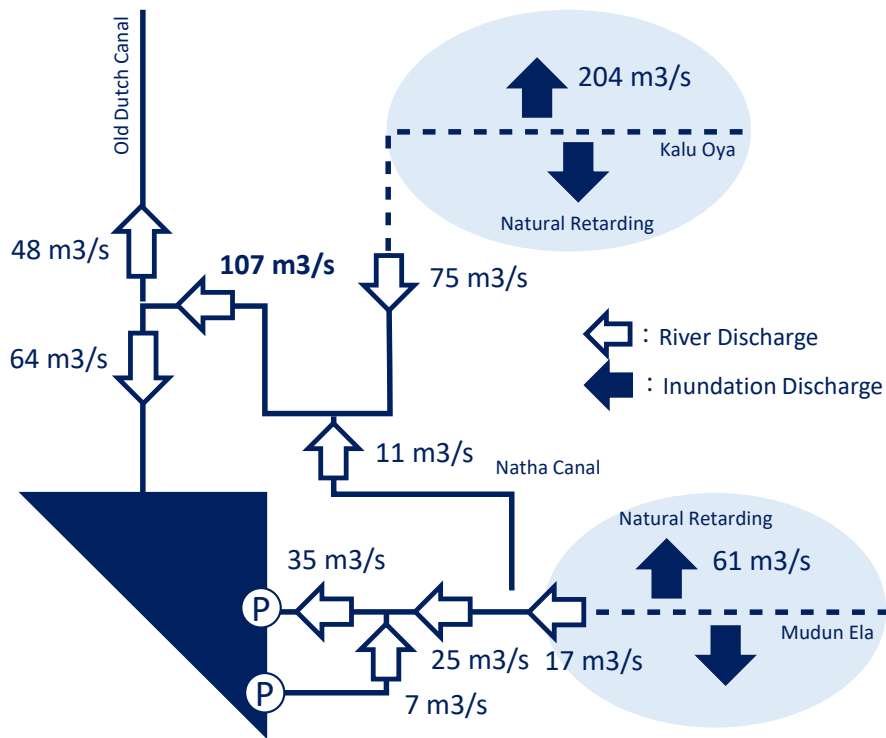


図 6.6.38 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域 流量配分模式図 (25 年確率対応整備後)

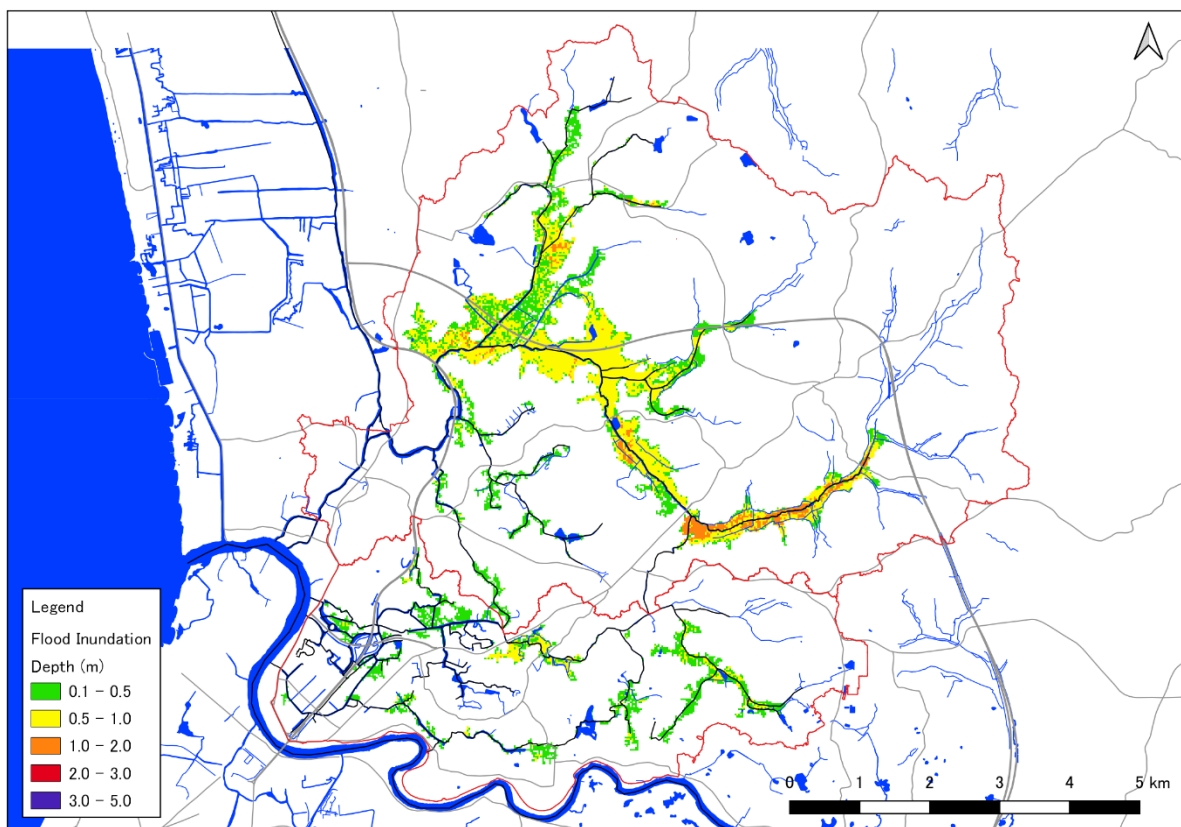
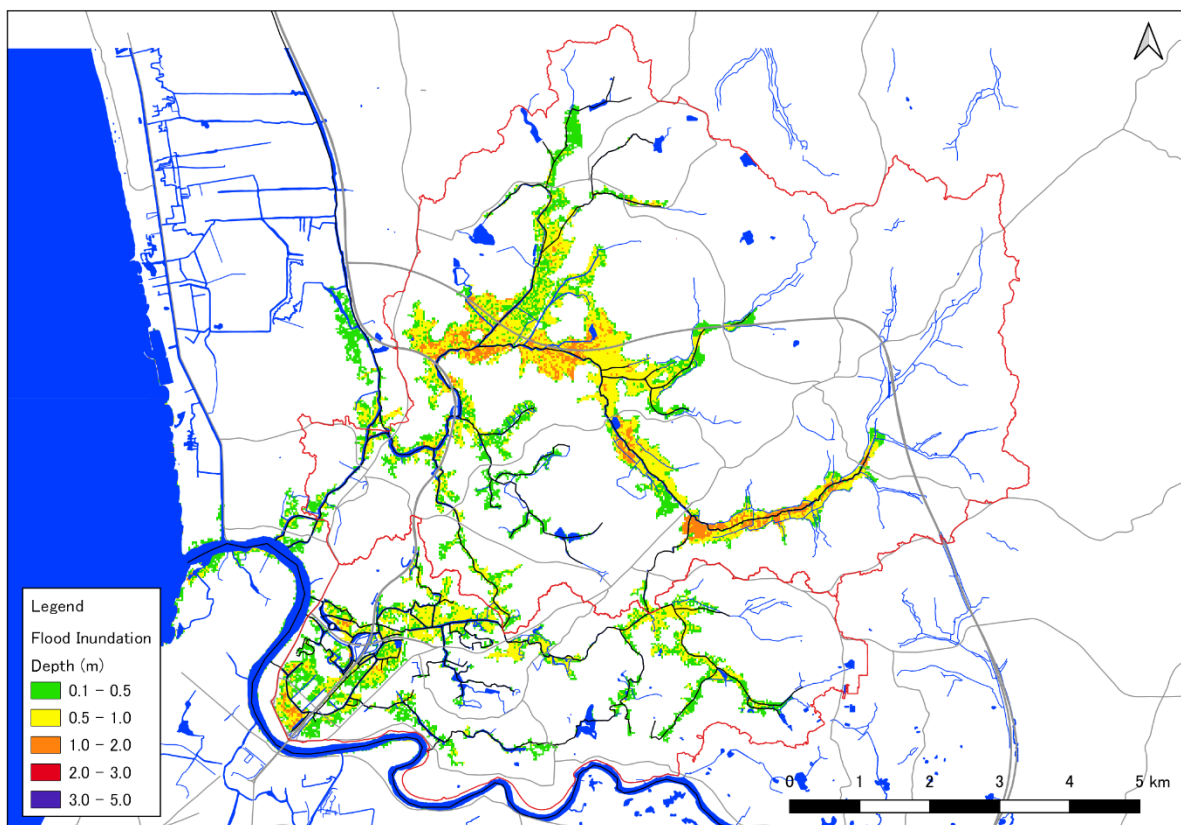


図 6.6.39 想定氾濫区域図 (Kalu Oya 10年確率 上段：対策なし、下段：対策あり)

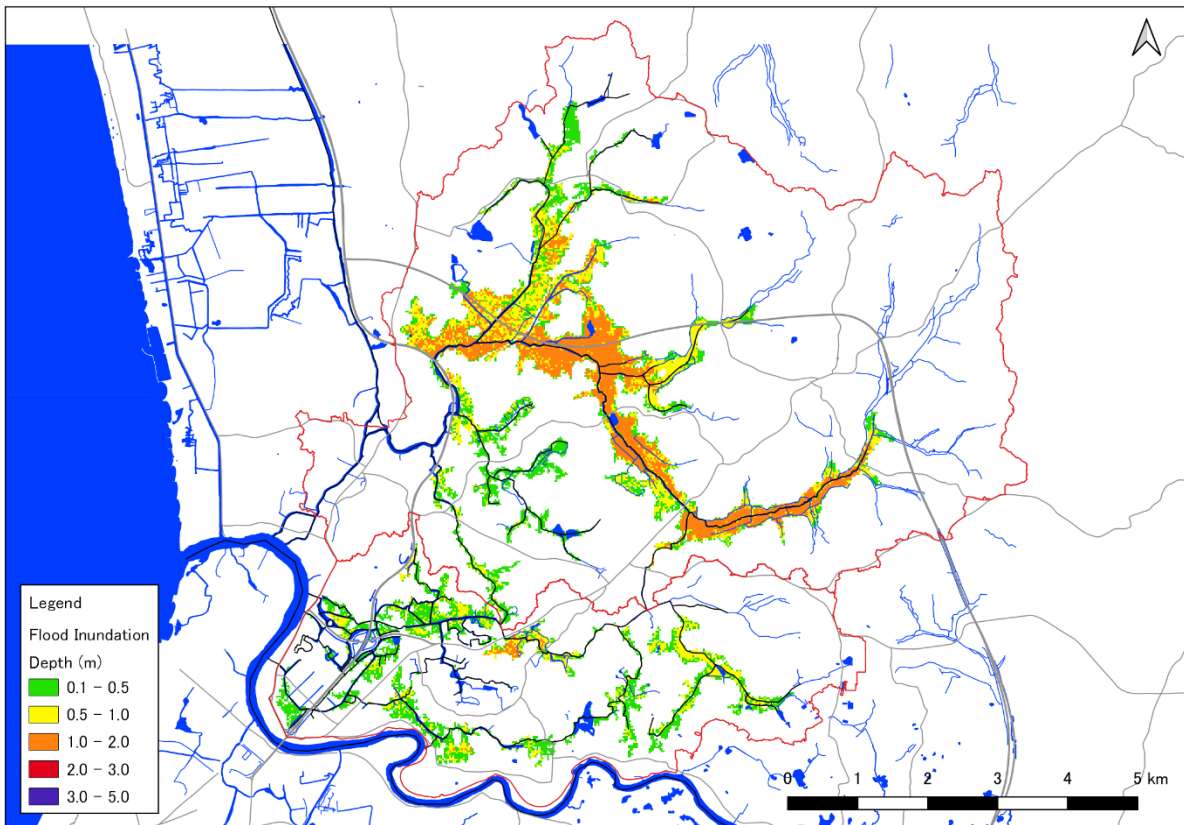
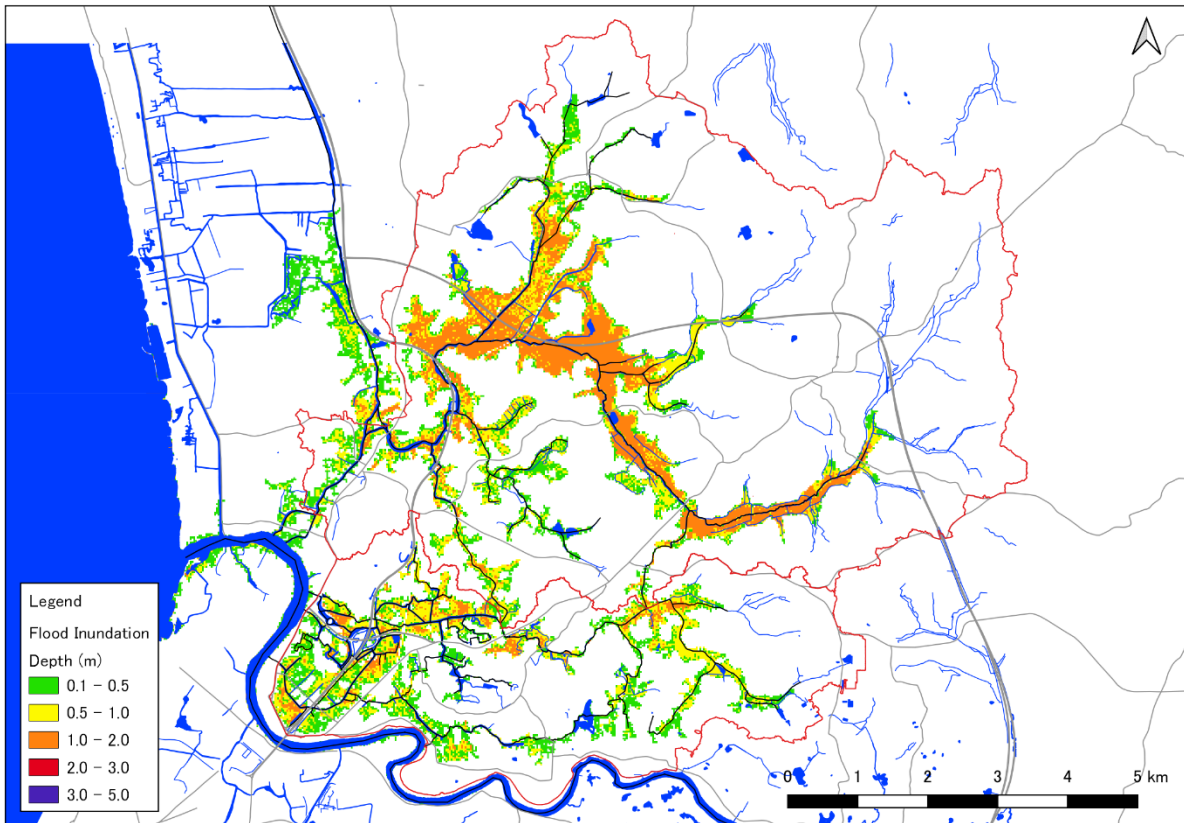


図 6.6.40 想定氾濫区域図 (Kalu Oya 25年確率 上段：対策なし、下段：対策あり)

表 6.6.25 対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較 (Kalu Oya)

【対策なし】

(1) Inundation Area (ha)

Land use	2-year	5-year	10-year	25-year
Agricul Area	5.9	7.0	9.0	13.2
Lowland (Wetland)	407.9	493.9	548.4	597.3
Nature Area	2.0	2.0	2.0	4.8
Water Area	41.9	46.1	47.5	49.4
Settlement Area	153.9	235.6	310.1	482.4
Total	611.7	784.7	917.1	1,147.1

(2) Number of Houses

Inundation Depth (m)	2-year	5-year	10-year	25-year
0.0-0.1	236	455	554	871
0.1-0.5	393	628	924	1,762
0.5-1.0	35	106	290	688
1.0-1.5	0	0	0	203
1.5-2.0	0	0	0	0
2.0-	0	0	0	0
Total	664	1,189	1,768	3,525

【対策あり】

(1) Inundation Area (ha)

Land use	2-year	5-year	10-year	25-year
Agricul Area	5.6	6.3	8.2	11.1
Lowland (Wetland)	390.6	445.9	508.7	567.5
Nature Area	2.0	2.0	2.0	2.5
Water Area	31.9	33.3	35.8	36.6
Settlement Area	101.9	150.2	203.0	310.4
Total	532.0	637.8	757.8	928.1

(2) Number of Houses

Inundation Depth (m)	2-year	5-year	10-year	25-year
0.0-0.1	99	253	208	286
0.1-0.5	15	55	228	519
0.5-1.0	0	0	2	18
1.0-1.5	0	0	0	0
1.5-2.0	0	0	0	0
2.0-	0	0	0	0
Total	115	309	438	824

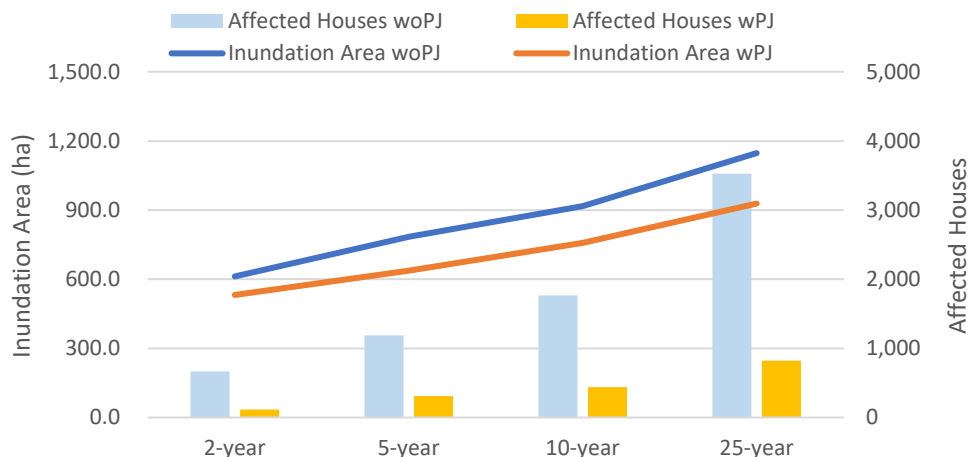


図 6.6.41(1) 対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較 (Kalu Oya)

表 6. 6. 25 (2) 対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較 (Mudun Ela)

【対策なし】

(1) Inundation Area (ha)

Land use	2-year	5-year	10-year	25-year
Agricul Area	0.6	1.4	2.4	4.3
Lowland (Wetland)	135.6	158.5	172.2	191.0
Nature Area	1.3	2.3	2.5	2.6
Water Area	30.6	32.3	34.8	37.8
Settlement Area	221.7	253.1	310.1	454.2
Total	389.8	447.6	522.0	689.9

(2) Number of Houses

Inundation Depth (m)	2-year	5-year	10-year	25-year
0.0-0.1	488	596	899	1,157
0.1-0.5	1,139	1,218	1,372	2,487
0.5-1.0	303	295	402	866
1.0-1.5	8	8	8	39
1.5-2.0	0	0	0	0
2.0-	0	0	0	0
Total	1,937	2,117	2,680	4,550

【対策あり】

(1) Inundation Area (ha)

Land use	2-year	5-year	10-year	25-year
Agricul Area	0.3	0.7	1.5	2.8
Lowland (Wetland)	62.5	85.9	112.5	146.8
Nature Area	1.3	1.6	2.5	2.5
Water Area	7.6	14.7	19.9	31.1
Settlement Area	44.4	85.9	132.6	265.8
Total	116.2	188.8	268.9	448.8

(2) Number of Houses

Inundation Depth (m)	2-year	5-year	10-year	25-year
0.0-0.1	222	363	474	821
0.1-0.5	22	128	382	1,307
0.5-1.0	0	0	5	87
1.0-1.5	0	0	0	0
1.5-2.0	0	0	0	0
2.0-	0	0	0	0
Total	244	491	861	2,215

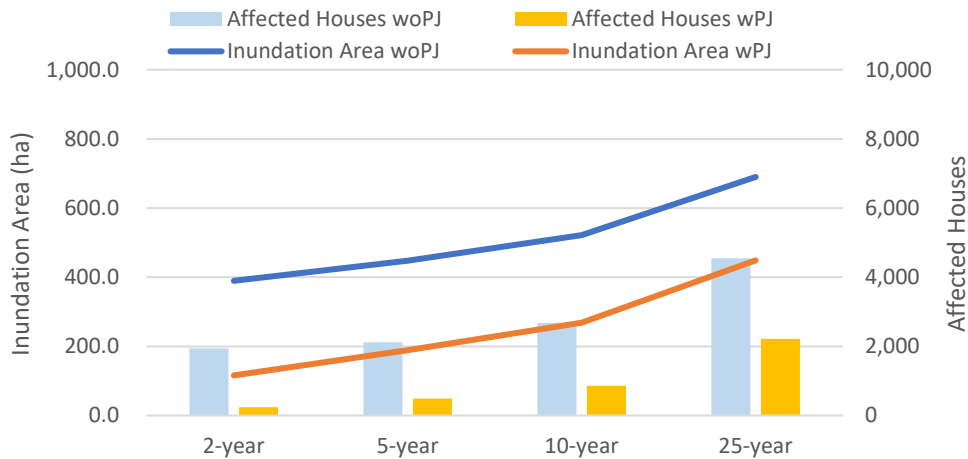


図 6. 6. 41 (2) 対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較 (Mudun Ela)

6.6.3.2 対策効果 (Bolgota 流域)

(1) 対策効果

Bolgota 流域においては、Bolgota 湖を中心とした自然保護区周辺の湿地エリアを保全しつつ、洪水氾濫の遊水効果を維持することが極めて重要である。図 6.6.42 に示した通り、自然の遊水効果を維持し、対策工は重点箇所限定しているため、河道流量に大きな変化はない。基準地点における現況流下能力は $93 \text{ m}^3/\text{s}$ (2年確率相当) から $234 \text{ m}^3/\text{s}$ まで向上する。表 6.6.26 に示したとおり、Bolgota 流域の洪水対策を実施した場合、Bolgota 流域全体では、25年確率で、影響家屋数が、約 3,600 戸から、約 2,600 戸に低減する。対策工を講じた場合でも一定の影響家屋数が残存することとなる。

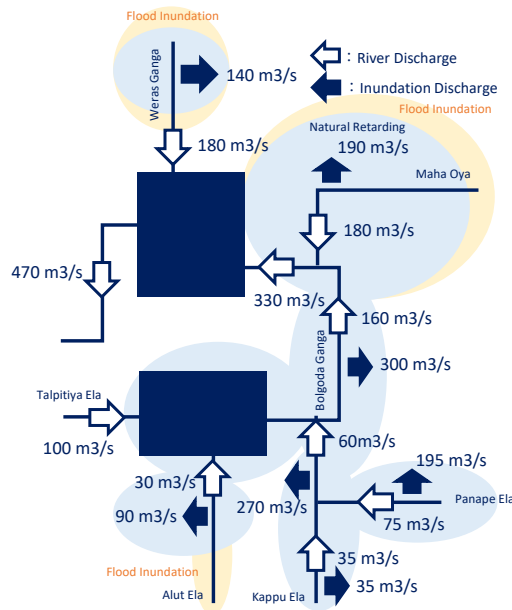


図 6.6.42 Bolgota 流域における流量配分模式図 (25年確率現況河道)

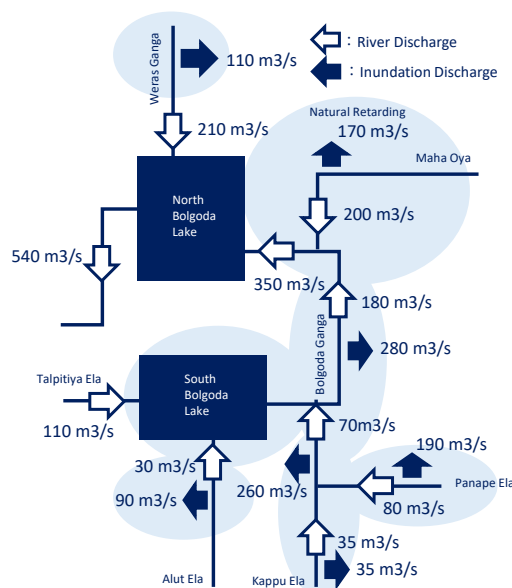


図 6.6.43 Bolgota 流域における流量配分模式図 (25年確率対応整備後)

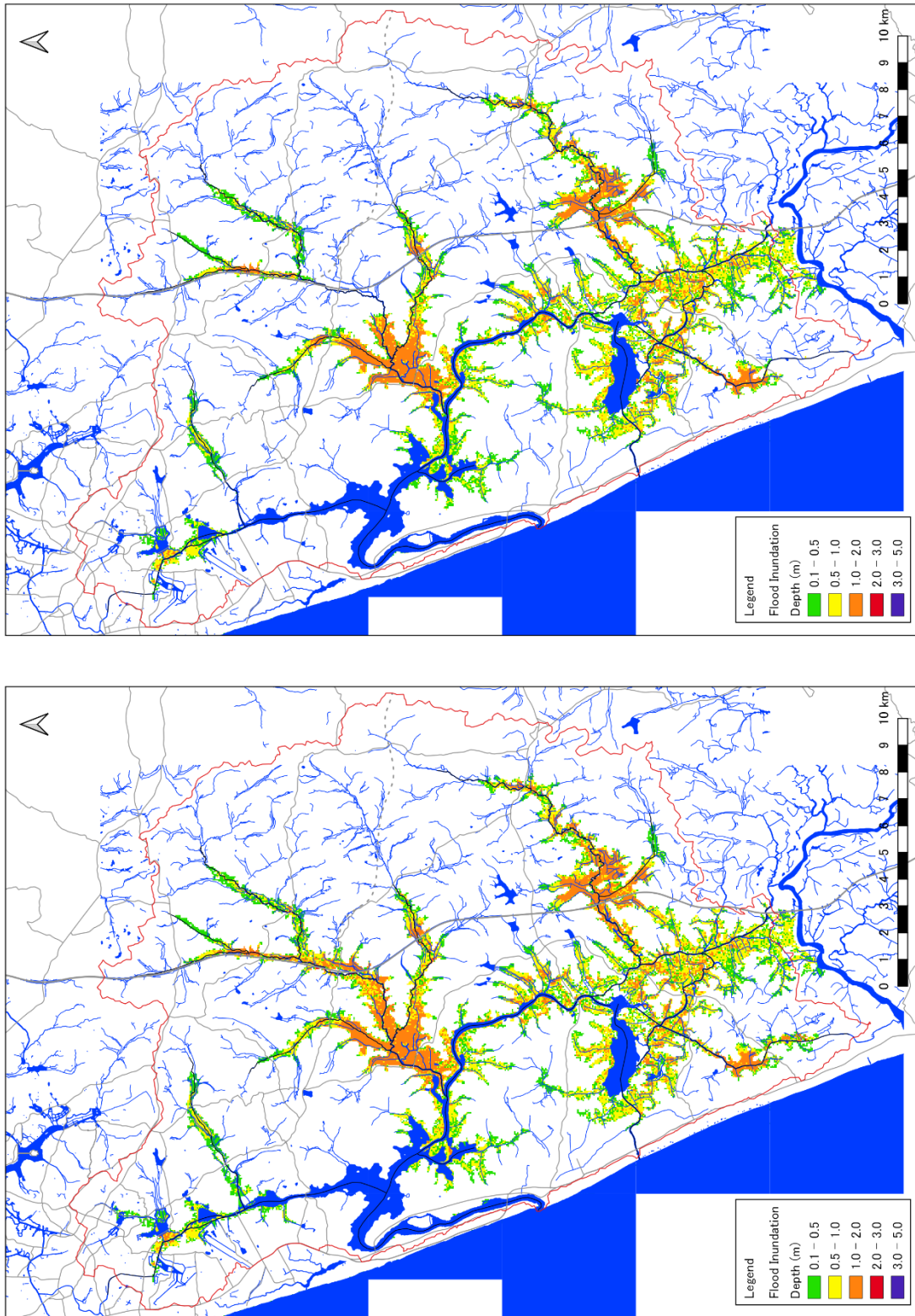


図 6.6.44 想定氾濫区域図 (Bolgoda 25年確率 左：対策なし、右：対策あり)

表 6. 6. 26 対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較 (Bolgoda)

【対策なし】

(1) Inundation Area (ha)

Land use	2-year	5-year	10-year	25-year
Agricul Area	316.3	476.0	544.4	617.5
Lowland (Wetland)	1,867.7	3,213.7	3,882.4	4,435.8
Nature Area	167.4	279.6	343.2	404.0
Water Area	427.4	542.8	606.0	649.4
Settlement Area	388.2	782.1	1,099.2	1,499.2
Total	3,167.0	5,294.2	6,475.2	7,606.0

(2) Number of Houses

Inundation Depth (m)	2-year	5-year	10-year	25-year
0.0-0.1	40	70	55	158
0.1-0.5	252	515	1,052	1,909
0.5-1.0	32	173	373	665
1.0-1.5	36	171	487	1,018
1.5-2.0	1	42	44	129
2.0-	0	0	10	17
Total	360	971	2,021	3,897

【対策あり】

(1) Inundation Area (ha)

Land use	2-year	5-year	10-year	25-year
Agricul Area	275.9	419.5	492.0	554.8
Lowland (Wetland)	1,754.6	3,049.8	3,686.3	4,216.2
Nature Area	133.6	246.4	298.0	356.2
Water Area	607.3	711.9	760.0	791.6
Settlement Area	339.6	676.1	909.8	1,251.2
Total	3,111.0	5,103.6	6,146.1	7,170.0

(2) Number of Houses

Inundation Depth (m)	2-year	5-year	10-year	25-year
0.0-0.1	57	54	44	158
0.1-0.5	242	368	626	1,152
0.5-1.0	15	166	250	452
1.0-1.5	15	117	336	791
1.5-2.0	0	19	23	57
2.0-	0	0	0	0
Total	330	724	1,280	2,610

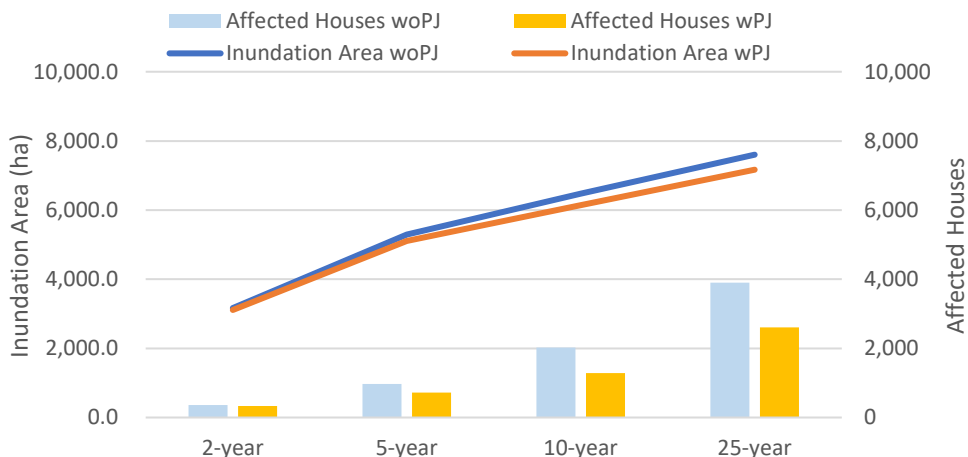


図 6. 6. 45(1) 対策前後の想定浸水面積と影響家屋数の比較 (Bolgoda)

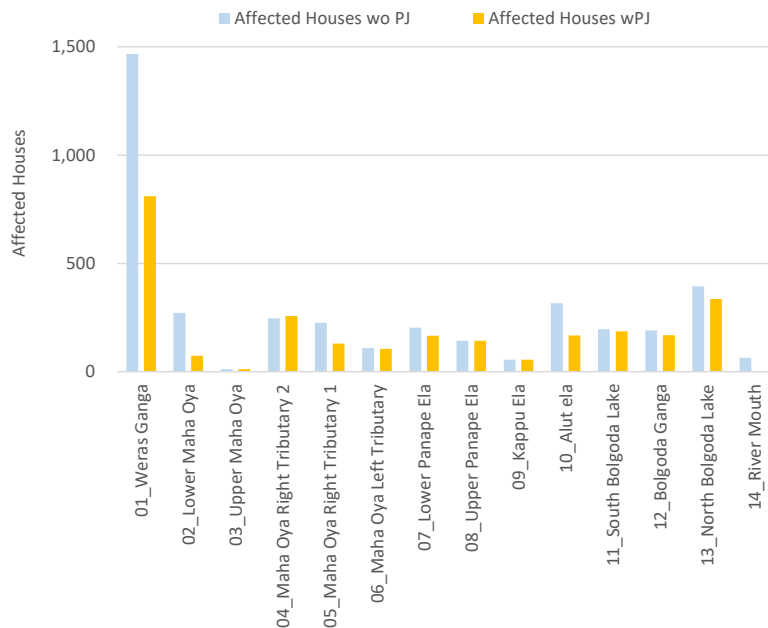


図 6.6.46 対策前後の影響家屋数の比較 (Bolgoda 地区別)

(2) 浸水残存箇所への対応（参考）

前述の通り洪水対策を行った場合でも一定の影響家屋数が残存することとなる。特に Weras Ganga 流域においては、Weras Ganga 右岸側の Muratuwa-Rathmalana 地区において効果が得られるものの、他の地区に約 800 戸の影響家屋が残存する。これは、SLLDC によって実施された 2003 年 JICA 調査を基にした改修規模が 10 年確率、2 年確率であるため、いわゆる超過洪水による浸水の影響である。（図 6.6.47 参照）。これらの影響家屋の居住者に対し、移転の必要性が考えられる場合は、JICA ガイドライン及び世銀 OP4.12、スリランカ国内法に基づいて対応する。

参考として、本調査で提案した Weras Ganga 右岸堤防の対策を講じた場合に、外力条件が 10 年確率雨量、5 年確率雨量の場合の浸水範囲を図 6.6.48、図 6.6.49 に示す。10 年確率雨量の場合において市街地（居住区域）に一部浸水が残り、5 年確率雨量の場合には、浸水はほとんど想定されない。これら居住者に対する超過洪水への対策としては、浸水可能性区域の提示による避難体制の整備等による非構造物対策にて対応することが必要である。

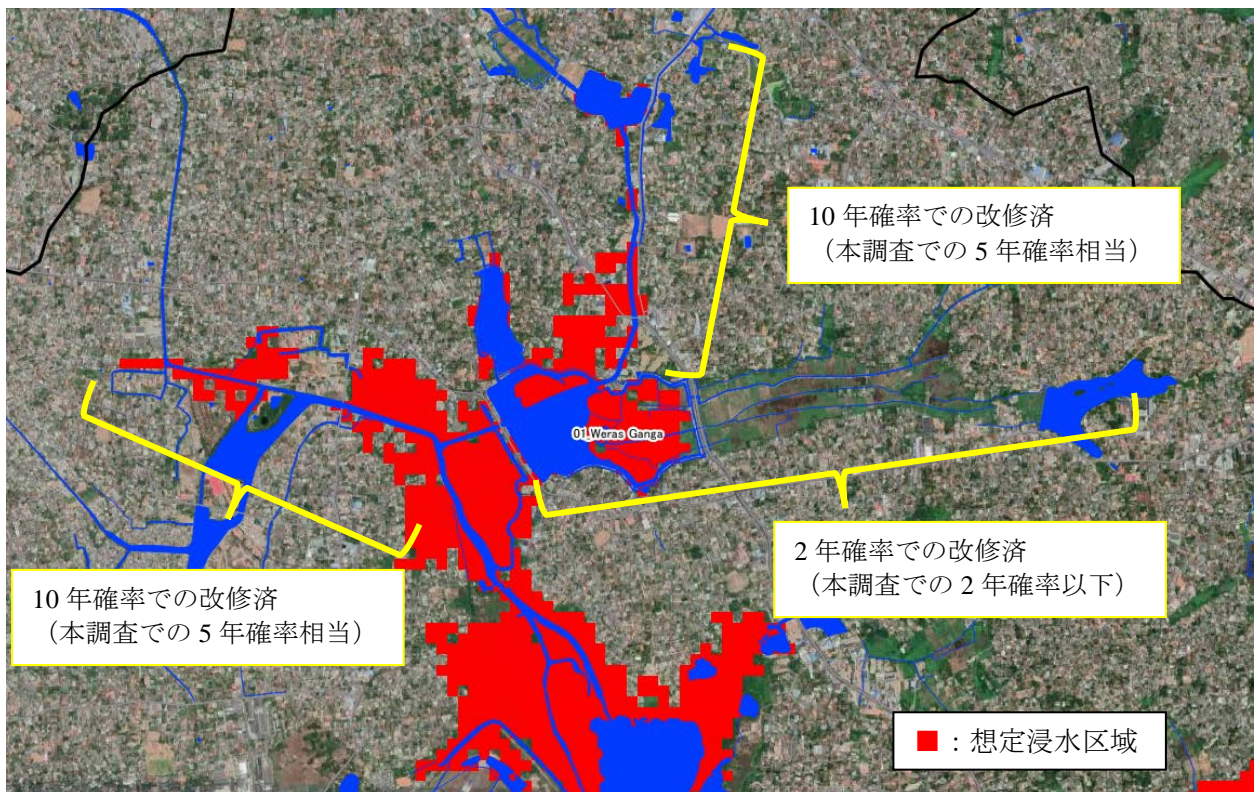


図 6.6.47 Weras Ganga 流域の対策ありの浸水想定区域（25 年確率雨量）

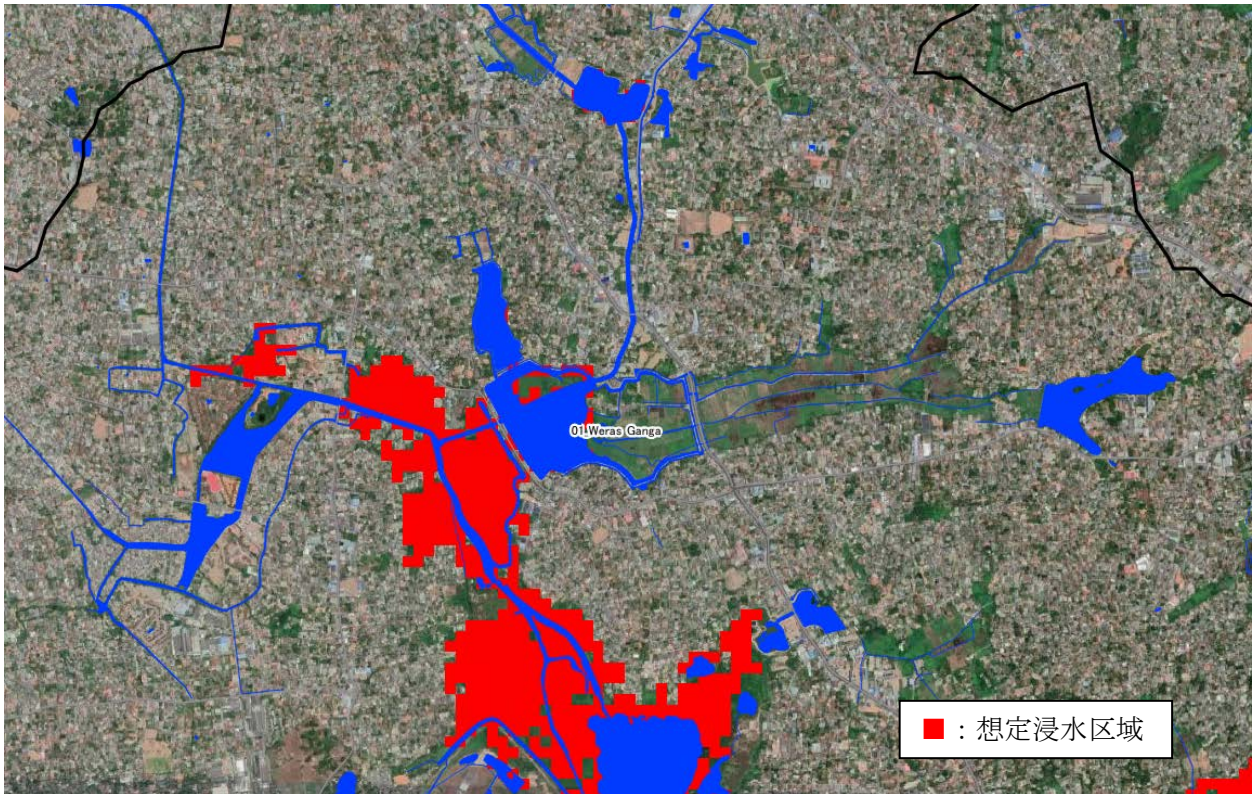


図 6.6.48 Werasingha Ganga 流域の対策ありの浸水想定区域 (10年確率雨量)

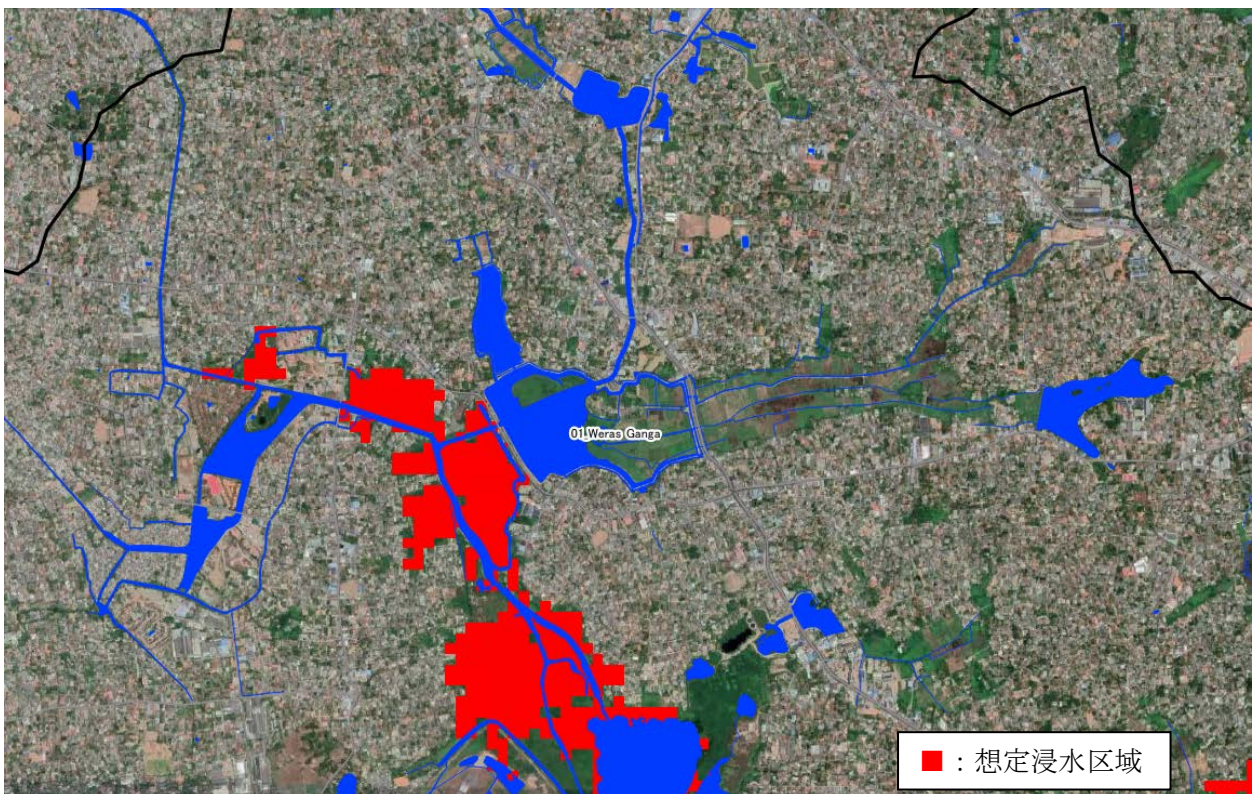


図 6.6.49 Werasingha Ganga 流域の浸水想定区域 (5年確率雨量)

6.7 雨水排水対策案の概念設計

構造物対策概念設計および積算に関し、以下を目的に、ステージ1（基礎調査）における調査を実施し、ステージ2（M/P）にて検討した。

- スリランカにおける設計ガイドライン、マニュアルおよび基準を整理し、日本のものと比較する。
- M/P や Pre-F/S 調査で参考となり得る過去の調査における標準断面を整理し、水理解析の結果をもとに M/P の概念設計を実施する。
- M/P や Pre-F/S 調査で参考となり得るプロジェクトの積算手法を整理し、M/P の概略積算を実施する。

6.7.1 設計ガイドライン、マニュアルおよび基準

6.7.1.1 スリランカにおける設計ガイドライン、マニュアルおよび基準

スリランカにおいては、構造物の設計手法や標準断面等を取りまとめた設計ガイドライン、マニュアル、または基準といったものは存在しないが、測量等の調査や施工に関する仕様を取りまとめた基準書は存在する。表 6.7.1 に、調査および施工に関する基準書を整理する。

表 6.7.1 スリランカにおける調査および施工に関する基準書

No.	基準書タイトル	内容	発行者および発行・更新年月
1	Specifications for site investigation for building and civil engineering works	現地調査に関する仕様が整理された基準書。ボアホール調査、テストピット、土および岩の試料採取、原位置試験、室内試験等に関し記述されている。柱状図の例も掲載されている。	建設工業開発庁 2017年1月
2	Specifications for irrigation and land drainage works	一般的な灌漑並びに排水工およびそれらの補修に関する仕様が整理された基準書。仮設工に関しても整理されている。施設や施工の一般的な説明、材料品質基準、施工方法等に関し記述されている。	建設工業開発庁 2013年5月
3	Specifications for water supply sewerage and storm water drainage works	一般的な灌漑並びに排水施設施工および雨水排水工に関する仕様が整理された基準書。コンクリート工、管渠、ポンプ、塗装工、建屋、処理場、電機工等に関し記述されている。	建設工業開発庁 2002年4月
4	Specifications for bored and cast in-situ reinforced concrete piles	コンクリート杭工の仕様が整理された基準書。現場整備、材料品質基準、施工方法、杭の載荷試験等に関し記述されている。	建設工業開発庁 2016年2月
5	Standard specifications for construction and maintenance of roads and bridges	道路並びに橋梁の施工およびそれらの維持管理に関する仕様が整理された基準書。現場清掃、土工、舗装工、道路および橋梁建設、道路および橋梁維持管理等に関し記述されている。	建設工業開発庁 2009年6月
6	Specifications for coastal and harbor engineering works	一般的な海岸および港湾工事に関する仕様が整理された基準書。コンクリート杭、鋼杭、埋め立て、浚渫、護岸等の建設に必要な調査、材料品質基準、施工手順等が示されている。また、この基準書には原石山の管理手法も記述されている。	建設工業開発庁 2008年6月

出典：JICA 調査チーム

6.7.1.2 日本における設計ガイドライン、マニュアルおよび基準

M/P および Pre-F/S 調査において参照可能なガイドライン、マニュアルおよび基準を表 6.7.2 に示す。

表 6.7.2 日本における設計および施工に関する基準書

No.	基準書タイトル	内容	発行者および発行・更新年月
1	改訂 解説・河川管理施設等構造令	河川法に準じた当構造令は、ダム、堤防その他の主要なものの構造について計画・設計および河川環境の整備と保全を目的とした河川管理上必要とされる技術的基準で、本書はその解説書である。	日本河川協会 2000年1月
2	河川砂防技術基準および同解説 (調査編、計画編、設計編)	河川砂防技術基準は、河川、砂防、地すべりおよび海岸に関する調査、計画、設計および維持管理を実施するために必要な技術的事項について定めるもので、本書はその解説書である。	日本河川協会 2012年6月(調査編) 2019年3月(計画編) 2019年7月(設計編)
3	河川堤防の構造検討の手引き	本書は河川堤防の概念や設計手法について示しており、浸透、浸食、地震荷重といった堤防の安定性にかかる外的要因について解説し、安全評価法について整理している。	国土技術研究センター 2012年2月
4	護岸の力学設計法	護岸の設計手法を数パターンに整理して示している。	国土技術研究センター 2007年11月
5	美しい山河を守る災害復旧基本方針 (ガイドライン)	本ガイドラインは災害復旧時にける自然環境への影響を踏まえた河川構造物の設計概念および設計手法について整理している。	国土交通省 2018年6月

出典：JICA 調査チーム

6.7.2 設計基準

6.7.1 節で述べた様に、スリランカにおいては河川構造物や排水構造物に関する設計ガイドライン、マニュアルおよび基準が存在しない。これらの施設の設計は、設計者および設計機関の経験により提案され、都度安全性を評価して決定される。本節では、スリランカの河川・排水路における堤防設計および護岸設計の基礎的概念と本調査で適用する設計基準について整理する。

6.7.2.1 堤防高

堤防高は、設計高水位に余裕高を加えたものとする。

6.7.2.2 余裕高

SLLDC において経験的に採用されている余裕高の最小値は 0.2m であり、一般的に採用されている余裕高は 0.5m である。日本においては、余裕高の最小値は河川管理施設等構造令により設計洪水流量に対応して表 6.7.3 に示されるとおり設定される。ただし、掘り込み河道の場合は「中小河川に関する河道計画の技術基準について（国土交通省通知）」により、余裕高確保のための嵩上げは好ましくないと考えられる。なお、JICA 2003 M/P ではこれらの概念にならい余裕高が設定されている。一方、2018 F/S では、設計洪水流量が 85 m³/sec から 108 m³/sec であることに對し、余裕高は 1.0 m と設定されている。

本調査における対象河川では、6.4.2 節で述べた通り、計画高水位は基本的に堤内地盤高程度に設定している。この場合、余裕高が高ければ超過洪水時の下流域への影響が大きくなる。したがって、本調査での余裕高は、構造令の数値より小さくなるが、SLLDCにおいて一般的に採用されている0.5mとする。

表 6.7.3 設計洪水流量と余裕高の最小値

設計洪水流量 (m ³ /s)	余裕高の最小値 (m)
200 未満	0.6
200 以上 500 未満	0.8
500 以上 2,000 未満	1.0
2,000 以上 5,000 未満	1.2

出典：河川管理施設等構造令

6.7.2.3 天端幅

スリランカにおいて、維持管理用道路として利用する場合の堤防天端幅は、経験的に3mとされる。日本では、6.7.2.2 節に示した余裕高と同様に、堤防天端幅の最小値は河川管理施設等構造令により設計洪水流量に対応して表 6.7.3 に示されるとおり設定されており、JICA 2003 M/P においても同様の概念が適応されている。一方、2018 F/S において提案されている土堤の天端幅は1mしかない。維持管理は土堤の堤内地側道路から実施するものと考えられる。

本調査では表 6.7.3 を参考に、天端からの維持管理活動を想定し、天端幅は管理用道路幅の3.0mを含む4.0mとする。ただし、工場等が河道に隣接し用地が広く確保できない個所においては、護岸構造を鋼矢板擁壁とし、天端幅は1.0mとし、維持管理活動は川側から実施するものとする。

表 6.7.4 設計洪水流量と天端幅の最小値

設計洪水流量 (m ³ /s)	天端幅の最小値 (m)
500 未満	3.0
500 以上 2,000 未満	4.0
2,000 以上 5,000 未満	5.0
5,000 以上 10,000 未満	6.0

出典：河川管理施設等構造令

6.7.2.4 法面

SLLDC が設計する一般的な法面は、傾斜が1:1.5で、芝で表面が保護されている。しかしながら、狭隘な箇所において大きな通水断面の確保が必要な場合は、ほぼ鉛直（傾斜角6度から10度）に蛇籠を積み上げた擁壁、あるいはコンクリート擁壁、ごくまれに鋼矢板擁壁を採用している。日本の場合、河川管理施設等構造令によると地盤の安定性が確保されている箇所において一般的な法面勾配は1:2.0（またはそれより緩やか）とされている。また、河岸・水路の現況や土地利用を踏まえつつ、家屋が密集している等の理由で土地利用範囲に制限がある場合は、安定性を確保の上で1:0.5から1:2.0の勾配を採用している。

これらを踏まえ、本調査では、蛇籠や練石護岸を検討する際の法面勾配は1:0.5とし、盛土堤防の法面勾配は1:2.0とする。

対象地域において最も一般的な蛇籠擁壁は、ポリ塩化ビニル皮膜で直径3mm程度の鋼線を使用し

ていた。しかしながら、日本では、仮設工としてでも直径 3 mm から 4 mm の鋼線を採用しており、永久構造物においては 5 mm 以上の鋼線を使用している。

本調査で検討する蛇籠擁壁においては、スリランカでの調達事情および維持管理実績を踏まえ、最も一般的な、ポリ塩化ビニル皮膜で直径 3 mm 程度の鋼線を使用した蛇籠を採用する。



出典：JICA 調査チーム

写真 6.7.1 対象地域における一般的な法面保護工

6.7.2.5 小段

SLLDC には小段に関する設計基準はなく、現地踏査では 5 m 以上の堤防を見ることはなかった。日本の場合、堤防高が 5.0 m もしくは 6.0 m を超える場合は小段を設置した例が多く、安定性上必要と判断される場合幅 3.0 m 以上の小段を設けること、あるいは緩やかな一枚法とすることが河川管理施設等構造令で定められている。

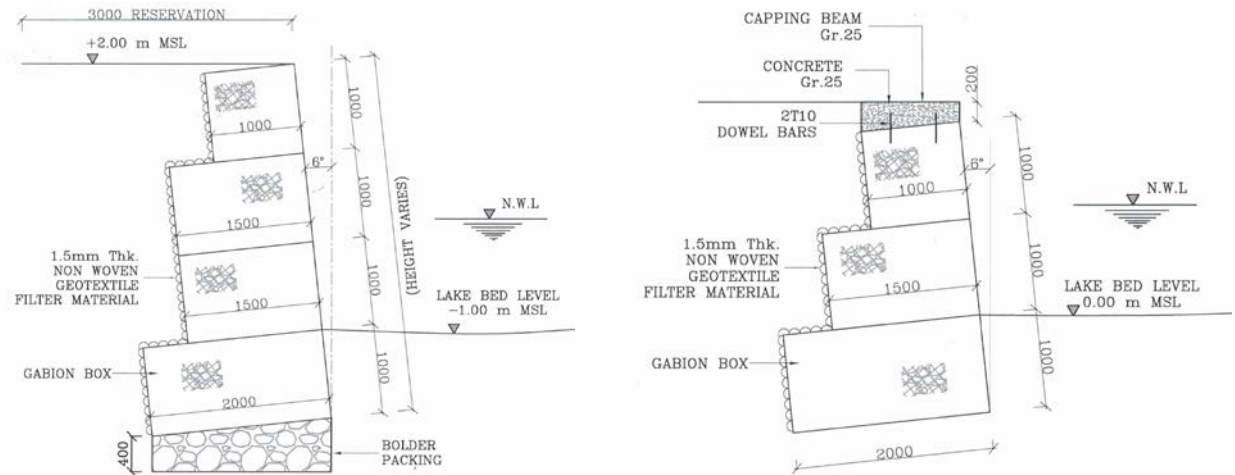
本調査では鋼矢板護岸を除き、5.0m を超える護岸を設計する際は 3.0m の小段を設けるものとする。

6.7.2.6 地震係数

スリランカにおいて地震の発生は非常に稀であるため、通常地震を外力として扱わない。

6.7.2.7 標準断面

6.7.1.1 節において述べたとおり、スリランカにおいて、水路の法面保護工に関し設計基準は整理されていない。しかしながら、SLLDC においては図 6.7.1 のような標準断面が部局内で共有されている。SLLDC 内での設計時は、これらの断面を基本としつつ、現場の地盤強度や周辺の荷重条件等を踏まえ断面を修正し採用している。

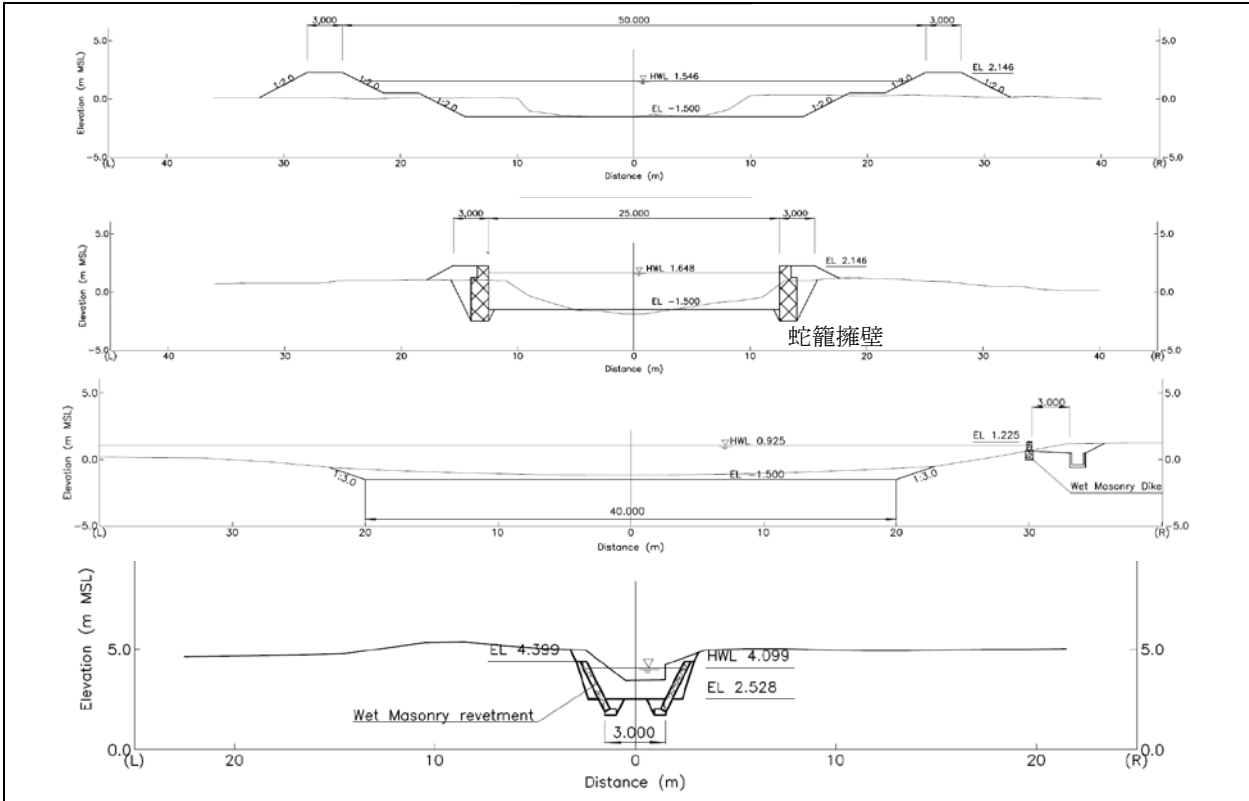


出典：SLLDC

図 6.7.1 SLLDC 標準断面

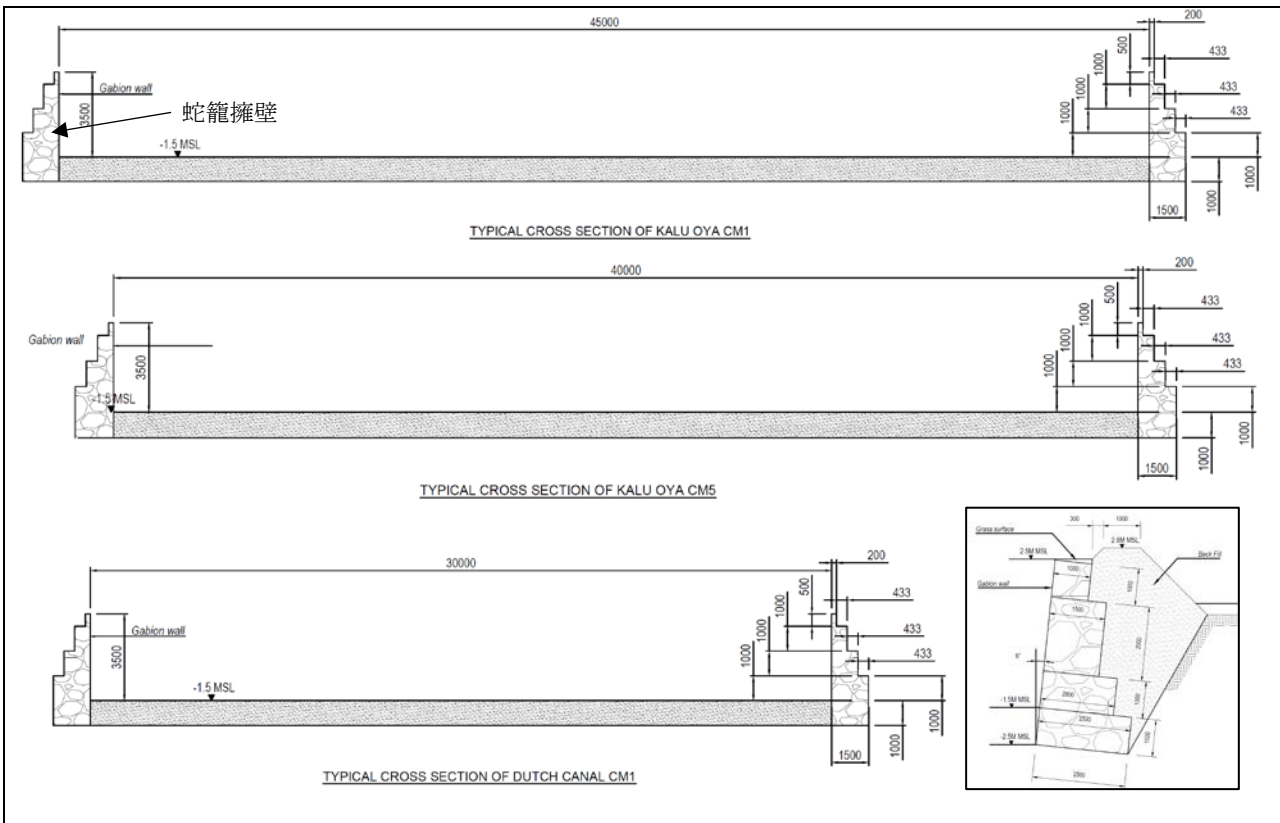
図 6.7.2 に JICA 2003 M/P で提案された標準断面を示し、図 6.7.3 に 2018 F/S で提案された標準断面を示す。

本調査で採用する標準断面は、6.7.3.1 節で紹介する。



出典：JICA 2003 M/P

図 6.7.2 JICA 2003 M/P で提案された標準断面



出典：2018 F/S

図 6.7.3 2018 F/S で提案された標準断面

6.7.3 雨水排水構造物概念設計

6.7.3.1 堤防・護岸

前述した設計基準とスリランカにおける一般的な護岸構造を参考に、対象流域における護岸構造を検討した。表 6.7.5 にその概要を示す。その結果、護岸構造は、不動沈下にある程度追従できる構造、施工のしやすさ、業者の経験、経済性および維持管理のしやすさを考慮して、蛇籠護岸とした。

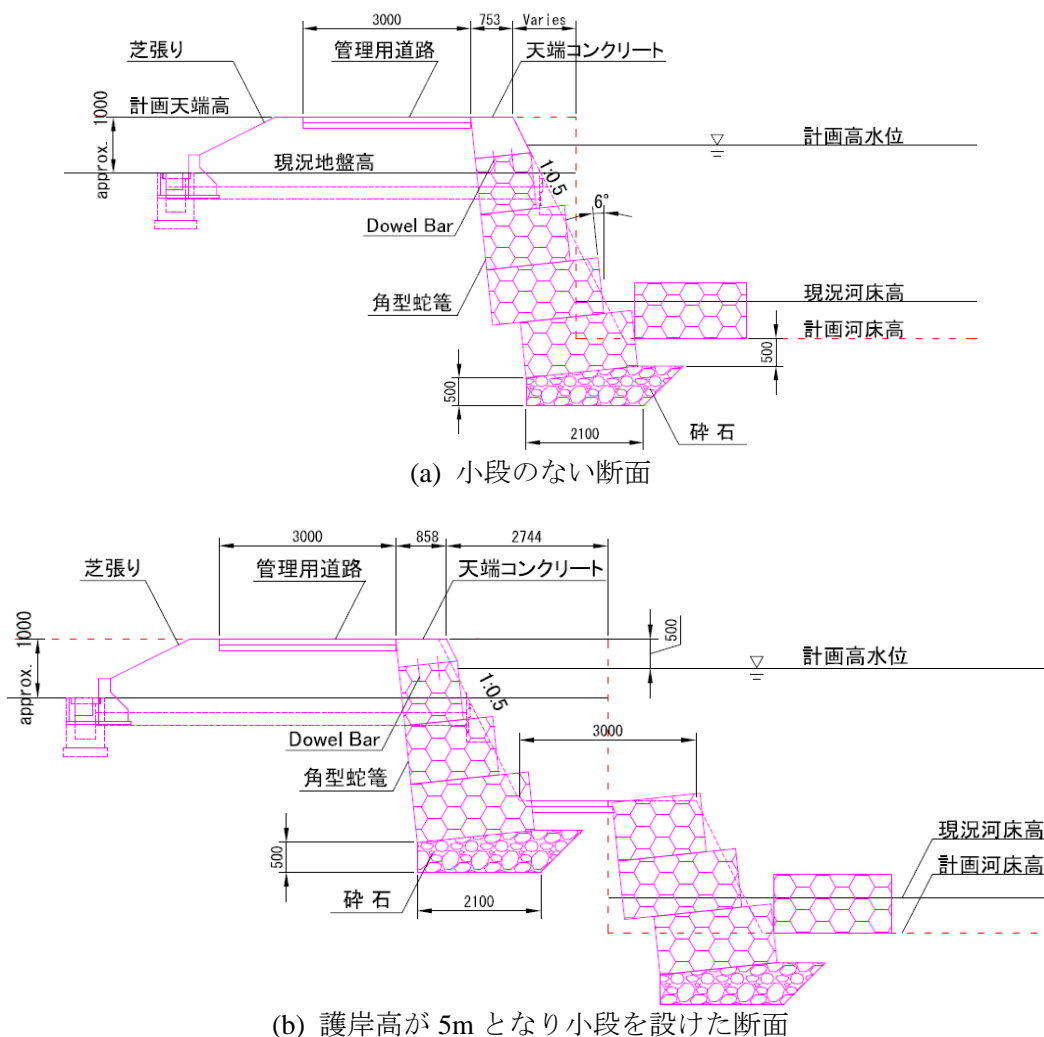
表 6.7.5 護岸構造の概略検討

工法	案1	案2	案3
	蛇籠護岸	コンクリート擁壁+基礎杭	自然石積(練石)+基礎杭
材料	自然石、蛇籠(PVC被膜)、栗石、コンクリート、鉄筋	鉄筋コンクリート、栗石、コンクリート基礎杭	自然石、胴込めコンクリート、控えコンクリート、栗石、コンクリート基礎杭
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 対象流域内で最も多く見られる護岸形式。 永久構造物として採用可能だが、スリランカにおける実績を踏まえ耐用年数は7年と考える。(7年ごとに大きな補修(交換)が必要) 不等沈下による護岸の変形を許容し、7年ごとの蛇籠補修で沈下に対応する。 	<ul style="list-style-type: none"> 特に狭窄した都市部の水路で見られる護岸形式 永久構造物 対象流域の場合、不等沈下対策として基礎杭が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 対象流域内でまれにみられる護岸形式 控え厚さを十分にとることで、コンクリート擁壁と同等に永久構造物としての強度を有すると考える。 対象流域の場合、不等沈下対策として基礎杭が必要となる。
概算直工費 ¹⁾	57,800 LKR/m ²	170,300 LKR/m ²	131,000 LKR/m ²
	◎	△	○
評価	耐流速	◎	◎
	景観	○	△
	植生	○	△
	生物生息空間	◎	△
施工性	他案と比較して容易な工法でかつ締切時間が短時間	杭打設、杭頭鉄筋加工、基礎コンクリートおよび擁壁下部建設の間、長時間にわたり施工箇所をドライにする必要があり施工が困難	杭打設、杭頭鉄筋加工、基礎コンクリートおよび練石積下部建設の間、長時間にわたり施工箇所をドライにする必要があり施工が困難
	◎	△	△
経済性	<ul style="list-style-type: none"> 直工費が最も安い。 維持管理期間(50年)中7年ごと(計7回)に大規模補修費(12,800 LKR/m²、合計89,600 LKR/m²)を必要とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 直工費が最も高い(蛇籠案の約3倍) 維持管理費が安価 	<ul style="list-style-type: none"> 直工費が中間値(蛇籠の約2.3倍) 維持管理費が安価
	直接工事費: 57,800 LKR/m ² 維持管理費 ²⁾ : 104,450 LKR/m ² 合計: 162,250 LKR/m ²	直接工事費: 170,300 LKR/m ² 維持管理費 ²⁾ : 42,575 LKR/m ² 合計: 212,875 LKR/m ²	直接工事費: 131,000 LKR/m ² 維持管理費 ²⁾ : 32,750 LKR/m ² 合計: 163,750 LKR/m ²
	○	△	○
施工イメージ			
総合評価	◎	△	△

1) : 仮締切費用を含まない。2) 年間維持管理費を工事費の 0.5% とする。そのとき 50 年間の維持管理費は、案 1 で $57,800 \times 0.5 (\%) \times 50 + 89,600 = 104,450$ (LKR/m²)、案 2 で $170,300 \times 0.5 (\%) \times 50 = 42,575$ (LKR/m²)、案 3 で $131,000 \times 0.5 (\%) \times 50 = 32,750$ (LKR/m²)

出典 : JICA 調査チーム

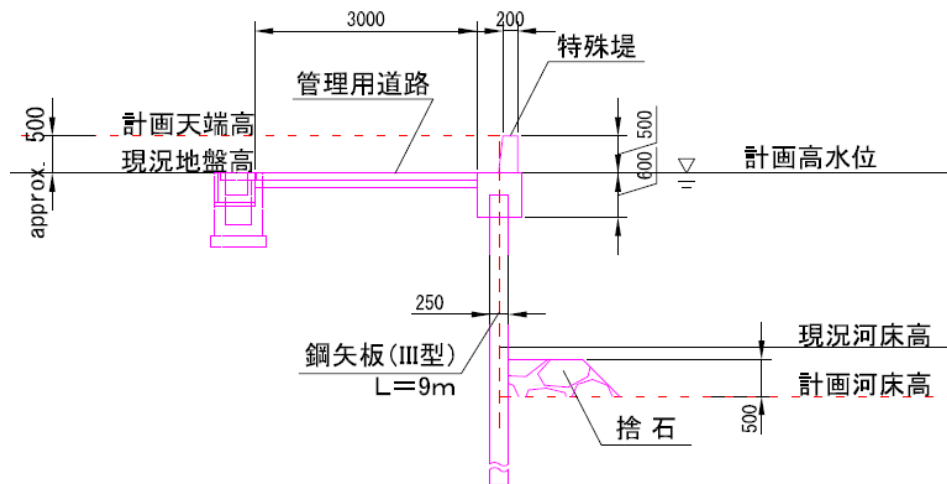
蛇籠護岸は日本では仮設構造物としての扱いだが、スリランカでの長期にわたる設置例から耐用年数は 7 年と想定する。余裕高はスリランカで一般的な 0.5 m とし、天端幅は、土地収用が難しい箇所を除き原則として 4.0 m、うち管理用道路幅は 3.0 m とする。



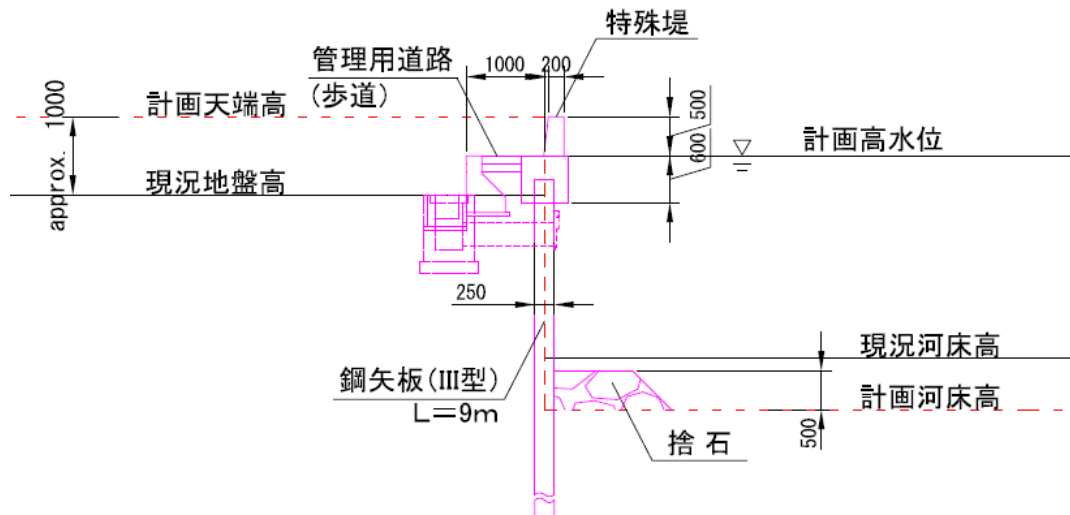
出典 : JICA 調査チーム

図 6.7.4 蛇籠護岸標準断面

また、工場や建造物等が隣接する箇所では、取得用地幅を最小限にしつつ、護岸の安定性を確保するため鋼矢板護岸とする。



(a) 比較的用地が広く確保できる個所における断面



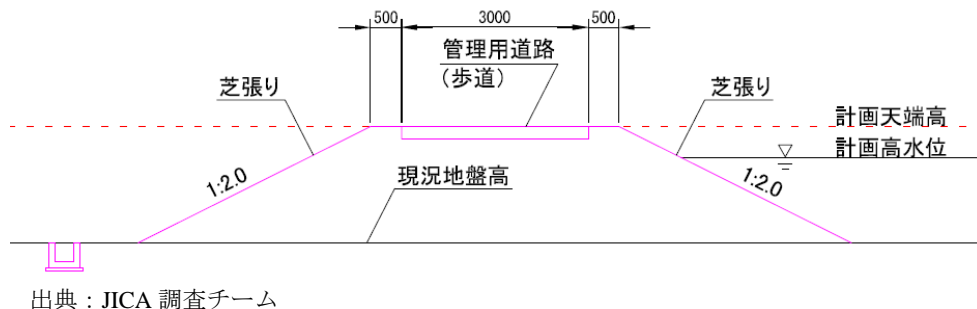
(b) 工場等が河道に隣接し、比較的用地が広く確保できない個所における断面

出典：JICA 調査チーム

図 6.7.5 鋼矢板護岸標準断面

6.7.3.2 周囲堤

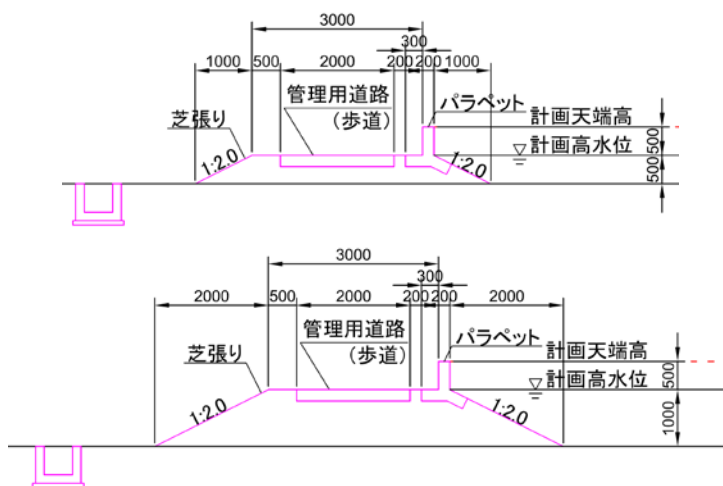
Kalu Oya 上流部および Bolgoda 流域において提案する周囲堤は基本的に土堤とし、勾配が 1 : 2.0 の法面を芝張りで保護するものとする。余裕高は堤防・護岸と同様に 0.5 m とし、天端幅は 4.0 m、うち歩行者用の道路幅を 3.0 m とする。堤防高より小段は不要とする。周囲堤の標準断面を図 6.7.6 に示す。



出典：JICA 調査チーム

図 6.7.6 周囲堤標準断面

Weras Ganga 右岸堤において提案する堤防は基本的に土堤とし、勾配が 1 : 2.0 の法面を芝張りで保護するものとする。余裕高は堤防・護岸と同様に 0.5 m とし、パラペットにて対応するものとする。建設に伴う被影響住民数を縮小する観点から天端幅は 3.0 m、うち歩行者用の道路幅を 2.0 m とする。堤防高より小段は不要とする。基本的には標高 1.0m の位置に配置するものとするが、家屋等が密集する地域においては川寄り（ただし、地盤標高は 0.5m 以上）にて堤防を配置するものとする。右岸堤の標準断面を図 6.7.6 に示す。

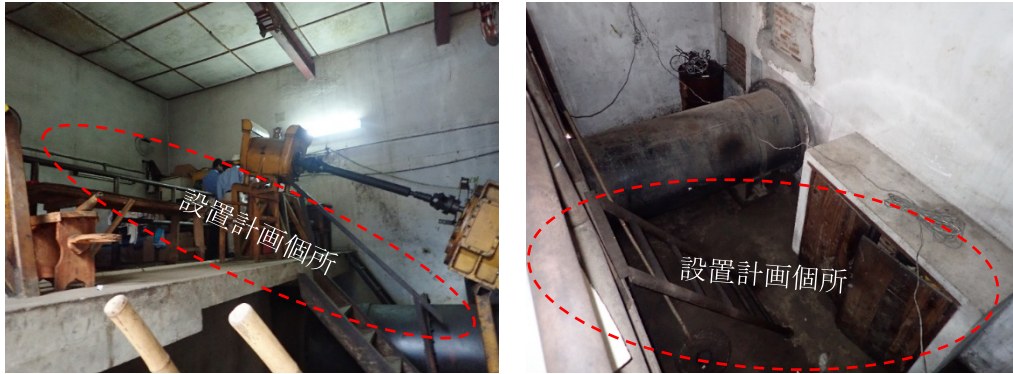


出典：JICA 調査チーム

図 6.7.7 Weras Ganga 右岸堤標準断面

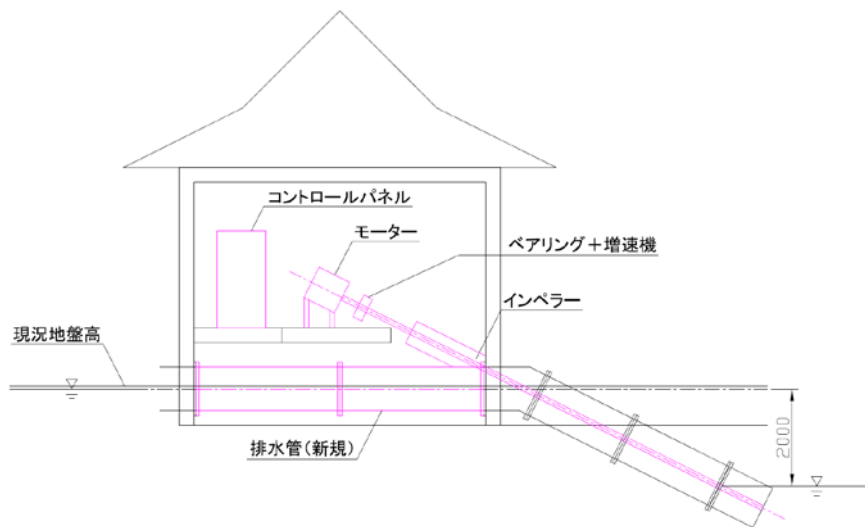
6.7.3.3 ポンプ場

既存の Peliyagoda ポンプ場において、現在使用していないポンプ設置個所に新たに吐出力 1.0m³/s のポンプおよび関連機器を設置するものとする。ポンプの型式は既存のものと同じ螺旋水車型の揚水ポンプとする。また、既存のポンプ（吐出力 0.5m³/s）は撤去せず運転は継続するが、老朽化が進んでいるため、更新後の Peliyagoda ポンプ場の総吐出力は安全側に 1.0m³/s とみなす。



出典：JICA 調査チーム

写真 6.7.2 Peliyagoda ポンプ場の現況と新規ポンプ設置計画箇所



出典：JICA 調査チーム

図 6.7.8 新規ポンプ施設配置概要図

6.7.3.4 締切施設

Naranmini Oya および Natha Canal において、水門を設置する。河道形状を踏まえ表 6.7.6 に示す諸元のゲートを設置するものとする。

表 6.7.6 ゲート諸元

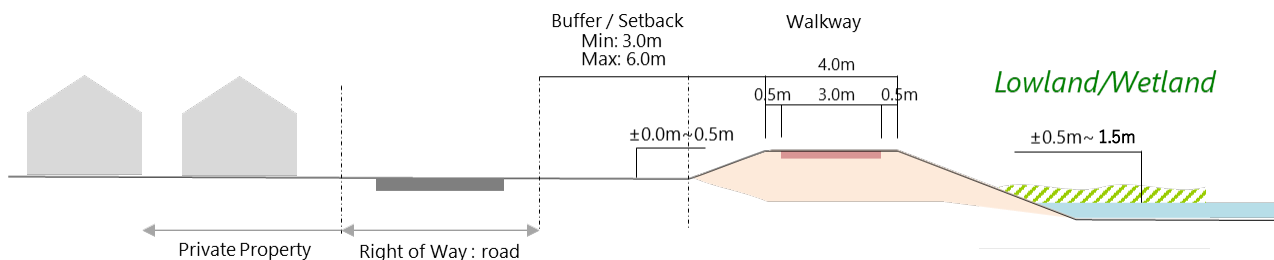
No.	水路名	水門型式	諸元
1	Naranmini Oya	スルースゲート	H = 1.5 m W = 2 m x 4 門
2	Natha Canal	スルースゲート	H = 1.5m W = 2.5 m x 4 門

出典：JICA 調査チーム

6.7.3.5 自然湿地公園

自然湿地公園が現在持つ環境および遊水効果を維持するため、基幹施設の歩道整備・小堤およびビジターセンターの整備を行うものとする。小堤は基本的に土堤とし、勾配が 1 : 2.0 の法面を芝張りで保護するものとする。堤防高は約 0.5 m とし、天端幅は 4.0 m、うち歩行者用の道路幅を 3.0 m とする。堤防高より小段は不要とする。小堤の標準断面を図 6.7.9 に示す（再掲）。ビジターセンター

の設計は、詳細設計時に実施するものとする。



出典：JICA 調査チーム

図 6.7.9 遊水地区の保全のための自然湿地公園の遊歩道の整備イメージ（案）

6.7.3.6 計画遊水地

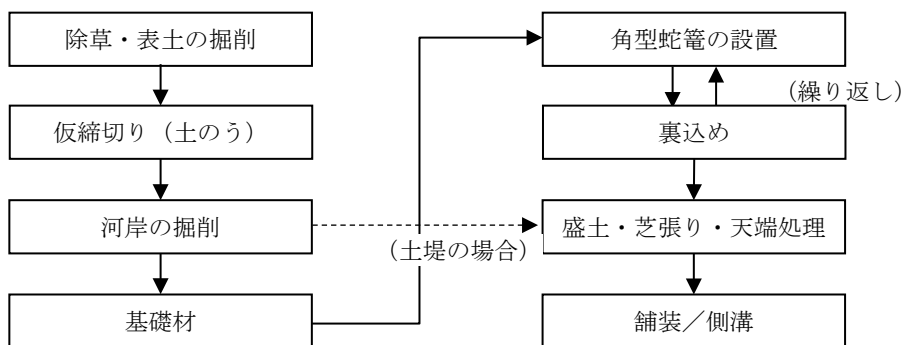
対象とする既存の自然湿地において、浚渫、歩道・小堤、河道沿いの堤防の整備、越流堤を整備し、計画遊水地として活用する。小堤は基本的に土堤とし、勾配が 1：2.0 の法面を芝張りで保護するものとする。堤防高は 0.5 m から 2.0 m とし、天端幅は 4.0 m、うち歩行者用の道路幅を 3.0 m とする。堤防高より小段は不要とする。また、各遊水地の上流端に横越流堤を設置し、下流端にはゲートを設置するものとする。貯水容量の余裕分は、河川砂防技術基準を参考に 15%程度とし、今後、遊水地流入部越流堤の構造に応じて計算する遊水地流入量ハイドロの精度、遊水地の地形測定の精度等を踏まえ適切な値に設定する。また、詳細な構造設計は、詳細設計時に実施するものとする。

6.7.4 施工方法

6.7.4.1 護岸・堤防

(1) 蛇籠護岸・堤防

基本的に、施工対象となる河川、排水路は掘り込み河道であるが一部盛土堤防が必要になる。法面保護工および堤防の建設手順を図 6.7.10 に示す。

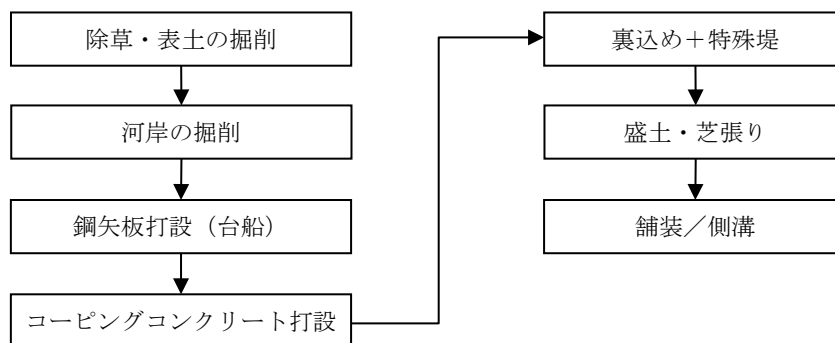


出典：JICA 調査チーム

図 6.7.10 蛇籠護岸・堤防の施工手順

(2) 鋼矢板護岸

鋼矢板護岸の建設手順を図 6.7.11 に示す。



出典：JICA 調査チーム

図 6.7.11 鋼矢板護岸の施工手順

6.7.4.2 ポンプ場の改修

Peliyagoda ポンプ場の改修における詳細な改修計画および施工計画は詳細設計時に実施するものとし、本検討の積算ではスリランカにおけるポンプ業者からの見積り情報をもとに改修費を概算する。

6.7.4.3 締切施設の建設

Naranmini Oya および Natha Canal における水門の建設のための詳細な改修計画および施工計画は詳細設計時に実施するものとし、本検討の積算ではスリランカで同規模と考えられる構造物を参考に、扉体の面積比により建設費を算出する。

6.7.4.4 道路橋の改修

十分な河積を得るため、橋の改修が数か所で必要となる。詳細な改修計画および施工計画は詳細設計時に実施するものとし、本検討の積算ではスリランカで同規模と考えられる橋梁を参考に、道路平面面積比により建設費を算出する。

6.7.4.5 自然湿地公園

自然湿地公園の整備は、政府主導型の都市公園セクターの事業としてとらえ、詳細な改修計画および施工計画は整備事業の詳細設計時に実施するものとする。また、別セクターの事業としてとらえるため、本プロジェクトの施工計画および積算の検討には含まないものとする。

6.7.4.6 計画遊水地

計画遊水地は、浚渫、歩道・小堤、河道沿いの堤防の整備、越流堤の整備等からなる。浚渫は陸上および水上からの実施を想定し、小堤および堤防の建設手法は 6.7.4.1 節に示した通りとする。越流堤の設計、施工方法および積算の検討は、詳細設計時に実施するものとする。

6.7.4.7 建設機械の作業効率

労務者の歩掛、機材の組み合わせは、SLLDC より入手した単価分析結果一覧をもとに設定した。

6.7.5 全体工程

図 6.7.12 に、雨水排水対策案の全体工程を示す。本工程は、スリランカにおける同様の工種の実績や施工量から想定している。

No.	Work Item	対象 確率年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	FS -Mudun Ela sub-basin improvement (1)	10 年	■							
2	DD -Mudun Ela sub-basin improvement (1)		■							
3	Construction -Mudun Ela sub-basin improvement (1)		■							
4	FS -Weras Ganga Right Bank Dike	25 年	■							
5	DD -Weras Ganga Right Bank Dike		■							
6	Construction -Weras Ganga Right Bank Dike		■							
7*	FS -Moratuwa-Rathmalana area improvement*	Pre-F/S で検討	■							
8*	DD -Moratuwa-Rathmalana area improvement*		■							
9*	Construction -Moratuwa-Rathmalana area improvement		■							
10	FS -Kalu Oya basin improvement	25 年		■						
11	DD -Kalu Oya basin improvement				■					
12	Construction -Kalu Oya basin improvement					■				
13	FS -Mudun Ela sub-basin improvement (2)				■					
14	DD -Mudun Ela sub-basin improvement (2)				■					
15	Construction -Mudun Ela sub-basin improvement (2)					■				
16	FS -Bolgoda basin improvement (the others)				■					
17	DD -Bolgoda basin improvement (the others)				■					
18	Construction -Bolgoda basin improvement (the others)					■				

出典：JICA 調査チーム

図 6.7.12 全体行程表

6.7.6 概略積算

6.7.6.1 先方政府資金による SLLDC のプロジェクト積算情報

一般的な事業費は、建設費、詳細設計並びに施工監理から成るコンサルタント費、発注者による管理費、物価的並びに物理的予備費、補償費および税金等からにより構成される。SLLDC による積算資料を収集し、次のように情報を整理した。

- 建設費は、工種ごとに「数量」と「単価」を掛け合わせて費用を求める。
- SLLDC が直接施工せず、民間の施工業者に委託する場合は各単価に 17% を上乗せし、それらを業者の間接費、利益等として計上する。
- SLLDC が直接施工する場合は、単価に上乗せはせず、別途 SLLDC Management Fee として 17% (Treasury Project: 国家予算による事業の場合)、あるいはその他の資金利用の場合、25% を計上する。
- SLLDC には詳細設計および施工監理を担当する部署があるため、小規模な事業であれば局内で

対応ができる。よって、外注用にコンサルタント費を計上する必要はないが、経験的には、詳細設計および施工監理用の費用として工事費の6%を予算として見込んでいる。

- 管理費は上記6%に含まれると考えられる。
- 付加価値税として8%を計上する。

積算資料としては、SLLDCより排水工および排水施設の補修工にかかる最新の単価分析結果一覧、橋梁工事の工事費積算例を2例、ポンプ場建設費を1例入手した。

6.7.6.2 概略積算の方針

(1) 積算時点

本検討においては、2022年12月時点での積算とする。ただし、近年の経済危機による物価変動は一時的なものだと考えられるため、近年のスリランカ・ルピーに関する交換レートや物価上昇の変動は取り込まないものとした。具体的には、2019年11月11日から2020年2月10日までの平均値をもとに交換レートを設定し、この期間以降の物価上昇は考慮しないものとした。

(2) 通貨の換算

円・ドル間の平均換算レートは、日本銀行の中値を参照した。また、スリランカ・ルピー・ドル間の平均換算レートは、スリランカ中央銀行の中値を採用した。結果的に、1スリランカ・ルピー=0.603円、1ドル=109.12円、1ドル=181.06スリランカ・ルピーを採用した。

(3) 通貨

本検討においては現地通貨と外国通貨を利用するが、評価は現地通貨に換算して行う。現地通貨と外国通貨との区分は、概ね次の通りとする。

1) 現地通貨

- 労務費
- 材料費の一部
- 機材費の一部
- 税金

2) 外国通貨

- 外国製品並みの高い品質が必要な材料費
- 外国製品並みの高い品質が必要な機材にかかる費用

現地通貨と外国通貨の配分率を表6.7.7に示す。

表 6.7.7 労務費・機材費・材料費の外貨配分率

項目	外貨配分率
労務	0
機材	70
材料	
燃料および油類	80
材木/石/砂	0
砕石、グリ石、石材	0
セメント	80
鉄筋	90
構造用鋼材	90
化学製品	90

出典：JICA 調査チーム

(4) 事業費の構成

本事業の主要工種である堤防・護岸の事業費は、工事単価方式で積算する。Peliyagoda ポンプ場に関しては、スリランカにおけるポンプ業者からの見積り情報をもとに改修費を概算する。また、締切施設および橋梁の工事費に関しては、ゲート扉体面積や上部工の道路面積と工事費が比例するものと想定し算出する。

事業費の主な費用項目は、建設費、コンサルタント経費、予備費、事務費（SLLDC 側）、土地収用費並びに補償費および税金からなる。以下に、事業費に関して解説する。

1) 建設費

(a) 直接工事費

直接工事費は、労務費、材料費および機材損料（あるいはレンタル費）からなる。これらの単価および数量の組み合わせは単価分析結果一覧を参考にした。

(b) 間接工事費

間接工事費および施工業者の利益分は、直接工事費の 17%と想定する。

(c) 準備・一般費

主要工事を開始する前には様々な準備が必要である。機材の搬入およびその撤去、安全対策、健康対策、工所用道路の建設、クレーン作業地盤の整備、地質調査等がそれにあたり、それらを準備・一般費として計上する。スリランカの積算事例では、この金額は直接工事費および間接工事費の 4%から 10%となる事があるため、ここでは 5%と想定した。

(d) その他費用

今回は概念設計に基づく概略積算であるため詳細な工種・構造に必要な費用は計上されていない。本検討ではこれらの費用として直接工事費および間接工事費の 10%を見込む。

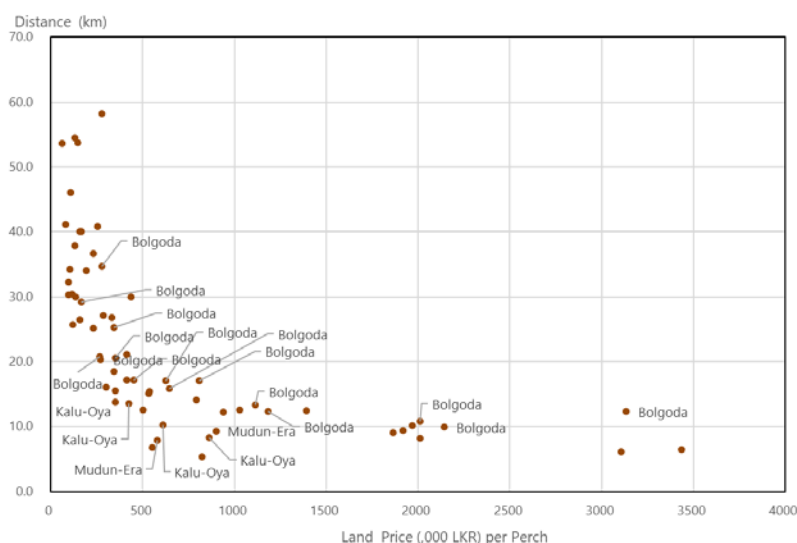
2) コンサルタント経費

前述の通り SLLDC には詳細設計および施工監理を担当する部署があるため、小規模な事業で

あれば外注用にコンサルタント費を計上する必要がない。今回の検討は広範囲に及ぶ大規模なものであるため、詳細設計および施工監理用の費用として工事費の6%を見込む。

3) 土地取得費および補償費

本来、土地取得費は、土地区画調査を踏まえ土地の単価と取得面積より算出するも。しかしながら今回は M/P 策定のための検討であるため、仮に居住地や商業地においては河岸肩から 1 m、農地や空き地においては河岸肩から 3 m 分を公地とし、それを超える範囲において土地取得費が必要とした。また、土地単価は、Kalu Oya 流域の Old Dutch Canal 北部（区間長：2,070m）の湿地と Bolgoda 流域の水田（Alut Ela 上流部の区間長 710m および周囲堤計画地）を除き、図 6.7.13 を参考に、一律 39,400 スリランカ・ルピー/m²（1 million スリランカ・ルピー/perch）とした。



備考: “Distance” indicates a straight-line distance from the Colombo city center area (Fort Area)
出典 Lanka Property Web on March 2019 の平均地価に基づき JICA 調査チーム作成

図 6.7.13 西部州の対象流域を含む主要地区における平均地価分布（2019）

一方、Kalu Oya 流域の Old Dutch Canal 北部（区間長：2,070m）の湿地と Bolgoda 流域の水田（Alut Ela 上流部の区間長 710m および周囲堤計画地）においては、SLLDC の Lands and Marketing Division より提供のあった同地区あるいは近隣地区の土地単価を利用した。

表 6.7.8 湿地および水田の土地単価（2019年8月時点）

No.	評価対象地	単価選択地域	土地単価 (LKR/perch)	土地単価 (LKR/sq.m)
1	Old Dutch Canal 最北部 (2,070m)	Wattala (代用)	20,000	590
2	Alut Ela 上流部 (710m)	Kalutara (代用)	10,000	390
3	周囲堤計画地	Bandaragama, Kalutara (代用)	10,000	390
		Kesbewa	15,000	590

出典：SLLDC, Lands and Marketing Division

建物の補償費は建物の構造や使用目的によって左右される。今回は、簡易に建物の取得面積に、MCUDP の一部である「St. Sebastian South Canal」改修事業の住民移転計画における調査結果を参

考にした3種類の面積単価を乗じて算出した。構造物にかかる取得面積が構造物全体の10%未満であれば部分的な取得とし、10%以上であれば構造物全体を取得するものとした。

表 6.7.9 建物の補償にかかる面積単価

No.	評価対象構造物例	2013年単価 (LKR/sq.ft.)	2013年単価 (LKR/sq.m)	GDP デフレーター	2018年単価 (LKR/sq.m)
1	屋根：GI Pipe 上にトタン 壁：正面のみコンクリートブロック	170	1,800	1.2255	2,200
2	屋根：アスベスト。PVCの雨水配管あり 壁：コンクリートブロック、モルタルに塗装 床：セメント、ドア：トタンと木材 窓枠：木材	1,750	18,800	1.2255	23,000
3	屋根：コンクリートスラブ 壁：レンガ+セメント、モルタルに塗装 床：セメント、ドア：木材、窓枠：木材	2,200	23,700	1.2255	29,000

出典：Resettlement Action Plan (RAP) Rehabilitation of St. Sebastian South Canal の調査結果をWBのデフレーターでJICA調査チームが編集した。

4) 事務費

事務費は、スリランカ政府側が事業終了時まで使用するプロジェクト管理事務所の管理費を含む。この費用は、工事費、コンサルタント経費、土地取得費および補償費の合計の2.0%とする。

5) 価格予備費

インフレ率（GDPデフレーター）を参考に、外貨の価格予備費は0.0%/年とし、現地通貨の価格予備費は4.3%/年とした。

6) 物理的予備費

SLDLCの工事事例にならない、物理的予備費を前述した費用合計の10%とする。

7) 付加価値税

建設業における付加価値税は、15%として計上する。

(5) 事業費積算

概略事業費を表6.7.10および表6.7.11に示す。

表 6.7.10 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の概略事業費

(百万ルピー)

項目	Kalu Oya 流域			Mudun Ela 流域		
	F.C.	L.C.	計	F.C.	L.C.	計
建設費	5,576	2,554	8,130	1,116	980	2,096
コンサルタント経費	335	153	488	67	41	108
用地費および補償費	0	3,453	3,453	0	1,587	1,587
事務費	0	227	227	0	59	59
物理的予備費	591	753	1,344	118	292	410
価格予備費	0	1,372	1,372	0	312	312
税金	0	1,700	1,700	0	439	439
合計	6,502	10,212	16,714	1,302	3,709	5,011

出典：JICA調査チーム

表 6.7.11 Bolgoda 流域および全流域の概略事業費

(百万ルピー)

項目	Bolgoda 流域			合計		
	F.C.	L.C.	計	F.C.	L.C.	計
建設費	2,010	4,185	6,195	8,703	7,718	16,421
コンサルタント経費	121	251	372	522	445	967
用地費および補償費	0	2,628	2,628	0	7,668	7,668
事務費	0	237	237	0	523	523
物理的予備費	213	832	1,045	922	1,877	2,799
価格予備費	0	1,594	1,594	0	3,278	3,278
税金	0	1,288	1,288	0	3,427	3,427
合計	2,344	11,015	13,359	10,147	24,936	35,083

出典：JICA 調査チーム

6.7.7 本邦技術の検討

本邦技術の適応案として、護岸、水門、橋梁の資機材や施工方法に関し適応実績または検討されたことのある、1) 狭窄部における鋼矢板護岸のノンステーキング工法、2) ゲートポンプ、3) ハット形鋼矢板+H形鋼工法、4) 省合金二層ステンレス鋼および5) 橋梁用高性能鋼材の適応の可能性を検討する。

6.7.7.1 対象工法の概要

上記した対象工法の概要を表 6.7.12 に整理する。これより、ノンステーキング工法の適応をさらに検討するものとする。

表 6.7.12 本邦技術の検討

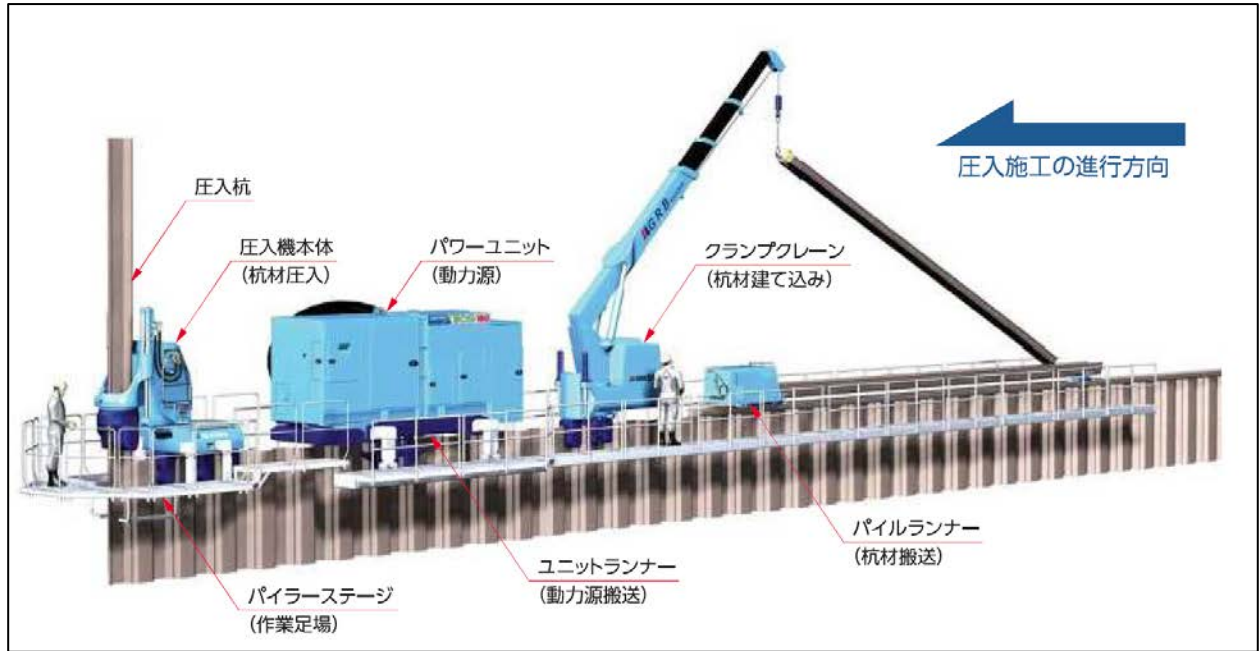
工 法	特徴	イメージ図	検討の有用性
ノンステーjing工法	<ul style="list-style-type: none"> 鋼矢板の圧入工程に関わる施工機械の全てが完成矢板の天端を作業軌道として進んでいくため、広い施工ヤードを必要とせず、仮設工事を必要としない。 狭窄部において周辺住民や建造物に配慮した鋼矢板の打設を可能とする工法 		<p>対象流域内の都市部においては民家や工場に隣接した箇所での施工が必要となるため、本工法の適応可能性検討は有用</p> <p>◎</p>
ゲートポンプ	<ul style="list-style-type: none"> 水門（ゲート）とポンプを一体化させることにより、ポンプ場に必要土地面積を縮小させたもの。 運転可能最低水位を従来よりも大幅に下げた超低水位運転ゲートポンプもある。 		<p>M/P検討において、ポンプ機材の設置に関して用地・水位の問題はなかった。</p> <p>×</p>
ハット形鋼矢板+H形鋼工法	<ul style="list-style-type: none"> ハット形鋼矢板の背面にH形鋼を溶接し鋼矢板の剛性を高めたもの。 断面によっては控え矢板が不要となり狭窄部での施工に有効。 		<p>M/P検討において、ハット形鋼矢板+H形鋼が必要となる厳しい条件の断面はなかった。</p> <p>×</p>
省合金二相ステンレス鋼	<ul style="list-style-type: none"> オーステナイトとフェライトの二相組織としたステンレス鋼。高い強度・耐食性を示す。 ゲートの扉体等で、軽量化（ステンレス鋼に対し 40%の軽量化）、維持管理の省力化を提案できる。 		<p>M/P検討において、省合金二相ステンレス鋼の高い単価に対し、扉体の軽量化や維持管理の省力化が有効となるほどの大型の扉体はなかった。</p> <p>×</p>
橋梁用高性能鋼材	<ul style="list-style-type: none"> 橋梁の特殊材料（橋梁用高性能鋼材）採用による橋梁のスパン延長（橋脚の省略）およびメンテナンスフリー化が可能 		<p>通常のコンクリート橋と比較して明らかに工費が高い。</p> <p>×</p>

出典：JICA 調査チーム

6.7.7.2 ノンステーjing工法の概要

ノンステーjing工法は、圧入工程に関わる施工機械の全てが完成杭の天端を作業軌道として進んでいくため、仮設工事を必要としない。そのため、住宅密集地や交通量の多い幹線道路での工事においても、流路断面や周辺建造物に大きな影響を与えることがない。

ノンステーjing工法の概要図を図 6.7.14 に示す。



出典：一般社団法人全国圧入協会カタログ

図 6.7.14 ノンステー징工法の概要図

6.7.7.3 比較結果

比較結果を表 6.7.13 に示す。これより、ノンステー징工法の適用は、効果的ではないと考える。

表 6.7.13 本邦技術（ノンステー징工法）適応の概要

項目	概要	
	川側から台船を使用した打設	ノンステー징工法
対象範囲	Kalu Oya、狭窄部の鋼矢板打設区間：3.11 km（両岸、矢板長：9 m） Old Dutch Canal、狭窄部の鋼矢板打設区間：0.88 km（両岸、矢板長：9 m） Old Dutch Canal Diversion、狭窄部の鋼矢板打設区間：0.33 km（両岸、矢板長：9 m） Mudun Ela、狭窄部の鋼矢板打設区間：0.10 km（左岸、矢板長：6 m） 合計：8.74 km	
工事費	約 3,536 million LKR (= 45,120 (LKR/m ²) x 78,360 (m ²))	約 5,131 million LKR 約 4,254 million LKR（建設費） (= 54,284 (LKR/m ²) x 78,360 (m ²)) +869 million LKR（機材購入費） +8 million LKR（輸送費）
周辺への影響	○ <ul style="list-style-type: none"> 川側からの打設のため、打設箇所において陸側に広い用地を必要としない。 一般的な工法。振動を伴う工法のため周辺に対して与える騒音および振動に関し、モニタリング等を実施して配慮する。 	△ <ul style="list-style-type: none"> 打設した鋼矢板上を進行しながら新たな鋼矢板を打設するため、打設箇所において広い用地を必要としない。 圧入工法のため周辺に対し騒音および振動を抑えることができる。
評価	△ モニタリング等の配慮により環境面の不利な点是对応可能。経済的に優れている。 ○	○ 環境面では優れているが、経済的な負担が大きすぎる。 △

出典：JICA 調査チーム

6.8 雨水排水管理のための都市開発管理

6.8.1 雨水排水管理のための防災型都市開発管理の取組み方針

- スリランカ政府の上位計画²⁾における都市整備目標（地域の強靱化、居住環境の質的向上等）達成のため、コロンボ都市圏の雨水排水機能強化を支援する都市開発管理の強化を図る。
- 都市雨水排水の主要機能は、1)円滑な雨水排水を確保する水路機能、2)雨水の長期保水のための貯留機能 3)雨水の一時的保水のための遊水地機能、 4)雨水の地表浸透と保水に資する各機能から構成され、その4つの機能に対し都市管理手法から側面支援することをめざす。
- 浸水・洪水リスクの低減あるいは防止をめざし、2030 目標年にむけリスク評価に基づく土地利用管理・規制、関係機関との調整による戦略的取組み、地域住民の理解と協力等多面的な都市管理対策等の総合的かつ持続的になりに取組みを推進していく。
- 雨水排水管理の中心的役割をもつ SLLDC の核心的機能（1. 雨水排水管理による洪水低減、2. 低湿地の保全、3. 居住環境の向上）を踏まえ、都市管理に関連する他関係機関との連携もしくは調整機能の拡充と強化を図ることにより、都市管理からの支援策を推進する。

表 6.8.1 都市の雨水排水機能の強化のための都市管理事項と SLLDC および関係機関の役割

Urban Storm Water Management Function	Required Supports through Urban Development Management	Function and Role of Relevant Authorities for Storm Water Drainage Management					
		SLLDC	UDA	ID/ADD	CEA	DMC	LGA
1. Water Channel Function	Development control of easement of facilities to keep channel function	●	○	●	○	--	◎
2. Retention Function	Securing retention ponds by zoning regulations or active development	●	○	●	○	--	◎
3. Retarding Function	Conservation and development control for lowlands /wetlands	●	◎	●	●	--	◎
4. Infiltration Function	Securing certain areas for parks and open spaces	◎	◎	○	○	--	●
(water quality control)	Natural environment conservation	◎	◎	○	●	--	●
(Flood Risk Management)	Development control in risk areas and guide for land use of park & open space and public facilities	◎	◎	◎	○	●	●

凡例：● =Responsible authority、◎=cooperative or supplemental、○=indirect relationship

UDA: Urban Development Authority, ID/ADD: Irrigation Department and Agrarian Development Department, CEA: Central Environmental Authority, DMC: Disaster Management Center, LGA: Local Government Authority

出典：JICA 調査チーム

6.8.1.1 計画対象流域の都市排水機能の強化のための都市開発管理の課題

前述の雨水排水管理のための防災型都市開発管理の取組み方針を踏まえ、対象流域が抱えている雨水排水管理の機能強化のための都市開発管理上の課題について以下に整理する。

(1) 遊水地機能確保のための低湿地に係る都市開発管理の課題

近年、対象流域における都市人口増等による都市化スプロールは、水害の少ない丘地開発のみならず水害リスクのある低湿地にもおよび、低地での不法な埋め立て（2004 年から 2018 年で低湿地

² National Physical Planning Policy and the Plan 2050 (2018), Western Region Megapolis Master Plan 2030 (2016)

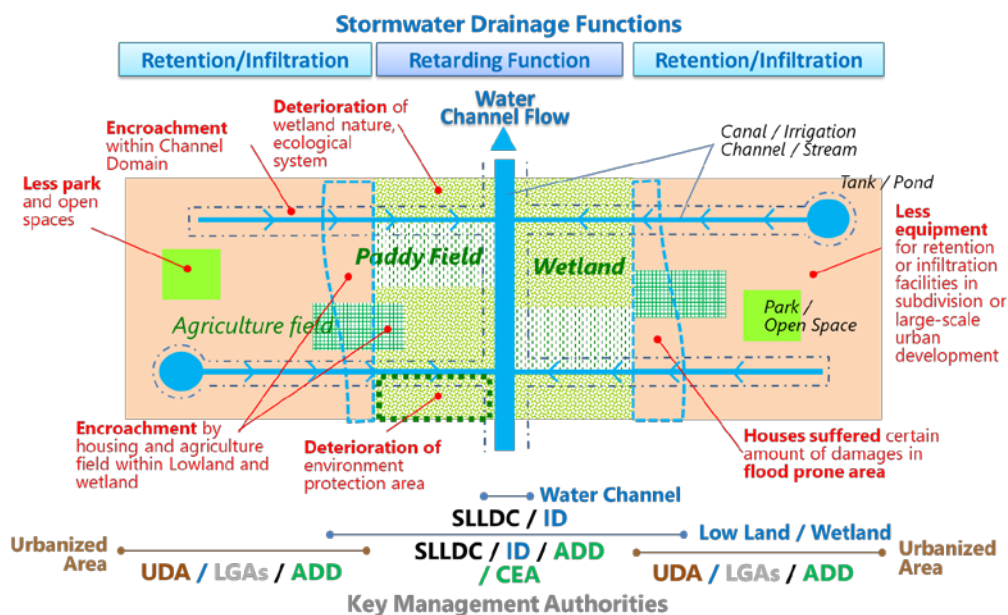
域が Kalu Oya 流域 23%、Mudun Ela 流域 41%、Bolgoda 流域 18%の減少) による宅地浸水の増加要因の一つとなっている。雨水排水計画に基づく遊水地機能に加え自然環境上や農業上の複合的な環境機能を持つとされる低湿地の保全および賢明な利用促進に向けた流域の都市開発管理の課題は、以下に整理できる。

- 低湿地保全では境界線引きと告知による保全管理が制度上位置づけられているが、広大な湿地保全のため境界特定および未線引きの湿地が大半を占める。こうした行政・民間・市民にとって物理的な湿地範囲の特定が困難な状況は、不法開発、行政手続きによらない開発行為等の増加の誘因ともなり、広範囲の低湿地に対する不適切な埋立ての効果的な物的防止対策が喫緊の課題となっている。
- 対象流域の多くは、住環境における余暇施設や公園空間が不足している。一方、流域で一定規模を占める低湿地 (Kalu Oya+Mudun Ela 流域面積の 14%、Bolgoda 流域 21%) は、流域の貴重な公共緑地空間として活用可能性がある。低湿地の的確な保全と余暇空間確保のために、雨水排水、緑地保全の啓蒙・教育や余暇スポーツの多目的機能に着目した低湿地の賢明な活用整備が課題となる。
- 低湿地における自然環境の動植物資源がもたらす環境機能、水田利用、土地所有等の総合的な利用実態の把握は十分でない。保全策や活用策の有効かつ的確な計画立案や実施を可能とする低湿地管理のための基礎的環境情報の整備が不可欠である。
- 低湿地の保全に係る政府方針や自治体レベルでの計画委員会による関連機関 (農政局、ID、CEA、SLLDC 等) による開発管理体制があるものの、脆弱な地方自治体への開発許認可権の移譲や、多様な関係機関の調整や一体的な保全体制が不十分なことから、共通目標に基づく協働的な湿地保全や活用策の促進や自治体の管理能力の強化が求められている。

(2) 都市雨水排水機能の向上のための都市開発管理の課題

- 水路の保安区域内 (あるいは公物管理区域内) の不法な都市開発の存在は、的確な水路管理や容量拡充時の阻害要因となっている他、区域内ゴミ投棄も含め水路環境が悪化している。雨水排水機能の正常化および強化、水辺周辺環境の改善のために、水路保安区域・公物管理区域の適切利用の誘導や不法開発防止の規制強化、「水と緑」の都市環境の向上に向けた環境整備が求められている。
- 2019 年時点では、開発許認可では個々の建物の雨水排水施設の整備基準による審査のみで、一定規模以上の宅地開発地区での雨水貯留・浸透整備に係る基準はなく、その誘導と規制は、今後の都市開発における雨水排水機能の強化において重要な課題であったが、2021 年 7 月 UDA 法改正³で一定規模以上の開発では、排水計画と排水施設・空地・透水施設整備が義務付けされた。小規模開発においても、同様の対策について指導・誘導整備が求められる。
- 宅地化により減少している緑地空間の維持、不足する公園整備の課題に加え、雨水浸透機能として重要な役割をもつ緑地の早期保全確保は、特に緑地が多く残存する Kalu Oya 流域や Bolgoda 流域南部 (Kalutara District 内) において、持続的な都市開発のための喫緊の課題である。

³ Gazettee 2234/54, Urban Development Authority Law No. 41 of 1978 of the National State Assembly, 2021-07-08



出典：JICA 調査チーム

図 6.8.1 対象流域における雨水排水機能強化に係る都市開発管理上の課題（概念図）

(3) 洪水・浸水被害の軽減に向けた都市開発管理の課題

- Colombo 都市圏内の郡別の最新開発計画では一部で水害リスク分析による土地利用計画が策定されているが、ゾーニング規制による開発規制策は示されていない。水害リスクに基づく確かなゾーニングと規制の導入のために、リスク地域での建物、インフラ等の基礎データ整備や精度の高い浸水ハザードマップ整備および活用が不可欠である。都市防災型の確かな都市形成に向けて、開発計画策定時におけるリスク分析手法やゾーニング立案プロセスの標準化やリスク地域における規制・誘導方法の整備が課題となる。
- Colombo 都市圏では、内水氾濫・浸水リスクの高い地域でも都市化が進み、近年増大する洪水浸水による被害額（補償額）も増大傾向にある。生活空間の安全確保のみならず被災費用の低減による経済的損失の低減等にも貢献するため、洪水高リスク地域の市街地地区における耐浸水建物への配慮や新規開発規制の強化とそれに対する住民理解の促進等の対策が課題である。
- スリランカの災害リスク地域における耐災害建築では、住民理解や資金面から普及が十分進まず住民移転事業を中心に行われているが、対象流域の洪水被災・リスク地域の住民移転は代替地の確保の困難性から事業が進めない状況にある。高い洪水リスク地域における住民移転を促進するため、流域全体の住宅整備事業と連携させる総合的な取組みが課題となる。

6.8.1.2 雨水排水機能強化を支援する都市開発管理対策

前述の課題を受け、流域における雨水排水機能の強化を支援する都市開発管理の対策として、SLLDCの核心的機能の拡充と関係機関との連携を踏まえた、以下の三つのプログラム（九つのサブ・プログラム）を提案する。

(1) 低湿地の保全と利用を支援する都市開発管理プログラム（A）

前述の対象流域の低湿地の都市開発管理の課題の対策として、1) 自然低湿地公園整備による効果的な物的防止と公園緑地施設提供、2) 低湿地管理体制の強化の推進（基礎環境情報の整備、協働的な湿地保全）、3) 自治体の開発規制管理の能力強化の三つの都市開発管理サブ・プログラムを提案する。次表にサブ・プログラム毎のSLLDCの役割、対象流域と財源等の提案内容を示す。

表 6.8.2 低湿地の保全と利用のための都市開発管理プログラム-A（案）

SLLDC Core Competence	Urban Development Management Sub-Programs	Key Components or Activities	SLLDC Implementation Initiative	Applied Basin			Potential Project Funding
				KO	ME	BG	
WLM/FFH/LEI	A1. Development of Natural Wetland Park	• Develop peripheral footpath/berm	●	✓	✓	—	National budget or Donor Assistance
		• Develop thematic visitor centers	◎ (w/multi)	✓	✓	—	
WLM	A2. Consolidation of Wetland Management	• Apply overlay regulation (enhanced) to wetlands	○ (UDA)	✓	✓	✓	National budget
		• Formulate wetland inventory/database	●	✓	✓	✓	National budget
		• Establish Wetland Committee at local level	◎ (w/multi)	✓	✓	✓	National budget
WLM	A3. Enhancement of LGA's Capacity for Development Control and Permit	• Strengthen development and control capacity of Local Government Authorities (LGAs)	○ (UDA/LGAs)	✓	✓	✓	National Budget

凡例：KO= Kalu Oya 流域、ME= Mudun Ela 流域、BG=Bolgoda 流域、SLLDC 核機能区分：FFH = 洪水対策強化、WLM = 湿地管理、LEI = 居住環境改選、実施体制：● = SLLDC 主管機関、◎ = 他機関との連携・補完、○ = 他機関実施、対象流域：✓ = 主要対象、※ = 一部対象、— = 適応なし

出典：JICA 調査チーム

(2) 雨水排水機能の向上に寄与する都市開発管理プログラム（B）

対象流域の雨水排水機能の向上のための都市開発管理課題に対応し、1) 流域の雨水排水対策の一環としての自然遊水エリア指定と管理、2) 排水路の保安区域における不適切な開発の防止・改善、3) 都市開発における貯留・雨水浸透機能向上の促進、4) 公園緑地の確保に着目し。四つの都市開発管理サブ・プログラムを提案する。次表にサブ・プログラムの具体内容を示す。

表 6.8.3 雨水排水機能の向上に寄与する都市開発管理プログラム-B (案)

SLLDC Core Competence	Urban Development Management Sub-Programs	Key Components or Activities	SLLDC Implementation Initiative	Applied Basin			Potential Project Funding
				KO	ME	BG	
FFH	B1. Natural Water Retarding Area Designation and Control Management	<ul style="list-style-type: none"> Designate control and management area for natural water retarding function in the Bolgoda basin. 	● (LLDC/relevant authorities)	--	--	✓	National budget and by all relevant authorities
FFH / LEI	B2. Canal Property / Easement Improvement	<ul style="list-style-type: none"> Promote environment improvement of canals / streams 	●	✓	✓	※	National budget
		<ul style="list-style-type: none"> Strengthen regulation on illegal activities in the easement or property 	◎ (w/UDA/LGAs)	✓	✓	※	
FFH / LEI	B3. Promote On-site Retention and Infiltration Equipment	<ul style="list-style-type: none"> Strengthen development controls by obligatory on-site equipment 	○ (UDA/LGAs)	✓	✓	✓	National budget
		<ul style="list-style-type: none"> Promote on-site equipment development on public facilities 	◎ (w/multi)	✓	✓	✓	National budget or Donor Assistance
FFH / LEI	B4. Secure Park and Open Space	<ul style="list-style-type: none"> Develop and formulate institutional mechanism for green open space protection and provision 	○ (UDA/LGAs)	✓	✓	✓	National Budget

凡例：KO= Kalu Oya 流域、ME= Mudun Ela 流域、BG=Bolgoda 流域、SLLDC 核機能区分：FFH = 洪水対策強化、WLM = 湿地管理、LEI = 居住環境改選、実施体制：●=SLLDC 主管機関、◎=他機関との連携・補完、○=他機関実施、対象流域：✓=主要対象、※= 一部対象、--= 適応なし
出典：JICA 調査チーム

(3) 洪水・浸水リスク地区の安全性向上を図る都市開発管理プログラム (C)

対象流域における洪水・浸水被害の軽減に向けた都市開発管理の課題に対応するため、1) 都市防災型の土地利用計画と開発規制の標準化と 2) 高い洪水・浸水リスク地域における被害の低減のための二つの都市開発管理サブ・プログラムを提案する。次表に具体内容を示す。

表 6.8.4 洪水・浸水リスク地区の安全性向上を図る都市開発管理プログラム-C (案)

SLLDC Core Competence	Urban Development Management Sub-Programs	Key Components or Activities	SLLDC Implementation Initiative	Applied Basin			Potential Project Funding
				KO	ME	BG	
FFH / LEI	C1. Promotion of Risk-sensitive Land Use and Zoning Regulations	<ul style="list-style-type: none"> Formulate and organize mandate planning process for risk-sensitive land use plan in flood/inundation prone areas (with authorized risk mapping) 	○ (UDA)	✓	✓	✓	National budget or Donor's Finance
		<ul style="list-style-type: none"> Formulate framework/guidelines of development control measures for flood/inundation prone areas 	○ (UDA)	✓	✓	✓	
FFH / LEI	C2. Flood Risk Area Intervention Program	<ul style="list-style-type: none"> Apply "Flood Risk Mitigation Zone" with specific building regulations to high-risk prone areas 	○ (UDA/NBRO)	✓	✓	✓	National budget or Donor's Finance

		• Formulate integrated resettlement program in combination with “Urban Regeneration Program”	○ (UDA)	✓	✓	✓	National budget
		• Community awareness program for high-risk flood and possible measures	◎ (w/multi)	✓	✓	✓	National budget

凡例：KO= Kalu Oya 流域、ME= Mudun Ela 流域、BG= Bolgoda 流域、SLLDC 核機能区分：FFH = 洪水対策強化、WLM = 湿地管理、LEI = 居住環境改選、実施体制：●=SLLDC 主管機関、◎=他機関との連携・補完、○=他機関実施、対象流域：✓=主要対象、※= 一部対象、--= 適応なし
出典：JICA 調査チーム

6.8.1.3 都市開発管理プログラムのアクション・プラン

(1) 実現に向けた対象流域の都市開発管理プログラムの重点候補地区

雨水排水管理の機能強化のための都市開発管理を対象流域において推進していくために、都市開発上課題の多い地区への対策の戦略的な強化が、効果的対策として有用となる。以下に対策の戦略的な取組み方法とそのための対象流域における重点地域について述べる。

1) 都市開発管理プログラムの重点地区抽出のための空間戦略

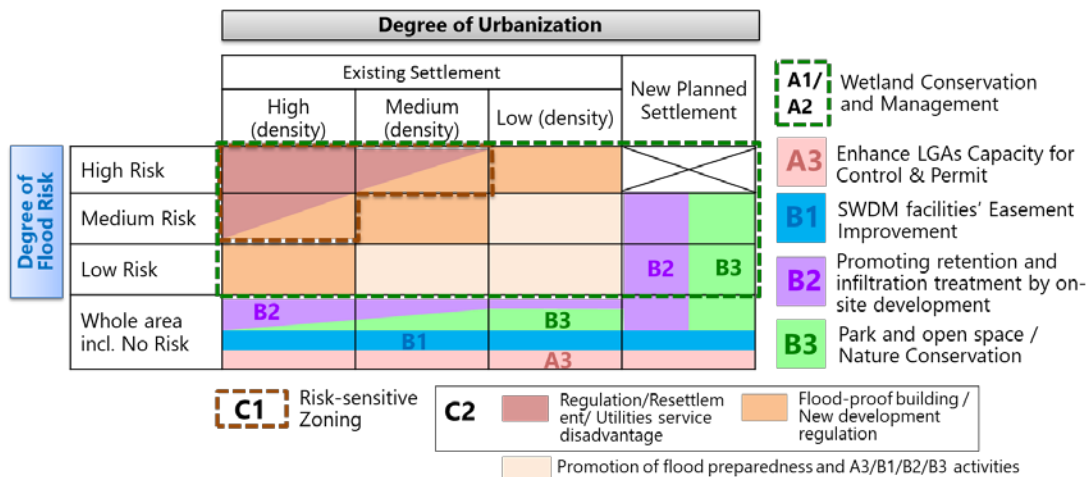
都市開発管理プログラムにおいては、1) 対象流域全域に係る対策と 2) 流域における特定地域における対策の二つの地域の空間的な配慮が求められる。この空間的な配慮に基づく取組みについては、以下の戦略的視点に配慮する。

(a) 対象流域全域に係る取組み

- ・ 都市開発管理プログラムニーズへの配慮：雨水排水機能向上に阻害要因となる不適切な都市化が想定される都市開発管理対策のニーズの高い地区（将来人口増等の人口圧力の高い地区やインフラ整備予定地区、自然緑地の減少等が想定される地区）への配慮。

(b) 対象流域の特定地域に係る取組み

- ・ 流域の雨水排水構造対策の効果発現：提案される流域の構造対策の一層の効果が得られるよう、事業該当地区における都市開発管理の強化を図る。
- ・ 浸水リスク地区への配慮：本調査で想定する浸水リスク地域において、暴露対象となる居住地と浸水のリスク度合い（浸水深）に配慮した都市開発管理対策重要度に基づく対策を図る。次図に、浸水リスクと暴露対象（市街地密度区分別）による取組み方法（例）を示す。



出典：JICA 調査チーム

図 6.8.2 空間的な都市開発管理プログラムに配慮した戦略的取組み方法（例）

2) 重点的な都市開発管理プログラムを行う候補地区

(a) 都市開発管理プログラムニーズの評価

- ・ **評価方法**：対象流域において GN 地区を評価単位として、都市管理対策ニーズに係る評価基準に基づき定量評価を行い、その総合得点による都市開発管理対策ニーズの評価を行う。
- ・ **評価基準**：対象 GN 地区にける 1. 雨水排水構造対策事業地区の有無、2. 浸水リスクの有無、3. 都市開発管理の必要度（人口規模、人口増加率、工業団地有無、公共交通整備事業の有無、自然保全地区の有無）

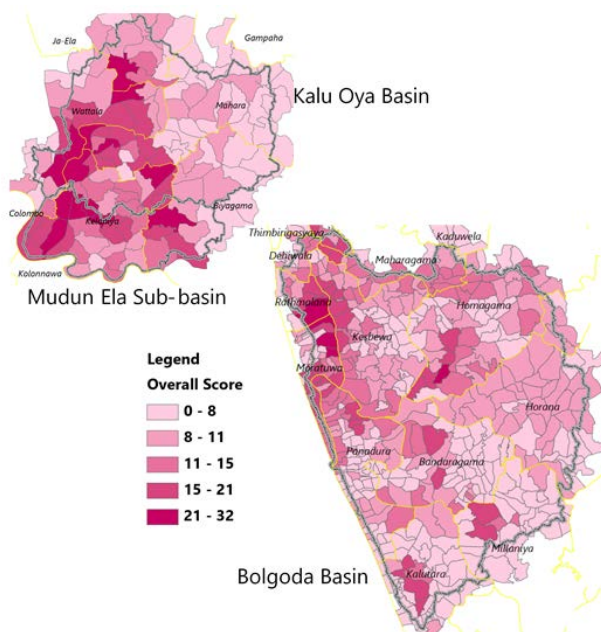


図 6.8.3 都市開発管理プログラムニーズの GN 毎の評価

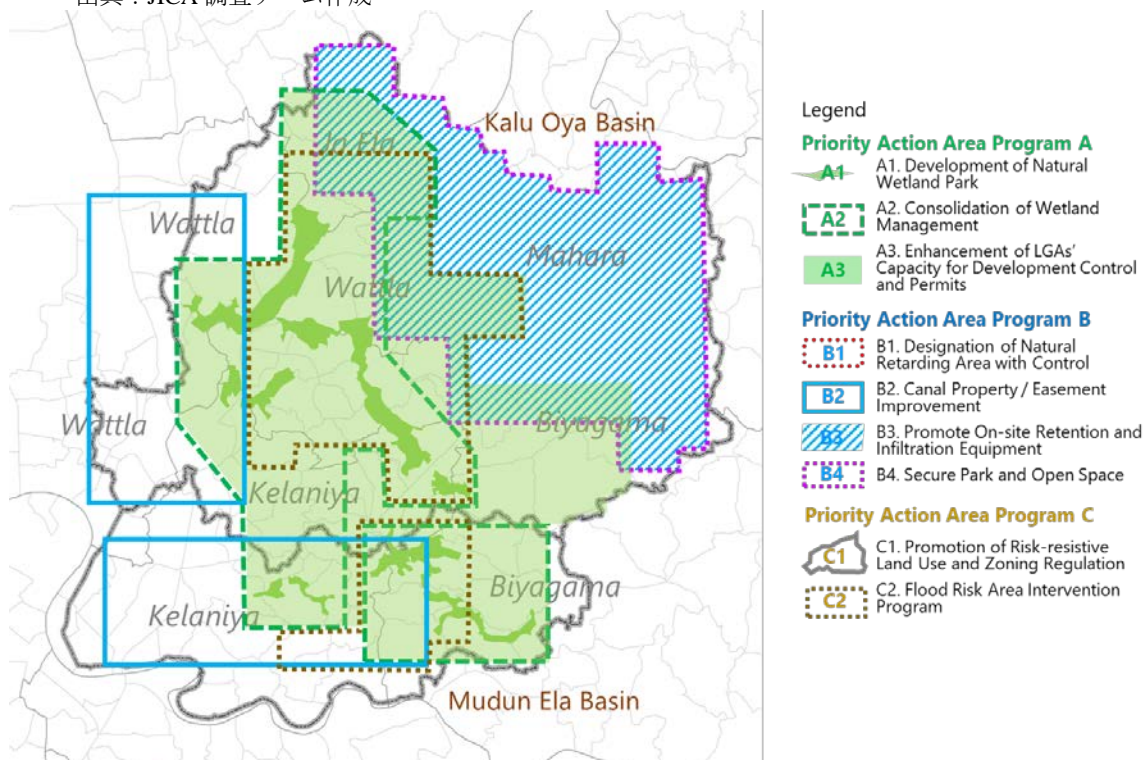
(b) 都市開発管理対策プログラムの重点地区（候補案）

- ・ **都市開発管理プログラムの重点地区（候補）**：前述の対象流域の都市開発管理対策ニーズの総合評価得点の結果に基づき、得点の高い地区を都市開発管理対策の重点地区（候補）として選定し、都市開発管理対策プログラム別の重点地区（案）を含む郡を以下の図表に示す。

表 6.8.5 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の都市開発管理プログラム別の重点地区 (案)

Urban Development Management Program	Sub-programs	Relevant DS Division including Priority Action Areas for Urban Development Management Enhancement
A. Enhancement of Conservation and Utilization of Lowlands/Wetlands	A1. Development of Natural Wetland Park	Ja Ela /Wattala / Mahara / Kelaniya / Biyagama
	A2. Consolidation of Wetland Management	Rathmalana / Moratuwa / Homagama
	A3. Enhancement of LGA's Capacity for Development Control and Permit	Ja Ela /Wattala / Mahara / Kelaniya / Biyagama
B. Strengthening Storm Water Drainage System	B1. Canal Property / Easement Improvement	Wattala / Mahara / Kelaniya /
	B2. Promote On-site Retention and Infiltration Equipment	Ja Ela /Wattala / Mahara / Biyagama
	B3. Secure Park and Open Space	Ja Ela /Wattala / Mahara / Biyagama
C. Improving Urban Settlements in High Flood Risk Areas	C1. Promotion of Risk-sensitive Land Use and Zoning Regulations	All DS Divisions as statutory planning areas in the Target Basins
	C2. Flood Risk Area Intervention Program	Ja Ela /Wattala / Mahara / Kelaniya / Biyagama

出典：JICA 調査チーム作成



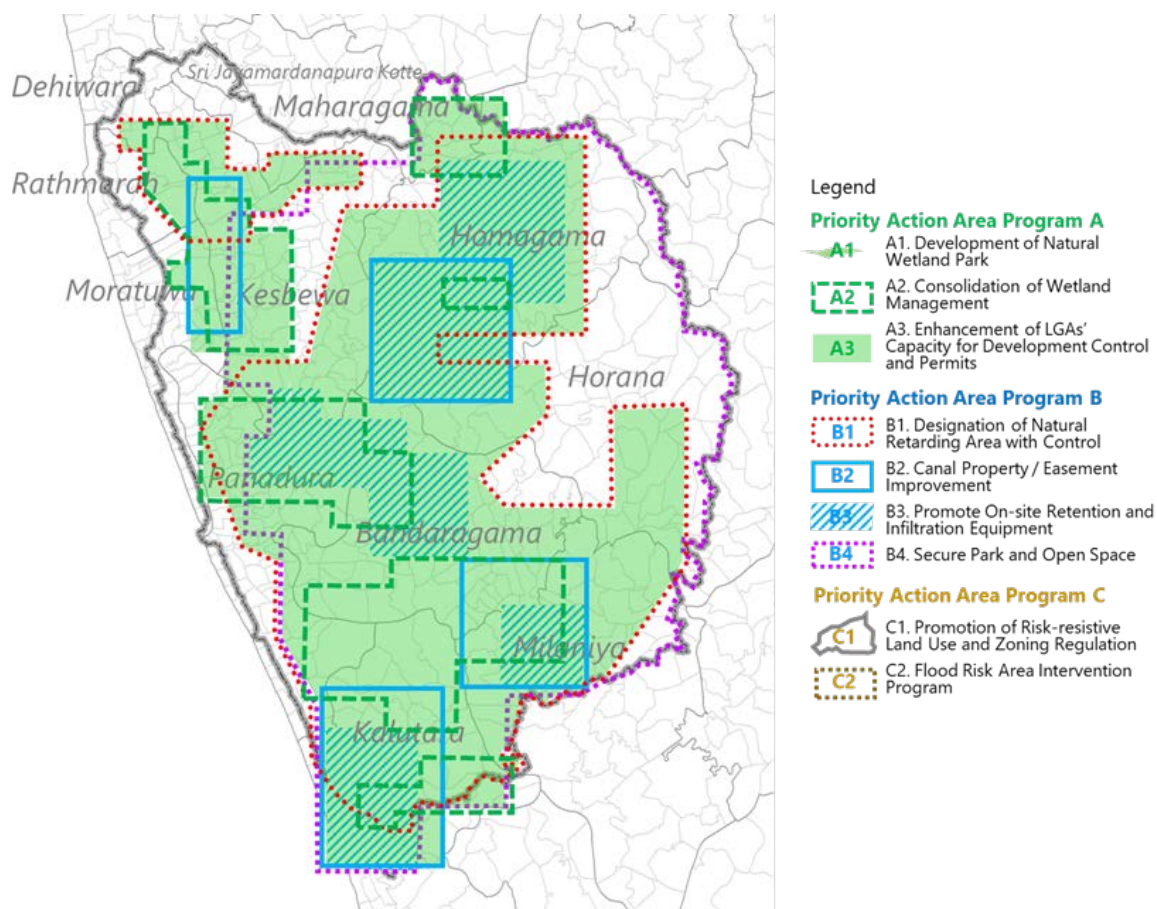
出典：JICA 調査チーム

図 6.8.4 Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の都市開発管理対策プログラム重点地区 概念図

表 6.8.6 Bolgoda 流域の都市開発管理プログラム別の重点地区（候補案）

Urban Development Management Program	Sub-programs	Relevant DS Division including Priority Action Areas for Urban Development Management Enhancement
A. Enhancement of Conservation and Utilization of Lowlands/Wetlands	A1. Development of Natural Wetland Park	Not applied for the priority action areas
	A2. Consolidation of Wetland Management	Dehiwala / Rathmalana / Moratuwa / Kesbewa / Maharagama / Homagama / Horana / Panadura / Bandaragama / Kalutara / Millaniya
	A3. Enhancement of LGA's Capacity for Development Control and Permit	Dehiwala / Rathmalana / Moratuwa / Kesbewa / Maharagama / Panadura / Homagama / Bandaragama / Kalutara / Millaniya
B. Strengthening Storm Water Drainage System	B1. Natural Water Retarding Area Designation and Control Management	All DS Divisions as statutory planning areas in the Target Basins
	B2. Canal Property / Easement Improvement	Rathmalana / Moratuwa / Kesbewa / Homagama / Kalutara / Millaniya
	B3. Promote On-site Retention and Infiltration Equipment	Homagama / Kesbewa / Panadura / Bandaragama / Kalutara / Millaniya
	B4. Secure Park and Open Space	Maharagama / Homagama / Kesbewa / Horana / Panadura / Bandaragama / Kalutara / Millaniya
C. Improving Urban Settlements in High Flood Risk Areas	C1. Promotion of Risk-sensitive Land Use and Zoning Regulations	All DS Divisions as statutory planning areas in the Target Basins
	C2. Flood Risk Area Intervention Program	Dehiwala / Rathmalana / Kesbewa / Homagama / Millaniya / Kalutara

出典：JICA 調査チーム作成



出典：JICA 調査チーム

図 6.8.5 Bolgoda 流域の都市開発管理対策プログラム重点地区 概念図

(c) 留意点 (両流域共通)

- ・ 地域別の都市開発管理対策の制度上の実効性への配慮：都市開発管理対策では、組織強化や規制強化等法制度上の改善策も含まれ、地方自治体の低い行政能力に配慮すると特定地域への対応でなく西部州全域に係る制度上の改善を求められる可能性もある。特定地域での該当対策の実施においては、中央省庁のモデル的対策事業として試行的に実施する方法も検討していく必要がある。
- ・ 流域全域の普及への配慮：都市開発管理対策では、政府主導の対策のみならず地域コミュニティの対策への理解と協力が欠かせない。特定地区のみならず、全域で進める必要のある対策（例：敷地内の貯留・浸透の促進等）は全体の啓蒙促進のキャンペーン等を合わせて実施していく必要がある。

3) 都市開発管理プログラムの実施体制（両流域共通）

雨水排水機能の強化を効果的に実施するために、主管庁の SLLDC の主体的な取組みを推進していく。都市開発管理対策が多くの関係機関の協働・協力あるいは関係機関独自の取組みも提案対策に含まれるが、SLLDC の人材・技術資源を最大化しながら関連する都市管理対策の取組みをリードしていく。そのための意思疎通チャネルの強化や、雨水排水対策の総合的な目標の共有を推し進めることが求められる。

4) Kalu Oya 流域および Mudun Ela 流域の都市開発管理プログラムの実施工程

都市開発管理プログラムは、その性格から目標期間のみならずその後も継続的に実施していく対策を多く含む。また、雨水排水対策の強化において構造対策事業の効果発現を重視した都市開発管理対策の工程に取り組む。特に Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域における水路改善に係る対策と遊水地確保のための自然湿地公園の取組みは初期から全期にわたり実施していく。また、急速な都市化に対する早期の対応が迫られる対策については、短期から取組みを行い継続的に実施していく。

表 6.8.7 Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域の自然湿地公園事業の実施工程（案）

Urban Development Management Programs/Sub-programs		Implementation Initiative Body	Implementation Phase			Beyond 2030
			Short	Mid	Long	
A. Wetland Conservation and Utilization	A1. Development of Natural Wetland Park	SLLDC	■	■	■	■
	A2. Consolidation of Wetland Management	SLLDC	■	■	■	■
	A3. Enhancement of LGA's Capacity for Development Control and Permit	UDA/LGAs	■	■	■	■
B. Supporting Storm Water Drainage Management	B1. Improvement of Canal Property/Easement	SLLDC	■	■	■	■
	B2. Promotion of On-site Retention and Infiltration Facilities Development	UDA/LGAs	■	■	■	■
	B3. Securement of Park and Green Open Space	UDA/LGAs	■	■	■	■
C. Supporting Flood Risk Area Management	C1. Promotion of Risk-sensitive Land Use and Zoning Regulations	UDA/LGAs	■	■	■	■
	C2. Flood Risk Area Intervention Program	UDA/LGAs	■	■	■	■

出典：JICA 調査チーム作成

5) Bolgoda 流域の都市開発管理プログラム（自然遊水エリアの指定）

Bolgoda 流域の都市開発管理プログラムでは、雨水排水対策の強化において構造対策事業を限定するため、非構造対策と連携した都市開発管理対策の果たす役割が重要となる。洪水想定区域に基づく「自然遊水エリア」の指定による効果的な遊水機能を確保するため、エリア内の様々な土地利用保全と活用のための都市開発管理プログラムを実施していく。以下にその取組内容を示す。

(a) 自然遊水機能を維持すべき洪水想定区域の対策方針

制度的対策（自然遊水エリア指定）措置： Bolgoda 流域の洪水想定区域の面積は、北部の Kalu Oya-Mudun Era 流域の遊水地区域の 21 倍であり、流域で提案された物的整備を伴う自然湿地公園の適用は現実的ではなく、現在の土地利用を維持（一部を除く）することで自然遊水機能を保全することを原則とする。そのため、洪水想定区域を「自然遊水エリア」として区域指定を行い、必要な保全のための制度的措置を中心に行うものとする。

土地利用保全のための開発規制：

- ・ 区域内の農地を含む緑地では、保水機能、水質浄化機能や、湿地・草地等での自然生態系機能を維持するため、各現状土地利用の保全と改変・造成を規制する既定の開発許可・規制制度（SLLDC 法、UDA 法、NE 法等）の強化、または運用面（適用、審査や手順）の改善を図る。
- ・ 区域内面積の 4 割弱を占める放棄農地は、都市開発誘引の潜在性が高い土地形態であり、その改変や転換を未然に防ぐ開発許可・規制制度（SLLDC 法、LRA 法、AD 法等）の運用面（適用、審査や手順）での強化を図る。
- ・ 想定浸水区域での占有は僅かであるが、住宅等は浸水リスクによる人的・経済的被害を低減させるため必要な支援に基づく移転要請を原則とするが、困難な場合は建物の耐浸水策等を支援し、被害低減を図る。

既存土地利用の活用促進：

- ・ 水田や換金作物農地における農業用地では、灌漑や農業関連整備等の生産性強化のための必要整備は認め、その持続的な経済活動が可能となるよう誘導する。
- ・ 放棄農地の現状維持は、ゴミ不法投棄、景観悪化、害虫の発生等の要因となるため現状維持は不適切で、遊水機能の維持を条件として維持管理費用の捻出可能な活用策（多目的空地や駐車場等の都市的利用や公的自然事業として湿地回復等）を行う。

表 6.8.8 ボルゴダ流域の遊水機能区域内の用地保全または活用方針と対策（案）

District	Measures for Conservation and Utilization of Lands in the Retarding Basin Areas					
	Agricultural Land		Natural Environment		Urbanized Place	
	Agriculture Lands	Abandoned Lands	Wetland	Other Natural Areas	Housing	Proposed Recreation Space
Policy	<ul style="list-style-type: none"> ● Retain function of agriculture ● Allow flexible peasant farming whoever manages 	<ul style="list-style-type: none"> ● Utilize lands by keeping a function of retarding basin ● Promote wise use of lands by viable measures 	<ul style="list-style-type: none"> ● Conserve wetlands and other natural areas for both functions of natural environment and retarding basin 		<ul style="list-style-type: none"> ● Promote resettlement or provision of flood-resistance house treatment 	<ul style="list-style-type: none"> ● Retain lands or convert to spaces for sports & recreation keeping a function of retarding basin
Area to be covered	2,047 ha	2,310 ha (500 ha utilization of 2, 810 ha total)	728 ha	500 ha	15 ha	500 ha (Proposed Open Recreation Area)
Development Control & Incentives	Control & Regulations	<ul style="list-style-type: none"> ● Prohibit land use conversion to any other use 	<ul style="list-style-type: none"> ● Allow land use conversion to land without obstacles to retarding basin function 	<ul style="list-style-type: none"> ● Prohibit any developments involving negative impacts on natural environment ● Allow adequate activities and works to maintain natural environment 	<ul style="list-style-type: none"> ● Prohibit expansion or new building with land reclamation ● Allow only flood resistance treatment 	<ul style="list-style-type: none"> ● Allow minimum treatment without obstacles to retarding basin function

	Incentive Program	<ul style="list-style-type: none"> Promote cooperative production system Support favorable business finance 	<ul style="list-style-type: none"> Relax relevant regulations on use conversion in case of wise use without obstacles to retarding basin function 	<ul style="list-style-type: none"> Promote public-private partnership for utilization of wetlands (e.g. ecotourism, educational facilities, community-based volunteer activities, etc) 	<ul style="list-style-type: none"> Support finance for resettlement or substitute land provision Support finance for flood-resistance treatment 	<ul style="list-style-type: none"> Retain function of agriculture 	
Promotion of Wise and Effective Land Use	Soft program	<ul style="list-style-type: none"> Promotion campaign in fields for paddy production Quality and productivity improvement of agro-products 	<ul style="list-style-type: none"> Introduce “Home Vegetable Garden” place Introduce “Multi-purpose Ground” Recover “wetlands” by environmental program 	<ul style="list-style-type: none"> Promotion campaign by fields study for ecology of wetlands Promotion of community awareness program for conservation of wetlands Organizing a community club for monitoring activities of wetlands 	<ul style="list-style-type: none"> Awareness program for flood risks and coping for living places 	<ul style="list-style-type: none"> Feasibility study for open sports & recreation area Promotion of recreational events by local authority 	
	Physical program	<ul style="list-style-type: none"> Improve irrigation channel for paddy fields 	<ul style="list-style-type: none"> Maintain drainage function Recovery to Wetlands if viable Access road and parking space in case of open recreation facilities use 	<ul style="list-style-type: none"> Maintain drainage function Access road and parking space provision for observation 	<ul style="list-style-type: none"> Maintain drainage function Recovery to Wetlands if viable 	<ul style="list-style-type: none"> Reform or improve buildings by flood-resistance method Resettlement if viable for both owner & administration 	<ul style="list-style-type: none"> Access road and parking space provision for open recreation spaces
Stakeholder	Water sector	SLLDC / ID	SLLDC / ID	SLLDC	SLLDC	SLLDC	SLLDC
	Agriculture sector	ADD	ADD	--	--	--	ADD in case use of abandoned agriculture lands
	Environmental sector	--	(CEA in case of wetland recovery)	CEA	CEA	--	--
	Urban sector	--	UDA	(UDA)	(UDA)	UDA	UDA
	Key local authority*	Homagama, Kesbwa, Horana, Milania	Homagama, Panadura, Bandaragama,, Milania, Kalutara	Rathmalana, Kesbewa, Panadura, Bandaragama, Kalutara	Bandaragama Kalutar	Horana Millaniya	As an potential are in Kalutara surroundings of Bolgoda North Lake

備考1：Open Recreation Area is defined by facilities for a sports and recreational space with minimum infrastructure by maintenance-free development. The proposed area (500 ha) is assumed by 30 % of the total spatial demand based on the future population 2030 in the Bolgoda river basin applying the green park standard of Sri Lanka (one hectare per 1,000 pop)

備考2：SLLDC: Sri Lanka Land UDA: Urban Development Authority, ID: Irrigation Department, ADD: Agrarian Development Department, CEA: Central Environmental Authority, DMC: Disaster Management Center, Local authority: Municipal Councils

出典：JICA 調査チーム

(b) 自然遊水エリア指定制度（素案）

目的

ボルゴダ流域の雨水排水対策で求められる自然遊水機能の確保のため、想定浸水区域の範囲を「自然遊水エリア」として指定し、指定区域内の農地・自然地等の確保と保全を図る。

指定要件

- SLLDC は、主に農地（放棄農地を含む）、自然地（草地、林地、湿地）、一部都市的地域（独立住宅や開墾地等）について、想定浸水区域（50年浸水確率）を定める。
- 各関係機関（農業、治水、自然保全、市町村）は、地区指定検討時において SLLDC と調整・協議する。

地区の管理

- 農地（水田、その他耕作地）について使用又は収益をする権利を有する者は、当該土地利用を農地として維持・管理を行う。

- ・ 放棄農地については、該当する土地または耕作権の保有者の意向確認に基づき、ADD および関係機関と共に遊水機能を保全できる土地活用について検討・協議を行い、その維持管理対策を講じる。
- ・ 湿地および自然緑地については、土地の保有者の意向確認に基づき、CEA/SLLDC および関係機関と検討・協議を行い、必要な自然環境の保全対策を講じ、遊水機能の保全・管理を行う。
- ・ 住宅またはその他の都市的土地利用については、自治体および関係機関と検討・協議に基づく水害対策案（移転または耐浸水構造対策等）を示し、土地所有者およびその賃貸者の意向確認に基づきその実施誘導・支援を行う。

地区内の行為制限

指定地区内における以下の行為については、SLLDC 法 等に基づき関係機関との協議をお行い、SLLDC の許可が必要となる。尚、必要な管理対策に係る治水、農業の営農、自然保全および市民余暇推進のために必要となる施設の設置、土地改造等は、関係機関との検討・協議を通じ遊水機能を維持可能な範囲で許可できる。

- ・ 建築物その他の工作物の新築、改築または増築
- ・ 造成、土石の採取その他の土地の形質の変更
- ・ 用地の用途変更
- ・ 放棄農地の活用（農地回復、他用途転換、または自然地の回復等）

土地の買取りの申出

農地または耕作権保有者が相応の理由により農地を維持することができなくなった場合、または「自然遊水エリア」として告示された日から 30 年が経過した場合には SLLDC に当該農地の買取りまたは第三者への貸借を申し出ることができる。

「自然遊水エリア」内の農地取得の斡旋

SLLDC は、買取りの申出がなされた農地について、買取らない旨の通知をしたときには、当該農地において営農を希望する者が取得または貸借できるように斡旋することに努めなければならない。

(c) 自然遊水エリアの保全および活用のアクション・プラン

自然遊水エリアの制度整備（短期）

ボルゴダ流域の自然遊水機能の確保を図る「自然遊水エリア」の区域指定と関係機関の連携協力による指定地区の運用・実施の仕組みを構築するため、以下の制度整備（短期）の取組みをめざす。SLLDC は、活動の推進および関係者の協力誘導を図る。

- ・ 地区指定のための詳細調査： 50 年確率の想定浸水区域に基づき把握された「自然遊水エリア」（案）について、具体の地域環境（植生、生態、土地所有・地籍等）を踏まえた線引きを行うため、詳細調査と分析を行う。

- ・ 「自然遊水エリア」管理計画の策定：区域の多岐に渡る土地利用に関連する関係機関による総合的な連携・協力に基づく自然遊水機能の確保のための管理計画を定め、区域保全と活用の行動枠組みとする。
- ・ 「自然遊水エリア」制度の構築： 管理計画に基づく実施・運用を図るため、関係機関との合意書取り交わしや、法的な事項について運用面での対応策を検討する。
- ・ モニター・調整・方針決定組織の設置： 複数自治体をまたぐ広域に分布する自然遊水エリア地区における保全あるいは活用について横断的、総合的に協議・調整する組織として「遊水エリア管理協議会」の設置を行う。セクター別の開発許認可のみならず区域の活用政策に係る協議や方針を定めることを目的とするが、既存の開発委員会や協議組織の活用可能性も検討する。

関連制度の調整・強化（短中期）

- ・ 関連制度との整合性・一体性確保による強化：「自然遊水エリア」制度で求められる対策に係る関連法制度（水管理、自然環境管理、農地管理、都市開発管理等）について整合性や有効性等のレビューを通して課題を把握し、必要に応じた制度改善策を提言し改正促進を図る。それらの運用面での対応可能な対策も含める。
- ・ 自治体開発計画のゾーニングとの調整：区域に関連する自治体の開発計画では、土地利用計画および開発規制のためのゾーニングが定められることから、その用途・開発規制内容と「自然遊水エリア」との整合性と強化を図るため、ゾーニングおよび開発規制内容の見直し、修正を行う。

自然遊水エリアの区域の賢明な活用プログラム（短中長期）

- ・ 環境型農業の促進：「自然遊水エリア」内の水田、その他の換金作物の営農地区では、保全指定が農業の阻害とならないように、営農持続性が図れる農産品の付加価値を高めるための支援プログラムを実施する（例：有機農産品開発と販売等）。農業局（ADD）が活動を牽引し、必要な関係者との連携を図る。
- ・ 湿地帯保全活動の官民連携：広大な面積となる区域の保全においては、地域の多様な関係者の理解と協力が不可欠であり、行政、NGO、教育機関等の連携を効果的に進める取決や協働的活動を促進するパートナーシップの構築を図る。SLLDC が活動を牽引し、必要な関係者との連携を図る。
- ・ 遊水地学校プログラムの推進：自然遊水地エリアにおける環境保全および活用活動に対する理解促進や市民参加を醸成する環境教育の場を「遊水地学校」として提供する。中央環境庁（環境教育部門）を中心としたプログラムにより、関係機関の協力を得ながら地域住民、生徒・学生等への環境教育を促進する。

表 6.8.9 ボルゴダ流域の遊水機能区域内の用地保全または活用方針と対策（案）

Project and Program Components for Implementation of Natural Retarding Basing Area Management Project		Responsible Implementation Body (and supporting stakeholders)	Implementation Phase			Beyond 2030
			Short-term (0-3 Y)	Mid-term (3-5 Y)	Long-term (5-10 Y)	
1 Natural Retarding Basin Area Institutional Setting	1-1 Detailed baseline survey and analyses for the Natural Retarding Basin Area (NRBA) delineation	SLLDC (CEA)	■			
	1-2 Formulation of the NBRA management plan including stakeholders building consensus	SLLDC (relevant authorities*)	■			
	1-3 Legal arrangement of the area designation and rules and management	SLLDC (relevant authorities*)	■	■		
	1-4 Establishment of the basin management council for appropriate conservation and utilization of the area	SLLDC (relevant authorities*)	■			
2 Adjustment and Enhancement of Development Controls and Regulations	2-1 Ensure relevant controls and regulations in agriculture, water management, land and environment synchronized with NBRA	Relevant authorities*	■	■	■	■
	2-2 Review and adjust zoning plans with urban controls and regulations for municipal councils in consistency with NRBA	Municipal Councils (UDA)	■	■	■	■
3 Wise-use Program for the Basin Area	3-1 Promotion of environment-oriented agriculture production and market branding	ADD (SLLDC)	■	■	■	■
	3-2 Establishment of a local partnership for collaborative conservation and utilization of the wetlands	SLLDC (relevant authorities*)	■	■	■	■
	3-3 Formulation of “retarding basin school” program for environmental education and promotion of its understanding for relevant communities	CEA (relevant authorities*)	■	■	■	■

Note: Relevant Authorities / municipal council, ADD, ID, CEA, UDA, DMC

出典：JICA 調査チーム

6.9 優先対策事業の選定

優先対策事業は Mudun Ela 流域および Moratuwa-Rathmalana 地区の事業とし、次のように選定した。

- 2018年に締結された Record of Discussion (RD) によれば、1流域および1地区が選定されている。これが Mudun Ela 流域であり、Moratuwa-Rathmalana 地区である。
- M/P 調査でも、Mudun Ela 流域の改修計画および Bolgoda 流域の費用便益分析による経済効果は両者とも高く、投資効果が高い地区である。
- Mudun Ela 流域は、特に下流域に空港に向かう高速道路(CKE)のインターチェンジが位置し、Oliyamula ポンプ場が建設中であり、これに二次水路の Peliyagoda ポンプ場の改築が加われば、投資効果は高いものとなる。
- Moratuwa-Rathmalana 地区については、JICA2003M/P の F/S で提案した Weras Ganga プロジェクトの最後に残された地区であり、当地区はコロンボ市庁に隣接した実質的な都市圏であり、上記同様に投資効果は高い。

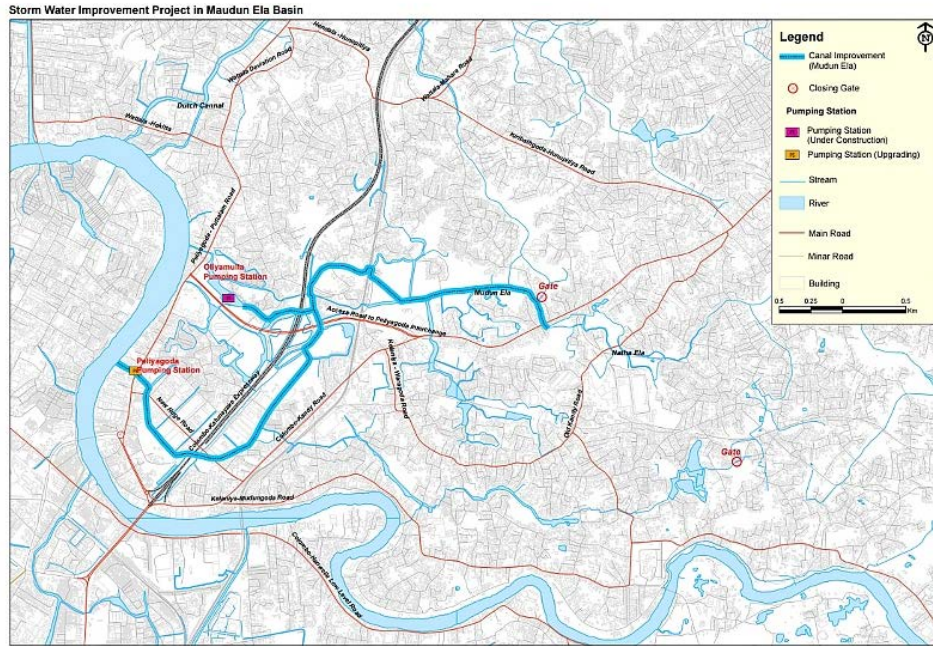
これら両地区の事前に想定する事業配置図を以下に示す。これらの現在考えられる事業概要を以下に整理する。

(1) Mudun Ela 流域

- Mudun Ela 幹線水路改修：3.1km
- Peliyagoda ポンプ場に続く Naranmini Oya 二次水路改修：3km
- Peliyagoda ポンプ場改修：0.5m³/s → 1.0m³/s
- 締切ゲート2カ所：Natha 水路との接続および Naranmini Oya 二次水路の尾根部分

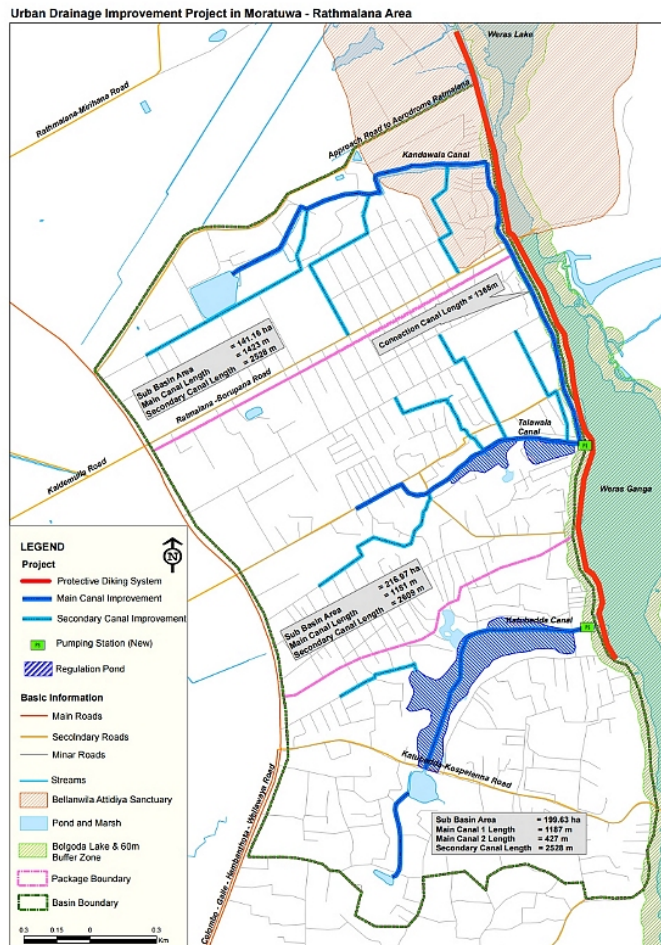
(2) Moratuwa-Rathmalana 地区

- Weras Ganga 右岸堤：3km
- 排水整備計画
 - Kandawala 水路：141ha(集水域)、幹線水路 1,420m、二次水路 2,530m
 - Talawala 水路：217ha(集水域)、幹線水路 1,150m、二次水路 2,610m
 - 上記2水路の連結水路：1,300m
 - ポンプ場：Talawas 水路放流工地点
 - Katubadda 水路：200ha(集水域)、幹線水路 1,610m、二次水路 2,530m
 - ポンプ場：Katubadda 水路放流工地点



出典：JICA 調査チーム

図 6.9.1 Mudun Ela 流域における優先プロジェクト



出典：JICA 調査チーム

図 6.9.2 Moratuwa-Rathmalana 地区における優先プロジェクト

なお、Pre-F/S で想定する事業は、Mudun Ela は小規模の河道改修と既設排水機場における機材の追加のみ、また、Moratuwa—Rathmalana 地区は Weras Ganga 右岸堤の設置のみであり、環境社会に与える負の影響は少ないと考えられる。そのため、Pre-F/S 対象地区における代替案検討は Pre-F/S 中に実施する。

6.10 事業実施・運用維持管理体制の提案

6.10.1 事業実施体制の提案

雨水排水対策事業にかかる政府機関の責任分担

雨水排水施設の計画、実施、運用・維持管理に関して、調査対象地域における関係機関の現状を考慮した組織・制度上の明確な制度的取り決めを開発するために、事業実施体制として、以下の責任分担を提案する。

- 雨水排水施設の計画、実施、運用・維持管理に関連する組織は、SLLDC、ID、ADD、PID および LA である。
- SLLDC は、指定地域（水路、湖沼、低湿地等）の雨水排水に関連するすべての活動に責任を負い、地方自治体はそれ以外のそれぞれの管区内の雨水排水に関連するすべての活動に責任を負う。
- 幹線道路の道路側溝は、通常、道路建設とともに道路開発局（RDA）によって整備される。維持管理に関しては、通常の慣行を考慮して、地方自治体は、高速道路等の高規格道路に接続されている排水施設を除いて、それぞれの地域の道路側溝を維持管理する。
- 地方自治体が計画、建設する地方道路の側溝は、維持管理も地方自治体が担当する。
- 農業水路に関しては、灌漑事業規模に応じ、200 エーカー以上は ID、200 エーカーを下回る規模はその実施機関に応じ ADD または PID が維持管理を担当する。

上記の提案内容を表 6.10.1 に示す。

表 6.10.1 雨水排水対策事業にかかる政府機関の責任分担

対象地域	計画	建設	維持管理
SLLDC 指定地域の排水路	SLLDC	SLLDC	SLLDC
地方自治体管区内の排水路（長期目標）	地方自治体	地方自治体	地方自治体
地方自治体管区内の排水路（短期対応）	SLLDC	SLLDC	地方自治体
幹線道路側溝	道路開発庁	道路開発庁	地方自治体
地方自治体管区内の地方道路側溝	地方自治体	地方自治体	地方自治体
200 エーカー以上の灌漑事業に係る農業水路	ID	ID	ID
200 エーカーを下回る灌漑事業に係る農業水路	ADD/PID	ADD/PID	ADD/PID

特に農業水路から都市排水路に転用されつつある水路の管理主体を明確にする必要がある。定期的開催される District Coordination Committee 等を通じて、水路の管理主体を位置図と共に文書化し、関係法令の修正を含め、管理主体と責任範囲の明確化を進めることを提案する。

雨水排水対策は、地方自治体が提供する市民サービスの一部であると理解できるが、現状では、CMC を除く多くの地方自治体の対応能力は限定的であり、地方自治体が上記の区分に基づいた適切な雨水排水対策を担うことは事実上不可能な状況にある。したがって、上記の地方自治体の責任区分は長期的な目標として位置づけられる。目標を達成するには、SLLDC による計画、建設および運用・維持管理への支援が必要となる。このため、短期的な対応として、SLLDC による雨水排水施設の計画と建設、および建設後の地方自治体への施設の移管を提案する。

6.10.2 運用・維持管理体制の提案

運用・維持管理は、持続可能な雨水排水システムを確立するための重要な要素である。現在、各責任主体によって運用・維持管理されている雨水排水施設が存在している。さらに、本 M/P 調査を通じて、新たに更新された雨水排水システムが提案されることとなる。運用・維持管理は、対象とする施設のタイプと規模、およびそれを管理する組織によって異なるものとなる。調査対象地域での運用・維持管理の現状と新たに提案される排水システムに基づいて、実用的な運用・維持管理システムを確立する必要がある。

6.10.2.1 運用・維持管理の基本方針

本調査を通じて提案される雨水排水改善スキームに対して、以下の方針に基づいて、運用・維持管理計画を策定する。

- 雨水排水対策施設の運用・維持管理は SLLDC と地方自治体 (MC, UC, PS) の責務とする。
- SLLDC はその指定地域の雨水排水対策施設の運用・維持管理の責任を担う。
- 地方自治体はその管内におけるその他の雨水排水対策施設の運用・維持管理の責任を担う。
- 地方自治体の運用・維持管理能力が十分でないことを考慮して、SLLDC は雨水排水対策施設の運用・維持管理において、地方自治体への施設引渡し後の数年間、地方自治体を支援する。この期間中、SLLDC は、地方自治体に、共同運用、実地訓練、および講義を通じて技術指導と人材育成トレーニングを提供する。
- 長期的な目標として、地方自治体は、自らが排水対策施設の計画、建設、運用・維持管理を行えるよう体制整備を推進する。

6.10.2.2 組織体制の整備および要員配置

(1) SLLDC

雨水排水対策事業に関する SLLDC の管理能力は、特に MCUDP 等の実施を通じて、組織体制および人材が強化されてきた。しかしながら、今後のさらなる対象地域と業務量の増加を考慮して、組織と人材のさらなる拡充を以下のように提案する。

- 現行の Drainage & Reclamation Division 内に新規担当セクションを追加する。たとえば、都市排水 O&M (運用・維持管理) セクションとして、市街地での雨水排水システムの O&M 業務を行い、関係地方自治体への雨水排水システムの O&M に関する技術ガイダンスと人材育成トレーニングを提供する。
- SLLDC によって建設された新しい都市排水システムの場所と、そのための実際の O&M 活動を考慮して、既存あるいは新規 Regional Office に新しいセクションの実施部門を設置し、地方自治体の雨水排水システムの O&M 業務を支援する。
- 地方自治体向けの技術的なガイダンス、トレーニングおよび浸水情報の提供等を目的に、SLLDC のマネージャー、エンジニア、技術者、機材オペレーターおよびその他の一般職員を含むすべてのレベルでの能力の開発を推進する。

(2) 地方自治体

雨水排水システムの運用・維持管理を定期的に行うために、以下の組織体制の構築と人材の拡充を提案する。

調査対象地域内の地方自治体では、技術系職員の配置が十分でなく、現在、雨水排水対策に係る専門部署は配置されていない。しかしながら、将来の雨水排水対策の拡充を考慮して、専任技術系職員とともに雨水排水対策専門部署を設置することを提案する。

6.10.2.3 機材計画

(1) SLLDC

現在 SLLDC が所有している雨水排水対策施設の維持管理用機材では、将来、拡張が予想される管理指定区域を含めた維持管理業務を処理するには不十分である。したがって、現在進行中の事業で調達予定されている機材を整理したうえで、長期的な観点から、水路を維持管理するための浚渫船などの追加の重機を調達することを提案する。

(2) 地方自治体

現在、一般的に、地方自治体の主要な維持管理業務は、既存の小規模排水路の清掃と軽微な補修であるが、地方自治体はこれらの排水施設の定期的な維持管理業務に必要な十分な量の機材を保有していない。したがって、既存の都市排水システムの適切な維持管理業務を実施するには、トラクター、小型バックホー、水中ポンプ、発電機などの維持管理用機材の拡充整備が必要である。

6.10.2.4 予算措置

(1) SLLDC

SLLDC の雨水排水対策施設の運用・維持管理の資金は、政府予算から拠出されている。SLLDC は、作業計画、職員の雇用、研修計画、機材計画に基づいて、運用・維持管理に必要な十分な予算を獲得するための適切な措置を行う必要がある。また、前節で提案された SLLDC 内の新規の運用・維持管理担当セクションの職員配置と機材計画に基づいた予算措置も必要となる。

(2) 地方自治体

雨水排水対策施設の維持管理に割り当てられる地方自治体の年間予算は、通常の定期的な維持管理業務を実施するうえでも極めて限られている状況にある。地方自治体の限られた予算の現状を考慮して、地方自治体として雨水排水対策施設の必要最小限の運用・維持管理が実施できる人材と機材が確保できる予算を実現するために、西部州政府が予算措置を講ずることを提言する。この予算措置の決定は、地方自治体による詳細な予算計画の作成、計画の評価、および西部州政府の監査とともに行われる必要がある。

6.10.2.5 人材育成計画

雨水排水部門の人材育成は、実施機関、すなわち SLLDC と地方自治体にとって重要な問題の1つである。ここでは、SLLDC と地方自治体向けのトレーニングパッケージを、O&M の短期的側面とキャパシティビルディング全体の長期的側面について提案する。

雨水排水対策の実施および運営・維持管理において、人材育成は実施機関である SLLDC および地方自治体にとって重要課題のひとつである。人材育成計画として、短期的には SLLDC と地方自治体の職員に対する運営・維持管理の教育訓練プログラムを実施することを提言する。また、長期的には SLLDC と地方自治体の組織全体の継続的能力強化をねらいとした、雨水排水対策分野の人材育成のための総合的な教育訓練プログラムを実施することを提言する。

第7章 環境社会配慮

7.1 戦略的環境アセスメント

7.1.1 調査の背景

JICA 環境社会配慮ガイドライン（2010）では、基本方針の一つとして「マスタープラン等においては、戦略的環境アセスメントを適用する。早期段階からモニタリング段階まで、環境社会配慮が確実に実施されるよう相手国等に働きかける（p.3）」と定められている。本調査は M/P 策定プロジェクトであるため、同規定に従い、M/P にかかる環境社会配慮のための戦略的環境アセスメント（Strategic Environmental Assessment、以下 SEA）を実施する。

スリランカ国においては、将来の政策・計画・プログラムの策定の際には SEA を実施すべきであるとの提言が CEA によって出されており、2006 年 5 月に、内閣がそれを承認している。これを受けて、CEA は SEA 実施のためのガイドラインとして「A Simple Guide to Strategic Environmental Assessment」を作成しているが、2021 年 7 月時点において、SEA の実施は法制化されていない。義務でないこともあり、同国における SEA 実施事例の数はまだ少ないが、これまで、CEA によるパイロット SEA、例えば国連開発計画と国連環境計画の支援を受けて CEA と DMC が実施した北部州開発計画にかかる SEA など、地域開発計画等を対象とした SEA が実施されている。より近年には、世界銀行の支援による Climate Resilience Improvement Project（CRIP）の一環とし Kelani Ganga 流域を対象とした洪水・干ばつ緩和投資計画（Development of River Basin Level Flood and Drought Mitigation Investment Plans）の策定にあわせ SEA が 2018 年に実施されている。こうした中、SEA の法制化に向けた取り組みを強化するため、CEA は環境管理・評価課の内部に SEA ユニットを新設し、SEA 法令のドラフト作業を開始している。

これらの状況を踏まえ、調査団は本プロジェクトに関連するスリランカ国および他国の SEA 事例や SEA の実施にかかるガイドライン等をレビューし、本調査で実施する SEA の TOR 案を策定した。また、TOR 案について CEA と協議を行い、CEA のコメントを踏まえて最終化を行った。CEA のコメントを踏まえて修正した主要点として、SEA で実施するステークホルダー協議⁴については、CEA が主催し、Colombo の CEA 本部で行うこととなった。最終 TOR は、ショートリストされた再委託先候補に送付され、選考の結果、Colombo 大学を再委託先として SEA を実施することとなった。調査は 2019 年 8 月から開始されており、2020 年 3 月に完了予定であったが、COVID-19 のパンデミックの影響により 2022 年 3 月に完了した。Kalu Oya 流域については 2020 年 3 月までに予定していた全 3 回の SHM を完了し、Bolgoda 流域については、最終の SHM を 2021 年 11 月に実施した。SEA で実施された環境ベースライン調査の結果については、巻末資料の 5 章に記載する。

なお、本調査の対象地域は、2003 年に実施されたコロンボ首都圏洪水対策計画調査の対象地域と一部重複する。2003 年の調査時の環境社会配慮調査では、Kalu Oya 流域において水路改修により雨水の多くが Muthurajawela 湿地の保護区内へ流入するため、都市域の汚水処理が適切に実施されない

⁴ これは、政府関係者を対象としたステークホルダー協議を指す。SEA では、この他に NGO や住民リーダー等を対象としたインタビュー等も実施する。

場合、都市化の進展とともに湿地への汚水流入量が増大する恐れがあるとされている。本調査の提案では同様の水路改修が提案されているが、水路の常時の流れは湿地側から Kalu Oya 河道側に向かうものであり、また、洪水時は湿地方向へ流れるものの流量が大きく汚濁物質が希釈され、かつ地区内の水位上昇は短時間であり、湿地への環境影響は軽微であると考えられる。なお、2003年時点では、洪水対策実施のための土地取得と住民移転に関わる深刻な問題はないと想定されている。

Bolgoda 流域においては、2003年調査にて湿地や放棄水田のような低湿地を遊水地として活用する事を提案している。これに対し当時の環境影響配慮調査では、遊水地に流入する人口密集地域の水路を通じて汚水が流入し、遊水地として計画された低湿地の生態系に影響が出る恐れがあるとの記述があった。しかしながら、この低湿地の遊水池活用において建設活動は提案されておらず、自然の地形を活用し貯留効果を狙ったものであるため、本調査での提案と同様に、対策工による環境影響はほとんどないものと考えられる。また、Kalu Oya 流域と同様に 2003年時点では洪水対策実施のための土地取得と住民移転に関わる深刻な問題はないと想定されている。

2003年の調査において流域共通事項として提言されている点が、違法な廃棄物処分の規制ならびに合法的な処分場の設置、および都市部における適切な汚水処理の推進である。洪水対策の実施に並行して廃棄物の規制および適切な水質管理や汚水処理を実施する事が重要であると述べられている。

以下では、M/P および今後の Pre-F/S の実施で想定される環境社会配慮上の主要な課題について概説する。ステークホルダーとの協議を踏まえた M/P への提言を、7.1.7 に整理する。

7.1.2 環境社会配慮上の主な懸念事項

M/P の内容は、主に既存の運河や河川の改修や、規模を最小限に留めた築堤であり、大規模な環境社会影響は想定されない。むしろ、次節以降で述べるように、無秩序に開発が進み適切な排水機能が維持できなくなっていることが環境社会配慮上の大きな課題となっており、M/P の実施によるプラスの影響が大きいと考えられる。なお、排水機能の劣化については、2003年のコロンボ首都圏洪水対策計画調査で課題として挙げられたように、都市化の進展による水質の悪化や、水生植物の繁茂による排水不良も一因であると考えられる。

なお、M/P の実施および今後想定される Pre-F/S 対象事業の実施に際しては、用地取得、非自発的住民移転が一定程度発生する。また、事業対象地区は、スリランカ国において保護区に指定されているエリアが含まれているが、開発と保護を両立することを目的として認定されているものである。以下、用地取得および非自発的住民移転、および保護区との関係について概説する。

7.1.2.1 用地取得および非自発的住民移転の概要

M/P および Pre F/S 事業の対象となる Kalu Oya 流域、Mudun Ela 流域、Bolgoda 流域において、想定される事業により生じる用地取得規模および非自発的住民移転数を以下に示す。なお、住民移転数については、衛星写真と現地踏査によって把握した家屋数と、スリランカ国における平均世帯人数から算出した暫定値であり、今後、Pre-F/S 事業を実施する際にはさらなる調査を実施し適切な社会配慮を行う。なお、下表では、用地取得によって構造物の面積の10%以上が影響を受けるものについて移転対象としている。影響を受ける面積が構造物全体の面積の10%未満で、セットバックないし敷地

内での移転が可能とみられるものについては、移転対象としていない。2003年のコロンボ首都圏洪水対策計画調査においては、土地取得と住民移転に関わる深刻な問題はないと想定されていた。この20年で都市化が進展し、水路近傍に居住する住民も増えたことにより、下表に示す小規模な住民移転が発生したと考えられる。

表 7.1.1 移転対象の構造物および非自発的住民移転規模

		Kalu Oya	Mudun Ela	Bolgoda
移転対象となる 構造物数	家屋	39	20	43
	倉庫・作業所・事務所	26	2	7
	小屋	11	5	7
移転対象人数		156	80	172

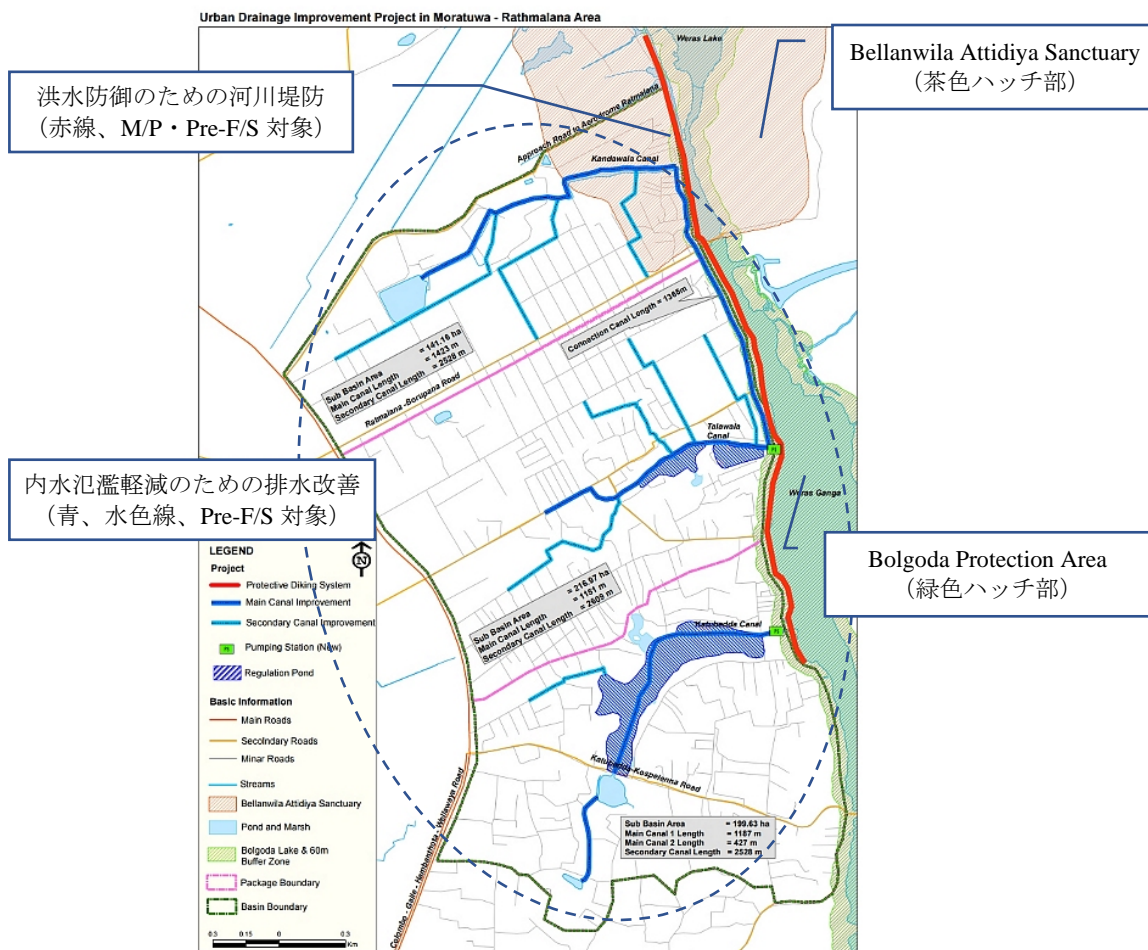
出典：JICA 調査チーム

各流域は、それぞれ位置が異なるため個別に検討を行っている。Kalu Oya 流域と Mudun Ela 流域は、隣接しているものの締切施設により両者は水理的に完全に分離される計画となっており、また、将来計画の安全度についても Kalu Oya 流域は 50 年、Mudun Ela 流域は 25 年となっており、計画規模、事業規模も異なっており、流域それぞれにおいて、個別に改修・事業が進むと考えられる。このため、本調査で対象としている 3 流域は、それぞれ個別検討し、非自発的住民移転の規模についても個別に算出している。なお、各流域で必要となる用地取得面積は、それぞれ、Kalu Oya で 142,569m²、Mudun Ela で 409,617m²、Bolgoda で 23,125m²である。

7.1.2.2 M/P および PreF/S 対象地域の保護区の概要

M/P では、Moratuwa-Rathmalana 地区の洪水防御のための河川堤防建設が計画されており、その一部は Bellanwila Attidiya Sanctuary (Wildlife Conservation Dept. が定める保護区の一つ) に位置している。スリランカ国の保護区は、最も厳しい保護要件が求められる Strict nature reserves から、私有地における自然保護と開発を両立するために指定される Sanctuary まで、8 つに区分されている。本 M/P 対象エリアの存在する Bellanwila Attidiya Sanctuary は、その 8 番目に分類される保護区であり、開発事業の実施が禁じられる性質のものではない。このため、同地域ではすでに開発が進んでおり、本調査が計画している堤防についても、空港敷地や民間住宅地として既に開発済みの土地において計画している。

また、同地区は、Bolgoda Protection Area に含まれる。Protection Area は、CEA が河道内の保護を目的として定めるものである。Protection Area についても、Sanctuary と同様、排他的な自然保護を目的としたものではなく、洪水対策を含めた適切な開発の実現を目的として制定されたものである。



出典：JICA 調査チーム

図 7.1.1 Moratuwa-Rathmalana 地区の M/P および Pre-F/S 対象事業と保護区の位置関係

なお、Bellanwila Attidiya Sanctuary および Bolgoda Protection Area の全体的な配置については、巻末資料 5 章、図 5.4.7 および図 5.4.8 で示した。

7.1.3 第一回ステークホルダー協議の概要

本節では、これまでに実施したステークホルダー協議の概要について説明する。第一回目のステークホルダー協議は、2019 年 11 月 5 日（火）、CEA で開催され、ステークホルダーとして 28 機関 36 名（JICA 及び JICA 調査チームを含めると全 52 名）が参加した。招待されたステークホルダー機関および実際に参加した機関の内訳は下表の通り。

表 7.1.2 ステークホルダー協議参加機関の一覧

ステークホルダー機関	招待	参加
Central Environmental Authority	√	√
Sri Lanka Land Reclamation and Development Corporation	√	√
Urban Development Authority	√	√
Irrigation Department	√	√
Provincial Irrigation Department (Western Provincial Council)	√	√
District Irrigation Engineering Office	-	√
Irrigation Department (Western Province: Kaluthara District)	-	√
Disaster Management Center	√	√
Coast Conservation & Coastal Resources Development Department	√	-
National Planning Department	√	-
National Water Supply and Drainage Board	√	√

ステークホルダー機関	招待	参加
International Union for Conservation of Nature	-	-
National Building Research Organization	√	-
Geological Survey and Mines Bureau	√	√
Forest Department	√	-
Department of Wildlife Conservation	√	√
Road Development Authority	√	√
Department of Agrarian Development	√	-
Ministry of Western Development & Megapolis	√	-
Metro Colombo Urban Development Project	√	√
Divisional Secretariat- Rathmalana	√	-
Divisional Secretariat- Moratuwa	√	√
Divisional Secretariat- Kesbawa	√	√
Divisional Secretariat- Dehiwala	√	√
Divisional Secretariat- Horana	√	-
Divisional Secretariat- Homagama	√	√
Divisional Secretariat- Kaluthara	√	-
Divisional Secretariat- Bandaragama	√	√
Divisional Secretariat- Millaniya	√	-
Divisional Secretariat- Maharagama	√	√
Divisional Secretariat- Panadura	√	-
Divisional Secretariat- Ja- Ela	√	√
Divisional Secretariat- Wattala	√	-
Divisional Secretariat- Kelaniya	√	√
Divisional Secretariat- Biyagama	√	√
Divisional Secretariat- Mahara	√	-
Local Authority- Homagama Pradeshiya Sabha	√	-
Local Authority- Kaluthara Pradeshiya Sabha	√	-
Local Authority- Bandaragama Pradeshiya Sabha	√	√
Local Authority- Panadura Pradeshiya Sabha	√	-
Local Authority- Kelaniya Pradeshiya Sabha	√	√
Local Authority- Biyagama Pradeshiya Sabha	√	√
Local Authority- Wattala Pradeshiya Sabha	√	-
Local Authority- Mahara Pradeshiya Sabha	√	√
Local Authority- Ja Ela Pradeshiya Sabha	√	√
Local Authority- Ja Ela Urban Council	√	-
Local Authority- Kaluthara Urban Council	√	-
Local Authority- Panadura Urban Council	√	√
Local Authority- Kesbawa Urban Council	√	-
Local Authority- Wattala Urban Council	√	-
Local Authority- Moratuwa Municipal Council	√	-
Local Authority- Dehiwala- Mt- Lavania Pradeshiya Sabha	√	-

出典：JICA 調査チーム



出典：JICA 調査チーム

写真 7.1.1 第一回ステークホルダー協議の様子

一回目の協議では、M/P 調査および SEA の目的についての説明の後、雨水排水に関連するステー

クホルダーおよびその管轄事項や現在の活動内容についての確認を行った。具体的には、環境社会配慮に関連する 11 項目について、その重要性および実際の活動についてステークホルダーの意見を確認し、「重要であるが現在十分な配慮がなされていない」項目を各流域について抽出した。どちらの流域についても、秩序だった土地開発や生態系の保全の重要性が認識されつつも、実態として適切な管理、環境社会配慮がなされていないという結果となった。SEA のコンサルテーションの一環として実施されたローカルレベルのコンサルテーションにおいても、無秩序な、あるいは不法な土地開発により水路や排水施設が塞がり、浸水被害が発生しているとの報告が多く寄せられており、適切な排水機能の維持管理が、都市化が進むコロンボエリアにおける重要課題であることが浮き彫りとなっている。11 項目およびステークホルダーの回答は次の通り。

表 7.1.3 雨水排水にかかる重要事項と実践のギャップ (Kalu Oya)

	重要事項	重要度	実践	重要度 (%)	実践 (%)	ギャップ
1	雨水による自然環境および宅地等への影響を最小化	150	67	90.91	40.61	50.30
2	災害リスク低減や雨水排水管理に寄与する土地や水源の保全	155	63	93.94	38.18	55.76
3	秩序だった土地開発	152	51	92.12	30.91	61.21
4	水質や土壌汚染の予防	152	58	92.12	35.15	56.97
5	不透水地表部分を最小化	149	46	90.30	27.88	62.42
6	自然な水路の維持	152	58	92.12	35.15	56.97
7	水生および川岸の生態系の保全	144	44	87.27	26.67	60.61
8	レクリエーションおよび美的な便益の提供	136	69	82.42	41.82	40.61
9	コミュニティ強化および経済成長	137	59	83.03	35.76	47.27
10	既存の河川や氾濫原、湿地機能の維持	151	59	91.52	35.76	55.76
11	雨水排水にかかる組織体制の整備 (特に、組織間の連携)	153	69	92.73	41.82	50.91

注：ステークホルダー協議のセッションで、参加者は、各項目について、重要度および実践の度合いについてそれぞれ 1～5 のスコアを割り当てた。全参加の集計値の合計から%を割り出し、また、重要度と実践の度合いのギャップを評価している。ギャップが大きい項目を赤でハイライト表示した。

出典：JICA 調査チーム

表 7.1.4 雨水排水にかかる重要事項と実践のギャップ (Bolgoda Basin)

	重要事項	重要度	実践	重要度 (%)	実践 (%)	ギャップ
1	雨水による自然環境および宅地等への影響を最小化	143	70	86.67	42.42	44.24
2	災害リスク低減や雨水排水管理に寄与する土地や水源の保全	145	61	87.88	36.97	50.91
3	秩序だった土地開発	138	49	83.64	29.70	53.94
4	水質や土壌汚染の予防	144	53	87.27	32.12	55.15
5	不透水地表部分を最小化	136	53	82.42	32.12	50.30
6	自然な水路の維持	142	55	86.06	33.33	52.73

7	水生および川岸の生態系の保全	137	45	83.03	27.27	55.76
8	レクリエーションおよび美的な便益の提供	135	70	81.82	42.42	39.39
9	コミュニティ強化および経済成長	123	63	74.55	38.18	36.36
10	既存の河川や氾濫原、湿地機能の維持	139	63	84.24	38.18	46.06
11	雨水排水にかかる組織体制の整備（特に、組織間の連携）	143	69	86.67	41.82	44.85

出典：JICA 調査チーム

また、雨水排水にかかる環境社会配慮について、ステークホルダーから寄せられたコメントおよび回答を下表に示す。

表 7.1.5 第一回ステークホルダー協議におけるコメントおよび回答、対応方針

	コメント	回答および対応方針
1	運河や水路を掘削することで、湿地に影響が出るのが懸念される。排水計画の策定の際には、できるだけ自然の水路や河川を維持することを優先すべきである（CEA）	環境影響を最小化するため、可能な限り自然の水路や河川を活用する対策を検討する。
2	浸水被害が予想されるエリアについては、宅地開発しないという選択肢も必要ではないか。都市化が進み住宅事情は逼迫しているが、面的な宅地開発ではなく高層化による対応を検討すべき（CEA）	宅地開発の高層化については、SLLDCの所掌ではないためM/Pの検討対象とはできないが、関係者で共有、検討すべきアイデアとして、SEA報告書に残すこととする。
3	不法な開発や埋め立てを適切に取り締まることができると制度構築・強化が必要である（SLLDC）	そのような制度の構築と運用の重要性については承知している。本SEAのような、ステークホルダーが協議する場を、関係者の協力体制構築の機会として活用したい。
4	UDAが検討している土地開発計画との整合性を保つため、情報共有・協力が必要である（UDA）	情報共有、協力については是非お願いしたい。本調査の進捗については、SEAなどを通じ、適切に情報共有をしていく。
5	無秩序な開発を抑制するため、水田等の土地を所有し維持している土地所有者に対するインセンティブが必要ではないか（Water Resource Board）	水田所有者へのインセンティブ付与については、SLLDCの所掌ではないためM/Pの検討対象とはできないが、関係者で共有、検討すべきアイデアとして、SEA報告書に残すこととする。
6	湿地の植生が吸収していた重金属等が、湿地が失われると河川や海に流出し、食物連鎖により人の健康に影響を与える可能性がある。湿地を保全しなければならない（National Water Supply & Drainage Board）	湿地保全の重要性については承知している。本調査でも、湿地機能への影響を最小化するような提案を検討する。

出典：JICA 調査チーム

この結果を踏まえ、SEA調査では、両流域の地方自治体の最小単位である Grama Niladhari 地区（GN地区）の担当者を対象として、コンサルテーションを実施し、それぞれの地域における雨水排水の状況や課題についての聞き取りを行った。

7.1.4 第二回ステークホルダー協議の概要

第二回目のステークホルダー協議は、2020年2月6日（木）、CEA で開催された。第二回の協議には、一回目の協議に不参加だった National Building Research Organization、Water Resources Board、Marine Environmental Protection Agency、Divisional Secretariat-Wattala、Local Authority-Wattala Pradeshiya Sabha を含め、27の政府機関および地方自治体等から41名（JICA 及び JICA 調査チームを含めると全56名）が参加した。協議では、M/P 素案の発表および GN 地区でのコンサルテーションの結果の発表を行い、素案に対するステークホルダーの意見を聴取した。主な意見と回答は以下の通りである。

表 7.1.6 第二回ステークホルダー協議におけるコメントおよび回答、対応方針

	コメント	回答および対応方針
1	浸水被害対策事業が、新たな環境社会問題を生むことが無いように、適切な配慮を求める。水路改修によって地元のエビ養殖の生計に影響が出るとか、浚渫によって近隣の水田で利用する灌漑用水に影響が出るというような事態は避ける必要がある（CEA）	河川改修などの事業の規模は、必要最低限にとどめ、事業による環境社会影響の最小化に努める。
2	ゴミの投棄によって運河や水路がふさがれることが、洪水の要因となっている。運河沿いにゴミの回収ポイントを設置すべきではないか（National Water Supply and Drainage Board）	不法投棄対策としては、住民への啓発活動の方がより適当であり、また、不法投棄を防ぐために、運河周辺に柵を設置するなどの対応策もある。（SLLDC 回答）
3	水路改修だけでなく、開発が禁止されるエリアを明示するなどの対策を通じて、不法な埋め立てを防止すべき（地方自治体）	不法な埋め立てが問題となっていることは承知している。ステークホルダー協議の場などを通じて、対策の重要性について関係者と議論していく。
4	浸水被害に対して、①住民を災害リスクが高い場所から移転させる、②災害緩和・管理策を実施する、③災害と共に生きる、というような対応がある。M/P 調査の分析の結果、今後の浸水被害リスクが特に高いと思われる個所については、①の移転オプションも検討すべきではないか。また、浸水被害に対する啓発活動を行うことによって、被害の程度を抑えられると考える。（NBRO）	①については、非自発的住民移転による負の影響を考慮した上で検討する必要があると考えており、①と②のバランスを考慮したうえで構造物対策を中心とした対策を提案している。また、啓発活動の重要性についても認識しており、今後の課題の一つととらえている。
5	低地には、非正規住民が多く住んでいる。この部分を遊水地として活用することができれば、洪水被害を減らすことができるのではないかと。（地方自治体）	非正規住民であったとしても、住民が多く住んでいる箇所を遊水地として活用する場合、大規模な非自発住民移転による大きな負の影響が生じる。遊水地として活用することで得られるメリットと、負の影響を考慮した上で検討する必要がある。

出典：JICA 調査チーム



出典：JICA 調査チーム

写真 7.1.2 第二回ステークホルダー協議の様子

7.1.5 第三回ステークホルダー協議（Kalu Oya 流域）の概要

第三回目のステークホルダー協議は、M/P の提案内容が確定した Kalu Oya 流域を先行して 2020 年 3 月 12 日（木）、CEA で開催された。出席した政府機関および地方自治体等は、すべて第一回または第二回ステークホルダー協議に出席している機関であった。出席者数はステークホルダーとして 20 機関 30 名（JICA 及び JICA 調査チームを含めると全 43 名）であった。協議では、Kalu Oya 流域の雨水排水 M/P で提案されている事業と、戦略的環境アセスメントの下での社会経済的・環境的側面への影響について説明が行われ、Kalu Oya 流域の M/P に対する賛同が得られた。主な意見は次表の通りであった。

表 7.1.7 第三回ステークホルダー協議（Kalu Oya 流域）におけるコメントおよび回答、対応方針

	コメント	回答および対応方針
1	運河の浚渫のプロセスでは、土地の所有者と運河の責任者を認識することが必要である。SEAの最終報告書には制度的な取決めを添付すること。（CEA）	浚渫に係る制度的な取り決めについては、今後実施する Pre-F/S で検討する。
2	無許可の建設や固形廃棄物の運河への投棄といった違法行為を阻止するための強力な法的枠組みが必要である。（地方自治体）	M/P では法的枠組みの検討は行わないが、その重要性については承知している。SEA など、ステークホルダーが協議する場が法的枠組み検討のための機運を醸成する一步になると考えている。
3	運河を掘り下げる場合には、塩水の侵入による影響を慎重に検討すべきである。（RDA、CEA）	大規模な掘り下げを計画しているわけではないが、塩水の影響や検討の必要性については、Pre-F/S 段階で改めて検討する。
4	計画の段階で、湿地帯をそのまま残す方法を考えていくべきである。（UDA）	M/P では、湿地帯を大規模に改変するような案は検討していない。
5	プロジェクトを通じて浸水が少なくなると、違法な埋め立てを誘発する恐れがある。無許可の埋め立てを軽減するため、地域の政治家の協力を得て、このプロセスを認識してもらう必要がある。（地方自治体）	懸念については理解した。Pre-F/S 段階で実施するコンサルテーションでは、このような懸念についても協議し、事業が違法行為を誘発することがないように配慮する。
6	役割と責任が明確化されていることは良い。モニタリング計画と監視委員会を維持して、モニタリングされるべきである。（DWLC）	モニタリング計画や役割分担については、Pre-F/S 段階で検討する。

出典：JICA 調査チーム



出典：JICA 調査チーム

写真 7.1.3 第三回ステークホルダー協議の様子

7.1.6 第四回ステークホルダー協議（Bolgoda 流域）の概要

Bogoda 流域での検討にかかる第四回目のステークホルダー協議は、コロナ禍となったことから、2021年11月11日にオンライン（Zoom）で実施した。オンライン開催にあたっては、ステークホルダー、特に地方自治体のインターネット接続環境について事前にヒアリングを行い、オンライン実施に問題がないことを確認した。また、参加できないステークホルダーに対しては、協議内容や資料を別途提供する準備をした上で、ステークホルダー協議を実施、後に意見収集した。第四回ステークホルダー協議には、SLLDC を含め 24 の政府機関および地方自治体から約 60 名が参加した。協議では、Bolgoda 流域の雨水排水 M/P で提案されている事業と、戦略的環境アセスメントの下での社会経済

的・環境的側面への影響について説明が行われ、Bolgoda 流域の M/P に対する賛同が得られた。主な意見は以下の通りであった。

表 7.1.8 第四回ステークホルダー協議 (Bolgoda Oya 流域) におけるコメントおよび回答、対応方針

	コメント	回答および対応方針
1	沈殿物や廃棄物の処理についてはどのように対応するのか。	沈殿物対策は M/P 共通の課題であるが、その処理についてはケースバイケースで判断する必要がある。例えば、Alut Ela であれば、沈殿物は粘土採掘場を埋め戻すのに利用できる可能性がある。いずれにせよ、排水や廃棄物については、関連法に則り適切に処理する。廃棄物が海に流れて汚染減とならないよう、ストレーナーを利用するなどの手法もある。
2	堤防を建設する際には、運河の傾斜や流れの向きに配慮することが必要である。意図しない洪水が発生しないように注意することが重要である。	傾斜や流れの向きは、本 M/P のような事業にとり非常に重要なものであり、当然、十分な検討を行うべきである。現時点の提案は、M/P 段階の 2 次元モデルでの検討に基づくものであるが、今後、詳細設計段階、あるいは施工段階でより詳細な検討を行う。
3	既存の開発事業が、Weras Ganga 左岸で実施されている。右岸に蛇籠擁壁を建設することは必要なのか。	潜在的な洪水リスクを考慮すれば、右岸の蛇籠施行は必須と考える。しかし、右岸から 10m 幅の範囲には、約 600 の非正規住居が存在しており、彼らを移転させることは非常に困難である。堤防は、将来的な埋め立てを阻止するという点でも効果的であり、提案されている蛇籠擁壁は、洪水防止の観点のみならず、不法侵入や開発を防ぐという観点からも重要なものになる。水位上昇を防ぐためには、ポンプ場も検討対象となる。
4	計画の策定にあたり、将来の降水量や海水の侵入、海面上昇などは考慮しているのか。	降水量や強度の変化や海面上昇といった要素は、このような計画を検討する際には考慮している。
5	Bolgoda 流域で計画されている事業による、Bolgoda Reserve への影響はあるのか。	理想的には、全ての非正規住民の移転を行うことが、洪水被害の抑制という観点からも、不法な埋め立てや開発の防止という観点からも望ましいが、そのような手段を採用することはできない。本来は、リザーブの境界から 100m が排他区域となるが、計画では、現地の状況を踏まえて、用地幅を 10m 以内に留めている。
6	粘土採掘場の廃棄された穴は、保水のために活用できるのではないのか。	まず、粘土採掘場の周辺で、これ以上の開発がされないようにすることが重要である。また、保水地として活用する場合は、それを正式に官報で告知するなどして開発を防ぐことが必要である。保水に活用することもそうだが、一部については、沈殿物や瓦礫などを処分する場としても利用可能である。
7	雨期には、違法廃棄物によって洪水が引き起こされる。M/P では廃棄物対策を行うのか。	運河は定期的に清掃されるが、現状ではその頻度は十分ではない。廃棄物に加え、水生植物の繁茂も排水不良の原因となるため、運河や湿地をきれいに保つことが長期的な解決策となる。M/P は、全ての課題を解決できるわけではなく、M/P の枠外での検討や解決が必要な課題もある。

8	地方自治体には、掘削機が必要である。雨水排水対策が適切かつ迅速に行われるよう、自治体可以利用できる掘削機を用意することは可能か。	地方自治体からの要望として、州/中央政府に申し入れを行うことを提案する。SEAでの提言として検討するが、そのような提案をM/Pの内容として含めることは難しい。
---	------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

出典：JICA 調査チーム

7.1.7 SEAの提言

Kalu Oya および Bolgoda 流域を対象とした M/P の検討結果および SEA の分析を報告した第三回および第四回のステークホルダー協議を踏まえ、流域ごとに SEA 報告書を最終化した。M/P の実施により、洪水および雨水排水にかかる課題の多くが解決される。M/P 実施にともなう環境社会影響を緩和するため、また、M/P のスコープ外ではあるものの、M/P の正の効果を最大化するために検討すべき事項について、SEA では下記の通り提言を行った。

表 7.1.9 M/P 実施に関する SEA の提言

	流域	回答および対応方針
1	Kalu Oya	公園や流水地を設ける際には、その周囲で局所的な洪水が発生しないよう、既存の排水メカニズムに十分に配慮する。
2	共通	運河改修のため、植生伐採を行う前に、その規模を推定し、どのように処分ないし管理するのかを検討する。
3	共通	運河改修の際に伐採される植生の多くは侵入種である。侵入種が既存生態系に与える影響を最小化するため、上記の植生伐採を行う際には、バイオマス管理計画を策定する。
4	共通	浚渫を行う場所では、沈殿物のサンプルを取得し、重金属などによる汚染の有無を確認する。万が一汚染されている場合は、周辺環境に影響を与えないような形で処理を行う。
5	共通	浚渫量は事前に推定し、その分量に応じて、適切な一時的な保管場所や最終処分場を確保する。
6	共通	運搬時に浚渫土が道路に流出しないよう、搬送前には浚渫土を可能な限り乾燥させる。また、最終処分場への搬送ルートは事前に計画し、トラックの荷台にカバーをかけるなどの配慮を行う。
7	Bolgoda 流域	浚渫土は、粘土採掘場の穴を埋めることに利用可能である。浚渫を実施する前に、浚渫土の利用計画を策定する。
8	共通	伐採した植生の復元を行う際には、在来種を利用する。適切な在来種を選定するために、専門家の知見を活用する。
9	共通	湿地帯を横断するアクセス道路の建設は、可能な限り最小化する。
10	Bolgoda 流域	保護区の境界を明示し、将来の違法開発を防止する。
11	Kalu Oya	公園や流水地の境界を明示し、将来の違法開発を防止する。
12	Bolgoda 流域	自然環境が再生されたエリアは、現地コミュニティの生計手段となるよう、レクリエーション活動などに活用する。

13	共通	工事による短期的な影響を緩和するため、周辺住民に配慮し、適切な手法で工事を行う。また、地域社会や経済への影響を最小化するように工事を実施する。
14	共通	土壌侵食を防止するため、堤防は緑化する。緑化の際には、在来種を活用する。
15	共通	非自発的住民移転が避けられない場合には、適切な補償を行う。
16	共通	M/Pの内容について、ステークホルダー、特に地域住民に周知し、理解と支持を得る。

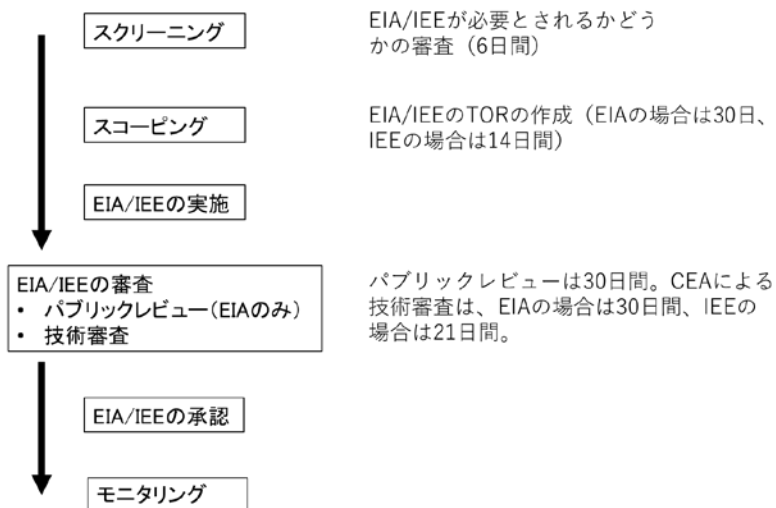
出典：JICA 調査チーム

また、SEA では、M/P のスコープ外ではあるものの、長期的な雨水排水対策として重要であり、ステークホルダー間で引き続き協議、検討すべき事項を整理した。主な内容は下記の通りである。

- 水田が耕作放棄され、開発されることを抑制するために、農家がより大きくかつ安定的な収入を得られるような手段や施策を検討する。
- 都市計画や実施にかかわる全てのステークホルダー機関が、湿地保全による正の効果を理解するよう、啓発を行う。また、関係機関の連携や情報共有の質を高めるための施策を検討する。
- 適切な洪水対策、雨水排水の管理が行われるよう、地方自治体をはじめとしたステークホルダー機関に対する能力強化や知見の共有を行う。
- 投棄されたごみが、運河や水路を塞ぎ排水を妨げ、洪水の原因となることがないように、適切な廃棄物管理計画を策定する。
- 浸水被害が発生すると見込まれる地域に居住する正規、非正規住民を把握し、移転を含め、長期的な被害緩和策を検討する。
- 家庭排水や工場排水の増加は水質汚染の原因となり、また、水生植物の異常繁茂による排水不良を引き起こす原因となる。流域全体を対象とした、主要排水源の調査を行い、処理されていない汚水が水路に排水されることを防止するための計画を関係機関とともに策定する。

7.1.8 Pre-F/S 実施に係るスリランカ国の環境社会法的枠組み

スリランカ国では、官報（Gazette No.858/14 of 23 February 1995）で記載された国家環境法の規定に基づく「所定のプロジェクト（Prescribed Project）」は、初期影響評価（以下、IEE）或いは環境影響評価（以下、EIA）の作成および承認が求められる。同法では、河川開発（River basin development）は、小規模な灌漑事業を除き、「所定のプロジェクト（以下、Prescribed Project）」に該当するとされている。



出典：JICA 調査チーム

図 7.1.2 スリランカ国における EIA/IEE 手続きフロー

また、100 世帯を超える非自発的住民移転が伴うプロジェクト（緊急事態下以外）は、上述の官報における Prescribed Project に含まれる。更に、2001 年に導入された国家非自発的住民移転ポリシー（National Involuntary Resettlement Policy、以下 NIRP）では、被影響世帯が 20 世帯以上の場合には住民移転計画の策定が求められる。

Pre-F/S の対象事業は、0 節で示した Mudun Ela 流域および Moratuwa-Rathmalana 地区の優先事業である。具体的には Mudun Ela 流域における幹線水路改修、二次水路改修、Peliyagoda ポンプ場改修ならびに締切施設の建設、および Moratuwa-Rathmalana 地区における洪水防御のための河川堤防建設ならびに同地区における内水氾濫軽減のための排水改善であるが、これらが「河川開発」に該当するかどうか、また該当する場合に、EIA や IEE が必要とされるかについて、CEA への確認協議を開始している。CEA との面談によると、Pre-F/S 対象事業が M/P に位置づけられることになっている関係で、M/P が確定した後から正式な手続きが開始可能であるとのことである。

また、Sanctuary の中で実施する事業も、Prescribed Project のリストに含まれるため、Moratuwa Rathmalana 地区の事業については、IEE もしくは EIA の実施が必要となる。IEE か EIA を決定するのは、上図の示す CEA によるスクリーニング手続きであるため、現時点でどちらかを判断することはできない。しかし、1990 年の Sanctuary 指定以降、Bellanwila Attidiya Sanctuary では開発が進み、一部のエリアはゴミ捨て場として利用されるなど、貴重な生態系が残っているとはいえない状態にあることを踏まえれば、Sanctuary であることを理由に EIA 実施が求められる可能性は低いと考えられる。

第8章 予備的費用便益分析

8.1 費用便益分析の方法

8.1.1 費用便益分析の方法

8.1.1.1 総論

ここで費用便益分析を行う主な目的は、国民経済の観点からマスタープランで提案された事業コンポーネントに対する投資効率を検討することである。市場価格は、市場の歪みを取り除いて経済価格に変換されている（いわゆるシャドウプライス）。財やサービスの市場が存在しない場合は、機会費用の考え方をを用いている。プロジェクトに対する投資効率の指標として経済的内部収益率（EIRR）、その他が使われている。

8.1.1.2 前提条件

以下の前提条件に基づいて経済評価を行っている。それ以外については必要になった段階で条件を追加している。

(1) 事業実施ケースと事業未実施ケース

事業未実施ケースとはマスタープランで提案された事業が実施されないケースを指す。事業実施ケースとはマスタープランで提案された事業が既存のシステムに対して導入されるケースである。

(2) 評価対象期間

評価の対象となる期間は、プロジェクトの準備段階から事業の全体終了の時期までを含む。本件では建設準備期間、建設期間および供用期間（原則として供用開始から 50 年間）を評価対象期間としている。

(3) 標準変換係数（SCF）

SCF は国内価格で表示された財と国境価格で表示された財を共通の尺度で評価するために適用される。さらに、SCF は定義によりシャドウ・エクスチェンジ・レート係数（SERF：シャドウ・エクスチェンジ・レートと公定レートの比）の逆数である。ここでは、近年のスリランカにおける JICA 調査（「スリランカ国 コロンボ新総合都市公共交通システム導入計画準備調査 2018 年」）を参照し、最新データに基づいてアップデートを行なった。下表の計算結果に基づいて 0.91 を採用する。

表 8.1.1 SCF の計算

(Unit: million Rs.)

	2014	2015	2016	2017	2018
(1) Import Tax	348,315	359,210	493,923	554,550	536,853
Import Duties	77,726	108,115	156,487	136,501	96,991
VAT (Imports)	102,280	83,726	115,336	168,393	179,163
Ports & Airports Development Levy	68,646	56,733	88,822	102,360	113,950
Import Cess Levy	35,622	42,467	59,058	56,574	50,777
Special Commodity Levy	47,952	52,275	55,825	71,402	75,807
Nation Building Tax (Imports)	16,089	15,894	18,395	19,320	20,165
(2) Export Tax	27,164	2,746	2,703	3,010	2,631

Export Duties	24,080	33	31	30	40
Export Cess Levy	3,084	2,713	2,672	2,980	2,592
(3) Total Imports	2,535,163	2,572,467	2,794,393	3,198,572	3,606,644
(4) Total Exports	1,453,176	1,431,431	1,500,766	1,732,440	1,933,533
SCF = {(3)+(4)} / [{(3)+(1)} + {(4)-(2)}]	0.93	0.92	0.90	0.90	0.91
Average of SCF	0.91				

出典：スリランカ国財務省、スリランカ国中央銀行、JICA 調査団

(4) シャドウ割引率 (SDR)

ここでは、近年のスリランカにおける JICA 調査（「スリランカ国 国道路砂災害対策事業フェーズ 2 準備調査 2019 年」および「スリランカ国 コロンボ新総合都市公共交通システム導入計画準備調査 2018 年」）を参照し、シャドウ割引率 (SDR) として 12% を採用している。SDR は経済評価の判断基準となる。

(5) 租税

租税が市場価格に含まれる場合、国民経済の視点からは移転項目（徴収の段階では、単に所有権が国民から政府に移転するだけで実際に資源が消費される訳ではない。）であるので、市場価格から控除される。付加価値税 (VAT) は、2019 年 12 月に 15% から 8% に引き下げられている。

(6) 価格水準

価格水準は 2018 年を基準とする。2018 年以外の価格データはインフレ率 (GDP デフレーター) を用いて 2018 年水準に調整する。

8.1.1.3 経済的便益

評価における便益については、事業実施ケースと事業未実施ケースを比較し、追加的に発生する便益を算入する。発生する便益は評価対象期間において各年のキャッシュフローの形で計算される。以下の項目が便益として検討される。洪水対策事業の便益としては、洪水によって引き起こされる被害の低減・緩和があげられる。

洪水の直接的被害としては、一般的に以下の式により計算される。

[当該地域の直接被害 (Rs.)] =

[地域の面積 (ha)] x [潜在的被害額 (Rs./ha)] x [浸水深に対応した被害率]

潜在的被害額とは、その地域において浸水によって資産に被る被害の最大額である。被害率は浸水深 (m) の関数として想定され、その関数を推定する。被害を引き起こす洪水の発生は確率事象であることから、計算される被害額は洪水の発生確率に基づく期待値（それぞれの被害額に、対応する洪水発生確率を乗じて総和を取ったもの）である。

間接被害については、推定の方法を後のセクションにおいて説明を行う。

8.1.1.4 経済的費用

評価における費用については、事業実施ケースと事業未実施ケースを比較し、追加的に発生する費用を算入する。発生する費用は評価対象期間において各年のキャッシュフローの形で計算される。

(1) 初期費用

初期費用には、施設や構造物の建設コストおよびコンサルティングサービスにかかる費用が含まれる。経済評価においては、物理的予備費は算入されるが、物価上昇分は算入されない。

(2) 維持管理費用

毎年の維持管理費用が算入される。物価上昇分は算入されない。

(3) 減価償却費

減価償却費はその時点で実際に支出されるものではないため、費用として算入しない。

8.1.2 経済的便益の推定

評価の手法のセクションで述べたように、事業の便益は期待される直接・間接被害の軽減で捉えられる。洪水被害については、以下に製造業およびその他の産業、一般世帯、インフラおよびその他公共施設のセクターごとに検討を加える。

8.1.2.1 製造業およびその他の産業

(1) 直接被害

工場の固定資産（建物、機械、車両、事務機器、什器等）および在庫資産（原材料、部品）を製造業およびその他の産業での潜在的被害資産として含めている。

入手可能データ

国家調査・統計局（Department of Census and Statistics）では"Annual Survey of Industries 2017"を公表しており、これには国全体の企業数、社員数、付加価値額、固定資産および在庫資産のデータが集計されている。

潜在的被害額の推定

従事者数 25 人以上の大規模な企業および従事者数 25 人未満の小規模な企業別にそれぞれ固定資産および在庫資産について、市街地の 1 ヘクタールあたりの平均の潜在的被害額を人口統計および GIS データに基づいて計算する*。これが、氾濫シミュレーションの結果に適用される。

(2) 間接被害

国家調査・統計局が発表している"Annual Survey of Industries 2017"の付加価値額データを用いて営業停止による 1 日あたりの間接被害額を計算する。

8.1.2.2 一般世帯

(1) 直接被害

洪水により、家屋と家庭資産に対して直接的な被害が生じる。国家調査・統計局が発表している"Census of Population and Housing 2012"により District 別の家屋数を推定している**。また、都市開発

* 工業団地には、従事者数 25 人以上の大規模な企業の統計数字のみを適用している。

** 1-2 階の戸建て住宅の 1 戸あたりの平均世帯数を 1.0 と仮定すると、それ以外の家屋についてはどの District においても 1 戸あたりの平均世帯数が最高でも 1.7 程度であることから、簡略化のためにそれらを 1-2 階の戸建て住宅 1 戸と見做している。

庁(UDA)への聞き取り調査に基づいて標準的な1家屋の建築費を推定している(Rs. 5.7~5.0 million)。1世帯あたりの平均家庭資産額については、国家調査・統計局が発表している"Demographic and Health Survey - 2016"にある家庭用品(テレビ、パソコン、冷蔵庫、洗濯機、炊飯器、自転車、オートバイ、自動車等)の保有率から推定している。

家屋および家庭資産について、市街地の1ヘクタールあたりの平均の潜在的被害額を人口統計およびGISデータに基づいて計算している。これが、氾濫シミュレーションの結果に適用される。

(2) 間接被害

国家調査・統計局が発表している"Household Income and Expenditure Survey 2016"の世帯所得データを用いて、一般世帯の休業1日あたりの所得減少額を計算している。

8.1.2.3 インフラおよびその他の公共施設

インフラおよびその他の公共施設の潜在被害額については、国土交通省の「治水経済調査マニュアル(案)」に準拠し、製造業その他の産業および一般家庭の直接被害額の74.1%と算出している。

8.1.2.4 被害率/休業日数

「治水経済調査マニュアル(案)」が採用している被害率/休業日数を援用した。

表 8.1.2 被害率/休業日数

浸水深 (m)			一般家屋	業務用建物	家庭資産	業務用固定資産	業務用在庫資産	一般世帯休業(日)	営業停止(日)
0.00	-	0.15	0.032	0.032	0.021	0.099	0.056	4.0	3.0
0.15	-	0.65	0.092	0.092	0.145	0.232	0.128	7.5	4.4
0.65	-	1.15	0.119	0.119	0.326	0.453	0.267	13.3	6.3
1.15	-	2.15	0.266	0.266	0.508	0.789	0.586	26.1	10.3
2.15	-	3.15	0.580	0.580	0.928	0.966	0.897	42.4	16.8
3.15	-		0.834	0.834	0.991	0.995	0.982	50.1	22.6

出典：国土交通省「治水経済調査マニュアル(案)」2005年。なお、床の高さを0.15mと想定している。

8.1.3 経済的費用の推定

費用は経済的費用であり、租税などの移転項目は除かれる。以下の項目が経済費用として含まれる：(1)建設費、(2)エンジニアリング費、(3)物理的予備費、(4)土地収用費、(5)事務費、(6)維持管理費、(7)交換費。(1)~(5)の初期費用が建設前あるいは建設時に1回発生する。維持管理費用については、建設が完了して施設の供用が開始された年から毎年発生する。また、交換費については、護岸に用いる蛇籠(Gabion)を7年毎に交換する費用を想定している。

8.1.4 予備的経済評価

推定された経済的便益と費用を用いて各流域の事業に関して予備的にEIRRおよびB/C、正味現在価値(NPV)を計算した。その結果を下表に示す。

表 8.1.3 各流域における事業の EIRR 等

流域	EIRR	B/C	NPV (百万 Rs.)
Kalu Oya	12.22%	1.02	134
Mudun Ela	53.79%	7.22	17,684
Bolgoda	20.72%	1.76	4,648

出典：JICA 調査団

シャドウ割引率として 12%を採用しているため、すべての事業において実現可能 (feasible) であると評価される。なお、Mudun Ela における事業の EIRR が約 50%と高めであるが、同流域における Oliyamulla ポンプ場整備による効果は、『①ポンプ設置』だけでなく、『②接続水路の整備による上流域からの流入促進』の組合せによって最大化するものであり、高い EIRR の結果は、本調査で提案した②の効果が大きいことを示している。

次ページ以降に各流域の事業に関するキャッシュフロー表を掲げる。

表 8.1.4 Kalu Oya 流域における事業のキャッシュフロー

EIRR Calculation: Kalu Oya R&FD

Unit: Million Rs.

Year	Cost									Benefit	Net Benefit	
	Initial						O&M	Replace	Cost Total			
	Construction	Engineering	Physical	Land	Admin.	Total						
1	2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0
2	2023	0.0	34.9	3.5	0.0	0.8	39.2			39.2	0.0	-39.2
3	2024	0.0	118.5	11.9	0.0	2.5	132.9			132.9	0.0	-132.9
4	2025	0.0	97.6	9.8	1,005.5	7.2	1,120.1			1,120.1	0.0	-1,120.1
5	2026	1,617.6	47.4	166.5	1,005.5	42.5	2,879.5			2,879.5	0.0	-2,879.5
6	2027	1,617.6	47.4	166.5	1,005.5	44.2	2,881.2			2,881.2	344.0	-2,537.2
7	2028	2,633.7	47.4	268.1	0.0	60.2	3,009.5			3,009.5	688.0	-2,321.5
8	2029	1,016.2	47.4	106.4	0.0	24.4	1,194.4			1,194.4	1,248.1	53.7
9	2030	1,016.2	33.5	105.0	0.0	24.4	1,179.0			1,179.0	1,464.2	285.2
10	2031							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
11	2032							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
12	2033							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
13	2034							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
14	2035							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
15	2036							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
16	2037							41.0	359.0	400.0	1,680.2	1,280.2
17	2038							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
18	2039							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
19	2040							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
20	2041							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
21	2042							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
22	2043							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
23	2044							41.0	359.0	400.0	1,680.2	1,280.2
24	2045							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
25	2046							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
26	2047							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
27	2048							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
28	2049							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
29	2050							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
30	2051							41.0	359.0	400.0	1,680.2	1,280.2
31	2052							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
32	2053							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
33	2054							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
34	2055							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
35	2056							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
36	2057							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
37	2058							41.0	359.0	400.0	1,680.2	1,280.2
38	2059							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
39	2060							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
40	2061							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
41	2062							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
42	2063							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
43	2064							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
44	2065							41.0	359.0	400.0	1,680.2	1,280.2
45	2066							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
46	2067							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
47	2068							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
48	2069							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
49	2070							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
50	2071							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
51	2072							41.0	359.0	400.0	1,680.2	1,280.2
52	2073							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
53	2074							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
54	2075							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
55	2076							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
56	2077							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
57	2078							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
58	2079							41.0	359.0	400.0	1,680.2	1,280.2
59	2080							41.0		41.0	1,680.2	1,639.2
Total		7,901.2	474.1	837.5	3,016.6	206.4	12,435.7					EIRR: 12.22%

Discount Rate 12%

	Cost	Benefit
PV	7,200.98	7,335.26

NPV:	134.28
B/C:	1.02

表 8.1.5 Mudun Ela 流域における事業のキャッシュフロー

EIRR Calculation:

Mudun Ela RI&FD

Unit: Million Rs.

Year	Cost									Benefit	Net Benefit
	Initial						O&M	Replace	Cost Total		
	Construction	Engineering	Physical	Land	Admin.	Total					
1 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0
2 2023	0.0	34.3	61.8	0.0	2.5	98.5			98.5	0.0	-98.5
3 2024	623.0	30.1	123.6	583.3	16.5	1,376.6			1,376.6	0.0	-1,376.6
4 2025	623.0	18.8	77.7	583.3	14.9	1,317.7			1,317.7	0.0	-1,317.7
5 2026	152.5	4.6	29.3	135.6	4.4	326.3			326.3	0.0	-326.3
6 2027	152.5	4.6	15.7	135.6	3.6	312.0			312.0	2,918.7	2,606.7
7 2028	152.5	4.6	15.7	0.0	3.7	176.5			176.5	3,236.9	3,060.4
8 2029	152.5	4.6	15.7	0.0	3.8	176.6			176.6	3,555.1	3,378.5
9 2030	152.5	2.5	15.5	0.0	3.8	174.3			174.3	3,873.2	3,698.9
10 2031							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
11 2032							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
12 2033							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
13 2034							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
14 2035							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
15 2036							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
16 2037							10.0	187.0	197.0	4,191.4	3,994.4
17 2038							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
18 2039							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
19 2040							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
20 2041							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
21 2042							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
22 2043							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
23 2044							10.0	187.0	197.0	4,191.4	3,994.4
24 2045							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
25 2046							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
26 2047							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
27 2048							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
28 2049							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
29 2050							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
30 2051							10.0	187.0	197.0	4,191.4	3,994.4
31 2052							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
32 2053							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
33 2054							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
34 2055							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
35 2056							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
36 2057							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
37 2058							10.0	187.0	197.0	4,191.4	3,994.4
38 2059							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
39 2060							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
40 2061							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
41 2062							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
42 2063							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
43 2064							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
44 2065							10.0	187.0	197.0	4,191.4	3,994.4
45 2066							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
46 2067							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
47 2068							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
48 2069							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
49 2070							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
50 2071							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
51 2072							10.0	187.0	197.0	4,191.4	3,994.4
52 2073							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
53 2074							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
54 2075							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
55 2076							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
56 2077							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
57 2078							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
58 2079							10.0	187.0	197.0	4,191.4	3,994.4
59 2080							10.0		10.0	4,191.4	4,181.4
Total	2,008.3	104.0	355.0	1,437.8	53.3	3,958.4					EIRR: 53.79%

Discount Rate 12%

	Cost	Benefit
PV	2,843.03	20,526.73

NPV:	17,683.69
B/C:	7.22

表 8.1.6 Bolgoda 流域における事業のキャッシュフロー

EIRR Calculation:

Bolgoda

Unit: Million Rs.

Year	Cost						O&M	Replace	Cost Total	Benefit	Net Benefit
	Construction	Engineering	Physical	Land	Admin.	Total					
1 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0
2 2023	0.0	4.4	29.8	293.7	7.2	335.2			335.2	0.0	-335.2
3 2024	73.6	87.3	45.5	293.7	11.1	511.2			511.2	0.0	-511.2
4 2025	73.6	87.3	104.7	886.6	25.9	1,178.1			1,178.1	31.5	-1,146.7
5 2026	1,134.7	34.0	205.5	886.6	51.1	2,311.9			2,311.9	62.9	-2,249.0
6 2027	1,134.7	34.0	116.9	0.0	28.8	1,314.4			1,314.4	548.3	-766.1
7 2028	1,134.7	34.0	116.9	0.0	29.7	1,315.3			1,315.3	1,033.6	-281.7
8 2029	1,134.7	34.0	116.9	0.0	30.7	1,316.2			1,316.2	1,519.0	202.7
9 2030	1,134.7	34.0	116.9	0.0	31.6	1,317.2			1,317.2	2,004.3	687.1
10 2031						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
11 2032						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
12 2033						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
13 2034						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
14 2035						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
15 2036						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
16 2037						0.0	33.0	1,298.0	1,331.0	2,489.6	1,158.6
17 2038						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
18 2039						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
19 2040						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
20 2041						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
21 2042						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
22 2043						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
23 2044						0.0	33.0	1,298.0	1,331.0	2,489.6	1,158.6
24 2045						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
25 2046						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
26 2047						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
27 2048						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
28 2049						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
29 2050						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
30 2051						0.0	33.0	1,298.0	1,331.0	2,489.6	1,158.6
31 2052						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
32 2053						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
33 2054						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
34 2055						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
35 2056						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
36 2057						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
37 2058						0.0	33.0	1,298.0	1,331.0	2,489.6	1,158.6
38 2059						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
39 2060						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
40 2061						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
41 2062						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
42 2063						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
43 2064						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
44 2065						0.0	33.0	1,298.0	1,331.0	2,489.6	1,158.6
45 2066						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
46 2067						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
47 2068						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
48 2069						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
49 2070						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
50 2071						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
51 2072						0.0	33.0	1,298.0	1,331.0	2,489.6	1,158.6
52 2073						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
53 2074						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
54 2075						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
55 2076						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
56 2077						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
57 2078						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
58 2079						0.0	33.0	1,298.0	1,331.0	2,489.6	1,158.6
59 2080						0.0	33.0		33.0	2,489.6	2,456.6
Total	5,820.5	349.2	853.0	2,360.6	216.1	9,599.6					EIRR: 20.72%

Discount Rate 12%

	Cost	Benefit
PV	6,096.21	10,744.13

NPV:	4,647.92
B/C:	1.76

第9章 提言

本調査の検討過程で明らかとなった事項について、以下の通り提言する。

9.1 新規鉄道橋の諸元

従来の鉄道橋は、そのほとんどが水路に対し、狭窄箇所を形成し、鉄道橋上流部で局所的な湛水の原因となっている。しかし、鉄道橋の改修自体、長区間の鉄道縦断線形の変更を伴うため、水路改修事業内では実質的に実施が困難である。しかし、現在 Kalu Oya と Mudun Ela 両流域を通過している鉄道の電化工事が進められており、SLDC と鉄道管理者は、次の地点の鉄道橋の改修計画について、詳細設計時に協議するよう提言する。

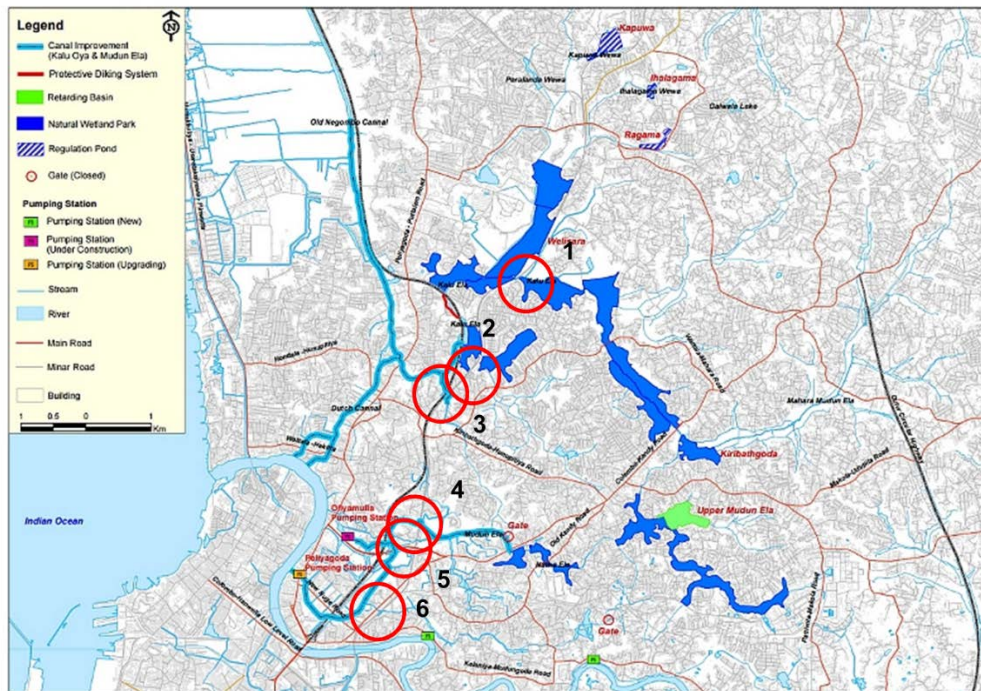


図 9.1.1 Kalu Oya 流域における鉄道橋の位置図

表 9.1.1 鉄道橋の改修諸元

No.	Canal Name	Existing Culvert		Proposed Dimension				
		Width	Height	Width	Bank Level	Freeboard	HWL	Bed Level
unit		m	m	m	m MSL	m MSL	m MSL	m MSL
1	Kalu Oya	30	2.71	40	2.46	0.5	1.96	-2.00
2	Nahena	6.25	4.36	20	2.22	0.5	1.72	-2.00
3	Natha	6	3.59	20	2.06	0.5	1.56	-1.14
4	Mudun Ela Main	15	2.26	20	2.10	0.5	1.60	-0.40
5	Mudun Ela Branch	2.6	2.66	20	2.00	0.5	1.50	-0.50
6	Naranmini Oya	5.2	2.26	20	2.00	0.5	1.50	0.00

9.2 Bolgoda 流域における灌漑局（ID）との連携

Bolgoda 流域特に南部においては、いまだに多くの農地が残っており、さらに河川の管理も一部携わっているため、次のような施設について、ID との連携を図っていくべきである。

- 河口部の維持浚渫

Bolgoda Ganga の唯一の海への流出口である Panadura 河口について、河口付近に堆積する沿岸漂砂は水位上昇の原因となり、なおかつ緩勾配なため上流部の Weras Ganga にまで影響を及ぼしている。したがって乾季に堆積した漂砂の定期的な浚渫をお願いしたい。

- Bolgoda 南湖の一時的な開削

Bolgoda 南湖は Talpitiya 川によって海域に流出できるが、南部に隣接する Kalu Ganga の排出する土砂の堆積により、通年河口閉塞を生じている。さらにこれらの漂砂の堆積を押し流すほど Bolgoda 南部の流況は豊かではない。したがって、洪水期に Bolgoda 南湖の水位が危険な状態になった時に、人為的な機械掘削によって一時的に河口を開削し水位低下を図るのが最も合理的な対処法と考えられる。

- Kalu Ganga との連結ゲートの改修

南部の Kalu Ganga と接する河道区間(Mawela Ela および Kappu Ela)の最上流に灌漑用のゲートが設置されているが、老朽化が著しくゲート自体も機能していない。このため Kalu Ganga の洪水を引き込み下流で氾濫しているという苦情が住民から出ており、ゲート等の改築をお願いしたい。