

インド共和国  
タミルナド州災害リスク軽減庁  
チェンナイ都市圏開発庁  
タミルナド州水資源局  
チェンナイ市役所

## インド共和国

# インド国チェンナイ都市河川流域 包括的洪水対策マスタープラン策定 プロジェクト

## 概要版

2025年2月

独立行政法人  
国際協力機構（JICA）

パシフィックコンサルタンツ株式会社  
株式会社建設技研インターナショナル  
八千代エンジニアリング株式会社

環境

JR

25-032



## 目次

1 章	序論と背景	1-1
1.1	JICA における包括的洪水対策マスタープランの調査範囲	1-1
1.2	チェンナイの都市化流域	1-1
1.3	調査地域の地形的条件	1-3
1.4	社会経済の概要	1-4
1.5	調査流域の水文学的・物理学的特徴	1-5
1.6	チェンナイにおける既往洪水	1-11
1.7	チェンナイにおける洪水管理の課題	1-12
2 章	河川洪水対策	2-1
2.1	背景と検討の流れ	2-1
2.2	対象範囲と計画条件	2-2
2.2.1	対象範囲	2-2
2.2.2	計画洪水規模	2-2
2.2.3	整備対象期間	2-3
2.2.4	洪水管理基準地点の設定	2-4
2.3	水文・水理解析	2-5
2.3.1	降雨統計分析と計画降雨の設定	2-5
2.3.2	計画降雨波形と洪水ハイドログラフ	2-6
2.3.3	基本高水	2-7
2.4	治水対策の基本的な方向	2-10
2.5	河道整備パッケージ案	2-13
2.5.1	河道整備パッケージ案	2-13
2.5.2	計画高水位・計画堤防高の暫定設定結果	2-14
2.5.3	計画河道の設定	2-22
2.5.4	河道整備における計画水深と拡幅幅	2-24
2.5.5	縦断計画設定結果	2-27
2.6	洪水貯留パッケージ (Tanks)	2-32
2.6.1	背景と基本方針	2-32
2.6.2	タンク改良の基本的な考え方	2-32
2.6.3	洪水貯留用に選定されたタンクと水域	2-34
2.6.4	既存タンクおよび新規タンクの洪水調節容量のまとめ	2-39
2.6.5	Kosasthalaiyar 川流域の上流部における洪水貯留	2-42
2.7	地下バイパストンネル パッケージ	2-43
2.8	非構造的対策	2-45

2.8.1	洪水予測と主要ダムからの事前放流の効果	2-45
2.8.2	タンクの運用	2-47
2.8.3	洪水ハザードマップ	2-47
2.9	対策効果(Effect of each countermeasures)	2-49
2.10	計画高水流量配分図、HWL・計画河床高（含む現況河道・河岸高など）	2-50
2.11	推奨事項	2-51
3章	都市洪水対策	3-1
3.1	はじめに	3-1
3.2	調査対象範囲	3-2
3.2.1	チェンナイの都市排水システム	3-2
3.2.2	雨水排水渠	3-4
3.2.3	北 Kovalam 流域	3-4
3.3	計画条件と基本方針	3-4
3.3.1	基本方針	3-4
3.3.2	都市洪水対策安全度	3-5
3.3.3	計画目標年	3-5
3.4	計画降雨量と降雨量グラフ	3-5
3.5	Package 毎の都市洪水対策	3-7
3.5.1	Package1 北 Buckingham 運河	3-7
3.5.2	中央バッキンガム運河の対策パッケージ	3-11
3.5.3	Adyar 川および Cooum 川への接続水路における洪水対策	3-12
3.6	北 Kovalam 流域の洪水対策パッケージ	3-15
3.6.1	既存構造物対策の評価	3-15
3.6.2	構造物対策の検討	3-17
3.7	非構造物対策	3-20
3.7.1	雨水利用	3-20
3.7.2	洪水予測とハザードマップ作成	3-20
3.7.3	都市計画と制度的取り決め	3-20
3.8	評価、優先順位、実施案	3-20
3.9	その他の対策	3-21
3.9.1	排水管等の対策	3-21
3.9.2	くぼ地対策	3-22
4章	都市計画および洪水リスク削減	4-1
4.1	背景と状況	4-1
4.2	現状認識と第2次チェンナイ都市開発マスタープランの評価	4-1
4.2.1	都市化の進行による雨水流出係数の増加	4-1

4.2.2	第2次チェンナイ都市開発マスタープランにおける洪水リスク管理	4-2
4.3	洪水災害リスク分析	4-3
4.4	提案された戦略と推奨事項	4-4
4.5	戦略1：都市計画戦略とガイドライン	4-5
4.5.1	対策1-1：洪水危険地域の特定	4-5
4.5.2	対策1-2：重要な施設を洪水危険地域から遠ざける	4-5
4.6	戦略2：水域保全戦略とガイドライン	4-6
4.6.1	対策2-1：既存の自然水域・水系の保全	4-6
4.6.2	対策2-2：河川沿いの遊水池機能の整備	4-7
4.6.3	対策2-3：将来の河川対策・都市排水に必要な用地の確保	4-7
4.7	戦略3：雨水流出抑制戦略とガイドライン	4-9
4.7.1	対策3-1：流域の緑地と農地の保全	4-9
4.7.2	対策3-2：新規開発における雨水貯留施設設置の義務化	4-9
4.7.3	対策3-3：大面積の公共施設用地内での一時的な雨水貯留	4-10
4.7.4	対策3-4：敷地内の緑化、屋上緑化、雨水利用敷地内の緑化、屋上緑化、雨水利用等	4-10
4.8	戦略4：残余リスク管理戦略とガイドライン	4-12
4.8.1	対策4-1：氾濫危険区域における土地利用と建築規制（対象残余リスク 外水②）	4-13
4.8.2	対策4-2：洪水リスクエリアの未開発地の用途変更（対象残余リスク⑤）	4-13
4.8.3	対策4-3：重要都市施設の氾濫危険区域外への移転（対象残余リスク①, ②, ④, ⑤）	4-14
4.8.4	対策4-4：新規面開発や再開発による土地の嵩上げ（対象残余リスク④）	4-14
4.8.5	対策4-5：より安全な場所へ集団移転（対象残余リスク③（Kovalamのみ）, ⑤）	4-14
4.9	Adyar 川流域での2つの戦略の適用例の紹介	4-15
4.9.1	戦略1：都市計画戦略の適用（対象リスク：全て）	4-15
4.9.2	戦略4：残余リスク管理戦略の適用	4-16
4.10	現状のガイドラインと規制の更新に関する推奨事項	4-18
4.10.1	チェンナイの開発規制と建築規制	4-19
4.10.2	Tamil Nadu 州総合建築開発規制への提案	4-19
5章	沿岸・河口対策	5-1
5.1	はじめに	5-1
5.1.1	チェンナイにおける沿岸域管理計画（CZMP）	5-2
5.1.2	海岸侵食防止対策事業	5-2
5.1.3	現在の河口閉塞防止対策事業と洪水管理マスタープラン	5-3

5.2	河口及び汀線変化の分析	5-3
5.2.1	衛星画像を使用した海岸線変化の分析	5-3
5.2.2	衛星画像を用いた河口変化の分析	5-5
5.2.3	洪水確率規模と河口幅の関係	5-5
5.3	河口閉塞防止対策案	5-7
5.3.1	解析手法とワークフロー	5-7
5.3.2	河口閉塞防止の基本方針と提案された対策	5-7
5.3.3	河口閉塞の予測計算及び対策案の評価	5-8
6章	洪水災害管理	6-1
6.1	既存の政策、計画、制度の概要	6-1
6.1.1	国家レベルでの災害管理	6-1
6.1.2	Tamil Nadu 州とチェンナイ地区の災害管理	6-1
6.1.3	チェンナイの災害管理および緊急水害対策室	6-4
6.2	過去の大洪水と現在の水害対策計画	6-4
6.2.1	過去の大規模な洪水被害	6-4
6.2.2	2015 年洪水の詳細	6-5
6.3	チェンナイにおける洪水災害管理の包括的なギャップ分析	6-6
6.4	洪水災害管理の向上に向けた提言	6-7
6.5	洪水ハザードマップ作成と公開に関する提言	6-10
7章	概要費用および経済評価	7-1
7.1	概要	7-1
7.2	予備的事業費積算	7-1
7.2.1	河川拡幅	7-2
7.2.2	既設タンクの改良	7-4
7.2.3	地下バイパストンネル	7-6
7.2.4	タンクの改良（都市部）	7-7
7.2.5	水路の改良（都市部）	7-9
7.2.6	ゲート・ポンプ	7-11
7.2.7	放水路	7-14
7.2.8	海岸・河口対策	7-15
7.2.9	概算事業費	7-16
7.3	予備的経済性評価	7-18
7.4	結論	7-21
8章	戦略的環境アセスメント	8-1
8.1	環境影響評価	8-1
8.1.1	物理的対策の概要	8-1

8.1.2	主な負の影響	8-1
8.1.3	代替案の分析	8-4
8.2	緩和策	8-4
8.3	環境目的、目標、ビジョン及び戦略	8-6
8.4	Environmental Strategy in Chennai	8-6
9章	優先施策と実施計画	9-1
9.1	FRMMP のプロジェクト・コンポーネント案	9-1
9.2	整備計画	9-3
9.2.1	流域別の優先順位	9-3
9.2.2	優先プロジェクトの選定（洪水管理計画）	9-4
9.2.3	実施スケジュール	9-8
9.3	Phase1 において優先的に進める洪水対策	9-10
9.3.1	Adyar 川	9-10
9.3.2	地下バイパストンネル	9-13
9.3.3	Cooum 川	9-15
9.3.4	Kosasthalaiyar 川	9-17
9.4	都市洪水対策	9-22
9.4.1	North B Canal 及びその支川	9-22
9.4.2	Central B Canal	9-24
9.4.3	河川沿いの支川処理（Adyar 川及び Cooum 川沿い）	9-25
9.4.4	Kovalam 流域	9-26
9.5	結論と推奨事項	9-27

## 目次

FIGURE 1-1: 対象流域と行政境界	1-3
FIGURE 1-2: 調査地域地形図	1-4
FIGURE 1-3: 主要都市の月平均降水量と月平均気温	1-6
FIGURE 1-4: 1991年から2021年までの平均年間降水量等雨量線	1-6
FIGURE 1-5: 流域の水インフラと水文地形	1-7
FIGURE 1-6: 対象流域における水域の所在状況	1-8
FIGURE 1-7: 2023年時点における新CMA内の土地利用	1-9
FIGURE 1-8: 対象流域の交通インフラ	1-10
FIGURE 1-9: ADYAR川の流下能力図	1-13
FIGURE 1-10: COOUM川の流下能力図	1-14
FIGURE 1-11: KOSASTHALAIYAR川の流下能力図	1-14
FIGURE 1-12: 包括的洪水管理マスタープランの概念図	1-15
FIGURE 2-1: 検討の流れ	2-2
FIGURE 2-2: 検討対象範囲	2-3
FIGURE 2-3: 洪水管理基準地点	2-4
FIGURE 2-4: 時刻雨量観測所位置図 (IMD)	2-5
FIGURE 2-5: 2005年型洪水での降雨波形と流出量 (降雨確率100年)	2-7
FIGURE 2-6: ADYAR川 基本高水流量配分図 (W=1/100)	2-8
FIGURE 2-7: COOUM川 基本高水流量配分図 (W=1/100)	2-8
FIGURE 2-8: KOSASTHALAIYAR川 基本高水流量配分図 (W=1/100)	2-9
FIGURE 2-9: 計画高水位・計画堤防高設定の概念図	2-14
FIGURE 2-10: ADYAR川 計画高水位暫定設定縦断面図	2-16
FIGURE 2-11: ADYAR川 平面図	2-17
FIGURE 2-12: COOUM川 計画高水位暫定設定縦断面図	2-18
FIGURE 2-13: COOUM川 平面図	2-19
FIGURE 2-14: KOSASTHALAIYAR川 計画高水位暫定設定縦断面図	2-20
FIGURE 2-15: KOSASTHALAIYAR川 平面図	2-21
FIGURE 2-16: 将来計画河道断面イメージ図	2-24
FIGURE 2-17: ADYAR川 計画高水流量 (素案) と改修後流下能力の比較	2-25
FIGURE 2-18: KOSASTHALAIYAR川 LOOP2 区間周辺改修平面図	2-27
FIGURE 2-19: ADYAR川: 計画縦断面図	2-28
FIGURE 2-20: COOUM川 計画縦断面図	2-29
FIGURE 2-21: KOSASTHALAIYAR川 計画縦断面図	2-30
FIGURE 2-22: REDHILL川 計画縦断面図	2-31
FIGURE 2-23: 既存タンクの改良コンセプト (SOMANGALAM BIG TANKの例)	2-33

FIGURE 2-24: ADYAR 川における既存タンク位置図 (50 タンク) .....	2-34
FIGURE 2-25: COOUM 川における既存タンク位置図 (31 タンク) .....	2-35
FIGURE 2-26: KOSASTHALAIYAR 川における既存タンク位置図 (112 タンク) .....	2-36
FIGURE 2-27: KOVALAM 流域における既存タンク位置図 (61 タンク) .....	2-37
FIGURE 2-28: KOSASTHALAIYAR 川における新規タンク候補個所位置図 (7 タンク) .....	2-38
FIGURE 2-29: ADYAR 川における洪水ハイドログラフ比較.....	2-40
FIGURE 2-30: COOUM 川における洪水ハイドログラフ比較.....	2-41
FIGURE 2-31: KOSASTHALAIYAR 川における洪水ハイドログラフ比較 .....	2-41
FIGURE 2-32: POONDI DAM 上流において対象としたタンクの位置図.....	2-42
FIGURE 2-33: ADYAR 川流下能力縦断図と計画高水流量 (素案) の関係 (100 年確率規模) ...	2-43
FIGURE 2-34: コバラン地区における地下河川のルート .....	2-44
FIGURE 2-35: バイパストンネル平面図 .....	2-45
FIGURE 2-36: バイパストンネル概要図 .....	2-45
FIGURE 2-37: 1/100 年規模の確率の洪水氾濫マップ (現況施設条件) .....	2-48
FIGURE 2-38: 対策効果 (計画規模 1/100) .....	2-49
FIGURE 2-39: ADYAR 川 計画高水流量 .....	2-50
FIGURE 2-40: COOUM 川 計画高水流量 .....	2-50
FIGURE 2-41: KOSASTHALAIYAR 川 計画高水流量.....	2-51
FIGURE 3-1: 都市洪水対策対象位置図 .....	3-1
FIGURE 3-2: BUCKINGHAM 運河の現状.....	3-2
FIGURE 3-3: 接続排水路の現状(1) .....	3-3
FIGURE 3-4: 接続排水路の現状(2) .....	3-4
FIGURE 3-5: MEENUBAKAM 地点の IDF 曲線.....	3-6
FIGURE 3-6: NUNGAMBAKKAM 地点の IDF 曲線 .....	3-6
FIGURE 3-7: NBC に流入する 3 水路のハイドログラフ .....	3-7
FIGURE 3-8: 3 水路近傍の鉄道橋.....	3-8
FIGURE 3-9: OTTERI NULLA から COOUM 川へのバイパスの概要.....	3-9
FIGURE 3-10: OTTERI NULLA 上流部における遊水地 (容量 48 万 m <sup>3</sup> ) .....	3-10
FIGURE 3-11: NBC および NBC への接続水路の改善に関する概念図 .....	3-10
FIGURE 3-12: 2015 年洪水での ADYAR 川および COOUM 川のハイドログラフ .....	3-11
FIGURE 3-13: 2020 年洪水での ADYAR 川および COOUM 川のハイドログラフ .....	3-11
FIGURE 3-14: CBC の計算水位 (水路幅を 13m とした場合) .....	3-12
FIGURE 3-15: 改修が必要な水路 .....	3-13
FIGURE 3-16: 接続水路の整備区間 .....	3-14
FIGURE 3-17: MAMABALAM における現況流下能力と水位縦断図 .....	3-14
FIGURE 3-18: MAMABALAM の掘削縦断図 .....	3-15

FIGURE 3-19: 基本高水と計画高水流量 .....	3-16
FIGURE 3-20: 施設配置計画 .....	3-17
FIGURE 3-21: OKKIAM MADUVU のショートカット放水路とバイパス .....	3-19
FIGURE 3-22: 放水路縦断図 .....	3-20
FIGURE 3-23: フラップゲートの概要 .....	3-22
FIGURE 3-24: 各くぼ地におけると浸水深毎の浸水面積 .....	3-23
FIGURE 4-1: 2006 年の CMA 土地利用(左)と 2026 年の土地利用計画図(右) .....	4-2
FIGURE 4-2: 100 年確率洪水氾濫危険区域図 .....	4-3
FIGURE 4-3: 10 年確率洪水氾濫危険区域図 .....	4-4
FIGURE 4-4: 都市計画戦略適用位置概念図 .....	4-6
FIGURE 4-5: 域保全戦略適用位置概念図 .....	4-9
FIGURE 4-6: 流出抑制戦略適用位置概念図 .....	4-11
FIGURE 4-7: 洪水残余リスク管理戦略適用位置図 (PHASE1 後) .....	4-15
FIGURE 4-8: ADYAR 川流域での都市計画戦略の適用 (MP 事業前) .....	4-16
FIGURE 4-9: ADYAR 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業 PHASE1 後) .....	4-17
FIGURE 4-10: ADYAR 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業完了後) .....	4-18
FIGURE 4-11: 推奨された戦略の検討のための条例・技術指針の枠組み .....	4-19
FIGURE 5-1 対象河川・河口及び周辺海岸 .....	5-1
FIGURE 5-2 対象河川河口の CZMP 区分図 .....	5-2
FIGURE 5-3: 衛星画像を用いた海岸の汀線変化解析例 .....	5-5
FIGURE 5-4: 月別平均河口幅(m) .....	5-5
FIGURE 5-5: 河口幅と洪水規模の関係 (KOSASTHALAIYAR & COOM) .....	5-6
FIGURE 5-6: 河口閉塞対策検討フロー .....	5-7
FIGURE 5-7: MUTTUKADU の対策案 .....	5-8
FIGURE 5-8: MUTTUKADU 対策案 (CASE2) の導流堤配置及び標準断面図 .....	5-9
FIGURE 5-9: 維持浚渫土砂および南側堆積土砂のサンドバイパスによる北側海浜の養浜 .....	5-10
FIGURE 6-1: 災害管理システムの実践と構造 .....	6-2
FIGURE 6-2: TAMIL NADU 州の主要な災害事象と災害管理政策のタイムライン .....	6-3
FIGURE 6-3: 州レベルの災害管理体制 .....	6-3
FIGURE 6-4: 2015/12/5 における 24 時間降雨量の等雨量線図 .....	6-6
FIGURE 6-5: ADYAR 流域の洪水ハザードマップ (100 年確率) .....	6-10
FIGURE: 7-1 河川拡幅の施工方法 .....	7-2
FIGURE 7-2: 代表的なタンクの標準図 .....	7-4
FIGURE 7-3: 地下バイパストンネルの概要 .....	7-6
FIGURE 7-4: 北 BUCKINGHAM 運河および接続水路における対策工の概要 (改良する既設タンクを含む) .....	7-7

FIGURE 7-5: コンクリート壁構造の標準的な断面図	7-9
FIGURE 7-6: CUT & COVER の標準的な断面図	7-10
FIGURE 7-7: 排水機場の標準的な断面図	7-12
FIGURE 7-8: 導流堤の標準断面	7-15
FIGURE 8-1: チェンナイにおける環境目的、目標及びビジョンの概要	8-6
FIGURE 8-2: チェンナイにおける環境戦略の概要	8-6
FIGURE 9-1: 各流域におけるコンポーネント	9-2
FIGURE 9-2: 流域別の優先順位	9-4
FIGURE 9-3: 河道改修手順	9-5
FIGURE 9-4: 貯水池の整備完了イメージ	9-5
FIGURE 9-5: 河道掘削（左図）とタンクの貯留機能増強（右図）の比較	9-6
FIGURE 9-6: 内水対策対象箇所	9-7
FIGURE 9-7: KOVALAM 流域対策対象箇所	9-8
FIGURE 9-8: 段階整備の流下能力評価（ADYAR 川）	9-10
FIGURE 9-9: 9.3~12.1k 局所拡幅箇所位置図（ADYAR 川）	9-10
FIGURE 9-10: 優先順位図（ADYAR 川）	9-11
FIGURE 9-11: 計画縦断面図（ADYAR 川）	9-12
FIGURE 9-12: 地下バイパストンネル平面位置図	9-14
FIGURE 9-13: 段階整備の流下能力評価（COOUM 川）	9-15
FIGURE 9-14: 優先順位図（COOUM 川）	9-15
FIGURE 9-15: 計画縦断面図（COOUM 川）	9-16
FIGURE 9-16: 段階整備の流下能力評価（KOSASTHALAIYAR 川）	9-17
FIGURE 9-17: 優先順位図（KOSASTHALAIYAR 川）	9-18
FIGURE 9-18: KOSASTHALAIYAR 川における分岐部での改修イメージ 1	9-18
FIGURE 9-19: KOSASTHALAIYAR 川における分岐部での改修イメージ 2	9-19
FIGURE 9-20: REDHILL の拡幅区間	9-19
FIGURE 9-21: 計画縦断面図（KOSASTHALAIYAR 川）	9-20
FIGURE 9-22: 計画縦断面図（REDHILL 川）	9-21
FIGURE 9-23: チェンナイにおける地形と 2015 年洪水における浸水状況	9-22
FIGURE 9-24: NORTH B CANAL 及びその支川における PHASE1 の対策	9-23
FIGURE 9-25: CENTRAL B CANAL における PHASE1 の対策	9-24
FIGURE 9-26: ADYAR 川及び COOUM 川沿いの支川における PHASE1 の対策	9-25
FIGURE 9-27: KOVALAM 流域対策対象箇所	9-27

## 表目次

TABLE 1-1: 流域面積、河川の長さ、行政区域	1-2
TABLE 1-2: 調査流域の地形的諸元	1-4
TABLE 1-3: 推定人口 (2022 年推定)	1-5
TABLE 1-4: 調査地域の主要な既往洪水	1-11
TABLE 2-1: 雨量データ収集状況	2-5
TABLE 2-2: 基本的な対策の方向の比較 (ADYAR を例として比較) 1	2-11
TABLE 2-3: 基本的な対策の方向の比較 (ADYAR を例として比較) 2	2-12
TABLE 2-4: 拡幅に伴い影響を受ける住居、商業施設	2-23
TABLE 2-5: ADYAR 川 計画縦断諸元表	2-24
TABLE 2-6: COOUM 川 計画縦断諸元表	2-26
TABLE 2-7: KOSASTHALAIYAR 川 計画縦断諸元表	2-26
TABLE 2-8: TANKS AND WATERBODIES AREAS	2-32
TABLE 2-9: KOSASTHALIYAR 川流域における諸元	2-38
TABLE 2-10: 3 流域の洪水調節容量のまとめ (ADYAR, COOUM, KOSASTHALIYAR)	2-39
TABLE 2-11: 既存タンクの改修割合とピーク流出量の関係 (ADYAR 川)	2-39
TABLE 2-12: 既存タンクの改修割合とピーク流出量の関係 (COOUM 川)	2-40
TABLE 2-13: 既存タンクの改修割合とピーク流出量の関係 (KOSASTHALAIYAR 川)	2-40
TABLE 2-14: 9.34k~12.08k 区間の流下能力不足対応案比較	2-44
TABLE 2-15: バイパストネル概略諸元表	2-44
TABLE 2-16: 各シナリオでの事前放流シミュレーション結果	2-46
TABLE 3-1: 主要な接続排水路一覧	3-2
TABLE 3-2: 各接続排水路と BUCKINGHAM 運河での雨量設定	3-5
TABLE 3-3: 再現確率と PALLIKARANAI 湿地周辺の浸水面積	3-16
TABLE 3-4: 治水対策のケースと水位低減効果	3-18
TABLE 3-5: 放水路幅と事業費の関係	3-19
TABLE 3-6: 整備実施計画	3-21
TABLE 3-7: 各流域の排水管の数とサイズ	3-22
TABLE 4-1: 第 3 次 MP に反映すべき 4 つの適応戦略	4-4
TABLE 4-2: 運河と雨水排水路の緩衝地帯の提案	4-7
TABLE 4-3: 選定した貯水池の面積と貯水容量	4-8
TABLE 4-4: 単位当たりの雨水流出率を制御するために必要な貯水量	4-10
TABLE 4-5: 戦略 3 の実施による雨水貯留容量	4-11
TABLE 4-6: 雨水流出抑制戦略での雨水貯留容量	4-12
TABLE 4-7: 洪水リスクの分類	4-13
TABLE 4-8: TNCBDR の規定に対する戦略の適応例	4-19

TABLE 5-1: 各対策案の対策費用の比較	5-9
TABLE 6-1: 調査地域の主要な既往洪水	6-5
TABLE 6-2: 現状と改善に向けた提案（洪水前）	6-8
TABLE 6-3: 現状と改善に向けた提案（洪水中および洪水後）	6-9
TABLE 6-4: 洪水ハザードマップの利用と配布に関する提案	6-11
TABLE 7-1: 河川拡幅の建設・調達費	7-3
TABLE 7-2: タンク改良の建設・調達費	7-5
TABLE 7-3: 地下河川の建設・調達費	7-6
TABLE 7-4: 既設タンク改良の建設・調達費	7-8
TABLE 7-5: 水路の改良（都市部）の建設・調達費	7-10
TABLE 7-6: ゲート・ポンプの一覧	7-11
TABLE 7-7: ゲート・ポンプの建設・調達費	7-13
TABLE 7-8: 放水路の数量	7-14
TABLE 7-9: 放水路の建設・調達費	7-14
TABLE 7-10: 海岸、河口対策主要工事数量	7-15
TABLE 7-11: 海岸、河口対策の建設・調達費	7-16
TABLE 7-12: 概算事業費	7-17
TABLE 7-13: 各資産評価額	7-19
TABLE 7-14: 年平均期待軽減額（PHASE2）	7-20
TABLE 7-15: 洪水対策事業の各経済指標の結果	7-20
TABLE 8-1: 環境影響評価のための主な CFCMP における物理的対策	8-3
TABLE 8-2: 代替案検討の概要	8-5
TABLE 9-1: 流域別の優先順位	9-3
TABLE 9-2: 被害額、流域面積当たりの被害額順位	9-4
TABLE 9-3: 事業スケジュール案	9-9
TABLE 9-4: ネットク区間に対する対応の方向	9-13

## 1章 序論と背景

### 1.1 JICAにおける包括的洪水対策マスタープランの調査範囲

洪水管理マスタープランは、構造物対策及び非構造物対策の両対策により洪水による被害を計画的に防いでいく包括的なロードマップである。したがって、特定のプロジェクトの具体的のフィジビリティスタディ (F/S) や詳細設計 (D/D) とは異なり、マスタープランは長期的かつ全体的なビジョンを提供する。

マスタープランでは、様々な対策を駆使して目標の安全レベルを達成できるようにし、流域の上流と下流の相互関係や、河川からの洪水氾濫や都市域での雨水による内水氾濫洪水の相互作用も考慮する。これは、特に河川からの外水氾濫や雨水により内水被害が発生し易い都市域では特に重要である。

本洪水管理マスタープランは、河川洪水対策 (第2章)、都市洪水対策 (第3章)、4章\_都市計画および洪水リスク削減 (第4章)、沿岸・河口対策 (第5章)、洪水災害管理 (第6章)、概算費用および経済評価 (第7章)、戦略的環境アセスメント (第8章)、優先実施策と実施計画 (第9章) から構成される。また、本洪水管理マスタープランはチェンナイの第3次都市開発マスタープランともリンクする。

洪水管理マスタープランの実施にあたっては、政府機関、地域社会、技術専門家などの関係者間の協力が必要である。また、望ましい治水安全度を達成するためにはかなりの時間と労力がかかるため、長期的な取り組みも必要である。このため、計画の有効性と妥当性の確保については定期的な監視と定期的なレビューが不可欠である。たとえば、年1回の関係者会議による進捗状況の確認を行いつつ、社会情勢や気候条件の変化など5年毎に包括的なレビューを行うことで、計画の妥当性を確認していく事が考えられる。

### 1.2 チェンナイの都市化流域

Table 1-1 は、調査対象地域内の4つの流域とその他の重要な行政境界に関する情報を示したものである。4つの流域の合計面積は 6,153 km<sup>2</sup> である。但し、Kosasthalaiyar 流域の一部は Andhra Pradesh 州内にあるため、Tamil Nadu 州内の4流域の総面積は 5,102 km<sup>2</sup>となる。さらに、782 km<sup>2</sup>に及ぶ Kovalam 流域全体をモデル化・検討対象としたが、チェンナイ都市域に含まれる流域北部約 293 km<sup>2</sup>のみをマスタープラン対象流域として扱った。したがって、洪水対策マスタープラン策定の対象流域は合計 4,613 km<sup>2</sup>である。

流域界は 2.5m 解像度のデジタル地形モデル (DTM) を用いて設定した。Cooum 川の源流が Kesavaram Anicut で Kosasthalaiyar 川に近接している点に留意する必要がある。

Buckingham 運河を含む様々な運河が流域内にある。Buckingham 運河は、ベンガル湾に平

行する重要な水路である。Buckingham 運河は、Kovalam 流域の南 Buckingham 運河 (24km)、Adyar 川と Cooum 川の中の中央 Buckingham 運河 (7km)、Cooum 川を経て Kosasthalaiyar 川の Ennore Creek までの北 Buckingham 運河 (17km) の 3 区間に分けられる。

Greater Chennai Corporation (GCC) は、チェンナイの都市部を管理・運営する地方自治体である。チェンナイ都市圏 (CMA) の面積は 1189km<sup>2</sup> で、チェンナイとその周辺地域を含む広大な都市域である。面積 5904km<sup>2</sup> の新チェンナイ都市圏 (New CMA) は、Tamil Nadu 州政府が 2022 年 10 月からチェンナイ周辺の都市部をさらに発展させるため、新たに設定した都市圏である。

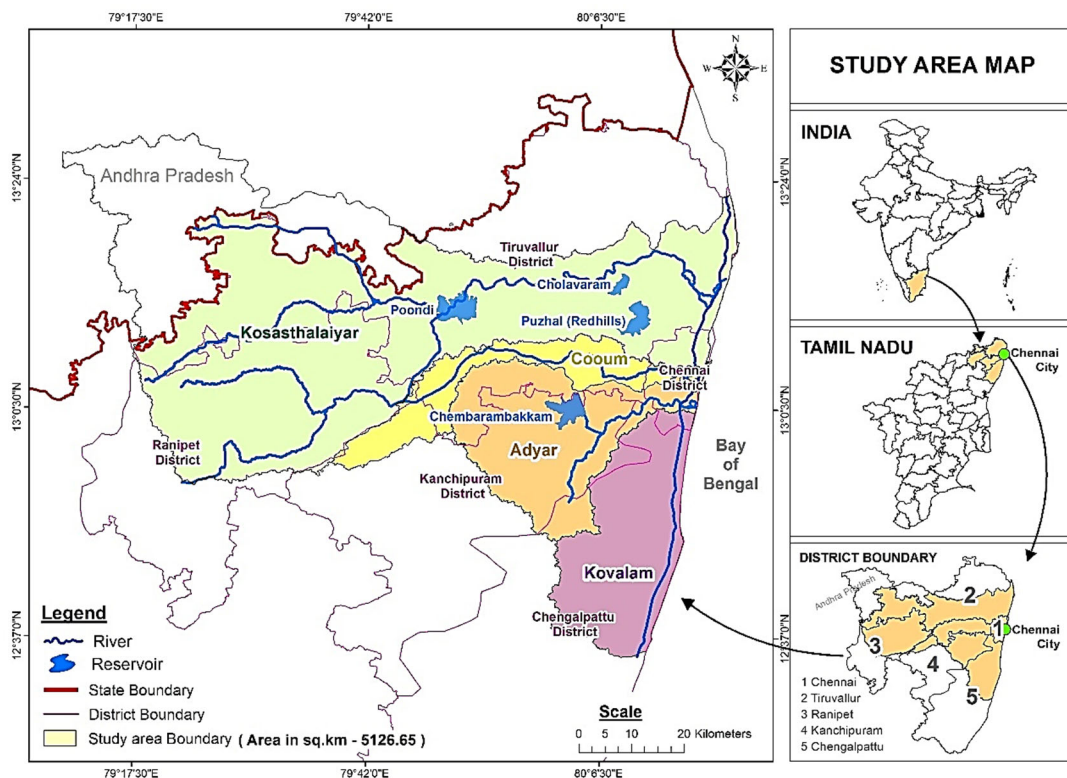
チェンナイの 4 つの主要なダムおよび貯水池は、Poondi 貯水池 (Kosasthalaiyar 流域)、Chembarambakkam 貯水池 (Adyar 川流域)、Redhill 貯水池 (Kosasthalaiyar 流域)、Cholavaram 湖 (Kosasthalaiyar 流域) である。Figure 1-1 は、主要 4 流域、河川、ダム、その他の関連する行政境界を示している。

「河川洪水」および「都市洪水」について、ここで定義する。チェンナイにおける河川洪水は、大雨によって河川の流下能力を超えて河川が氾濫し、周辺地域が浸水した場合に発生する。この種の洪水は通常、長期化し広範囲に及び、河岸や低平地に影響を及ぼす。都市洪水は、激しい降雨が都市の排水能力を超過し、水が地表に溜まることによって発生する。この種の洪水は、近くに河川がなくても発生する可能性があり、特に都市部では大雨の際の排水システムの処理能力が不十分であることに起因する。

**Table 1-1: 流域面積、河川の長さ、行政区域**

Basin/Admin	Area (km <sup>2</sup> )	Main River Length (km)	Avg. Annual Rainfall (mm)
Adyar Basin	854	~ 43.6	1333.0
Cooum Basin	435	~ 73.7	1281.6
Kosasthalaiyar Basin	4,082 (3,031 in TN)	~ 136 (~69.3 from Poondi Dam)	1037.7
Kovalam Basin	782 (293 in north)	No main river	1302.0
Buckingham Canal	N/A	~ 48 km in the Study Area	N/A
GCC	426	N/A	1366.6
CMA	1,189	N/A	1363.4
New CMA	5904	N/A	N/A

出典: JICA Expert Team



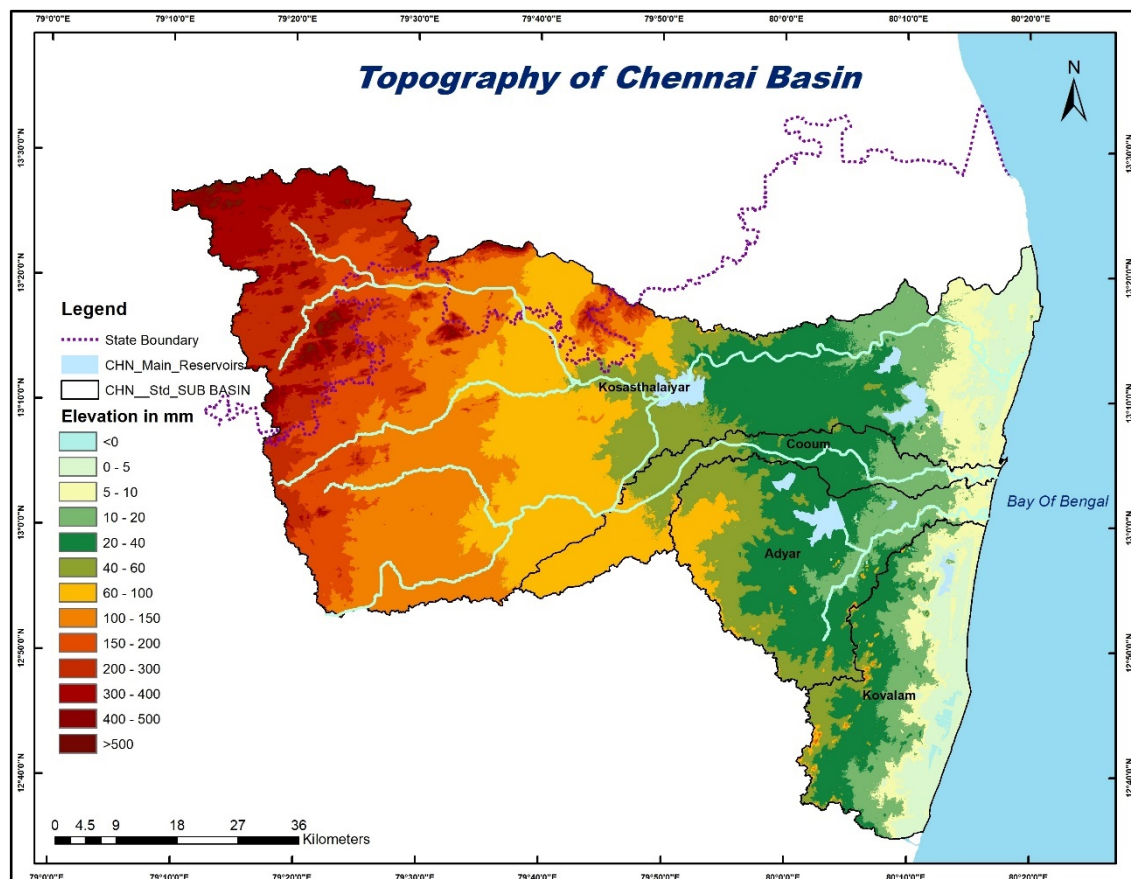
出典: JICA Expert Team

Figure 1-1: 対象流域と行政境界

### 1.3 調査地域の地形的条件

調査地域は、Figure 1-2 に示す通り、低地で平坦地形であることが特徴である。低地であるため洪水や湛水が起りやすい。Adyar 川流域、Cooum 川流域、Kovalam 流域の大部分は、平均海拔 20 メートル以下の低地に位置している。一方で、Kosasthalaiyar 川流域は、Poondi ダムに達するまで低く平坦な地形を維持し、上流では比較的標高の高いエリアを含む。Table 1-2 に流域と河川の地形的特徴を示す。

尚、Cooum 川はその上流端は Kosasthalaiyar 川と接続されているが、堰により締め切られており、Kosasthalaiyar 川からの洪水時の流下はない。



出典: JICA Expert Team

Figure 1-2: 調査地域地形図

Table 1-2: 調査流域の地形的諸元

Basin Name	Highest Elevation Across Basin (above MSL)	Elevation at River Origin (above MSL)	Avg. River Slope (Origin to Outlet)
Adyar	175m	29.7m	0.70 m/km 1:1420
Cooum	101m	65.5m	0.91 m/km 1:1100
Kovalam	169m	N/A	N/A
Kosasthalaiyar (Poondi Dam U/S)	545m	177.5m	2.96 m/km 1:340
Kosasthalaiyar (Poondi Dam D/S)	63m	35.2m	0.50 m/km 1:2020

出典: JICA Expert Team

#### 1.4 社会経済の概要

Tamil Nadu 州の州都チェンナイは、インドで4番目に大きな大都市となっている。チェンナイ都市圏 (CMA) は、チェンナイ市、8つの自治体などで構成されており、各行政境界

と流域の推定人口は Table 1-3 の通りである。

Table 1-3: 推定人口 (2022 年推定)

Admin/Basin	Population (2022 Est.)
GCC	6,221,000
CMA	11,503,000
New CMA	15,900,000
Tamil Nadu State	76,536,000
Adyar Basin	3,524,000
Cooum Basin	2,095,000
Kovalam Basin	2,678,000
Kosasthalaiyar Basin	5,107,000
<b>Total Four Basins</b>	<b>13,404,000</b>

出典: JICA Expert Team using various statistical information and projections

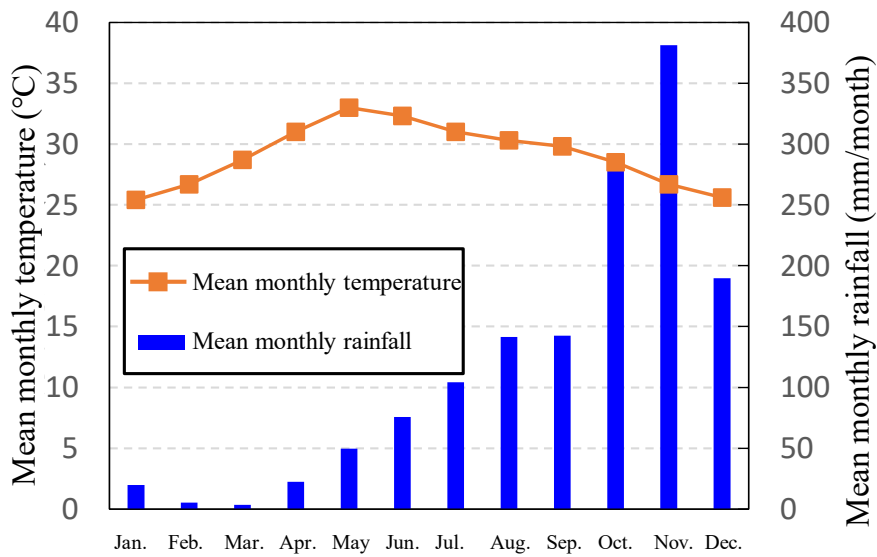
Tamil Nadu 州の州内総生産 (GSDP) は、2022 年度に約 3,203 億米ドルとなり、過去 8 年間の年平均成長率 (CAGR) は 11.27% となった。これはインドの GDP の 8.8% に相当し、Maharashtra 州に次いで 2 番目に大きな貢献者となっている。CMA の 2018 年の一人当たり所得は 1,764 ドルで全国平均より 31% 高い水準にある。

## 1.5 調査流域の水文学的・物理学的特徴

### 1.5.1 降雨量と気候

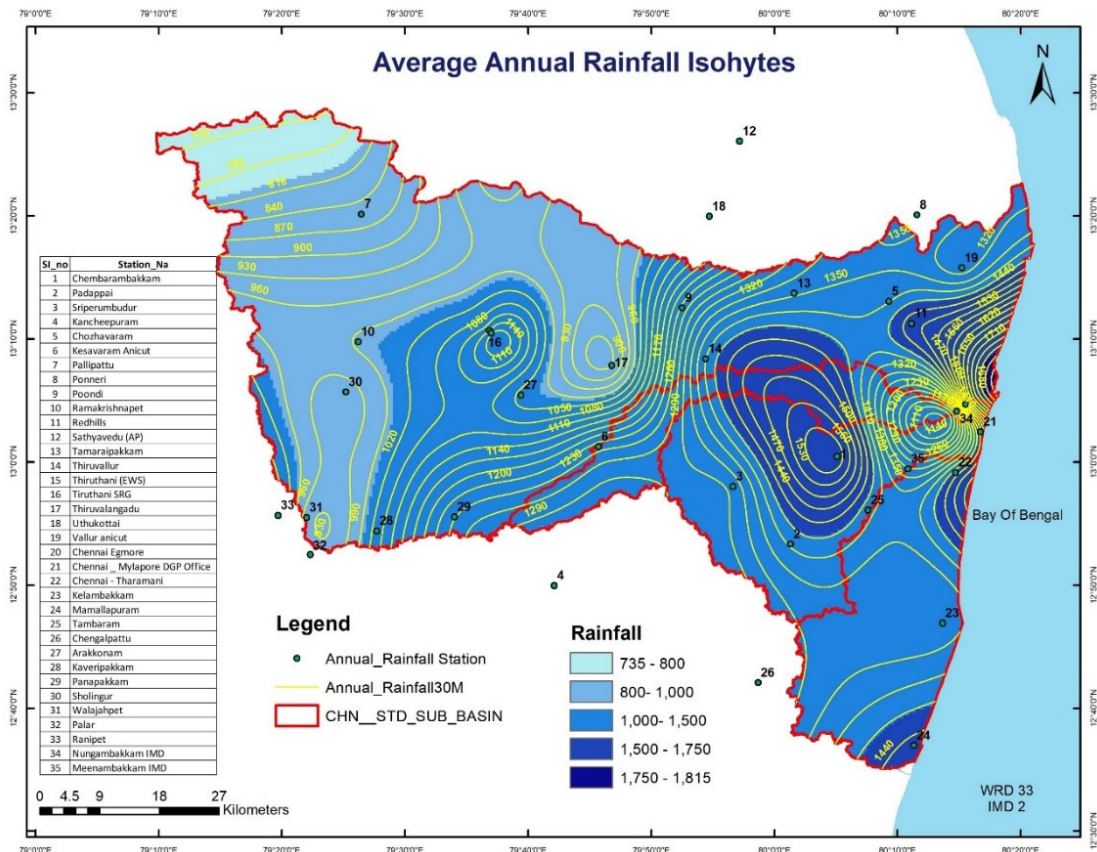
インド南東海岸に位置するチェンナイは、ベンガル湾の影響を受けた熱帯気候である。雨期は通常 10 月から 12 月で、最も雨が多いのは 11 月で、Figure 1-3 に示すように、年間降雨量の大部分が 11 月に降っている。

各流域の長期 (30 年間) 平均年間降雨量は、Adyar 川流域 (1,333.0mm)、Cooum 川流域 (1,281.6mm)、Kovalam 流域 (1,302.0mm)、Kosasthalaiyar 川流域 (1,037.7mm) である。Figure 1-4 は、1991 年から 2021 年までの平均年間降雨量の等雨量線を示しており、ベンガル湾付近の地域、Adyar 川 (Chembarambakkam) 流域と Cooum 川流域の中部では、降雨量がより多くなる傾向にある。Kosasthalaiyar 川流域では、Poondi の上流地域では、下流地域に比べて降雨量のはるかに少ない状況にある。



出典: JICA Expert Team based on IMD data from 1991 to 2020

Figure 1-3: 主要都市の月平均降水量と月平均気温

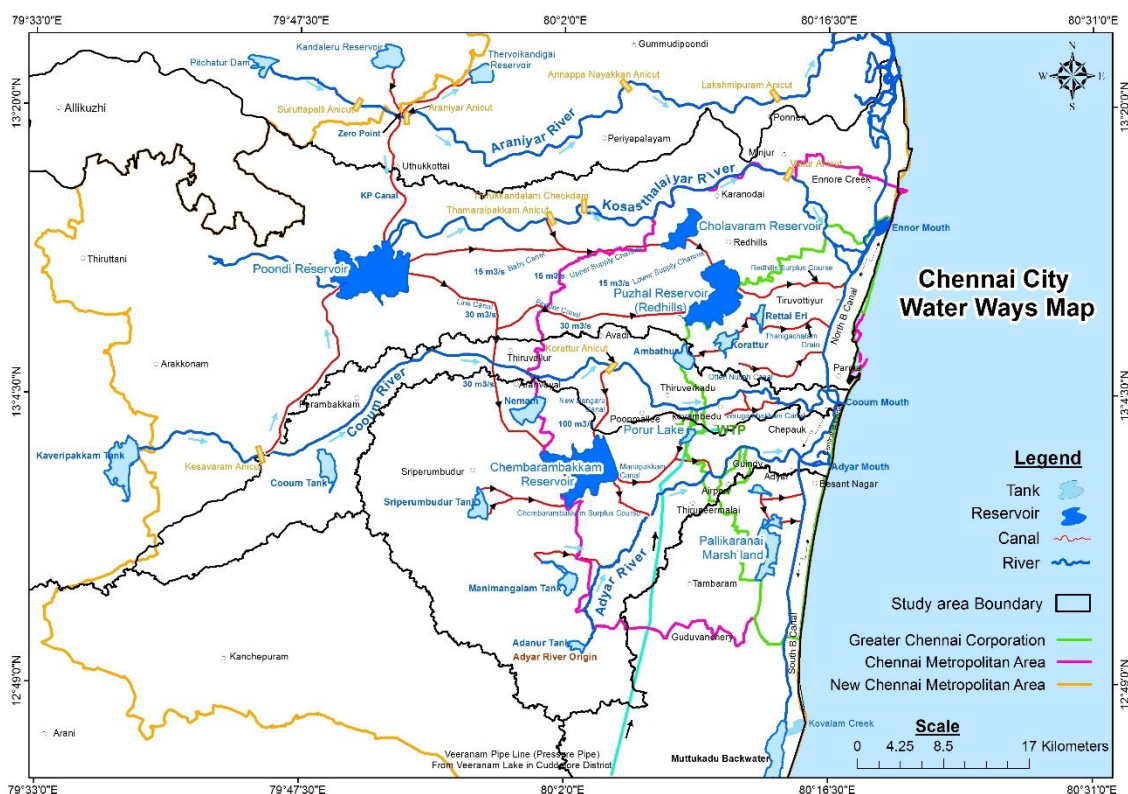


出典: JICA Expert Team using WRD and IMD Stations

Figure 1-4: 1991年から2021年までの平均年間降水量等雨量線

### 1.5.2 水域と水路網

対象流域は主要な河川だけでなく運河や用水路などの複雑な水路網がある。Figure 1-5は、対象流域における主要な河川、運河、水路網、主要なダム、および最も重要な水域と貯水池の概要を示している。



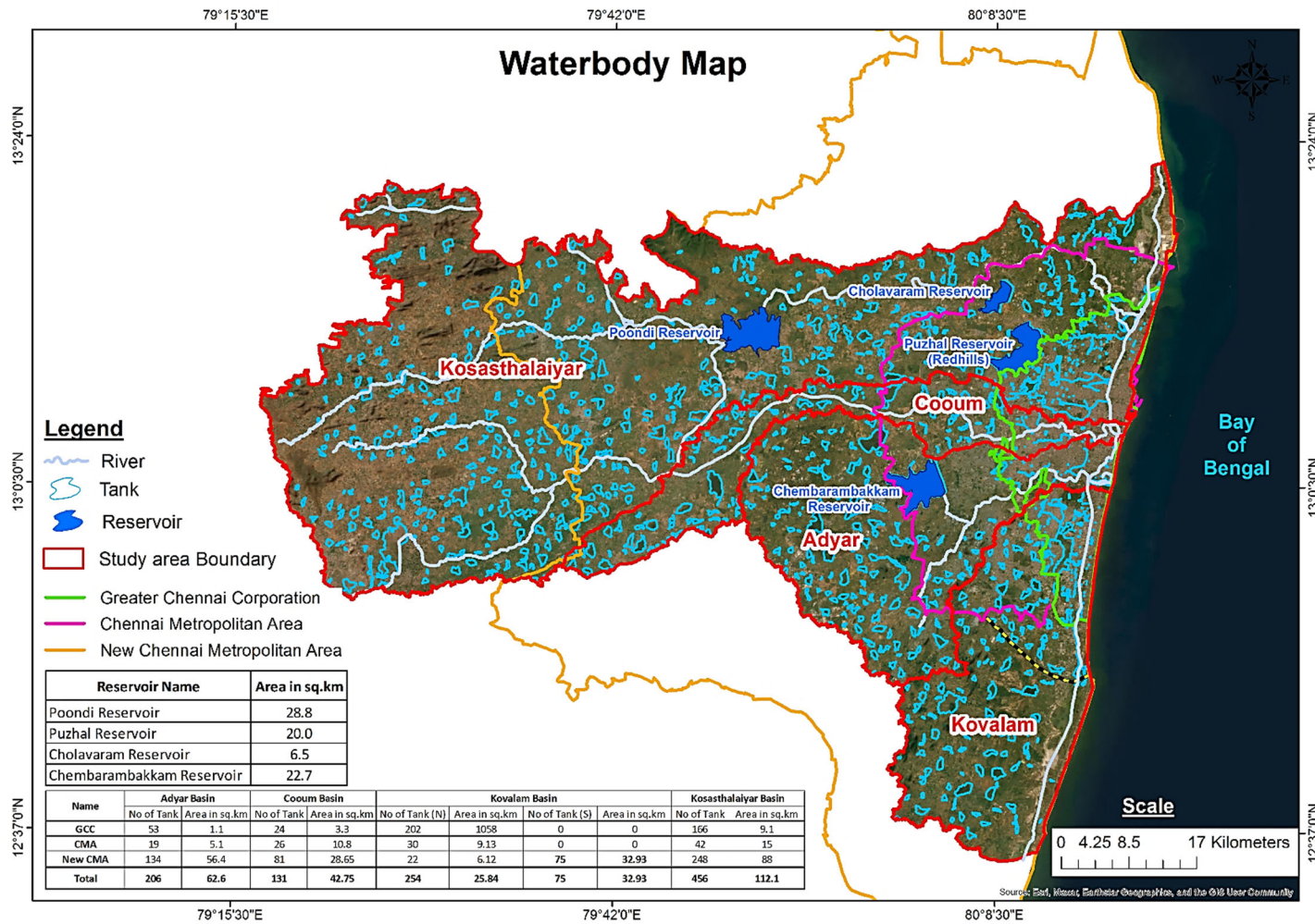
出典: JICA Expert Team using WRD and IMD Stations

Figure 1-5: 流域の水インフラと水文地形

チェンナイには、地域の水資源や環境に大きく貢献しているさまざまな水域、湖、貯水池が存在する。チェンナイにおいて昔から呼ばれている「エリ」は、かつて街の景観を飾っていた伝統的な水域と貯水池を指している。近年は都市化による住宅地や商業地に変わり、多くのエリが消滅または縮小してきている。この変化はチェンナイの洪水の貯留機能の低下を引き起こし、洪水被害の増加などの要因の一つとなっている。Figure 1-6は、TNWRD から収集した情報に基づき整理した地元でタンクと呼ばれる残りの水域の場所とその他の詳細を示したものである。

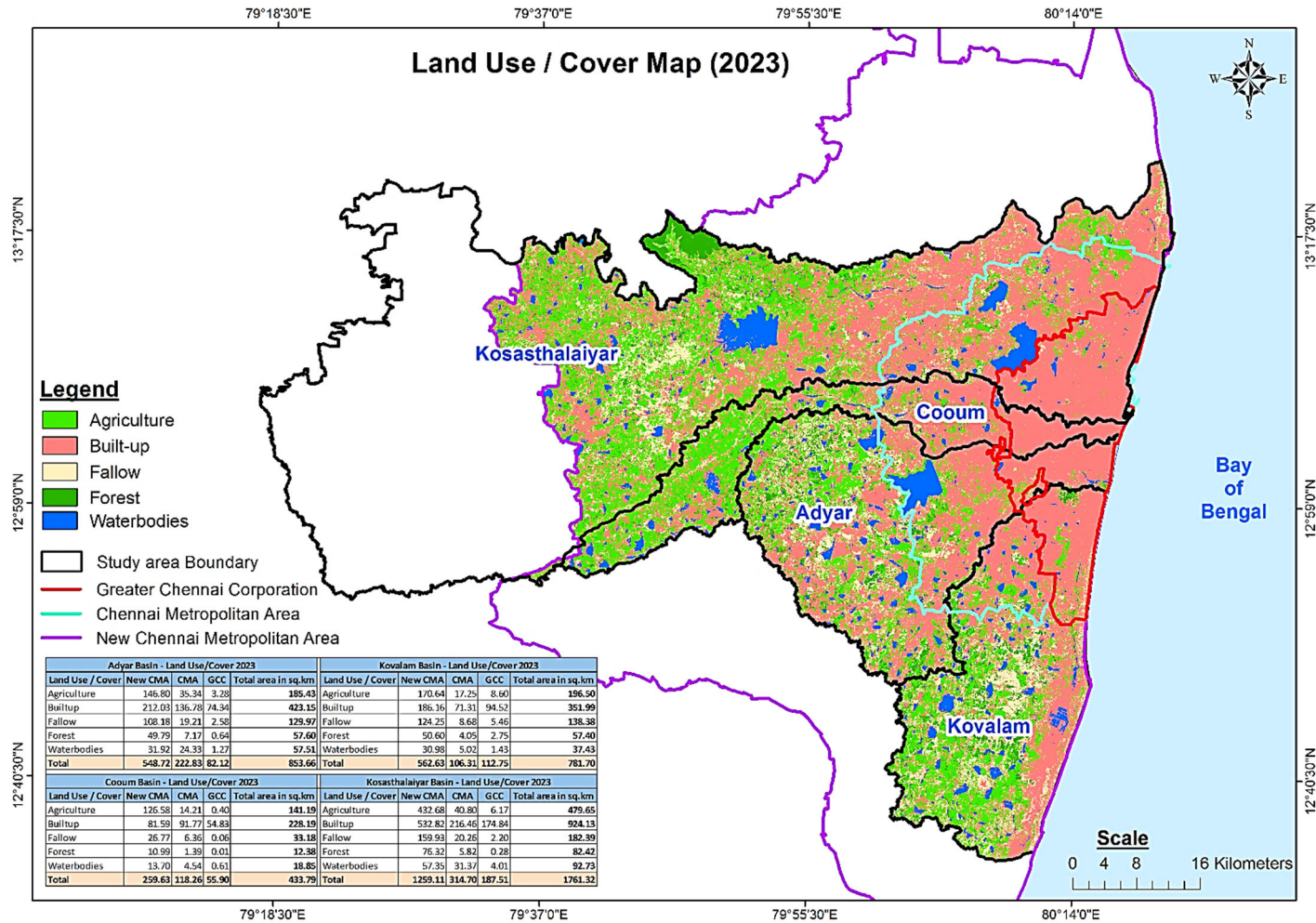
### 1.5.3 土地利用と土地被覆 (LULC) と重要なインフラ

Figure 1-7は、CMA内における2023年時点の土地利用であり、Figure 1-8は、交通網を示している。



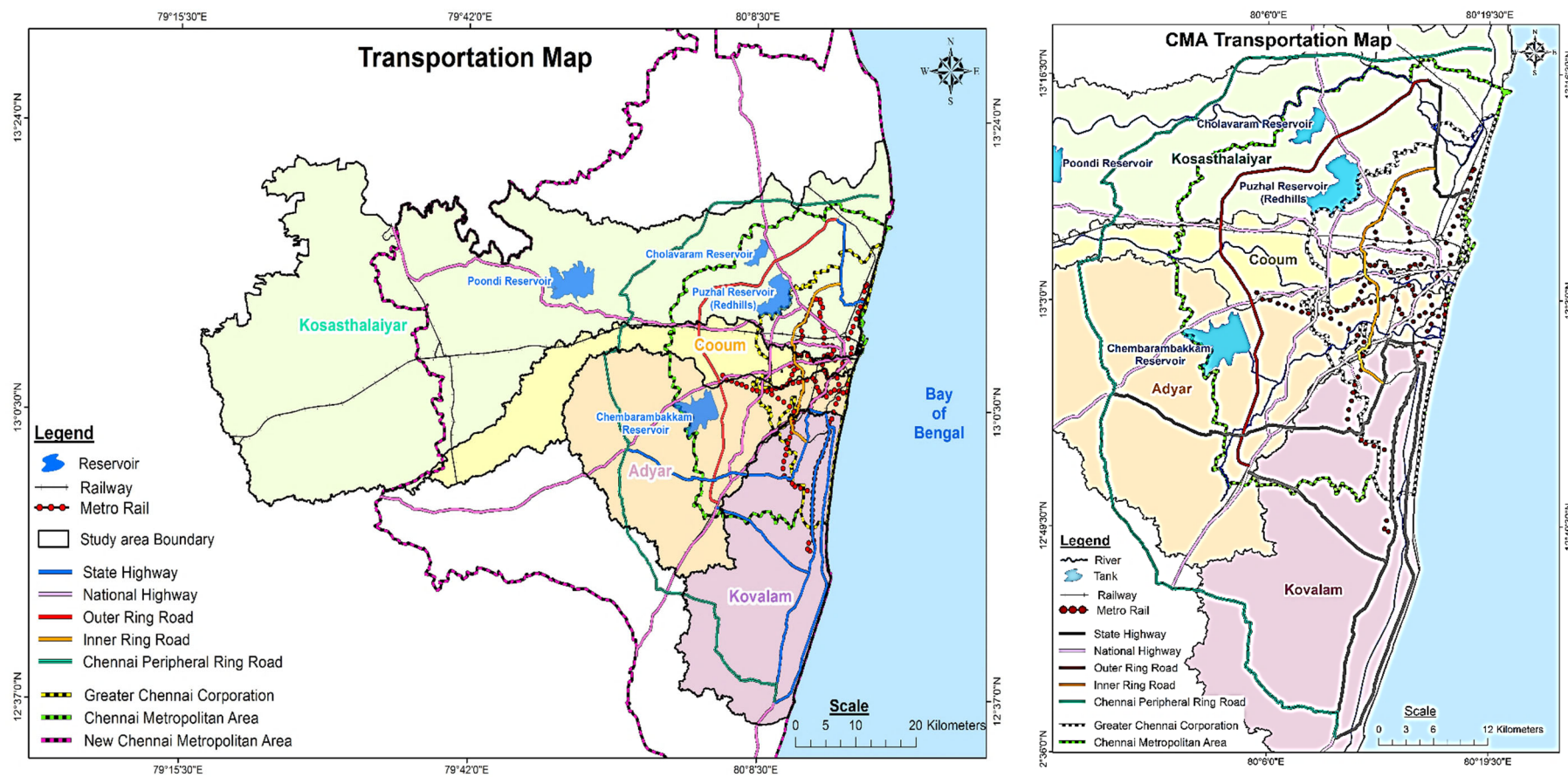
出典: JICA Expert Team using TNWRD data

Figure 1-6: 対象流域における水域の所在状況



出典: JICA Expert Team using CMDA land use GIS data

Figure 1-7: 2023 年時点における新 CMA 内の土地利用



出典: JICA Expert Team using ADB study data

Figure 1-8: 対象流域の交通インフラ

## 1.6 チェンナイにおける既往洪水

チェンナイは繰り返し大規模洪水を経験している。特筆すべき洪水は、1943年、1976年、1985年、1991年、1996年、1998年、2002年、2005年、2008年、2015年、2020年、2021年、2023年に発生している。Table 1-4は、1976年から2021年までの重要な洪水事象の概要を示している。これは、2023年3月6日に発表された「チェンナイ都市圏における洪水リスクの軽減と管理に関する諮問委員会」(Advisory Committee on Mitigation and Management of Flood Risk in Chennai Metro) から抜粋したものであり、2021年にSECON-JBA研究チームによって調査された。1845年10月21日の24時間雨量520mm、1857年10月24日の24時間雨量460mm、1943年10月6日と7日の48時間雨量358mmなど、1976年以前にも顕著な大雨・洪水があったことが、第2次チェンナイ都市マスタープランに記録されている。

2023年には、2015年の洪水後に最大日雨量を記録した。モンスーン期の総雨量としては、Nungambakkam観測所とMeenambakkam観測所で、それぞれ530mmと520mmを記録し、Nungambakkam観測所において総雨量921.4mmを記録した。

Table 1-4: 調査地域の主要な既往洪水

Flood Year	Type of Flooding	Daily Max. Rainfall (mm)	Date of Daily Max Rainfall	Total Rainfall During Monsoon (mm)
1976	Primary Fluvial	452.4 Nungambakkam	11/25/1976	1264.5 (Meenambakkam)
1985	Fluvial & Pluvial	329.0 Nungambakkam	11/13/1985	1271.7 (Nungambakkam)
1996	Fluvial	450.0 Cholavaram & Thamaripakkam 347.0 Nungambakkam	6/14/1996	1704.6 (Nungambakkam)
2005	Fluvial & Pluvial	312.0 Tambaram	12/13/2005	2108.0 (Nungambakkam)
2015	Fluvial & Pluvial	494.2 Tambaram 475.0 Chembarambakkam	12/2/2015	2066.9 (Tambaram)
2021	Primary Pluvial	237.1 Mylapore - DGP Office	12/31/2021	1816.0 (Cholavaram) 1785.0 (Mylapore)
2023	Fluvial & Pluvial	293.4mm Nungambakkam	12/4/2023	921.4 (Nungambakkam)

出典: Advisory Committee on Mitigation and Management of Flood Risk in Chennai Metro "Flood Risk Reduction: Final Report, "2023, originates from the work conducted by the SECON-JBA Study Team in 2021

## 1.7 チェンナイにおける洪水管理の課題

チェンナイは、河川洪水対策と都市洪水対策の双方に関連するさまざまな課題に直面しており、包括的なマスタープランで対処していく必要がある。これらの課題には、体系的な問題だけでなく、河川洪水対策と都市洪水対策に関連する特定の問題も含まれ、これらが一体となって都市の洪水リスクを高めている。以下では、主な制度的問題に続いて、河川洪水と都市洪水に特に関連する問題を示す。

断片的な対策実施、包括的な洪水対策マスタープランの欠如：チェンナイの洪水対策は現在、断片的であり、包括的洪水対策マスタープランがないまま、地域ごとに対策が実施されてきている。このため、最適なリソース配分と施策間の調整が妨げられ、全体として洪水対策が脆弱な状態のままである。

利害関係者間の責任分担：洪水管理には複数の関係機関が関与しているが、関係機関間の適切な調整と情報共有が実施されておらず、非効率である。これは特に、統合的アプローチが欠如している小規模排水路の管理や河川の洪水管理において顕著である。利害関係者は、財政的および技術的な優先順位を巡って競争しながら、洪水調節の取り組みと水供給や水不足などの他の課題等を独立に対応している。

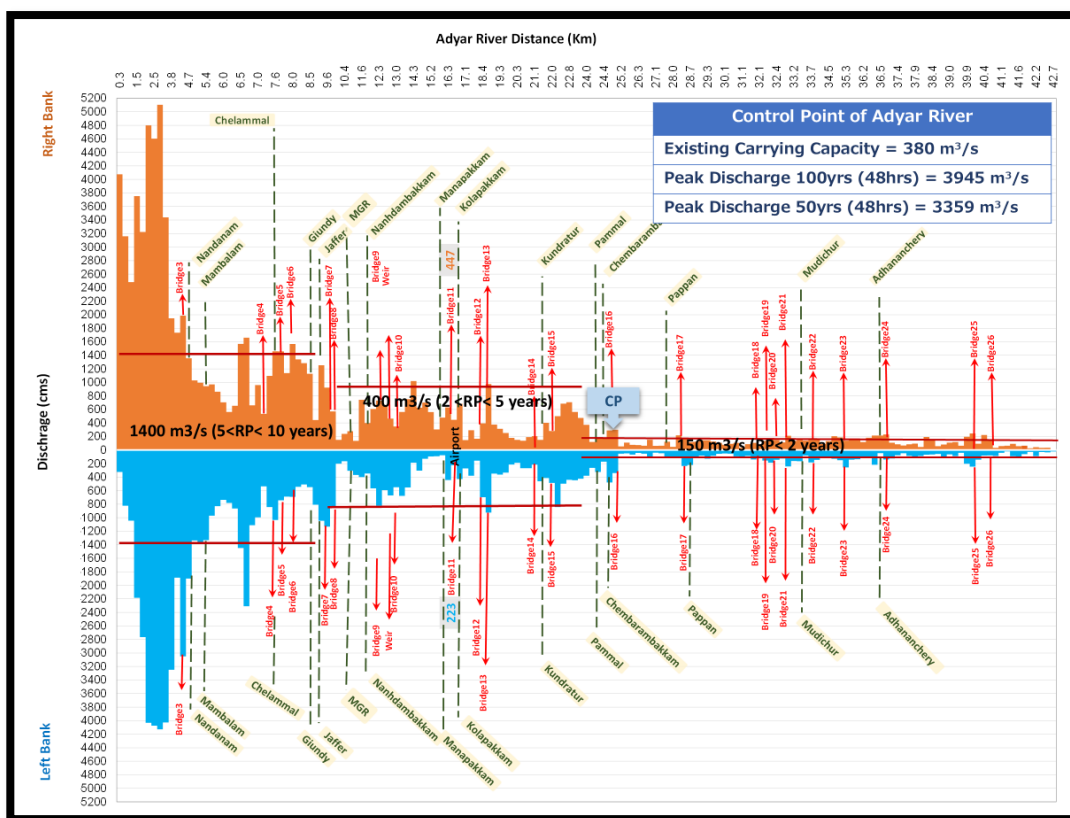
- 急速な都市化と土地利用の変化：チェンナイの急速な都市化は、洪水リスクの増大を示す重要な指標である降雨流出係数に大きな影響を与えている。チェンナイの第2次都市開発マスタープランが策定された2006年当時、降雨流出係数は0.5であった。しかし、都市の成長と不浸透面の増加により、この比率は2024年までにCMA地域で0.71に上昇し、降雨流出量が大幅に増加している。
- 都市化による自然排水路の収縮と減少：都市の発展や不適切な計画・保全による河川、水域、タンク等における市街地化は、河川の自然排水能力、水域やタンクの洪水貯留能力の低下を引き起こしている。これらの変化は、洪水時の自然な流れを妨げ、洪水リスクを増大させている。河川や排水路沿いの市街地化による河川・排水路幅の縮小は、河川の流下能力を低下させ、大雨時の水位上昇を引き起こしている。河川の水位が上昇すると、都市の排水システムは、バックウォーターの影響により洪水を効率的に流下させることが困難になり、都市の洪水につながる。このような河川洪水と都市洪水の相互作用は、マスタープランの中で包括的に取り組まなければならない。
- 不十分な観測網：リアルタイムの水文データの不足及び、流域の水文観測の不足のため、洪水予測や防災管理能力が制限されている。

これらの相互に関連する問題を効果的に管理するためには、包括的な洪水対策マスタープランが極めて重要である。これは、河川洪水と都市洪水の両方を統合的に考慮しながら、流出量の増加、不十分な排水システム、都市化による自然水路の減少等の根本原因に対処

するものである。

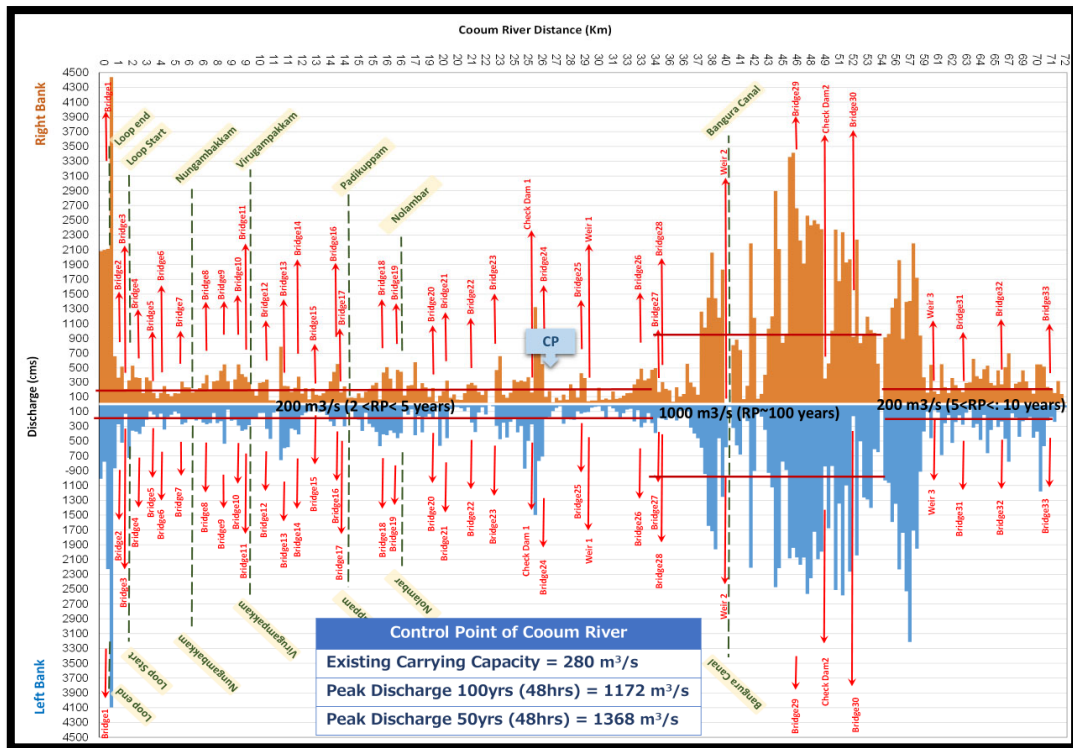
Figure 1-9 から Figure 1-11 は、3つの主要河川の流下能力を示しており、これらの河川では全川を通じての流下能力が不十分であることがわかる。このような不十分な流下能力の根本的な原因は、急速な都市化である。都市化は、河川幅の減少、流下能力の低下を引き起こすだけでなく、流出を増加させ、問題をさらに悪化させている。

これら課題は、チェンナイにおける包括的な洪水管理マスタープランの緊急性、必要性を示すものである (Figure 1-12)。マスタープランは、リスク評価、積極的な洪水管理戦略、利害関係者間調整の改善、およびインフラ整備を統合するものである。河川の流下能力の限界に対応して都市の洪水管理を行うには、体系的で多部門にまたがるアプローチが必要である。効果的で長期的な計画がなければ、洪水による甚大な被害に対して、依然として脆弱なままとなる。



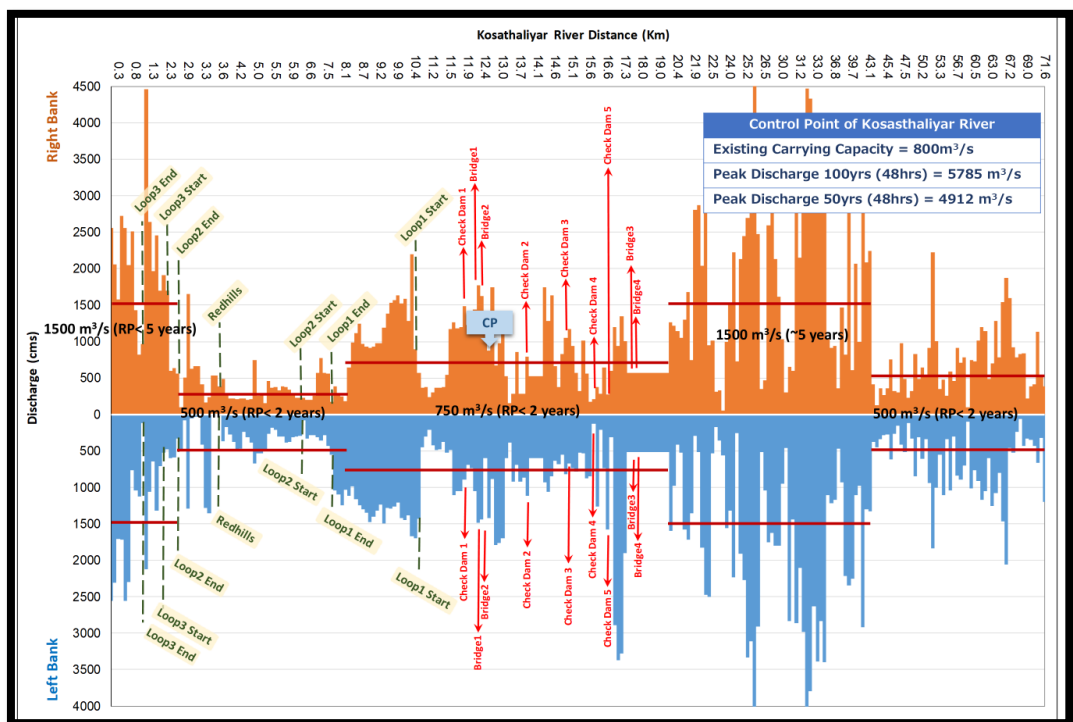
出典: JICA Expert Team

Figure 1-9: Adyar 川の流下能力図



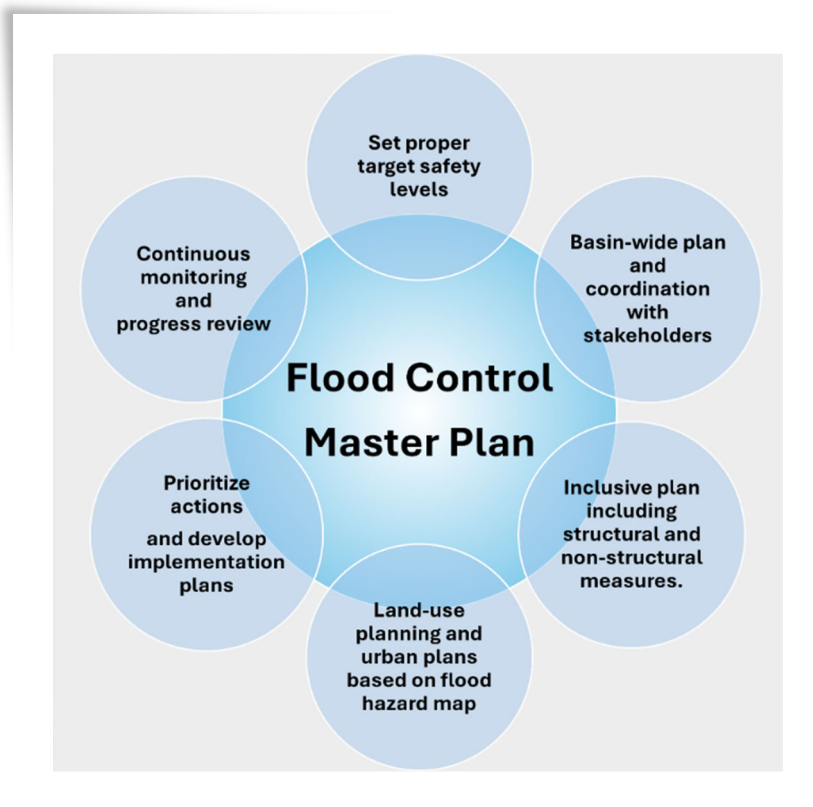
出典: JICA Expert Team

Figure 1-10: Cooum 川の流下能力図



出典: JICA Expert Team

Figure 1-11: Kosasthalaiyar 川の流下能力図



出典: JICA Expert Team

Figure 1-12: 包括的洪水管理マスタープランの概念図

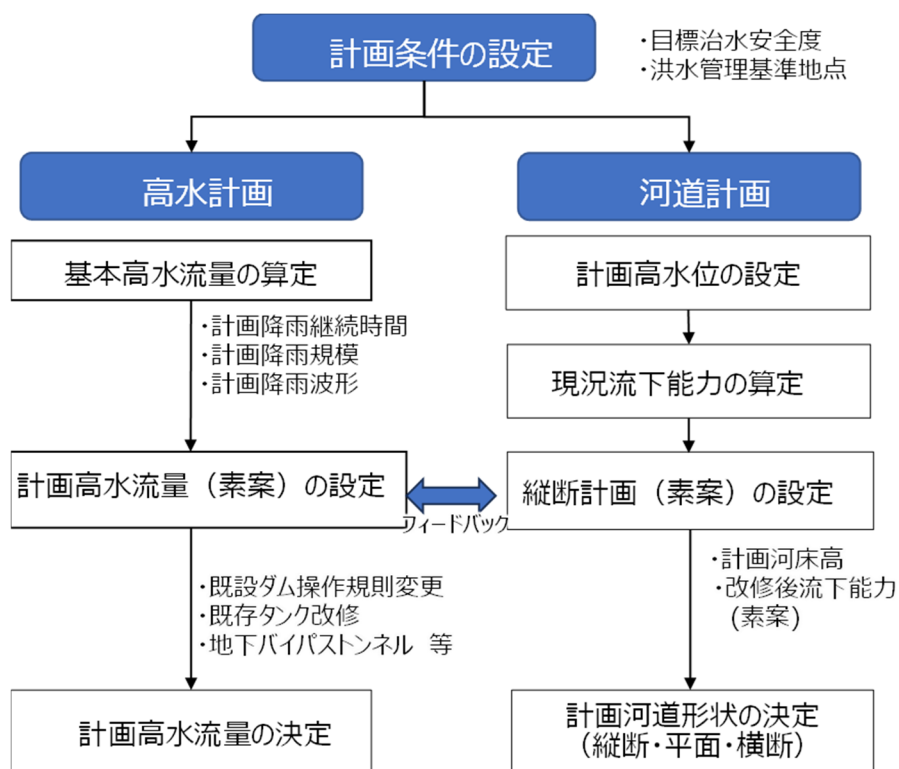
## 2章 河川洪水対策

### 2.1 背景と検討の流れ

本章では、Adyar 川全体（Chembarambakkam Dam の支川含む）、Cooum 川全体（Kesavaram Anicut から）、プーンディダムからの Kosasthalaiyar 川（Redhill の支川含む）の河川洪水対策に対して検討を行っている。提案されている対策には、川の掘削と拡幅、上流域におけるダムやタンクでの洪水の貯留、地下河川ゲートや潮汐ゲートの設置などがある。

Figure 2-1 は、洪水管理計画の検討の流れを示したものである。安全度を設定した後、高水の検討では、まず洪水調節施設が無い状態の基本高水を検討した後、貯留施設を考慮した流量を計画高水として算出する。一方、河道計画では、まず、河川の洪水防御の基本となる水位（計画高水位）を設定した後、この水位を超えない河道案を検討する。通常、洪水対策は河道でまず対処することを基本とし、対処できない分を貯留施設で対応する。本検討では、川の流下能力が著しく低いことや対象流域では多くのため池が存在すること、現地カウンターパート(C/P)である TNWRD がため池改良を優先的に進めていることから、最大限ため池改良で得られる流量低減効果を考慮しながら河道計画を検討することとした。

計画は2つのPhaseに分かれており、Phase1 では社会的影響を最小限に抑えるために河道掘削を基本とする一方、長期的な実施を目的とした Phase2 では河道拡幅を検討している。さらに、社会的影響をさらに軽減するために、地下バイパストンネルの可能性を含む実行可能な代替案を評価し、最適な解決策を決定している。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-1: 検討の流れ

## 2.2 対象範囲と計画条件

### 2.2.1 対象範囲

対象範囲は、Figure 2-2 に示した通り、Adyar 川水系 (約 43.6 km)、Cooum 川水系 (73.7 km)、および Poondi Dam からの Kosasthalaiyar 川水系 (69.3 km) である。これらの河川とその流域に関する詳細については、第 1 章の 1.2 以降の通りである。

### 2.2.2 計画洪水規模

目標とする治水安全度の決定には、調査地域の社会経済的重要性、人口密度、河川流域の特性、環境的、地理的、技術的、政治的な考慮事項などを考慮する必要がある。さらには、現地カウンターパート (C/P) や技術専門家との議論も必要である。

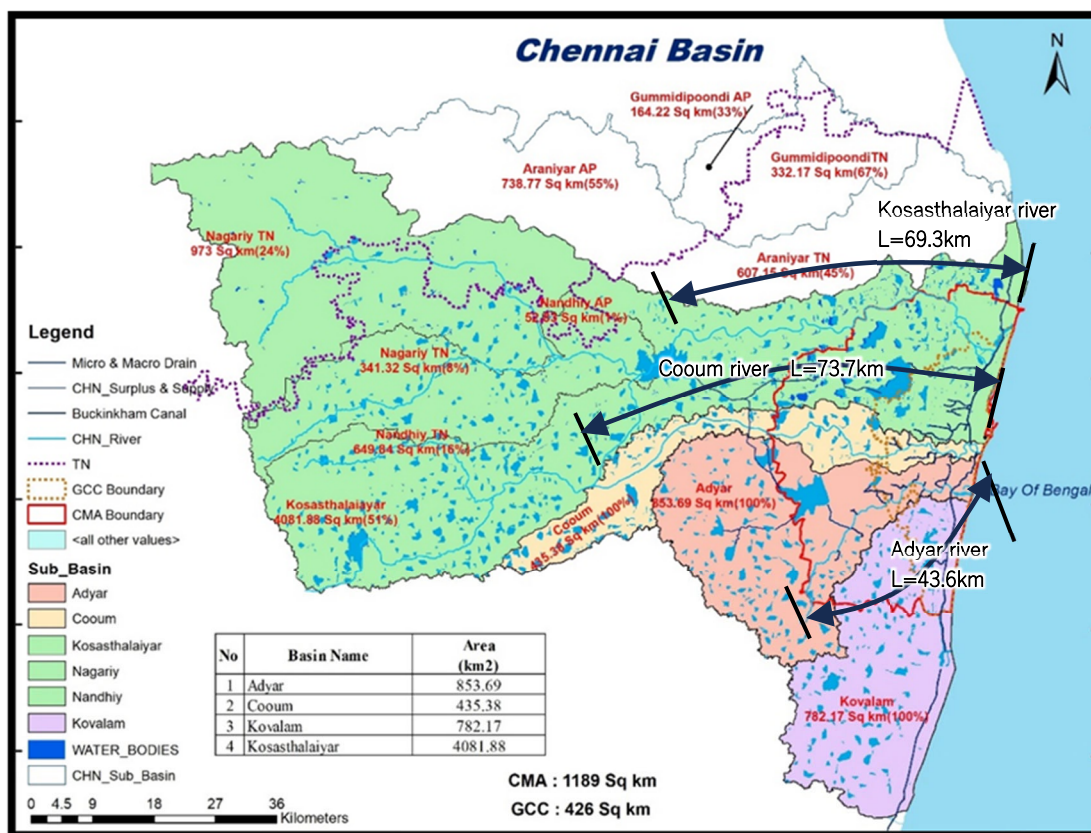
インド第 4 の都市チェンナイは、2024 年までにチェンナイ都市圏 (CMA、1189km<sup>2</sup>) の人口が 1,200 万人を超えると予想されている。同市は、社会経済活動において重要な役割を果たしている。本調査対象の Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川の流域は、400 km<sup>2</sup> を超える面積を有し、都市人口が密集し、社会経済活動が集中している。

都市の重要性を考慮し、河川洪水対策マスタープランの目標設計規模は、降雨確率の再現期間 100 年に基づくものとする事で現地カウンターパート (C/P) と合意した。この治水安全度は、チェンナイ洪水諮問委員会報告書 (2023 年) の勧告に沿ったものであり、国や地方自治体の基準やガイドラインに沿ったものである。

尚、調査地域の河川は日本の 1 級河川と同様に分類することができ、日本においても 100 年の洪水規模は妥当と判断される。

### 2.2.3 整備対象期間

JICA 洪水管理マスタープランは、2つの Phase に分けて実施されるように設計されている。現地カウンターパート (C/P) との協議により、Phase1 は 10 年以内 (例: 2026 年から 2035 年まで) の完了を目標とし、Phase2 は Phase1 の完了後 (例: 2036 年以降) に開始される。この研究では、マスタープランは 20 年かけて完了することを提案している。しかし、特に Phase2 のスケジュールは、資産や経済状況の変化により変更される可能性があり、完了には 20 年以上かかることが予想される。このため、現地カウンターパート (C/P) は、マスタープランの段階的な実施において毎年進捗状況を監視し、5 年程度ごとに定期的な見直しを行う必要がある。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-2: 検討対象範囲

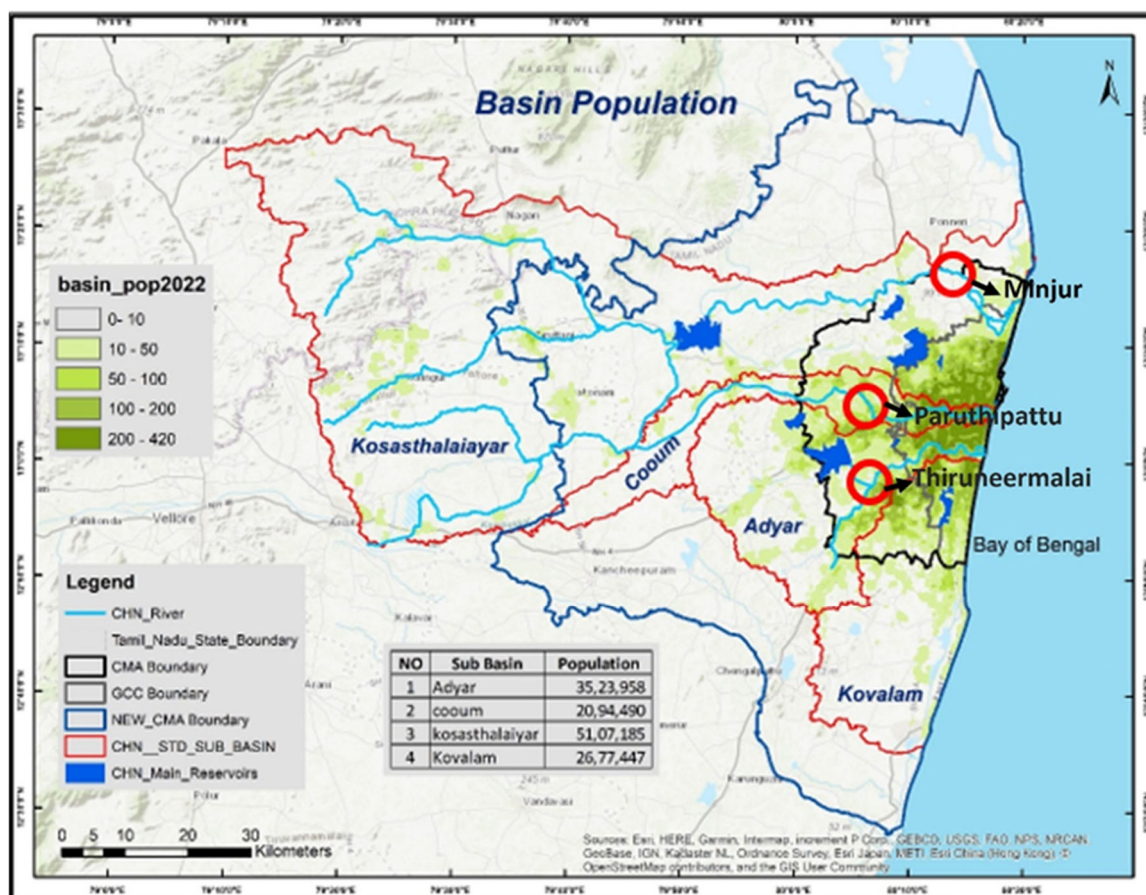
## 2.2.4 洪水管理基準地点の設定

洪水管理基準地点とは、洪水を防ぐための計画を作成するときに代表となる地点であり、この地点で流量規模などを定め概ねの治水整備規模を検討するのに使用される。

JICA 洪水管理マスタープランは、河川システム全体に対する包括的な河川治水計画であり、この基準地点を基本に計画を検討している。

洪水管理の基準地点は、チェンナイ都市圏（CMA）内で洪水防御が必要な資産の蓄積が著しい地域の上流において、流量の調節が可能な堰や大きな支流合流点の下流で設定した。Figure 2-3 は、これらの洪水管理基準地点の位置を調査地域の人口分布上に示している。具体的な地点は以下のとおりである：

- ・ Adyar 川：支川 Chembarambakkam との合流点下流の Thiruneermalai
- ・ Cooum 川：Paruthippattu 堰の下流
- ・ Kosasthalaiya 川：Vallur 堰の下流



出典：JICA Expert Team

Figure 2-3: 洪水管理基準地点

## 2.3 水文・水理解析

### 2.3.1 降雨統計分析と計画降雨の設定

本節では、降雨継続時間、降雨ハイトグラフ、ハイドログラフなど、計画降雨に関連する主要なパラメータについて検討している。

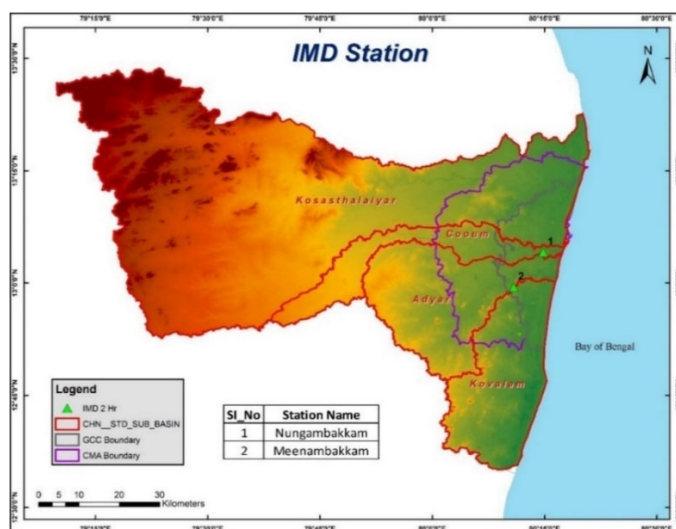
本研究では、調査地域における長期降雨データが重要である。Table 2-1は、収集したデータとその時間スケールをまとめたものである。表から調査地域内において時刻雨量データを有するのは2つの観測所だけであり、残りの観測所は長期の日雨量データとなっている。このため、本研究の結果については計画降雨ハイトなどの精度が低いことを考慮する必要があり、データの精度向上が今後の課題となっている。

Table 2-1: 雨量データ収集状況

Institution	Number of observation stations	Period	Data type
IMD	2 (Inside the target river basins)	1969-2021	Hourly
TNWRD	46 (35 stations: Inside, 11 stations: Outside)	1991-2021	Daily
CRA	37 (34 stations: Inside, 3 stations: Outside)	1991-2021	Daily

出典: JICA Expert Team

Figure 2-4は、時刻雨量を観測しているインド気象局（IMD）の観測所の位置を示したものである。この2つの観測所は、調査地域内で互いに近接している。水文学解析の精度を向上させるためには、時間雨量観測所のネットワークを拡大し、流域全体にわたって空間的に偏りのない降雨データを収集する必要がある。これにより、水文学的により正確に流域の降雨分布を評価することが可能になり、降雨ハイトグラフや流出計算条件等の精度向上が可能となる。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-4: 時刻雨量観測所位置図 (IMD)

### 2.3.1.1. 降雨継続時間

降雨継続時間は、流域で降った雨が基準点まで流下する洪水到達時間から算出される。

本来は実績洪水の時間降雨量と時刻流量の時差などから算出するが、当該流域では時刻雨量や時間流量データが無いことから以下の二手法から算出した結果を勘案して設定した。

- ・手法1：地形勾配等から流域最遠点に生じた降雨が評価地点に到達する時間（4つの流下時間計算手法より算出）
- ・手法2：定常の降雨量を用いた流出計算により計算開始からピーク流量に達するまでの時間

算出結果から、より流出時間が実態に近いと考えられる手法2では概ねどの河川も36～48時間でピーク流量に到達しており、48時間程度が妥当と考えられる結果となった。

以上から、計画降雨量の算出では降雨継続時間が48時間相当となる2日雨量にて算出することとした。

### 2.3.1.2. 計画降雨量

計画降雨量は、一般財団法人国土技術研究センター（JICE、Japan Institute of Country-ology and Engineering）が公開しているソフトウェア「水文統計ユーティリティ」を使用し、1991年～2021年（21年間）の日雨量の統計データから降雨確率解析を実施して算出した。尚、解析で使用した確率分布モデルはExp、Gumbel、SqrtEt、Gevの4手法である。

算出結果は以下の通りである。

Adyar川：493mm、Cooum川：371mm、Kosasthalaiyar川：299mm

本プロジェクトでは更に気候変動を考慮し、現地のカウンターパート（C/P）との協議・合意により上記の計画降雨量を1.1倍して適用した。

Adyar川：542mm、Cooum川：408mm、Kosasthalaiyar川：329mm

1.1倍は、日本における気候変動時の降雨倍率であり、将来気候（2080～2100年平均）と現在気候（1984～2004年平均）の比率から算出されている。この倍率は、チェンナイにおける今後の雨量データの蓄積を踏まえて見直していく必要があるが、ここではデータ蓄積されるまでの暫定値として用いている。

### 2.3.2 計画降雨波形と洪水ハイドログラフ

計画降雨波形の選定は、以下の手順により実施した。

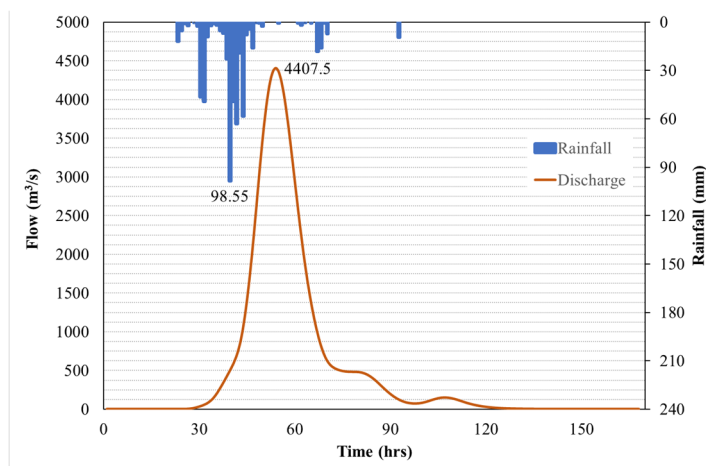
- ①対象洪水波形：過去にチェンナイ首都圏に浸水被害をもたらした主要10洪水を対象
- ②対象洪水の計画降雨量までの引き伸ばし：実績洪水の2日雨量＝計画降雨量となる様に波形を引き伸ばし
- ③計画降雨波形の選定：②の引き伸ばした洪水波形について流出計算を実施し、最大流

量となる波形を選定（流出計算は本調査で構築した HEC-HMS モデルを使用）

④算定結果：計画降雨波形の対象洪水は、以下の通りであり、各河川で計画降雨波形は異なっている。

Adyar 川：2005 型洪水、Cooum 川：2015 型洪水、Kosasthalaiyar 川：1996 型洪水

各流域で洪水波形が異なるのは、各流域固有の水文学的・地形学的特徴による。例えば、Adyar 川流域の降雨波形が 2005 年型の洪水に基づいているのに対し、Cooum 川流域では 2015 年の洪水型に基づいている。この違いは、降雨の空間分布や流域形が異なることに起因する。2005 年の洪水では主に Adyar 川流域と Kovaram 流域で集中的な降雨が発生した。一方、流域形状が流路沿いに細長い Cooum 川流域は、2015 年の洪水において流域全体で広範な降雨の影響を受けている。Figure 2-5 は、Adyar 川の 2005 年洪水型から作成したハイドログラフを例示したものであり、チェンバランバッカム・ダムとの合流点の下流に位置する基準地点における降雨確率 100 年のハイドログラフを示している。

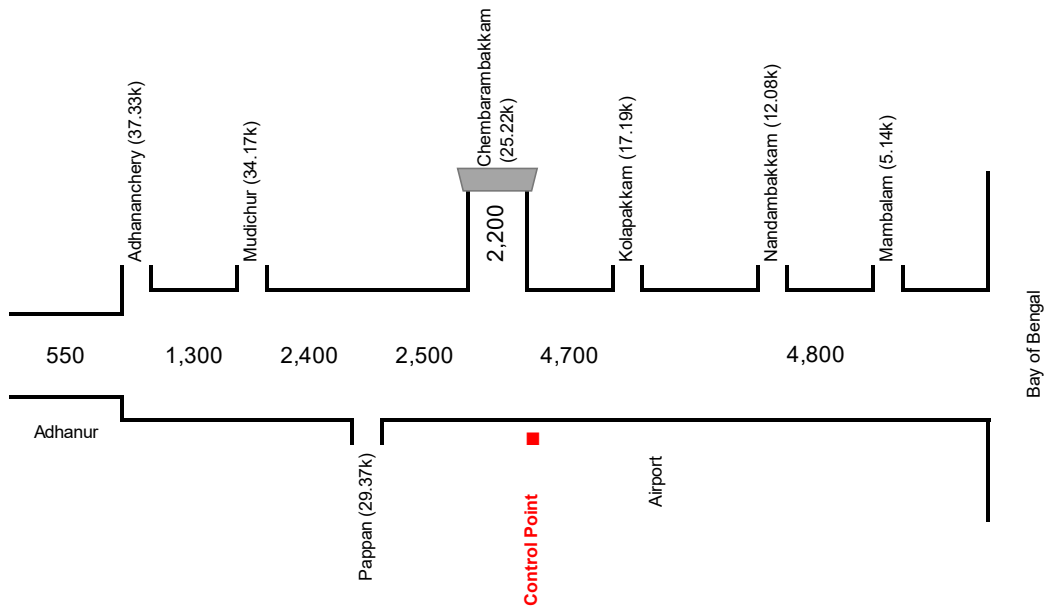


出典：JICA Expert Team

Figure 2-5: 2005 年型洪水での降雨波形と流出量（降雨確率 100 年）

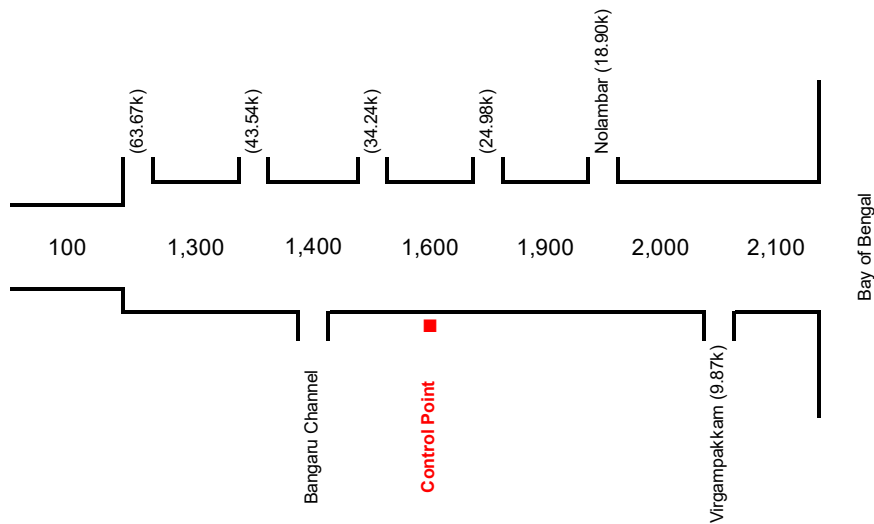
### 2.3.3 基本高水

前節における計画降雨量や洪水波形を用い、ため池などの貯留対策が無い流出のみによる流量である基本高水は、以下の通りとなる。尚、本算出では気候変動を考慮して、降雨量を 10% 割り増ししている。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-6: Adyar 川 基本高水流量配分図 (W=1/100)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-7: Cooum 川 基本高水流量配分図 (W=1/100)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-8: Kosasthalaiyar 川 基本高水流量配分図 (W=1/100)

## 2.4 治水対策の基本的な方向

治水対策には、以下の手法がある。本調査対象の Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川では河川の流下能力が基本高水の 1/10 程度であることから、各対策単体だけで対応するのは困難であり、適切な案を組み合わせる必要がある。

本節では、まず単体での対策を比較整理することで、適切な組み合わせについて検討することとした。

### ①用地買収不要案

- ・築堤案のみ
- ・河道掘削のみ

### ②現況河床維持案

- ・河道拡幅のみ

### ③通過流量減少案

- ・ため池の容量拡張のみ
- ・ダム of 放流操作改善

### ④放水路案

- ・開水路
- ・地下バイパストンネル

次ページ以降の表は各対策を適用した場合の結果を整理したものである。表から、築堤は、内水被害の助長を招く恐れがある事や築堤に伴う用地取得も多く、更には橋梁地点ではほぼ全ての架け替えと取付道路沿いの盛土による市街地での経済活動上も障害となるため、本マスタープランでは推奨できない結果となっている。

また、放水路も開水路タイプでは、用地買収に伴う市街地への影響が大きく、これも局所的な適用以外は推奨できない。

河道拡幅も単体での整備では拡幅幅が大きなものとなる。

以上から本マスタープランでは掘り込み河道として築堤せず、河道掘削と河道拡幅、ため池の容量拡張、ダムの放流操作改善、地下バイパストンネルの組み合わせにより対策することとした。

但し、地下バイパストンネルは費用が高いことから、後述するように Adyar 川にて他の対策でも処理しきれない流量分を対応させることとした。

これらの改修についてはカウンターパートが今後責任を持って進めていくことになる。

Table 2-2: 基本的な対策の方向の比較 (Adyar を例として比較) 1

	築堤のみ	河道掘削のみ	河道拡幅のみ	ため池の容量拡張のみ
コンセプト	流下能力不足分を築堤のみで対応する案	流下能力不足分を掘削のみで対応し、用地買収を減らす案	流下能力不足分を拡幅のみで対応し現河床高を維持する案	流下能力不足分をため池で貯留させ、流量低減を図る案
計画規模	・基準点にて堤内地盤高から約10m 水位が高く、余裕高も入れると11.5mの堤防高が必要(築堤用地幅は2割勾配、天端幅5mで片岸約50m必要)	・基準点にて10m程度の掘削が必要	・基準点にて400m程度の拡幅が必要	・基準点にて流域内の主要なため池を全て使い切っても3,200m <sup>3</sup> /s程度であり、現況流下能力(500m <sup>3</sup> /s)まで下げるとは困難【評価:×】
社会面の影響	・用地買収が両岸併せて100m必要であり、市街地化している下流部では用地交渉が困難 ・26の橋梁全て架け替えが必要な他、取付道路の嵩上げに伴う用地取得や周辺商業施設への影響も懸念 ・築堤に伴う排水不良による新たな内水氾濫が懸念【評価:×】	・26の橋梁全ての架け替えもしくは橋脚基礎の根継ぎが必要 ・渡河地下工作物への影響も危惧【評価:×】	・市街地化している下流部では400m相当の拡幅は困難 ・26の橋梁全て架け替え【評価:×】	・ほぼ100%ため池の容量を利用するため、事前放流で空にすることが困難【評価:×】
環境面の影響	・現河川環境概ね維持【評価:○】	・干潮区間が現在の7km地点から22km地点となり、塩水遡上による地下水への塩分流入が危惧、淡水環境を利用する動植物への影響が大きい【評価:×】	・複断面河道形状とすれば、現河川環境概ね維持【評価:○】	・一時的に水域がなくなることによる、ため池を利用している現動植物への影響が危惧【評価:△】
コスト	・盛土量:19百万m <sup>3</sup> ・用地面積:3.6百万m <sup>2</sup> ・別途、橋梁部での取り付けに関する費用が必要【評価:△】	・掘削土量:20百万m <sup>3</sup> ・橋梁の根継ぎ費用 ・河口の維持管理が現状以上に必要【評価:△】	・掘削土量:87百万m <sup>3</sup> ・用地面積:11百万m <sup>2</sup> ・別途、橋梁架け替え費用が必要【評価:△】	・掘削土量:0.32百万m <sup>3</sup> 【評価:○】
総合評価	堤防高が高く、用地買収面や内水の助長の恐れが危惧	河道の維持や塩水遡上を除けば、効果的な案	用地買収費用が膨大であり、この案単体では困難	ため池の容量拡張のみだけでは対応不能

Table 2-3: 基本的な対策の方向の比較 (Adyar を例として比較) 2

	ダムの放流操作改善	放水路	地下バイパストンネル
コンセプト	Chembarambakkam ダムなどを事前放流して、洪水カットを期待する案	市街地部上流から放水路で分派させ、下流での通過流量を減少させる案	地下に分派する放水路を造ることで下流での通過流量を減少させる案
計画の概要	・1/100 規模での計画放流量 820m <sup>3</sup> /s を WB で検討中	・3000m <sup>3</sup> /s クラスの放水路を設置するには200~400mの川幅で延長 15km 程度の規模が必要	日本及び他国の実績・計画では100~200m <sup>3</sup> /s 程度であり、本対策単体での対応は困難
社会面の影響	・洪水予測が外れて降雨量が少なかった場合には貯留量への影響が危惧【評価：△】	・Adyar 川では海岸沿いは市街地化しており、新たな放水路を整備するのは困難【評価：×】	・地中部を利用するため、家屋移転や用地買収は少なく済むため、事業実施が早い。【評価：○】
環境面の影響	・現河川環境は概ね維持【評価：○】	・海岸沿いなどの重要な個所を開削する影響が懸念【評価：×】	・現環境は改変しないことから影響は最小限【評価：○】
コスト	・コストは雨量計・水位計、予測システム費用程度【評価：○】	・掘削土量：87 百万 m <sup>3</sup> ・用地面積：11 百万 m <sup>2</sup> ・放水路渡河部での橋梁新設が必要【評価：×】	・200m <sup>3</sup> /s 規模とする場合 区間延長：12km ・コストは高い【評価：△】
総合評価	確実な操作が出来るならば効果的	用地買収費用が膨大な上、ルート選定も困難	他の対策案の補完的に用いることが妥当

出典：JICA Expert Team

## 2.5 河道整備パッケージ案

本節では、調査地域の河川における治水安全度向上を目的とした対策案について検討している。これらの対策は、河道整備、タンクの貯留能力向上、地下バイパストネルの建設に重点を置いた構造物および非構造物から構成される。以降ではこれらの対策と、それらが地域の洪水管理に及ぼすと想定される影響について記述している。

### 2.5.1 河道整備パッケージ案

治水安全度向上として、調査地域の3つの主要河川(Adyar川、Cooum川、Kosasthalaiyar川)、および2つの支川(Chembarambakkam Damの支川とRedhill川)に対して、河道の掘削や拡幅などの構造物対策を提案している。これらの対策の主目的は、河道の流下能力向上である。尚、河道の改修と併せ、タンクの貯留機能向上による流量低減で大雨時の氾濫リスク軽減も計画している(2.6参照)。

#### 2.5.1.1. 設計高水位(HWL)と堤防高さの設定

計画高水位とは計画高水流量が河川改修後の河道断面を流下するときの水位で、堤防や護岸などの設計の基本条件となる他、河川管理上は橋梁などの高さはこの水位を考慮して決定される。

この計画高水位は、堤防を設置すると破堤時には破堤箇所から集中して氾濫していくために破堤箇所付近での氾濫リスクが大きくなることや流域からの水が河川へ流入しづらくなって内水被害が発生し易くなることから、通常は地盤高程度として設定される。チェンナイにおいても現状は堤防が無い掘り込み河道となっていることから、本プロジェクトにおいて同様に地盤高程度で設定した。

#### 2.5.1.2. HWLの設定方法

具体の計画高水位の設定は以下の点に配慮して設定した。

- ・計画高水位：河口部(0k)ではベンガル湾の朔望平均満潮位 DL+0.5m とし、縦断的に現況河岸高を下回る位置に暫定的に設定する。この暫定値結果を踏まえ、ベンガル湾での計画高潮位 DL+1.9m 及び後述する河道計画での断面設定結果を踏まえ、不等流計算により最終的な計画高水位を設定する。

※気候変動による海面上昇は、過去から現在の経年変化で場所により低下している箇所もある事や2050年までの予測は0.17m~0.25mと小さいことから、本検討では考慮せず)。

- ・計画高水位勾配：現況河床高と同様の勾配を基本
- ・計画高水位の勾配変化点：地形勾配やチェックダムの利用状況に応じて設定

### 2.5.1.3. 計画堤防高の設定の考え方

インドの国内基準 (CWC Guideline) では計画堤防高は計画高水流量を流下させる水位から 1.5m 余裕高を考慮することが記載されている。

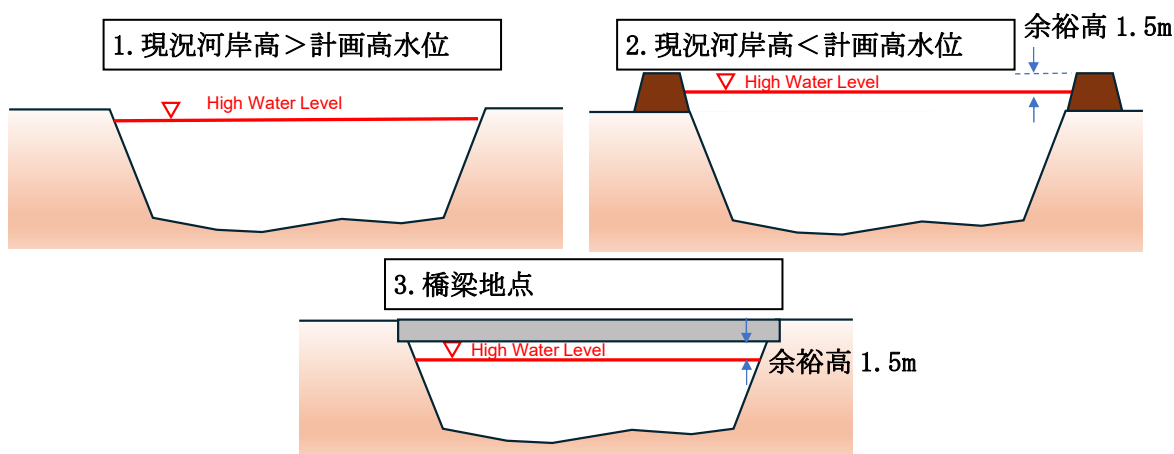
日本においても余裕高は設定されているが、計画高水位が河岸高程度の掘り込み河道の場合は、余裕高見合いの築堤により内水被害が助長される恐れがあるため、必ずしも設置しなくともよいこととなっている。

チェンナイでは、河岸沿いが道路利用されており、これに合わせて多くの橋梁が現況河岸高見合いで掛けられている。計画高水位を現況河岸高程度で設定する場合、余裕高を設定すると余裕高見合いでの築堤が必要となり、内水被害が助長される恐れがある上に道路全体の嵩上げとこれに合わせた橋梁改築と取付道路の整備といった問題が発生する。このため、計画堤防高は掘り込み河道となる区間では余裕高を考慮しないこととする。

尚、具体の計画堤防高の設定は以下の点に配慮して設定した。

1. 現況河岸高 > 計画高水位の区間：余裕高見合いの築堤は実施せず
2. 現況河岸高 < 計画高水位の区間：計画余裕堤防高は余裕高を加えた高さで設定
3. 橋梁の桁配置を勘案し、計画高水位に高 (Freeboard) を加えた計画堤防高を設定

※余裕高は、インドの国内基準 (CWC Guideline) に基づき 1.5m で設定



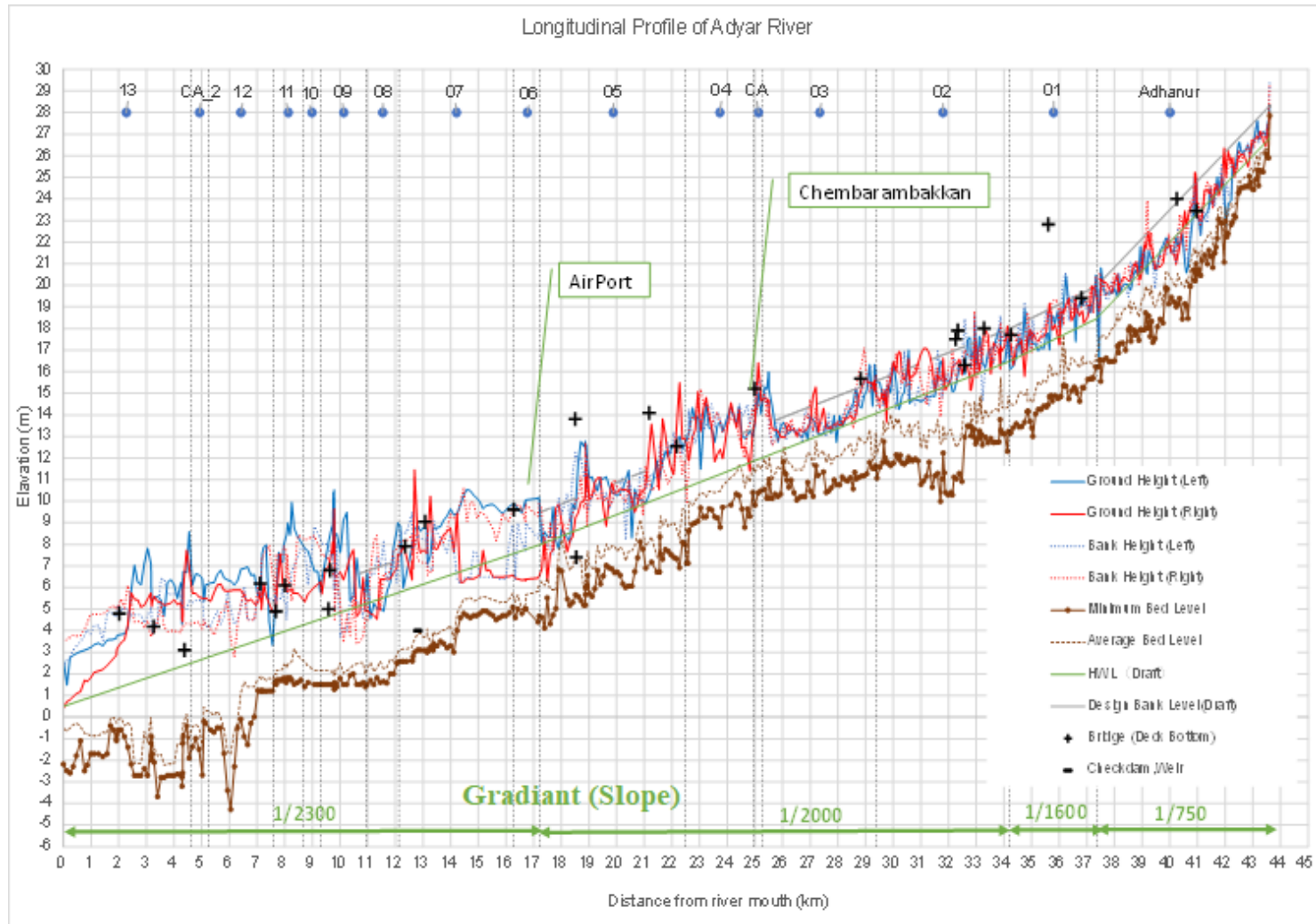
出典: JICA Expert Team

Figure 2-9: 計画高水位・計画堤防高設定の概念図

### 2.5.2 計画高水位・計画堤防高の暫定設定結果

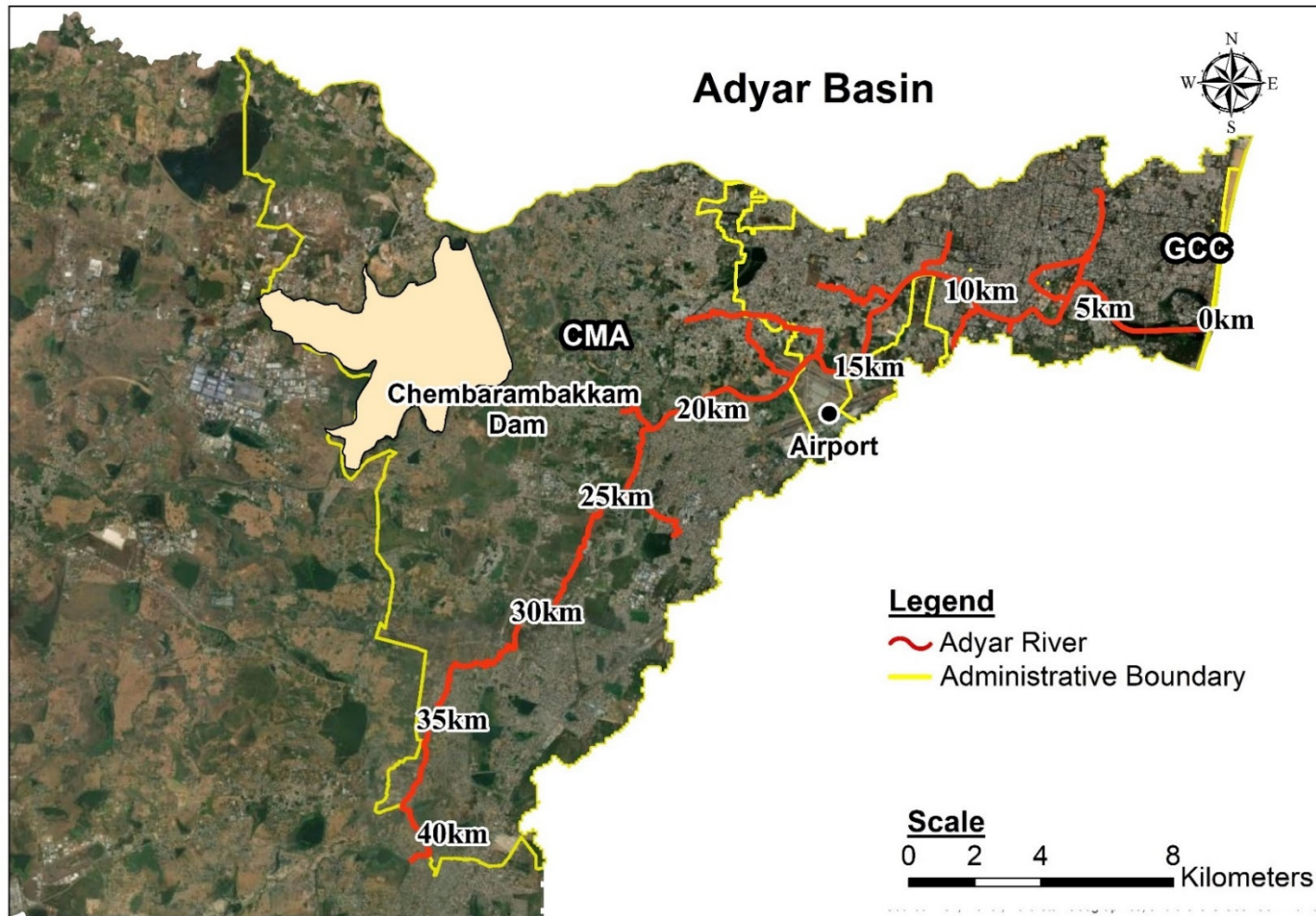
以下は、Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川における計画高水位の暫定設定結果である。河道計画では、この HWL を基に等流計算により掘削高や拡幅幅の概略検討を行って

いるが、河口付近は潮位を考慮する必要がある。この為、潮位の影響する下流区間では不等流計算により計画高水流下時の水位を確認しつつ最終的な計画高水位（及び掘削高）設定を行っている。最終の計画縦断図は Figure 2-19～Figure 2-22 に記載している。



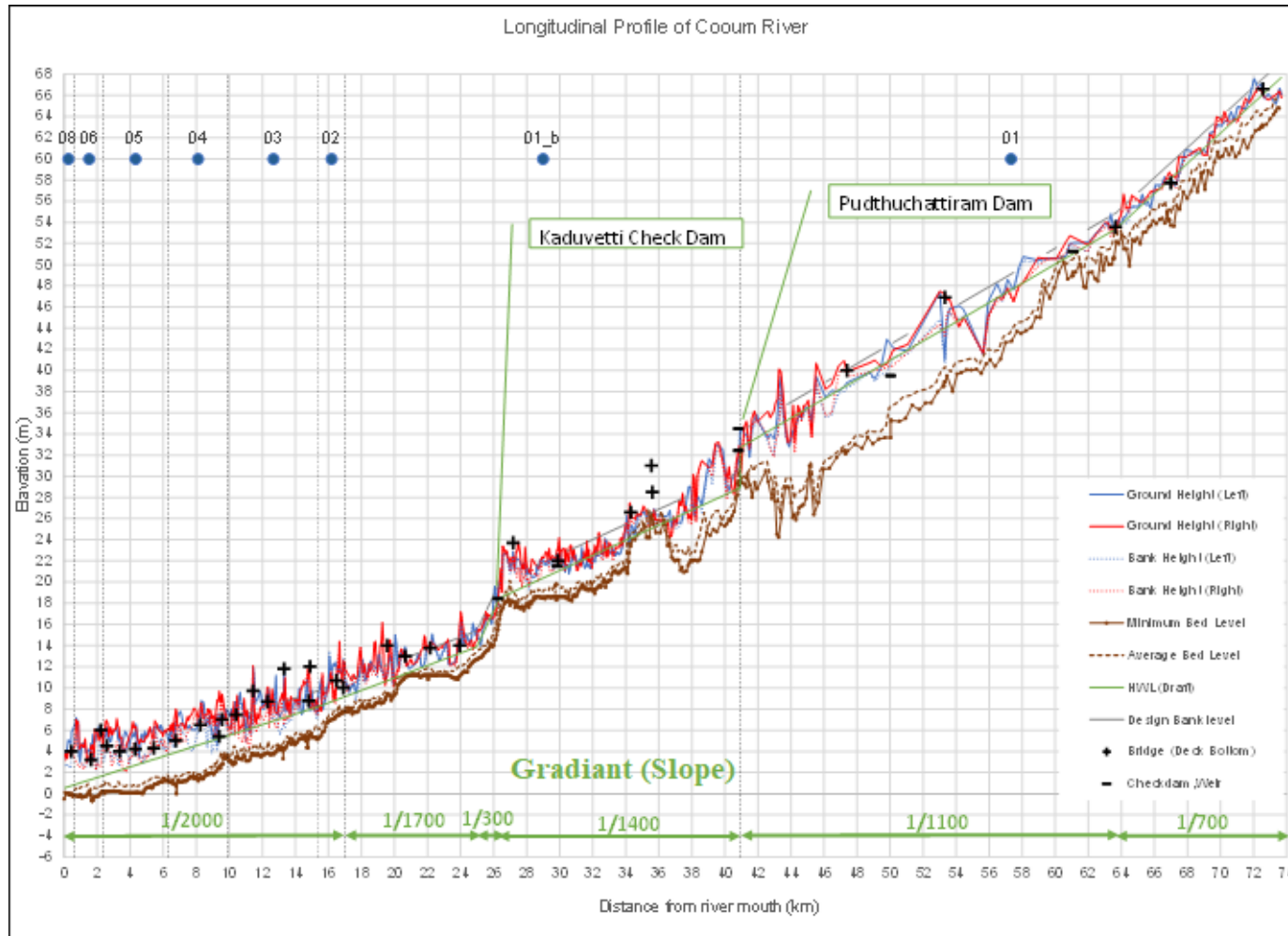
出典: JICA Expert Team

Figure 2-10: Adyar 川 計画高水位暫定設定縦断面図



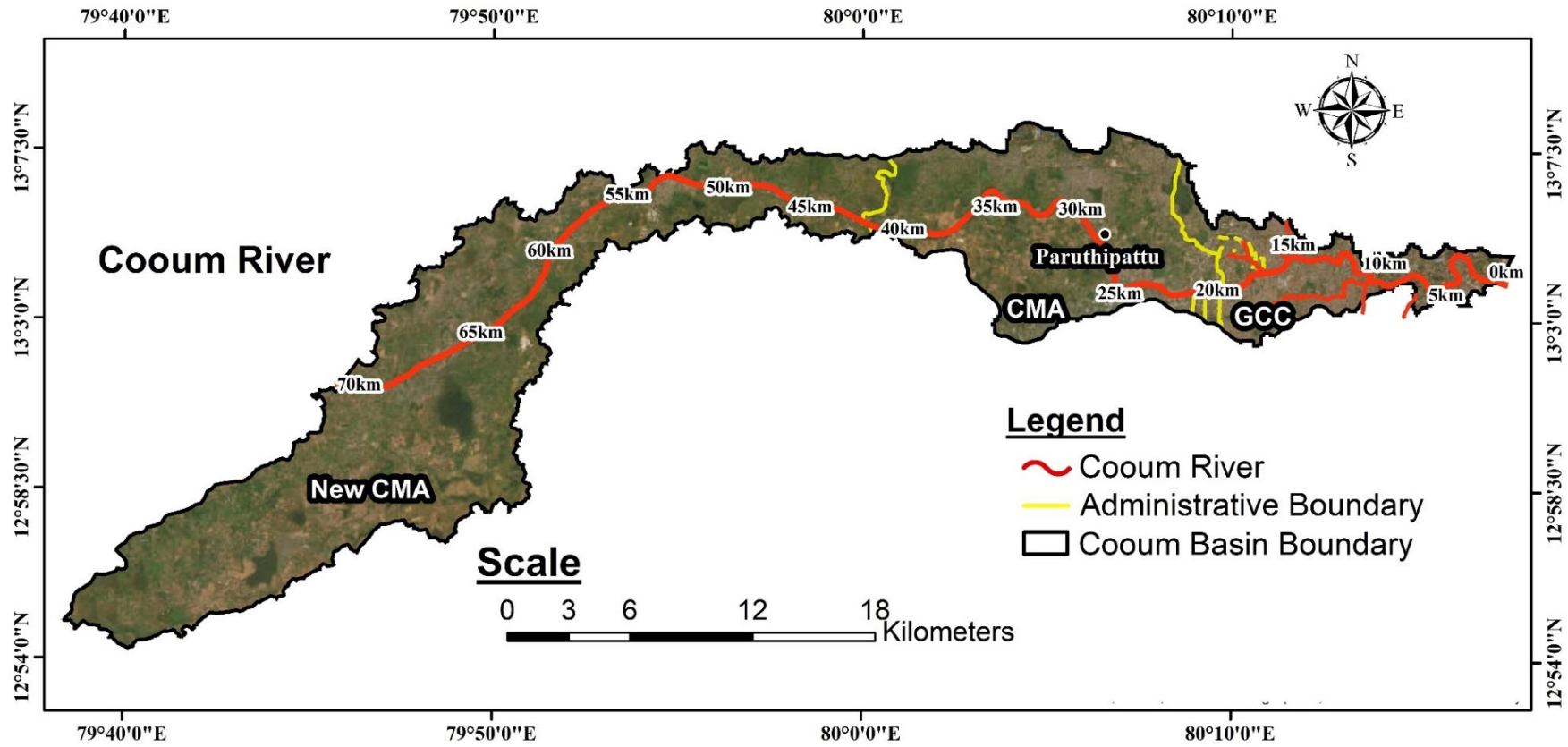
出典: JICA Expert Team

Figure 2-11: Adyar 川 平面図



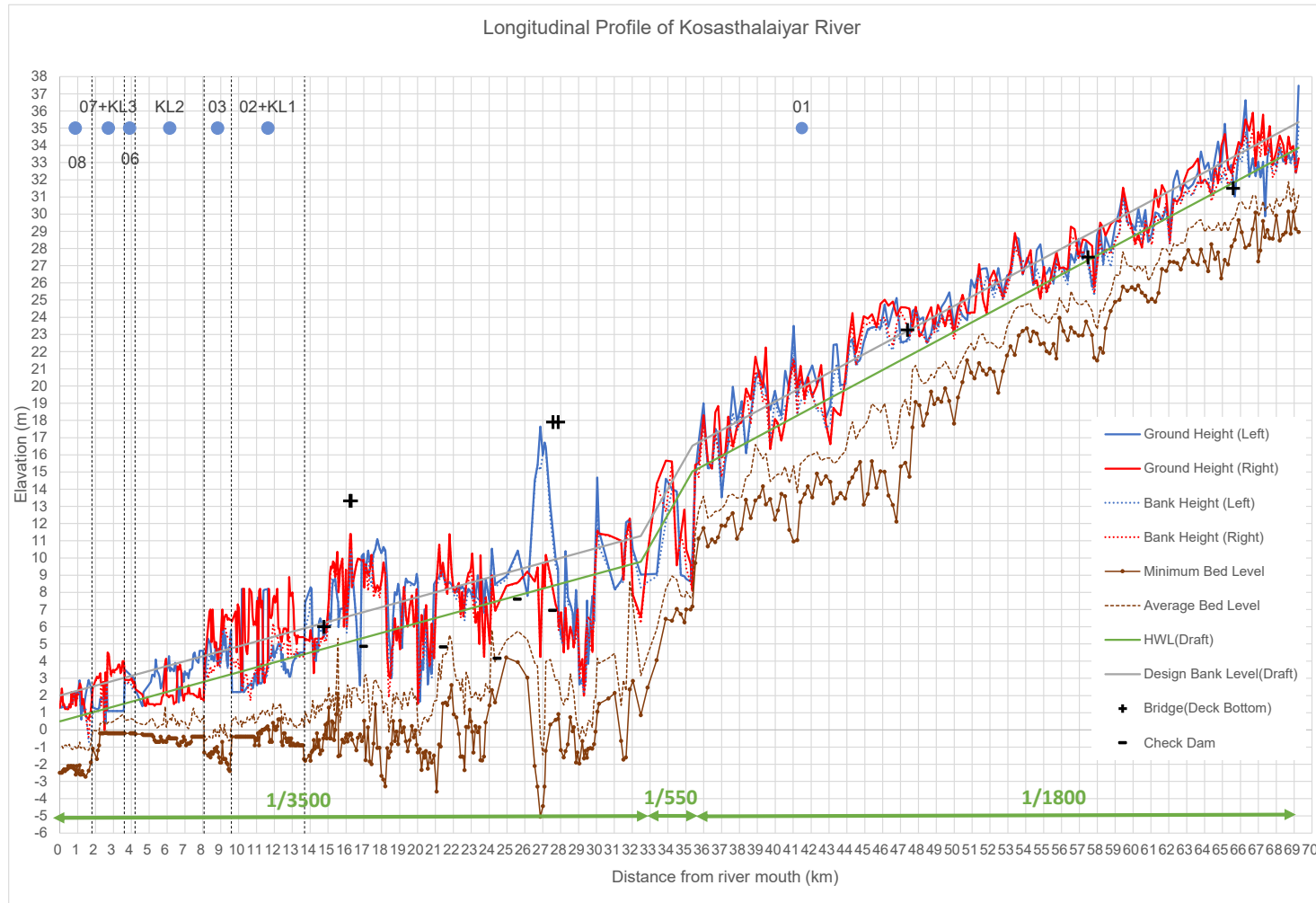
出典: JICA Expert Team

Figure 2-12: Cooum 川 計画高水位暫定設定縦断面図



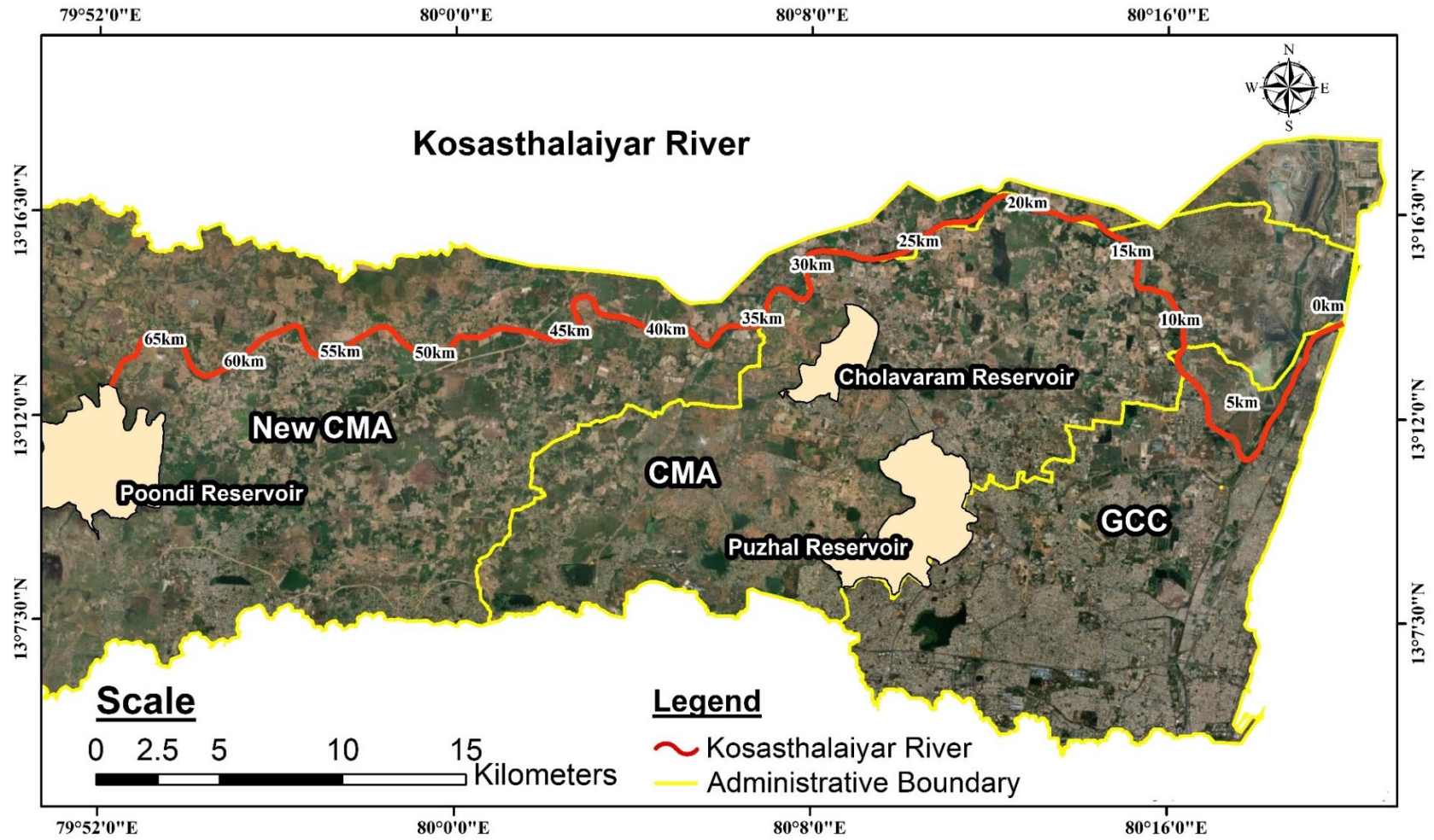
出典: JICA Expert Team

Figure 2-13: Cooum川 平面図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-14: Kosasthalaiyar 川 計画高水位暫定設定縦断面図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-15: Kosasthalaiyar 川 平面図

### 2.5.3 計画河道の設定

#### 2.5.3.1. 河道拡幅の検討上の課題

前述の通り、JICA 治水マスタープランは、築堤は極力回避し、設計高水位（HWL）を既存の地盤高さに設定している。また、河道整備では拡幅が必要であるが、以下の仮定のもとで検討している。

チェンナイの現在の川幅は、洪水対応としては狭く、第3次 CMA 都市開発マスタープランでは、15～30m の河川緩衝地帯が提案されており、タミル・ナードゥ州水資源局（TNWRD）もこの提案に同意している。

JICA の洪水対策マスタープランは、HWL を堤内地盤高以上としない代わりに河道拡幅することとし、左岸と右岸の両方で 25 メートルの拡幅を提案し、多くの地域で合計 50 メートルの拡幅が必要となる。さらに、25m の拡幅に加え、片側 5m のサービス道路も検討されている。しかし、拡幅はすべての河川区間で一律に適用されているわけではない。各河川区間で必要な拡幅に関する詳細な提案は、以降で記述している。

チェンナイの河道拡幅は、既存の都市化と社会経済力学を考慮すると、困難な課題であることを認識することが重要である。Table 2-4 に示すように、人口密度の高い地域、既存の集落、河岸沿いのインフラにより移転などで時間を要するプロセスが必要となっている。このため、マスタープランでは、実施の第一段階では河道掘削などの拡幅以外の対策を優先し、河道拡幅は主に第二段階とし、市民との十分な協議と社会経済的影響を最小限に抑える提案を行った上で、第3次 CMA 都市開発マスタープランの実施中に実施することを提案している。この段階的アプローチにより、社会経済的影響を慎重に検討し、効果的な緩和戦略を策定するための十分な時間を確保している。

Table 2-4: 拡幅に伴い影響を受ける住居、商業施設

Adyar River			Cooum River		
section	Widening width		section	Widening width	
0.0 - 20.06	50	Residential building 5000-6000 Commercial building 3000-4000	0.00 - 9.83	50	Residential building 1200-1500 Commercial building 500-800
20.06 - 24.31	50	Residential building 800-1000 Commercial building 600-800 Part of the area is adjacent to military land.	9.83 - 18.84	50	Residential building 3500-4500 Commercial building 1500-2000
24.31 - 28.44	50	Residential building 500-600 Commercial building 300-400	18.84 - 25.42	25	Residential building 700-850 Commercial building 300-400
28.44 - 33.54	50	Residential building 400-500 Commercial building 200-300	25.42 - 79.02	none	Residential Building 0 Commercial Building 0
33.54 - 36.72	25	Residential building 200-300 Commercial building 100-150	Kosasthalaiyar River		
36.72 - 39.80	25	Residential buildings 120- 160 Commercial building 40-80	section	Widening width	
39.80 - 42.60	none	Residential Building 0 Commercial Building 0	0.00 - 4.24	25	Residential building 200-250 Commercial building 30-50
<u>Chembarambakkam Surplus (River)</u>	none	Residential Building 0 Commercial Building 0	4.24 - 13.66	50	Residential building 300-400 Commercial building 200-300
			13.66 - 32.86	50	Residential building 200-300 Commercial building 100-150
			32.86- 72.00	none	Residential Building 0 Commercial Building 0
			Redhills Surplus (River)	none	Residential Building 0 Commercial Building 0

出典: JICA Expert Team

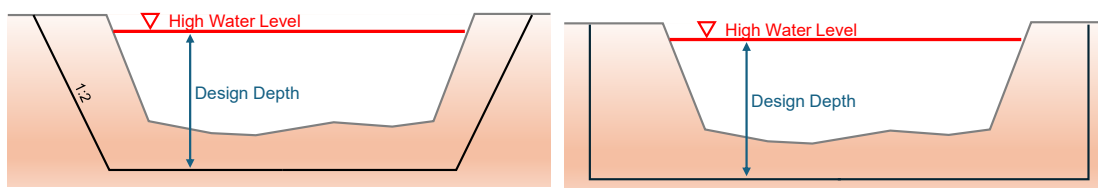
### 2.5.3.2. 河道掘削の検討上の課題

河道の掘削については、カウンターパート (C/P)、特に TNWRD との協議では、地下水位に悪影響を与えたり、海水の浸入や潮汐の影響 などの問題を悪化させたりしない限り、掘削深度に大きな技術的制限はないことが確認されている。さらに、掘削土の管理についても慎重な配慮がなされ、Tamil Nadu 州内の他のプロジェクトで効率的に活用される予定である。

尚、現在 HWL をクリアできない橋は、将来的に改築されることを前提とした。以降で提案する掘削後の計画水深は、HWL と掘削後の河床高との差として計算される。

### 2.5.3.3. 計画横断形状

Figure 2-16 は計画上の標準横断図であり、法面は 1 : 2 (勾配 20%) で設定している。しかし、現在の河川幅が狭く、この法勾配では流下能力を確保できない区間で家屋密集地区の様な制約のある場所では、設計は垂直堤防を実施することで流下能力を最大化し、流下能力を向上させる。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-16: 将来計画河道断面イメージ図

#### 2.5.4 河道整備における計画水深と拡幅幅

Figure 2-17 は、代表事例として Adyar 川の計画高水流量（素案）と改修後断面の流下能力を比較したものであり、図中の橙色のラインが計画高水流量（素案）である。計算は等流計算による。図中、黒線の流下能力が橙色のラインを上回る場合に計画高水流量（素案）を計画高水位以下で流せることを示している。図中の赤丸は現況河道の平均川幅から拡幅無し・掘削のみ、青丸は拡幅 50m・掘削で対処可能な場合を示している。またピンク丸は今回の断面設定の範囲では計画高水流量（素案）を流下できない区間を示している。

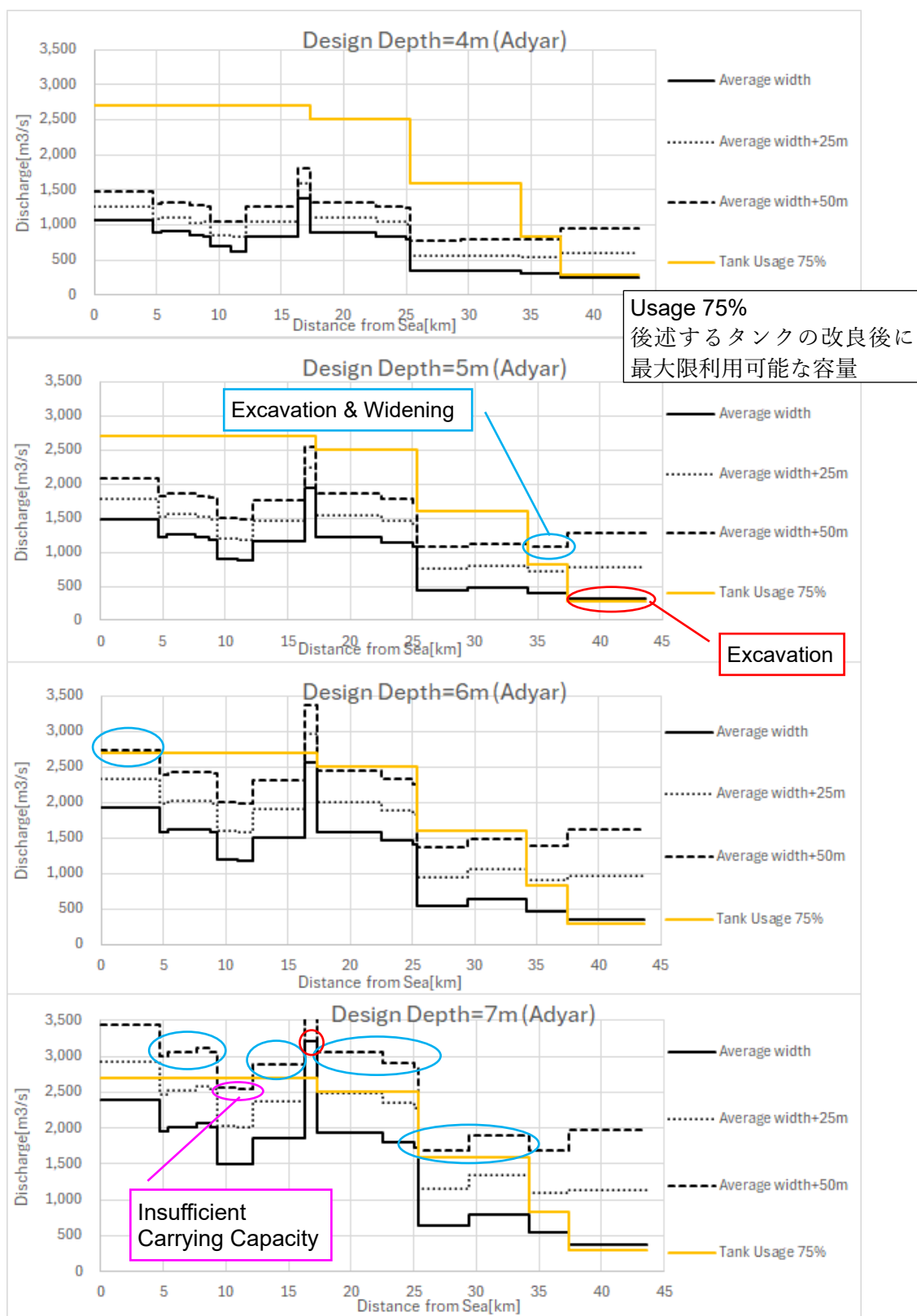
この結果より、Adyar 川では、降雨確率 100 年の計画規模では全川で計画水深 7m、現況平均川幅から 50m の拡幅が必要となる。Chennai 空港アンダーパス部は現況川幅が広いいため拡幅は不要であるが計画水深 7m の掘削が必要となる。また最上流の Adyar 川では計画水深 5m の掘削が必要となる。これらの条件を基に計画河床高縦断図を Figure 2.45 に整理した。

また、Chennai 空港下流の 19.34k~12.08k 区間では、計画水深 7m・拡幅 50m としても計画高水流量（素案）の 2700m<sup>3</sup>/s を確保できない結果となった。当該区間は直壁断面として最大限流下能力を確保しても流下能力が不足するため、更なる拡幅案と比較した結果、Chennai 空港アンダーパス部上流部からベンガル湾への地下バイパストネル（流量規模 200m<sup>3</sup>/s）を整備することとした（2.7 参照）。

Table 2-5: Adyar 川 計画縦断諸元表

Distance From Sea (km)	Design Depth (m)	Average River Width (m)	Widening (m)	
0.00 ~ 4.54	7.0	146.73	50	
4.66 ~ 5.14		125.37		
5.32 ~ 7.56		127.95		
7.64 ~ 8.58		109.53		
8.72 ~ 9.29		107.23		
9.34 ~ 10.91		91.21		
10.98 ~ 12.08		82.24		
12.17 ~ 16.24		120.60		
16.34 ~ 17.19		185.26		0
17.29 ~ 22.46		118.18		50
22.53 ~ 24.92	111.87			
25.00 ~ 25.22	59.46			
25.35 ~ 29.37	56.54			
29.41 ~ 34.17	45.65			
34.23 ~ 37.33	5.0	48.30	0	
37.44 ~ 43.61		34.12		

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-17: Adyar 川 計画高水流量 (素案) と改修後流下能力の比較

Cooum 川や Kosasthalaiyar 川も同様の検討を行っており、その検討結果は以下の通りである。尚、これらの河川では一部で計画上の河床高が高くなっているが、流下能力評価上の設定であり、埋め戻すことはない。

Table 2-6: Cooum 川 計画縦断諸元表

Distance From Sea (km)	Design Depth (m)	Average River Width (m)	Widening (m)
0.00 ~ 0.48	4.0	174.11	0
0.66 ~ 2.34	6.0	89.42	
2.41 ~ 6.23	7.0	68.94	50
6.32 ~ 9.87		70.62	
9.99 ~ 15.33		69.14	
15.39 ~ 16.96	6.0	81.47	
17.02 ~ 18.90	5.0	94.48	
18.96 ~ 24.98		92.33	
25.04 ~ 26.37	4.0	96.42	0
26.43 ~ 34.24		87.75	50
34.30 ~ 40.93	-	202.67	-
40.96 ~ 43.54		209.97	
43.79 ~ 63.67		204.05	
63.83 ~ 73.68		105.89	

出典: JICA Expert Team

Table 2-7: Kosasthalaiyar 川 計画縦断諸元表

Distance From Sea (km)	Design Depth (m)	Average River Width (m)	Widening (m)
0.00 ~ 1.74	3.0	589.99	0
1.85 ~ 3.58	4.0	505.56	0
3.63 ~ 4.18	5.0	221.13	50
4.24 ~ 8.05	7.0	110.62	130
8.08 ~ 9.57		115.88	50
9.63 ~ 13.66	5.0	289.62	0
13.72 ~ 31.65	-	277.07	-
31.87 ~ 32.48		563.21	
32.86 ~ 35.37		294.74	
35.52 ~ 69.26		274.81	

出典: JICA Expert Team

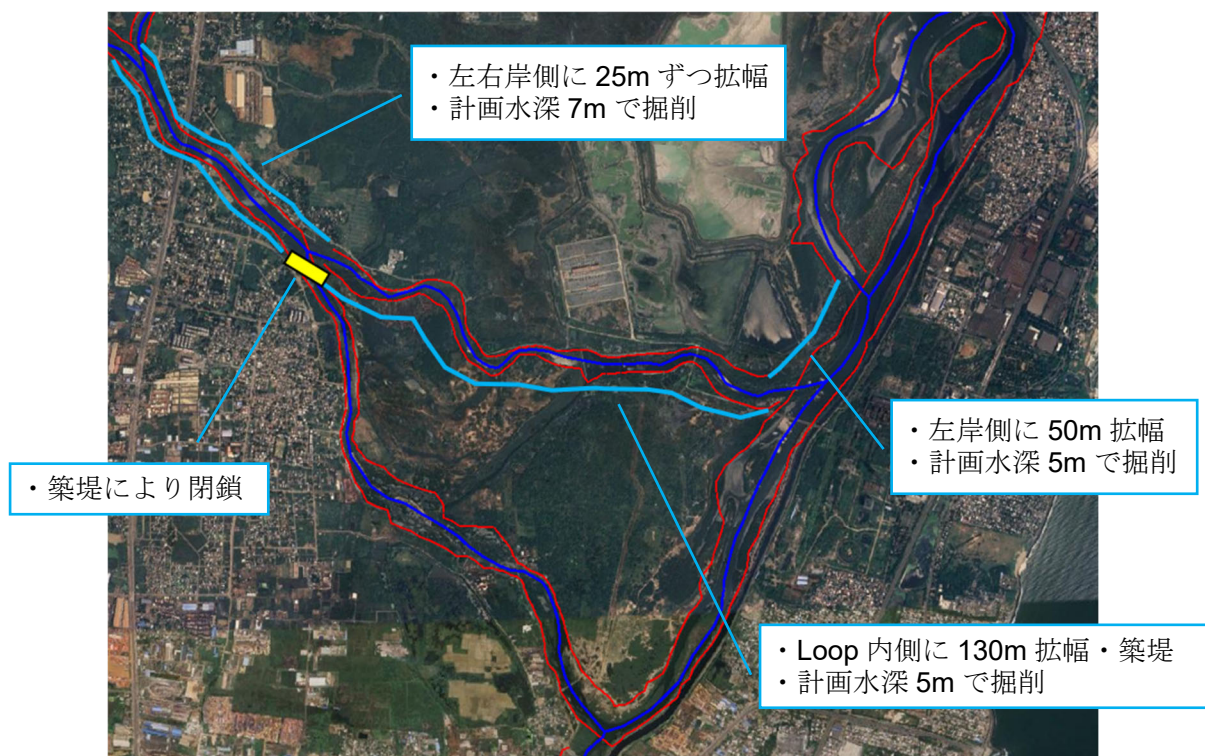
#### 2.5.4.1. Kosasthalaiyar 川と Redhill 川における考慮事項

Kosasthalaiyar 川では、流路が3箇所に分岐しており、2つ目のLoop区間(4.24k~8.05k)の右側の流路ではバックウォーターの影響で Redhill 川を含む Kosasthalaiyar 川下流域の浸水が助長されていることから、Figure 2-18 の通り改修する計画とする。

- 流路延長の短い左側流路を Kosasthalaiyar 川とし、右側流路は上流の分派地点を築堤

により閉鎖。これにより Redhill 川の合流点を下流側に移動させ、Kosasthalaiyar 川からのバックウォーターの水位を低下させて浸水を軽減。

- 左岸流路の流路での河道改修は、Loop 内が未利用地であることから、拡幅することで計画水深を下流区間と同等の 5m に設定。

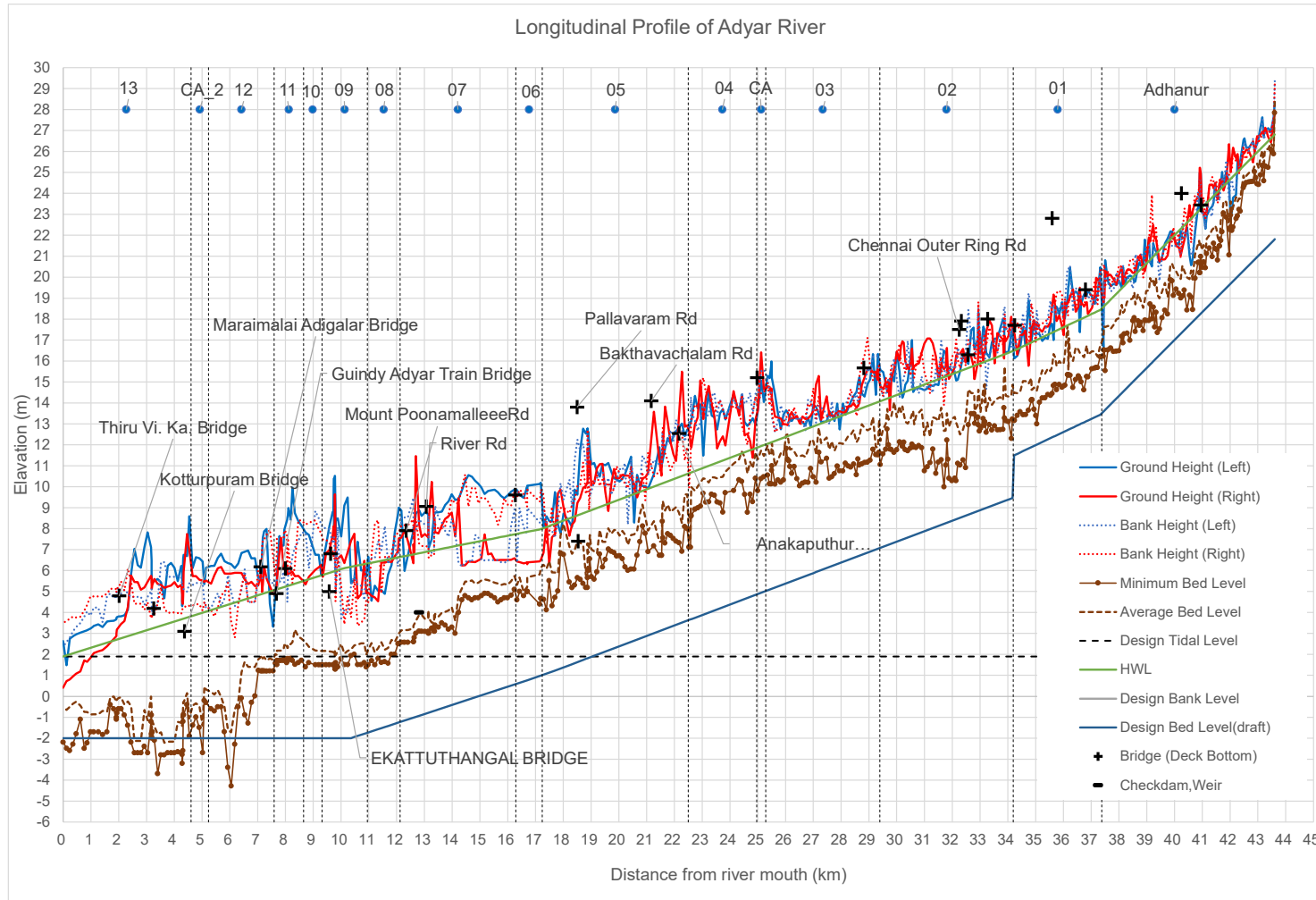


出典: JICA Expert Team

Figure 2-18: Kosasthalaiyar 川 Loop2 区間周辺改修平面図

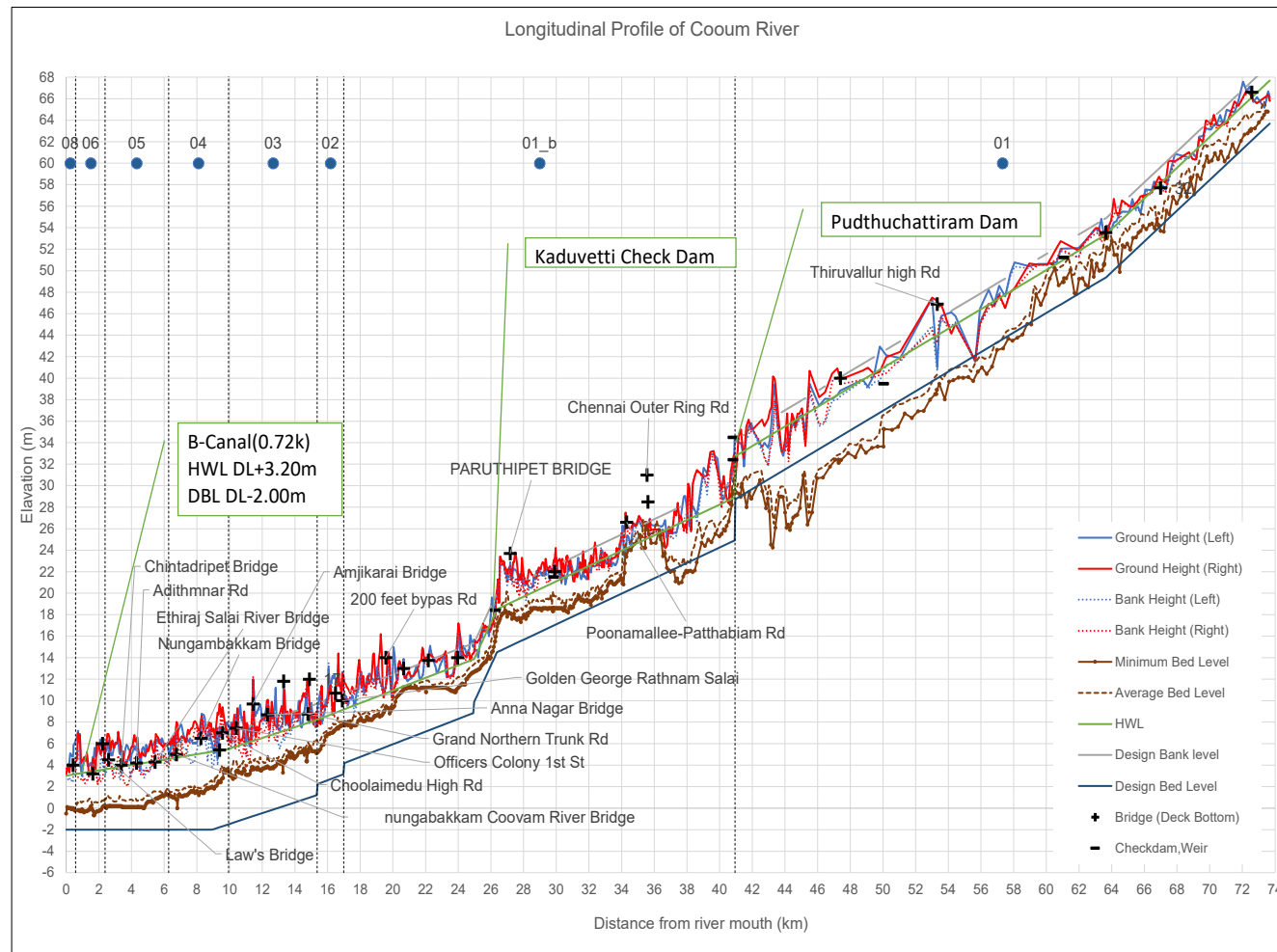
#### 2.5.5 縦断計画設定結果

Figure 2-19～Figure 2-22 は、Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川における設定結果である。2.5.2 で示した暫定の計画高水位及び等流計算で算出した断面から計画高潮位 1.9m を出発水位とした不等流計算を実施し、計画高水流下時の水位を基に最終的な計画高水位及び掘削高を設定した。



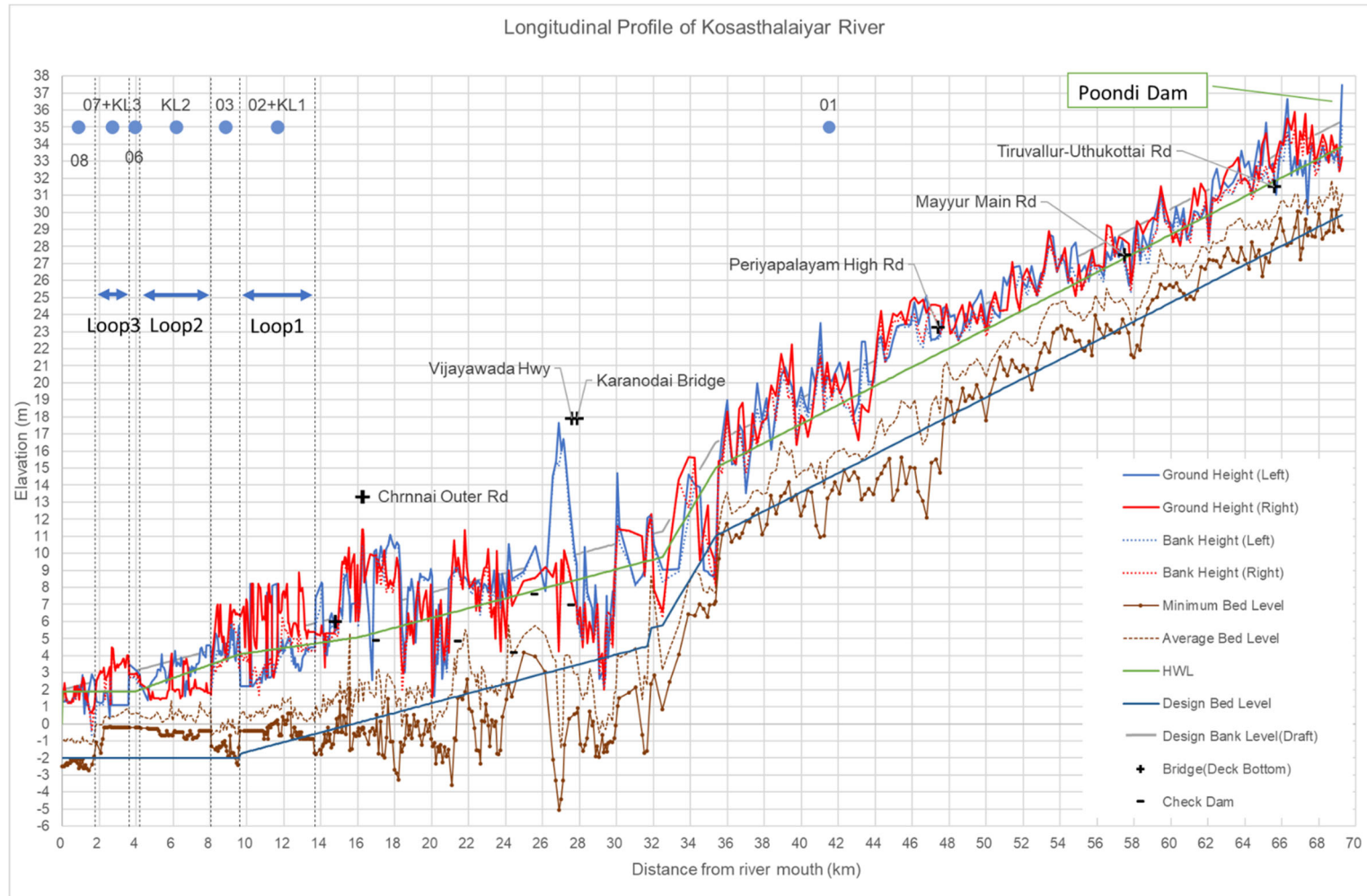
出典: JICA Expert Team

Figure 2-19 Adyar 川: 計画縦断図



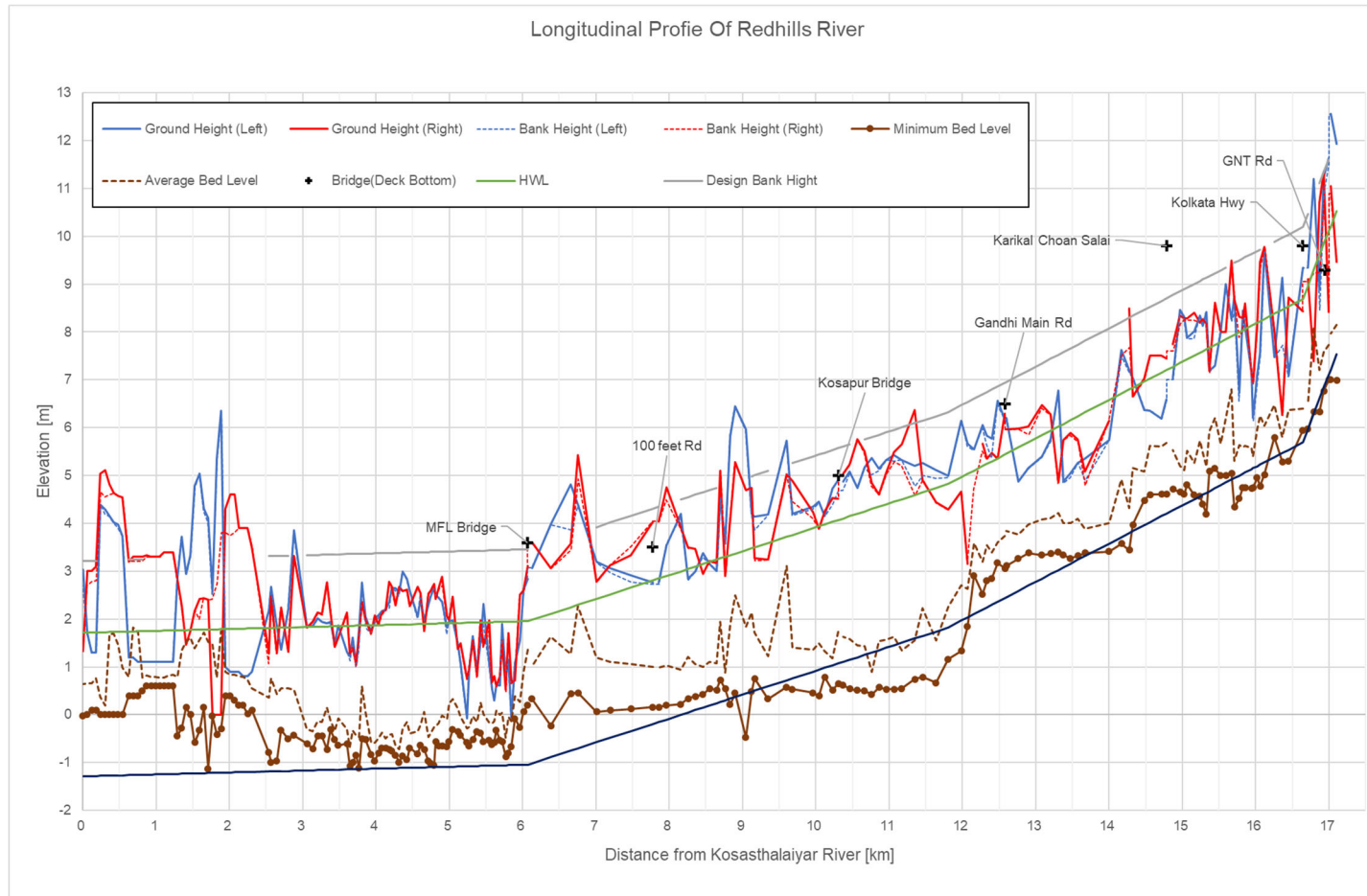
出典: JICA Expert Team

Figure 2-20: Cooum 川 計画縦断面図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-21: Kosasthalaiyar 川 計画縦断面図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-22: Redhill 川 計画縦断面図

## 2.6 洪水貯留パッケージ (Tanks)

### 2.6.1 背景と基本方針

洪水貯留機能の向上は 最小限の土地取得で済む TNWRD の管轄下にあるタンクを対象とした。今後、カウンターパート機関 (C/P) との調整と協議を踏まえつつ進めることが必要であるが、このアプローチは TNWRD によって相互に合意されており、提案の整合性とサポートが確保されている。

この調査では、タミル ナドゥ州水資源局 (TNWRD) から既存の貯水池と水域に関する情報を収集しており、Table 2-8 は、各河川流域のタンクの状況の概要である。

Table 2-8 Tanks and Waterbodies Areas

Basin	Basin Area (km <sup>2</sup> )	Existing Tank Area (km <sup>2</sup> )	Major Dam Area (km <sup>2</sup> )	% of Basin Area Covered by Tanks	% Including Dam Areas
Adyar	854	62.6	22.7 (CBM Dam)	7.33%	9.99%
Cooum	435	42.75	N/A	9.83%	N/A
Kosasthalaiyar (in TN)	3031	206.9	55.4 (Three Dams)	6.83%	8.65%
Kovalam (North Part)	293	16.7	~7.0 (Pallikaranai Marshland)	5.67%	8.07%

出典: JICA Expert Team using information from TNWRD

洪水貯留のために選定された貯水池を利用する方針が相手方機関と合意され、JICA 洪水制御マスタープランにも組み込むこととした。選定されたタンクについては、2011 年の地形図と比較した状態に基づいて分析され、貯留量やタンクの面積拡張を評価している。

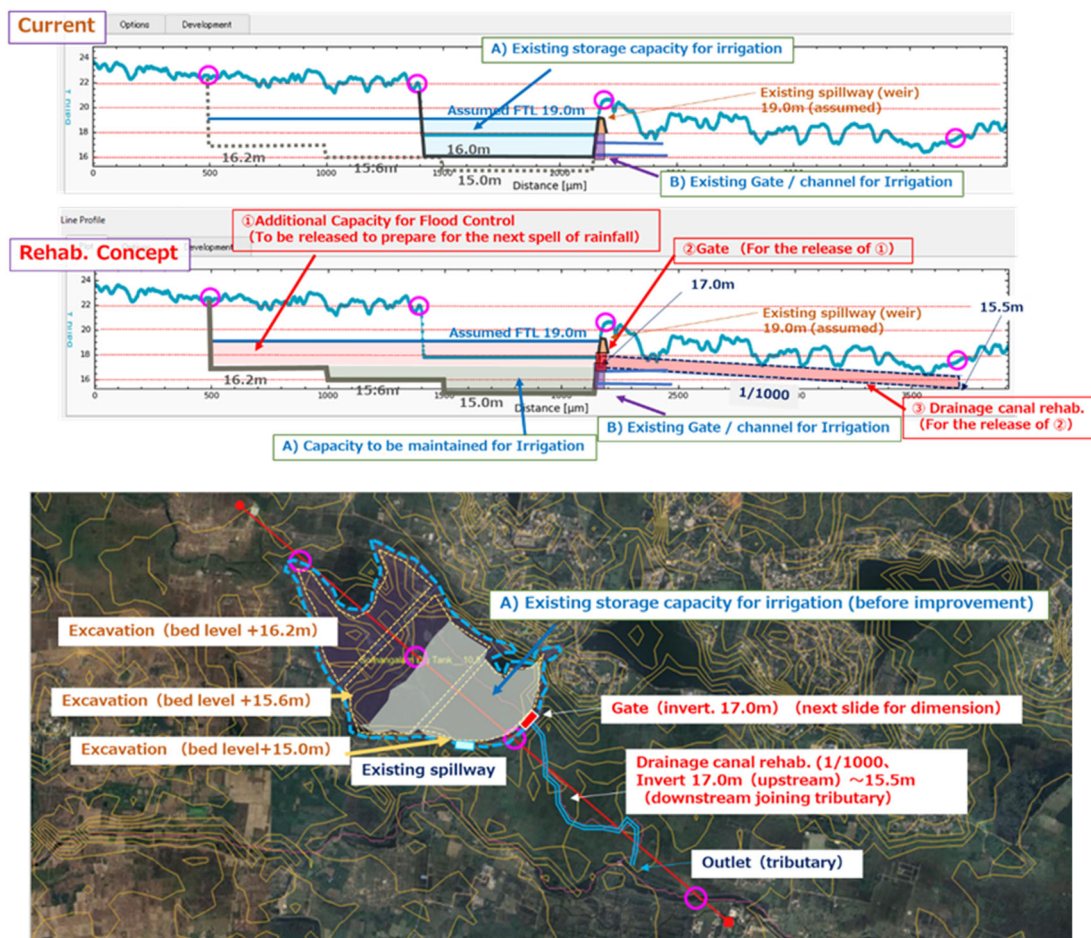
本調査では、接続排水網を確認して未接続の水路を特定し、貯水池とその相互接続の一覧を作成している。この分析は、TNWRD データや衛星画像などの他のソースに基づいている。選定されたタンクについては、今後水中測量により現貯貯留容量を把握していく必要がある。

### 2.6.2 タンク改良の基本的な考え方

既存のタンクの容量を増やすには、浚渫や掘削 (ゲート付きタンクの土台レベルまで)、拡張のためのエリアの活用 (利用可能な場合)、護岸を使用した補強による周囲の堤防の高さの引き上げなど、複数の対策が必要である。

既存のタンクの改修については、Adyar 川流域の Somangalam Tank で実施されている。現在のタンク貯留量は約 1.23 MCM であり、上流部は堆積している。Figure 2-23 は、このタ

ンクの提案された改善を示したものである。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-23: 既存タンクの改良コンセプト (Somangalam Big Tank の例)

【貯留量改善の考え方】

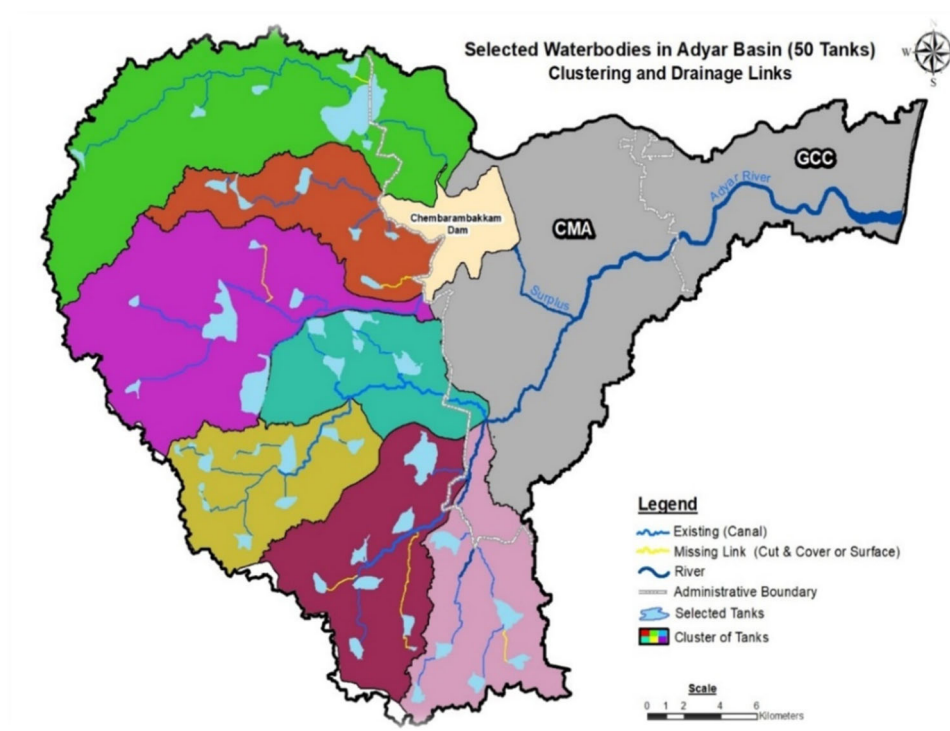
- ・改良方法: タンク内の掘削高は、既存の水路および取水構造との互換性確保のため、ゲートの敷居レベルと一致するよう、浅い上流域を均一に 3~4メートルの深さまで掘削
- ・貯水池の拡張結果: 洪水貯水容量が約 2.51 MCM 増加し、修正された 1.10 km<sup>2</sup> の面積で平均深度が 3.4メートルとなる。実現可能であれば、利用可能なタンク周辺への拡張により、貯水容量をさらに増加させる。
- ・運用強化: 2つの排水ゲート (1.2 m x 1.2 m) が含まれ、7日間で 2.1 MCM の水 (+19.0 m から +17.2 m) を事前排水して、洪水を効果的に管理。さらに、Adyar 川の支川につながる水路は、幅 5メートル、深さ 2メートルに改修し、10m<sup>3</sup>/s の流量に対応できるように設定。モンスーンシーズン前にはタンクを空にし、降雨後には洪水調節能力を維持するために水位を管理。

### 2.6.3 洪水貯留用に選定されたタンクと水域

次節では調査対象の 4 つの流域における洪水貯留用に選定されたタンクの概要である。

#### 2.6.3.1. Adyar 川流域

Adyar 川流域では、平均水深 3.4 メートルで 47.4 km<sup>2</sup> の面積にわたって既存の貯水容量の 75% を改善した後、合計 88 MCM の洪水貯留容量を提供するため、50 の水域が選定されている。これらの 50 のタンクの現在の合計容量は約 59 MCM で、総面積は約 43.1 km<sup>2</sup> ある。Figure 2-24 は、選択された 50 個のタンクの位置を水路網の接続状況に基づき 8 つのクラスターにグループ化して示している。

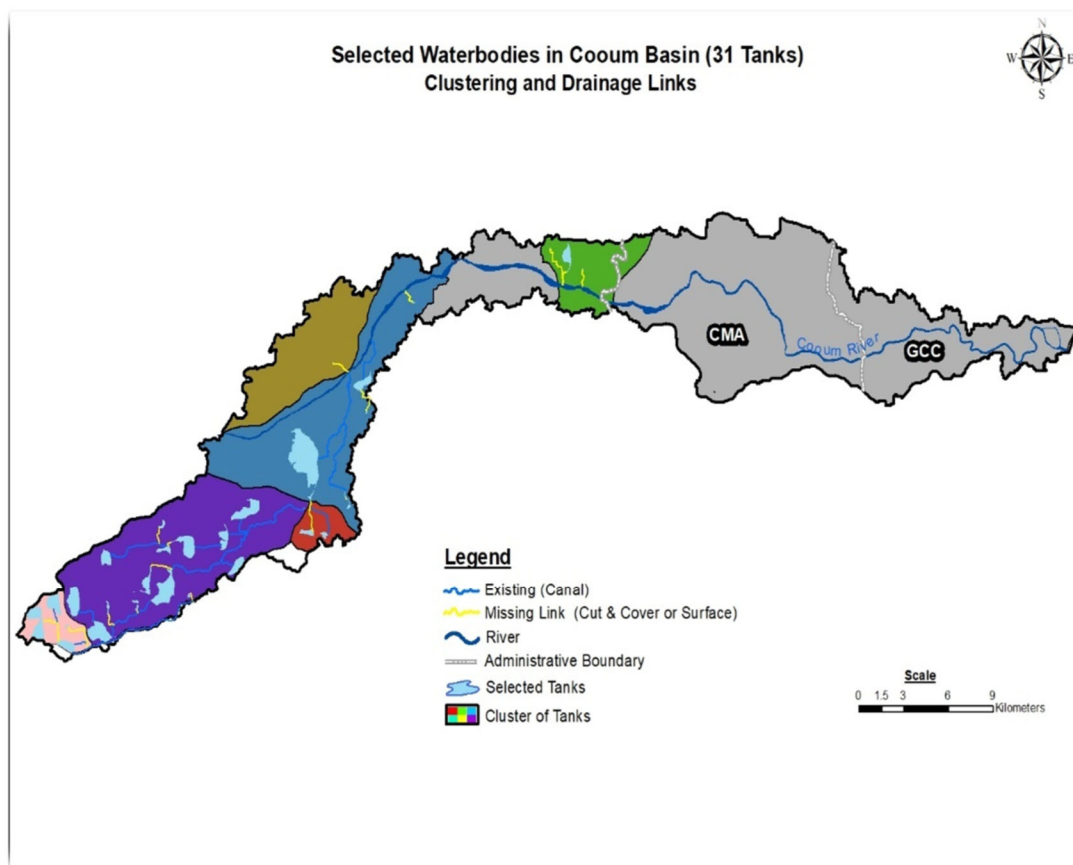


出典: JICA Expert Team

Figure 2-24: Adyar 川における既存タンク位置図 (50 タンク)

#### 2.6.3.2. Cooum 川

Cooum 川における主要 31 タンクの既存容量の合計は約 22.9MCM、総面積は約 19.0 km<sup>2</sup> である。これら 31 タンクの改良 (平均水深 3.2m) によって 38MCM (3800 万 m<sup>3</sup>) の貯水容量の増加となり、この増加分が洪水調節容量となる。

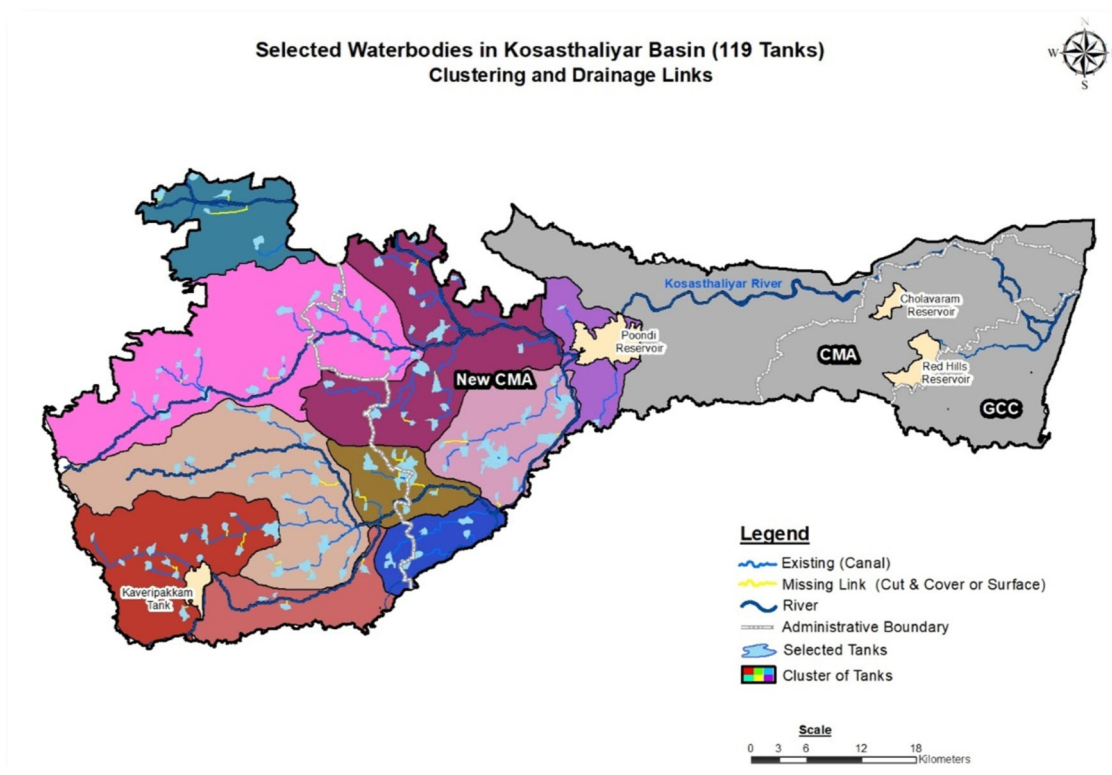


出典: JICA Expert Team

Figure 2-25: Cooum 川における既存タンク位置図 (31 タンク)

### 2.6.3.3. Kosasthalaiyar 川

Kosasthalaiyar 川における 112 タンクの既存容量の合計は 115.2MCM、総面積は約 81.3 km<sup>2</sup> である。これら 112 タンクの改良 (平均水深 3.4m) によって 161MCM (16,100 万 m<sup>3</sup>) の貯水容量の増加となり、この増加分が洪水調節容量となる。

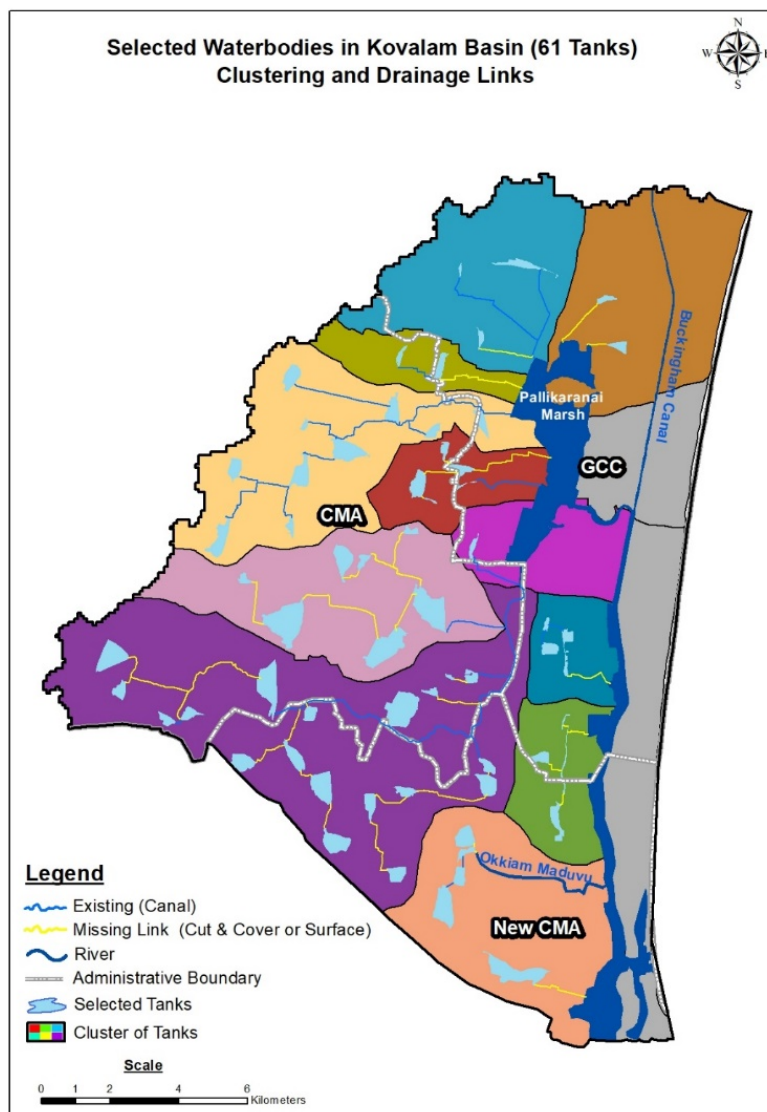


出典: JICA Expert Team

Figure 2-26: Kosasthalaiyar 川における既存タンク位置図 (112 タンク)

#### 2.6.3.4. Kovalam 流域

Kovalam 流域における 61 タンクの既存容量の合計は 19.2MCM、総面積は約 16.7 km<sup>2</sup> である。これら 61 タンクの改良 (平均水深 3.0m) によって 22.5MCM (2,250 万 m<sup>3</sup>) の貯水容量の増加となり、この増加分が洪水調節容量となる。



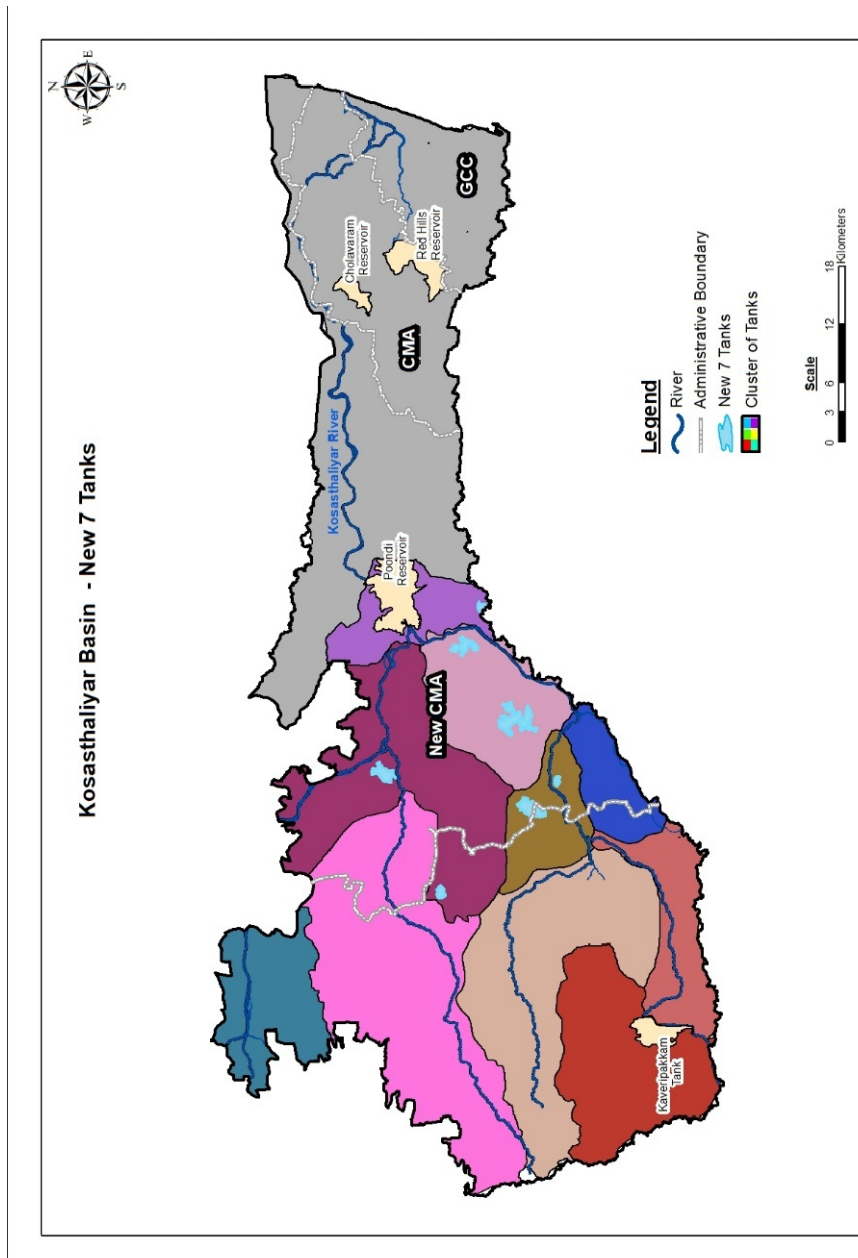
出典: JICA Expert Team

Figure 2-27: Kovalam 流域における既存タンク位置図 (61 タンク)

#### 2.6.3.5. 新規タンクの設置による洪水調節容量

Kosasthalaiyar 川については、流域内に未利用地・未開発地が有ることから、既存タンクの改良による洪水調節容量に加え、新規タンクの開発による洪水調節容量の確保を考慮した。候補地として、以下の7個所を特定した。新規タンクの整備方針は、既存タンクの改良方針と同様に現地盤面を一律に掘削することで貯水容量を確保するものとした。以下の7個所の新規タンクの合計面積は 12.25 km<sup>2</sup> である。

既存タンクと同様に平均水深 3.4m となる掘削を行うことにより、貯水容量として 42MCM が確保可能となる。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-28: Kosasthaliyar 川における新規タンク候補箇所位置図 (7 タンク)

Table 2-9: Kosasthaliyar 川流域における諸元

S.No	Cluster	Tank Name	Tank Area in km <sup>2</sup>	Canal Start Point	Canal End Point	Existing/Missing/Partial	Canal Length in km
1	KOS_SB_07	New Tank 1	2.97	New Tank 1	Perumuchi Banal Eri Canal	Existing	0.302
2	KOS_SB_09	New Tank 2	4.68	New Tank 2	Beddekalakattur Big Tank	Existing	0.145
3	KOS_SB_09	New Tank 3	2.03	New Tank 3	Pandur Tank Canal	Existing	0.031
4	KOS_SB_08	New Tank 4	0.80	New Tank 4	Polur big tank Canal	Partial ( Existing Toposheet & Cut & Cover or Surface)	8.481
5	KOS_SB_10	New Tank 5	0.64	New Tank 5	Poondi Reservoir	Existing	8.298
6	KOS_SB_07	New Tank 6	0.37	New Tank 6	Big Canal	Missing Link (Cut & Cover or Surface)	0.530
7	KOS_SB_08	New Tank 7	2.12	New Tank 7	Nagari River	Existing	1.323

出典: JICA Expert Team

#### 2.6.4 既存タンクおよび新規タンクの洪水調節容量のまとめ

Adyar 川、Cooum 川および Kosasthalaiyar 川の 3 河川において、既存タンクの改修および新規タンクの開発により確保される洪水調節容量を下表に示す。

Table 2-10: 3 流域の洪水調節容量のまとめ (Adyar, Cooum, Kosasthaliyar)

Summary of Flood Storage Capacity Estimation	Adyar Basin	Cooum Basin	Kosasthaliyar Basin
Average excavation depth	3.4 m	3.2 m	3.4 m
The selected number of waterbodies, tanks, and areas	50 (43.1 km <sup>2</sup> )	31 (19km <sup>2</sup> )	112 (81.3 km <sup>2</sup> )
a) Additional flood storage capacity by improving existing tanks and water bodies	88 MCM	38 MCM	161MCM
(1) Capacity of tanks after improvement (MCM)	146.6 MCM (43.1km <sup>2</sup> *3.4m=146.6)	60.8 MCM (19km <sup>2</sup> *3.2m=60.8)	276.5 MCM (81.3km <sup>2</sup> *3.4m=276.5)
(2) Current capacity of tanks and water bodies	58.5 MCM	22.8 MCM	115.2 MCM
Additional flood storage capacity=(2) - (1)	88MCM (146.6-58.5=88.1)	38MCM (60.8-22.8=38)	161MCM (276.5-115.2=161.3)
b) Flood storage capacity of new tanks	No need	No need	42 MCM (7 new tanks, 12.25km <sup>2</sup> ) (12.25km <sup>2</sup> *3.4m=41.7)
<b>Total flood storage capacity in tanks and waterbodies (a+b)</b>	<b>88 MCM</b>	<b>38 MCM</b>	<b>203MCM</b>

出典: JICA Expert Team

HEC-HMS モデルは、貯水池や水域での洪水貯留の効果を評価するために採用した。Table 2-11~Table 2-13 は、5 つの異なるシナリオにおける、Adyar 川、Cooum 川、Kosasthaliyar 川沿いの基準地点でのピーク流量（100 年および 50 年再現期間）のシミュレーション結果をまとめたものである。

- ・ シナリオ 1: タンクの改良なし（現況）
- ・ シナリオ 2: タンクの洪水貯留容量 25%増加（泥除去や掘削などの対策により達成）
- ・ シナリオ 3: タンクの容量 50%増加（容量をさらに強化）
- ・ シナリオ 4: タンクの洪水貯留容量 7%増加（マスター プランで選択された容量）
- ・ シナリオ 5: 洪水貯留容量をほぼ最大限に 90% 増加すると想定した場合（改善の可能性の上限）。

Table 2-11: 既存タンクの改修割合とピーク流出量の関係 (Adyar 川)

Decreases in Peak Flood Hydrograph at Confluence with CBM Surplus					
Return Period	No Storage	15 MCM (25%)	42 MCM (50%)	87 MCM (75%)	102 MCM (90%)
50	3789 m <sup>3</sup> /s	3510 m <sup>3</sup> /s	3027 m <sup>3</sup> /s	2530 m <sup>3</sup> /s	2251 m <sup>3</sup> /s
100	4417 m <sup>3</sup> /s	4167 m <sup>3</sup> /s	3687 m <sup>3</sup> /s	3194 m <sup>3</sup> /s	2894 m <sup>3</sup> /s

出典: JICA Expert Team

Table 2-12: 既存タンクの改修割合とピーク流出量の関係 (Cooum 川)

Decreases in Peak Flood Hydrograph at Paruthippattu					
Return Period	No Storage	10 MCM (25%)	27 MCM (50%)	38 MCM (75%)	43 MCM (90%)
50	1313 m3/s	1172 m3/s	1001 m3/s	890 m3/s	859 m3/s
100	1522 m3/s	1395 m3/s	1208 m3/s	1070 m3/s	1018 m3/s

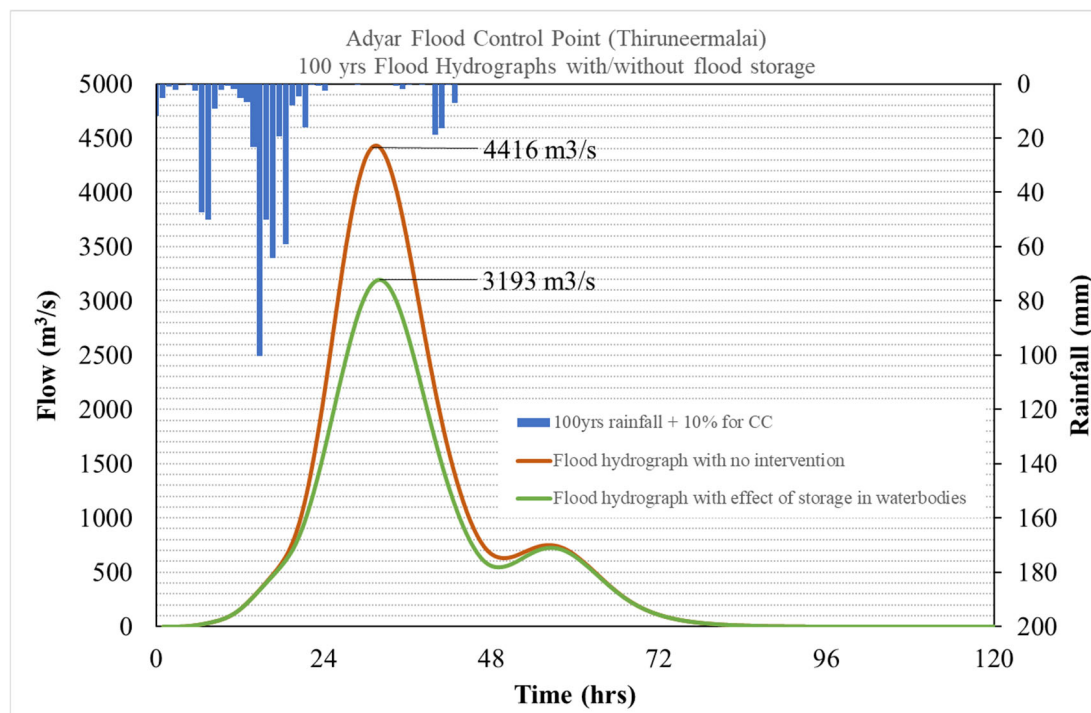
出典: JICA Expert Team

Table 2-13: 既存タンクの改修割合とピーク流出量の関係 (Kosasthalaiyar 川)

Decreases in Peak Flood Hydrograph at Poondi Dam (Dam Inflow)					
Return Period	No Storage	52 MCM (25%)	138 MCM (50%)	203 MCM (75%)	225 MCM (90%)
50	5022 m3/s	3978 m3/s	2561 m3/s	2016 m3/s	1839 m3/s
100	6152 m3/s	5166 m3/s	3502 m3/s	2598 m3/s	2426 m3/s

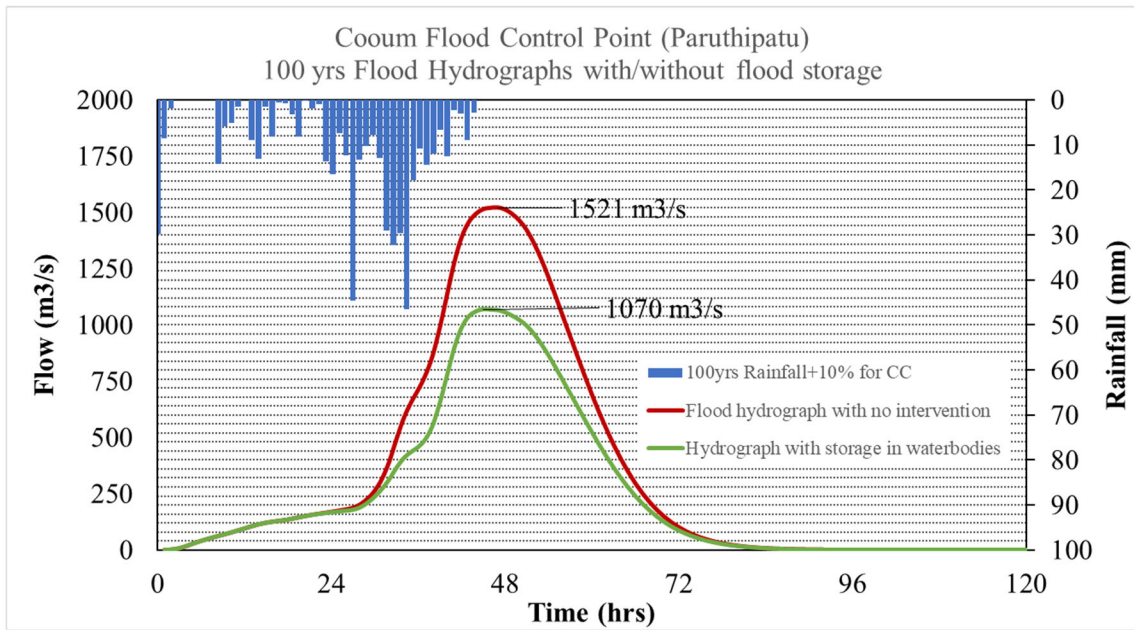
出典: JICA Expert Team

Figure 2-29~Figure 2-31 は、基準地点におけるタンクの貯留量を最大 75%増加させるシナリオでの流量低減効果を示している。



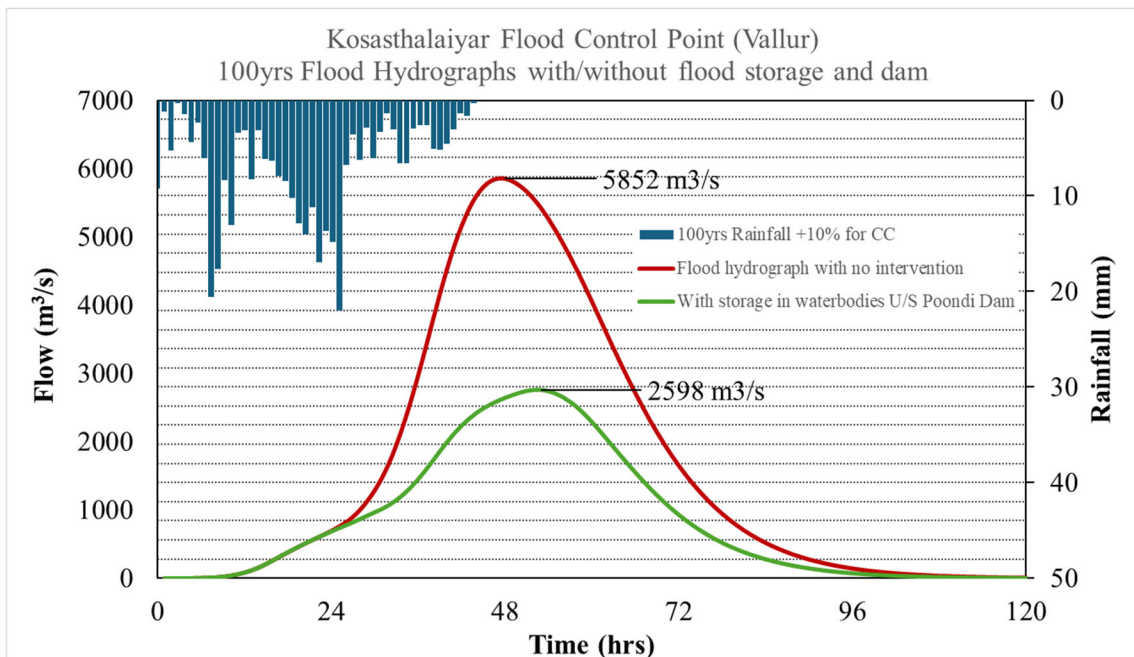
出典: JICA Expert Team

Figure 2-29: Adyar 川における洪水ハイドログラフ比較



出典: JICA Expert Team

Figure 2-30: Cooum 川における洪水ハイドログラフ比較



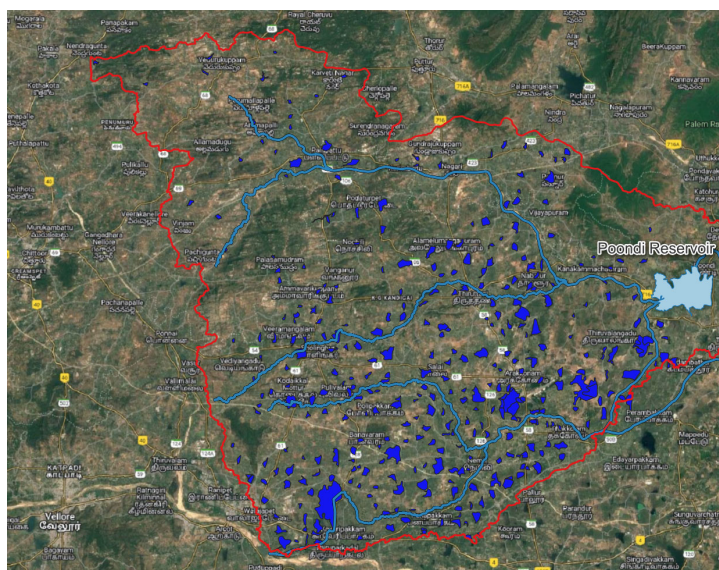
出典: JICA Expert Team

Figure 2-31: Kosasthalaiyar 川における洪水ハイドログラフ比較

### 2.6.5 Kosasthalaiyar 川流域の上流部における洪水貯留

Kosasthalaiyar 川流域の上流部のうち New CMA (チェンナイ都市圏) の外側の地域は主に農地や、自然林、ため池等として主に利用されている。本マスタープランでは、この地域からの多量の流出による洪水発生の抑制が必要である。解決策としては、以下の3つの方法が考えられ、「既存のタンクや水域の活用」が妥当と判断された。

- ・ダムや貯水池の新設：TNWRD による初期調査において環境への影響、資金不足、チェンナイから遠く離れたダムの運用と維持管理面で懸念が示され、解決策の選択肢から除外した。
- ・Kings Dyke の新設：New CMA 境界に沿って建設し、Kings Dyke 上流側の氾濫流が New CMA 区域へ流下してくるのを防ぐものである。この案は TNWRD から好印象を得たものの、資金調達の可能性、社会環境への影響、詳細な調査の不足から実現可能性に懸念が示されたことから、TNWRD からはこの解決策に対する書面による確固とした承認を得ることは困難であった。
- ・既存のタンクや水域の活用：Poondi ダム上流域には 380 箇所の自然池と貯水池が確認された (Figure 2-32 参照)。HEC-HMS モデルでのシミュレーションにより、100 年確率規模洪水に対し、これら 360 箇所のタンクや水域の水深を洪水調節用として 0.5m 加えることにより Poondi ダムへの流出量を抑制することに寄与することが確認できている。

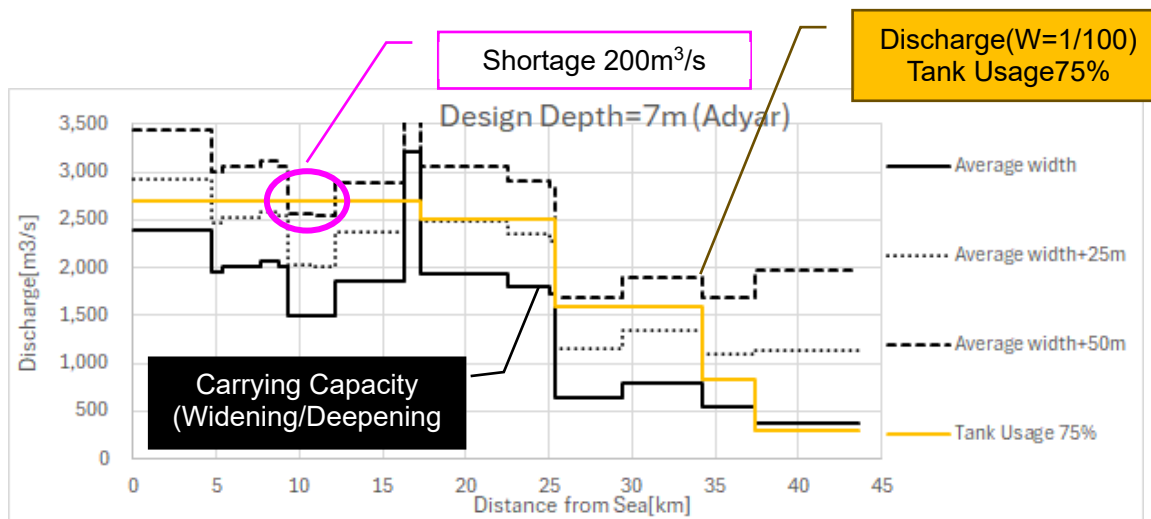


出典：JICA Expert Team

Figure 2-32: Poondi Dam 上流において対象としたタンクの位置図

## 2.7 地下バイパストンネル パッケージ

Adyar 川は、前節での検討結果より Chennai 空港下流の 9.34k~12.08k 区間では 100 年確率規模洪水を河道改修・流域貯留施設整備のみで流下できないことから (Figure 2-33)、流下能力不足分の約 200m<sup>3</sup>/s を地下バイパストンネルにより確保することとした。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-33: Adyar 川流下能力縦断面図と計画高水流量 (素案) の関係 (100 年確率規模)

Table 2-14 は、この不足分の対応の方向を更なる拡幅と地下バイパストンネルの 2 案で比較したものである。表から、コストは地下バイパストンネルの方が高くなるが、それによる社会的な影響や空港などの経済的な影響を踏まえると、地下バイパストンネルが妥当と判断した。

### 【自然排水の可能性について】

地下バイパストンネルは Adyar 川から取水施設・流入立坑を通じて地下トンネルに導水する。地下トンネルからの排水はサイフォン形式による自然排水を基本として Bengal 湾に排水する。地下バイパストンネルの縦断勾配は  $i=1/2000$ 、内径は 11m とする。

自然排水の現実性については定常流による圧力計算により妥当か検討した。算出の結果は 190m<sup>3</sup>/s であり、概ね計画の 200m<sup>3</sup>/s を流下できる結果となっており、自然排水は概ね可能な結果となった。しかし、実運用時には管内の摩擦損失がより大きくなる可能性や洪水の様々な流入特性における損失も想定され、自然排水が出来ない場合も想定される。このような場合が生じる場合にはポンプによる排水も今後検討していく必要がある。

Table 2-14: 9.34k~12.08k 区間の流下能力不足対応案比較

	更なる拡幅	地下バイパストンネル
対策の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区間: 9.34k~12.08k (2.74km)</li> <li>・拡幅幅 10m: 計 60m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・200m<sup>3</sup>/s を空港直上流の 18.3km で分水 (Figure 2-35 参照)</li> </ul>
対策の確実性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・確実に流下可能【評価: ○】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・確実に流下可能【評価: ○】</li> </ul>
社会的影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2.74km で更なる拡幅が発生 (家屋移転等の交渉がより大きい)</li> <li>・空港下流の軍用地では拡幅しづらい</li> <li>【評価: △】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分派地点下流では、200m<sup>3</sup>/s 洪水流量が減少するため、拡幅範囲を一律 10m 減らすことが可能 (住居棟約 1,000、商業棟約 500 を減少可能)。</li> <li>・空港下流の軍用地の拡幅を低減</li> <li>【評価: ○】</li> </ul>
洪水による空港閉鎖に対する整備効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・下流側から順次整備となるため、効果の発現は遅くなる。</li> <li>【評価: △】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・整備は、用地交渉などの影響を比較的受けないため、早期に効果が発現</li> <li>【評価: ○】</li> </ul>
総コスト Crore INR (million USD)	9.34k~12.08k での更なる拡幅 <ul style="list-style-type: none"> <li>・事業費: 5 (3.6)</li> <li>・準備費: 450 (54)</li> <li>・計: 460 (58)</li> <li>【評価: ○】</li> </ul>	a. 地下バイパストンネル事業 <ul style="list-style-type: none"> <li>・事業費: 8,000 (960)</li> <li>・準備費: 200 (24)</li> <li>・計 8,200 (990)</li> </ul> b. 18.3k 下流の拡幅幅 10m 縮小効果 <ul style="list-style-type: none"> <li>・事業費: -30 (-3.6)</li> <li>・準備費: -4,400 (-530)</li> <li>・計: -4,500 (-540)</li> </ul> c. 拡幅幅縮小効果を考慮したコスト <ul style="list-style-type: none"> <li>・事業費: 7,900 (950)</li> <li>・準備費: -4,200 (-500)</li> <li>・計: 3,700 (450)</li> <li>【評価: △】</li> </ul>
総合評価	コストは右案より安価であるが、更なる家屋移転を伴い、事業が長期化するリスクを考慮して次点 ○	費用は高いが、社会的な影響が少なく、事業を早期に進められることから本案を採用 ◎

出典: JICA Expert Team

【バイパスのルート特性を考慮した Kovalam 流域における内水処理】

バイパストンネルルートは、Kovalam 流域を通過するため、地下放水路は Adyar 川の氾濫防護だけでなく Kovalam 流域における内水排除の効果も期待し、ルート上に位置する Kallu Kuttai Lake と Adambakkam Laka において取水施設を設置する。

Table 2-15: バイパストンネル概略諸元表

		Unit	Route1
Bypass Tunnel Length		km	12.5
Inlet	Adyar River Kilopost	k	18.009
	Adyar River HWL	DL.+m	8.38
Outlet	Bengal Bay HHWL	DL.+m	1.90
WL Difference(Inlet-Outlet) ΔH		m	6.483
WL Gradient(1/n)		-	1,928



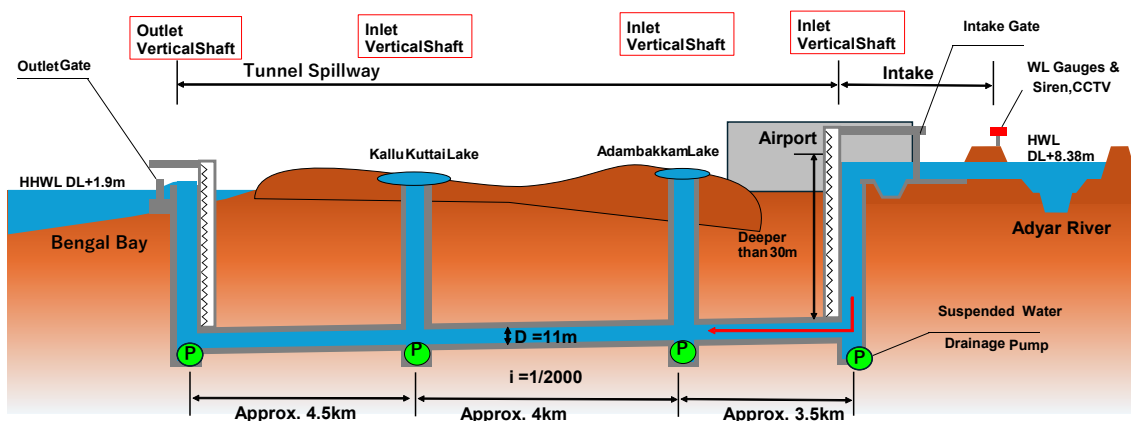
出典: JICA Expert Team

Figure 2-34: コバラン地区における地下河川のルート



出典: JICA Expert Team

Figure 2-35: バイパストンネル平面図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-36: バイパストンネル概要図

## 2.8 非構造的対策

本節では、いくつかの非構造的対策を推奨する。尚、都市計画と洪水災害管理に焦点を当てた第4章と第6章では、非構造的対策についてより包括的な検討を行っている。

### 2.8.1 洪水予測と主要ダムからの事前放流の効果

「Adyar、Cooum、Kosasthaliyar、Nagariyar、Nandhiyar、Kovalam 流域」のリアルタイム洪水予測と空間意思決定支援システムの計画、設定、運用に関するコンサルティングサービス」と題されたこのプロジェクトは、チェンナイとその周辺流域の堅牢な洪水予測と早期警報の確立に重点を置いている。

世界銀行の融資番号 8488-IN (プロジェクト番号 P150395) により資金提供を受けたこのプロジェクトの目的の 1 つは、信頼性の高い洪水予測を提供し、4 つの主要ダム (Chembarambakkam Dam、Poondi Dam、Cholavaram Dam、Redhill (Puzhal Dam)) の運用を強化することである。現在、指定 URL (<https://www.chennai-floods-dss.in/>) でオンラインシステムの開発が進められており、洪水予測と早期警報のための制御室も建設中である。

様々なシナリオで Chembarambakkam Dam と Poondi Dam からの事前放水の影響をシミュレートするために、「What-If」分析が実行されている。この分析では、最大 24 時間前に事前放流することを検討し、ダムのさまざまな貯水レベルの影響を評価している。この研究では、80% から 95% 満水までのさまざまな貯水レベルが洪水管理に与える影響を評価することに焦点を当てている。これらのダムは、主にチェンナイの水供給源として機能しており、特にモンスーンシーズンには、Tamil Nadu 州給水排水局 (TNWRD) の職員が下流の洪水を防ぐために洪水貯留を最大限にすることを目指している。分析では、100 年周期の降雨イベントを組み込んで、各事前放流シナリオでの流出量を評価している。

洪水予測研究はまだ進行中であるが、初期の調査結果では、Table 2-16 に示すように、下流地域でのピーク洪水流量を減らす上で事前放流が重要な役割を果たしていることが示されている。ただし、洪水予測に伴う不確実性のため、洪水管理のマスタープランでは、ピーク洪水流量を決定する際に主要ダムからの事前放流は考慮していない。

Table 2-16: 各シナリオでの事前放流シミュレーション結果

Dam	Pre-release Time and Discharge	Initial Dam Storage (% of Full Capacity)	Peak Outflow with Pre-release (m <sup>3</sup> /s)	Peak Outflow in the JICA Master Plan (m <sup>3</sup> /s)
Chembarambakkam	12hrs 150m <sup>3</sup> /s	80%	470	820
		85%	500	820
		90%	530	820
		95%	570	820
Chembarambakkam	24hrs 100m <sup>3</sup> /s	80%	400	820
		85%	430	820
		90%	470	820
		95%	500	820
Poondi	24hrs 200m <sup>3</sup> /s	80%	1430	2100
		85%	1460	2100
		90%	1500	2100
		95%	1550	2100

出典: JICA Expert Team

### 2.8.2 タンクの運用

先の節で記載したように、本調査で対象としたタンクの洪水貯留能力は、本MPの重要な要素である。これらタンクの浚渫、周辺地域の拡幅、ゲート改良などの構造的対策に加え、効果的な管理と運用を確保するためには、以下の4つの非構造的対策が必要である。

#### 1. 対象としたタンクの保全：

対象としたタンクの保全：タンクにおける貯水能力や拡幅予定箇所の土地利用の変化の防止が必要である。この報告書の都市計画の章で取り上げたように、第三次都市マスタープランや同様の計画構想において、これらの地域を保護区域に指定するなど、空間計画上の措置を通じて保全することが必要である。

#### 2. モンスーンや大雨の前におけるタンク水位低下：

モンスーンや大雨が降る前に水位を下げることで、貯留能力の十分に確保することが重要である。この事前対策により、更に流入する雨水に対応が可能となる。

#### 3. タンクの定期的なモニタリングと維持管理

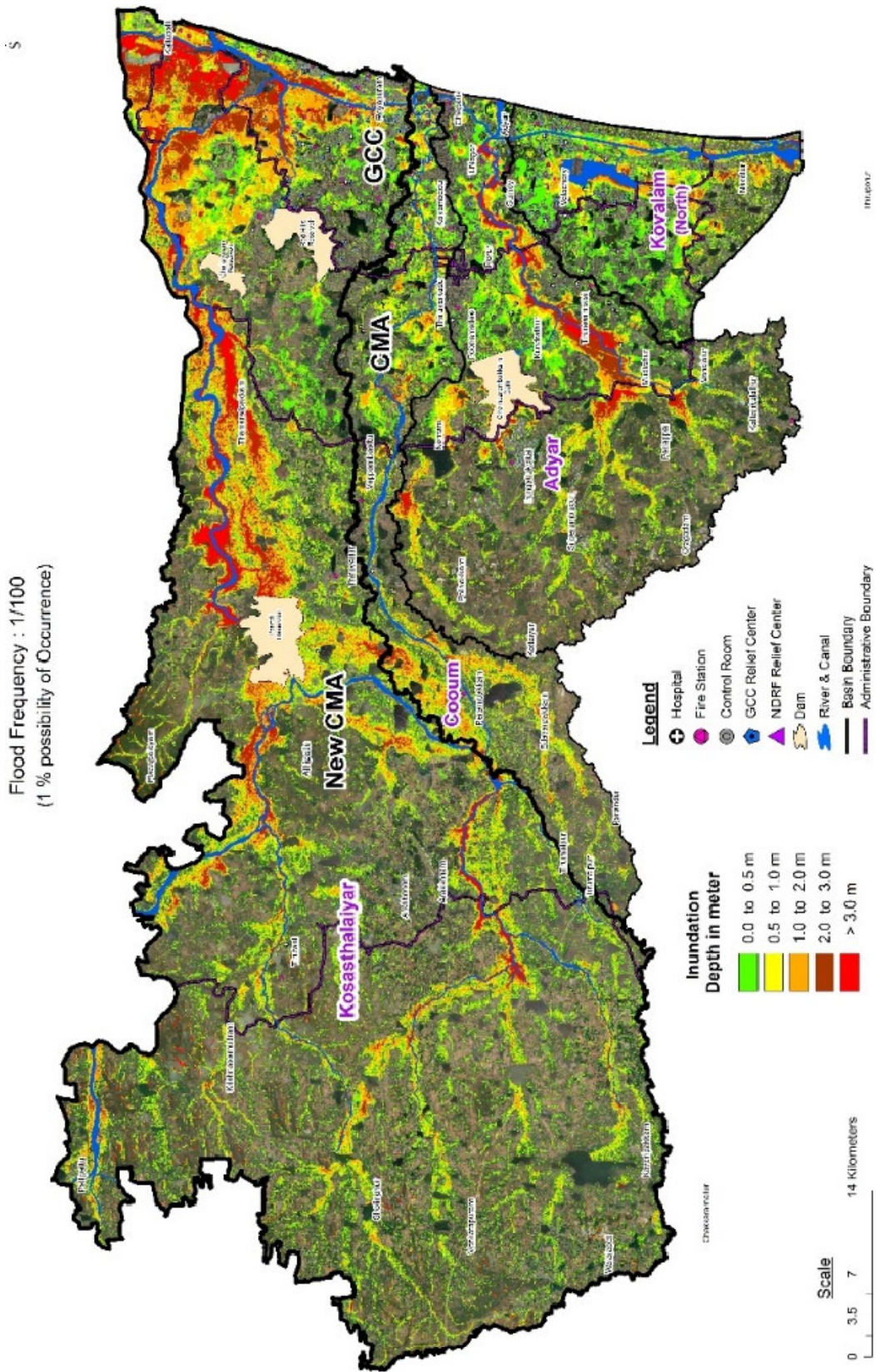
水門、連結排水路、その他の施設など、施設の定期的な点検・整備は極めて重要である。詰まりの除去、浚渫、および排水管の清掃を定期的実施し、洪水時に確実に排水できるようにすることが必要である。

#### 4. 水路網を考慮したタンクの一括管理：

タンクでの調節機能は水路網毎に一括管理することが、洪水時における洪水流量の調節や通常時における水供給上で効果的である。

### 2.8.3 洪水ハザードマップ

洪水ハザードマップは、さまざまなレベルの洪水リスクを包括的に理解できるように、複数のスケールで作成されている。これらには、流域レベルの地図のほか、CMA や Greater Chennai Corporation (GCC) などの行政地域の詳細地図が含まれる。さらに、GCC の 15 のゾーンと 200 の区ごとに特定の地図が作成され、様々なレベルの詳細を確保して、局所的な洪水リスクに効果的に対処しています。Figure 2-37 は、100 年再現期間の流域レベルの洪水ハザードマップを示している。

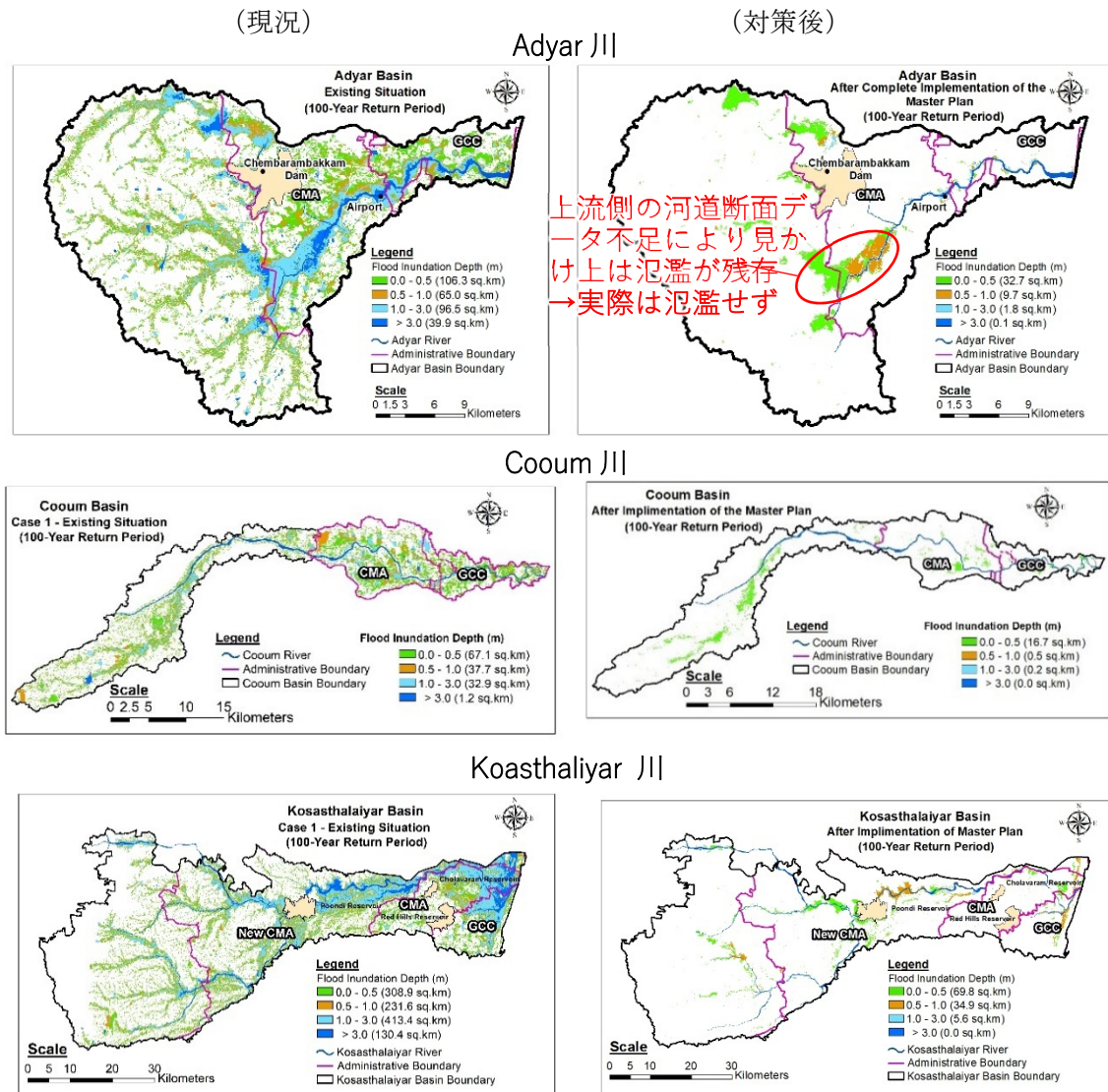


出典: JICA Expert Team

Figure 2-37: 1/100 年規模の確率の洪水氾濫マップ (現況施設条件)

## 2.9 対策効果(Effect of each countermeasures)

Figure 2-38 は、計画規模 1/100 における整備効果を現況と MP 完了時で比較したものである。図から Adyar 川上流支川では解析に必要な河道断面が無いいため、本来河道内で流下する分の氾濫が残っている。その部分を除けば越水氾濫は解消され、内水被害が流域に点在するのみとなっていることが分かる。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-38: 対策効果 (計画規模 1/100)





出典: JICA Expert Team

Figure 2-41: Kosasthalaiyar 川 計画高水流量

## 2.11 推奨事項

以上の河川洪水対策に関する提案事項に基づき、技術的推奨事項は以下の通りである。

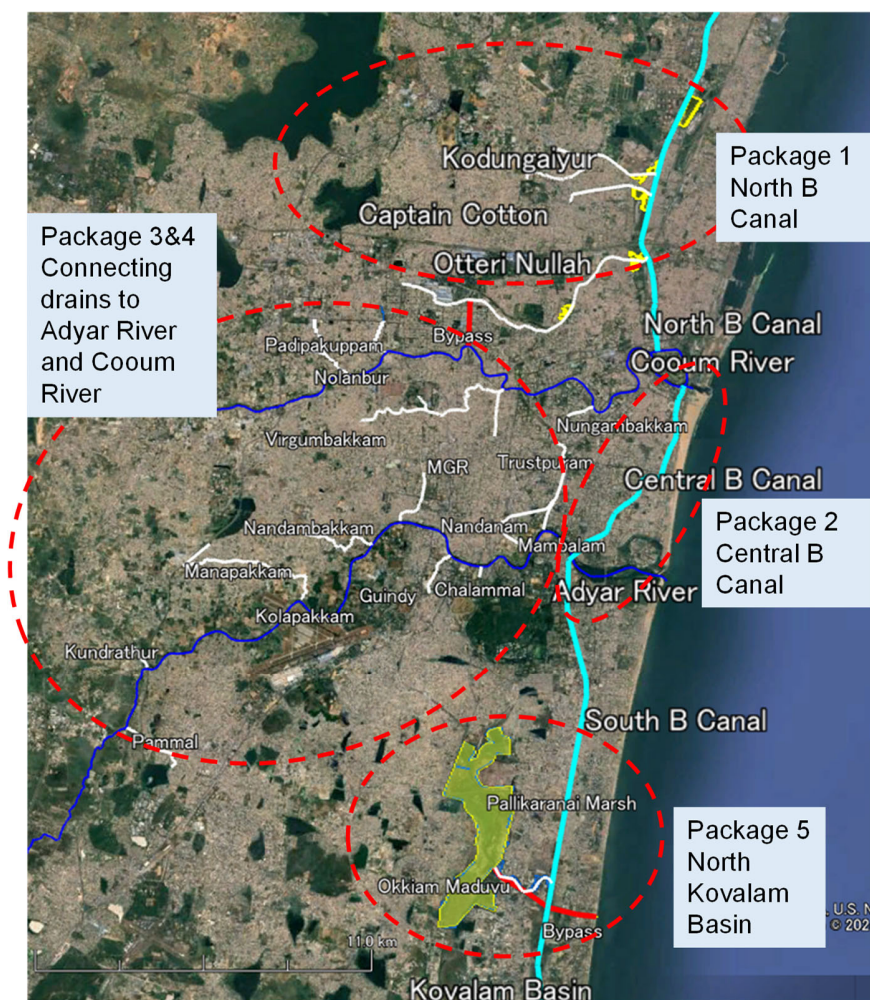
1. チェンナイの川岸沿いの都市化が進む地域を中心に、河道拡幅に伴う重大な課題と社会経済的要因への対処の必要性を考慮すると、河道拡幅よりも河道掘削を優先することが推奨される。河道掘削は、土地取得や河川沿いの集落や企業の移転が不要であるなど、いくつかの利点がある。ただし、目標とする治水安全度を達成するには、マスタープランの完全な実施が不可欠であるため、Phase2 での河道拡幅は必要であり、都市計画などでの対応など高いレベルの取り組みが必要である。
2. 現在の河川幅を維持してさらなる縮小を防ぐことが重要であり、この原則は既存の水域や貯水池にも適用される。
3. 河道掘削とタンクでの貯留機能の増強は、河川の洪水リスク軽減に効果がある。ただし、貯水池の改良には時間がかかる可能性があり、徐々に実施することとなる。対照的に、河道掘削は迅速に実行可能である。したがって、短期的には貯水池の改良よりも河道掘削を優先することが望ましい。
4. Adyar 川の場合、特定の区間で川幅が狭く、10 年確率の洪水に対する整備でも時間と労力が必要である。さらに、100 年確率の治水安全度を達成するには、地方自治体の多大な努力と、国民の意識向上が必要となる。

### 3章 都市洪水対策

#### 3.1 はじめに

インド最大の都市圏のひとつであるチェンナイでは、急速な都市化による不浸透面の増加、タンクと呼ばれる貯水池や水路の消滅や縮小、雨水排水システムの未整備、都市開発等による排水路幅の縮小等、さまざまな要因が重なり、洪水が頻発している。こうした洪水は、財産、インフラ、公衆衛生に被害をもたらすため、より優れた都市洪水管理が必要である。チェンナイ市（GCC）とチェンナイ都市圏開発局（CMDA）は、排水システムの改善を中心に、都市洪水の軽減に取り組んでいる。

本章では、チェンナイの都市圏、特に GCC と CMA の圏域内を対象に、都市洪水対策を検討する。対象範囲には、Buckingham 運河 (B Canal) (南、中央、北)、Kovalam 川河口の Muttukadu から Kovalam 流域の北部、Adyar 川、Cooum 川、および Buckingham 運河に接続する大規模な排水路が含まれる。今回検討対象となる施設の位置を Figure 3-1 に示す。



出典: JICA Expert Team

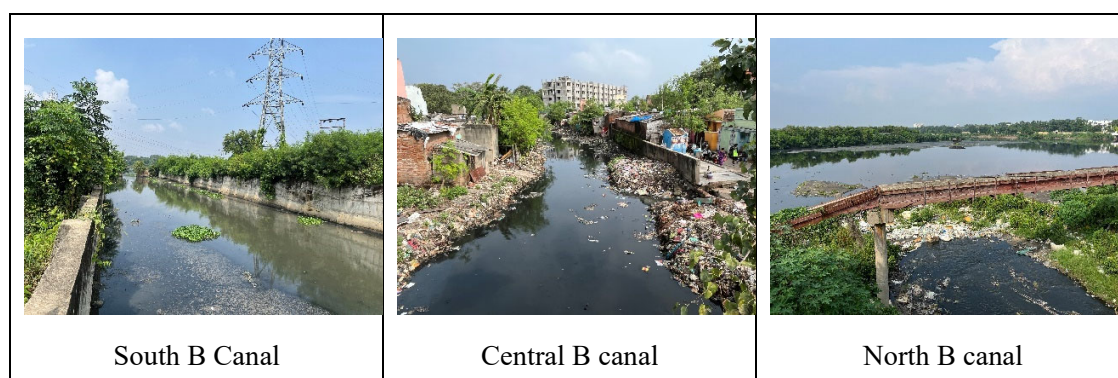
Figure 3-1: 都市洪水対策対象位置図

## 3.2 調査対象範囲

### 3.2.1 チェンナイの都市排水システム

チェンナイの都市排水システムは、次の 4 つのタイプに分類でき、JICA 洪水対策マスタープランでは、要素(a)と(b)を扱っている。

- a) Buckingham 運河：チェンナイ市を南北に流れ、北部（長さ 17 km）、中央部（7 km）、南部（24 km）の各セクションに分かれている（Figure 3-2）。
- b) 接続排水路：Table 3-1 に記載されているように、Adyar 川、Cooum 川、または B Canal に排出される（Figure 3-3、Figure 3-4）。
- c) 水域とタンク：かんがいや飲料を主目的とする。GCC 内に多数存在したが近年開発等により減少している。
- d) 小規模排水路：雨水排水路（SWD、Storm Water Drain）を含む、地域の排水機能を果たす小規模排水路のネットワーク。



出典：JICA Expert Team

Figure 3-2: Buckingham 運河の現状

Table 3-1: 主要な接続排水路一覧

No.	Name	Length, km	No.	Name	Length, km
A. Major Connecting Drains to Adyar			B. Major Connecting Drains to Cooum		
1	Nandhanam Drain	1.087	1	Ambattur SIDCO Drain	1.351
2	Mambalam Drain	5.798	2	Nungambakkam Drain	1.347
3	Chellammal College Drain	0.33	3	Nolambur Drain	2.341
4	Guindy Drain	1.658	4	Padikuppam Drain	2.286
5	MGR canal	1.754	5	Trustpuram Canal	1.488
6	Nandhambakkam drain	3.334	6	Virugambakkam and Arumbakkam Drains	6.6
7	Manapakkam drain	7.006	C. Major Connecting Drains to the North Buckingham Canal		
8	Kolapakkam Drain	2.923	1	Otteri Nallah	10.322
9	Kundrathur Drain	1.396	2	Captain Cotton Canal	2.904
10	Pammal Drain	2.527	3	Kodungaiyur Canal	4.661
			D. Major Connecting Drain/River to the South Buckingham Canal		
				Okkium Madavu drain	2.794

出典：JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 3-3: 接続排水路の現状(1)



出典: JICA Expert Team

Figure 3-4: 接続排水路の現状 (2)

### 3.2.2 雨水排水渠

チェンナイには多くの雨水排水渠 (SWD, Storm Water Drains) があり、通常は幅 7 メートル以上の道路に設置されている。排水溝の最小サイズは集水域、土地利用、排水量によって異なるが、通常は 600 x 750 mm である。SWD は直線形状であることが求められ、地下水位の上昇が期待される雨水浸透機能を備えた流入口も 30 メートル間隔で設置されている。しかし、これらの対策にもかかわらず、メンテナンスが不十分なため、SWD は十分に機能していない。SWD は本調査の範囲外である。

### 3.2.3 北 Kovalam 流域

この流域では、水域や遊水池の喪失、不十分な接続排水路、既存の排水インフラの容量不足により、都市部の洪水が課題となっている。かつては洪水の緩和に不可欠だった Pallikaranai 湿地は、雨水を管理する能力が大幅に低下している。さらに、湿地から南 B Canal への排水を担う Okkiam Maduvu は、大雨の際の排水能力が不足しており、この問題をさらに悪化させている。また南 Buckingham 運河は、容量不足と Muthukadhu からの逆流の影響により、ベンガル湾への排水能力に限界がある。

これらの要因により、流域全体で洪水が頻繁に発生し、低地は特に豪雨の被害を受けやすくなっている。本章では特に、Kovalam 流域北部の 290 km<sup>2</sup> の都市化された地域に対して、洪水対策が提案されている。この的を絞ったアプローチは、この重要な地域での異常気象による悪影響を軽減しつつ、都市洪水の課題に包括的に取り組むことを目的としている。

## 3.3 計画条件と基本方針

本節では、JICA 洪水防御マスタープランの都市洪水防御対策のために用いられた計画条件と基本方針の概要を示す。

### 3.3.1 基本方針

本章では以下の基本方針に基づき計画を検討した。

- ・設計降雨量の定義：効果的な都市洪水制御に必要な設計降雨量を設定。
- ・排水能力決定：計画降雨量に応じた排水能力を設定。
- ・提案された対策：洪水の排出を効果的に管理するため、河川、水路その他の排水ネットワーク、水域、遊水地と一体となった排水システムの改善を導入。
- ・背水への対応：河川からの背水の影響に対処するためにゲートを設置。
- ・緑地の活用：持続可能な洪水管理のために緑地やオープンエリアを活用する機会を探る。

### 3.3.2 都市洪水対策安全度

国レベルおよび地方レベルの都市洪水対策の安全度については、現地の基準である CPHEEO マニュアルや Advisory Committee(Thiruppugazh Committee)の提言などがある。

- CPHEEO マニュアル：チェンナイなどの人口 10 万人以上の Class1 の都市では降雨確率 5 年を推奨（人口 10 万人以下の Class2 の都市では降雨確率 2 年を推奨）。
- Advisory Committee：設計降雨強度を 68 mm/h とすることや、気候変動の影響を考慮して 5 年間の降雨確率を 20% 増加させることが記載。
- ADB 資金提供による Kosasthalaiyar 川流域のプロジェクト：SWD については 2 年確率、大規模排水システムについては 5 年確率を想定して実施。

現地の状況と利害関係者の意見を考慮し、本プロジェクトでは計画降雨量は降雨確率 10 年とした。さらに、気候変動による影響に対処するため、計画降雨を 10%増加させることとした。

### 3.3.3 計画目標年

本章で扱うプロジェクトの目標年はプロジェクト開始より 10 年後とする。これはチェンナイの第 3 次マスタープランが 2026 年から 2046 年までの 20 年間としており、それまで対策が完了することが望ましいこと、我が国の都市域の洪水対策計画においても 10 年から 20 年程度の期間にわたり対策が進められていることを勘案して設定したものである。

なお 5 年後を前期の目標年、10 年後を後期の目標年とした。

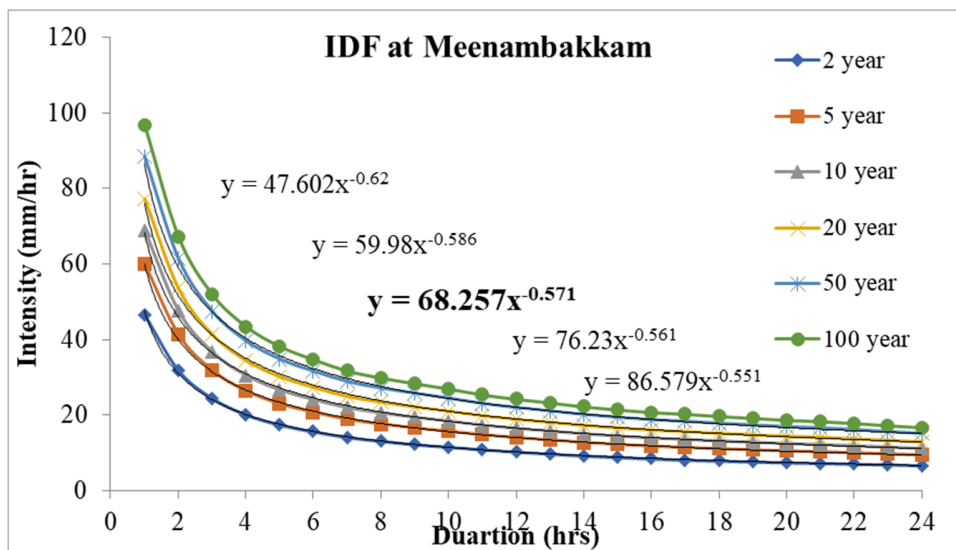
## 3.4 計画降雨量と降雨量グラフ

前述の通り、計画降雨量は 10 年確率で気候変動要因として降雨量が 10%増加するという条件を採用した。ただし、北 Kovalam 流域は広いことから Adyar 川などの河川洪水対策対象河川と同じ水準である降雨確率 100 年で気候変動要因として降雨量が 10%増加するという条件を採用した。計画に使用した降雨データは、時刻雨量がある Chennai の Meenubakam 観測所と Nungambakkam 観測所の観測結果の内、排水路が近い観測所のデータを利用した。観測データをもとに、JICA チームは降雨強度-降雨継続時間-頻度 (IDF) 曲線を作成した (Figure 3-5、Figure 3-6)。以下は、後述する各パッケージの降雨強度式と降雨量の設定方法である。

Table 3-2: 各接続排水路と Buckingham 運河での雨量設定

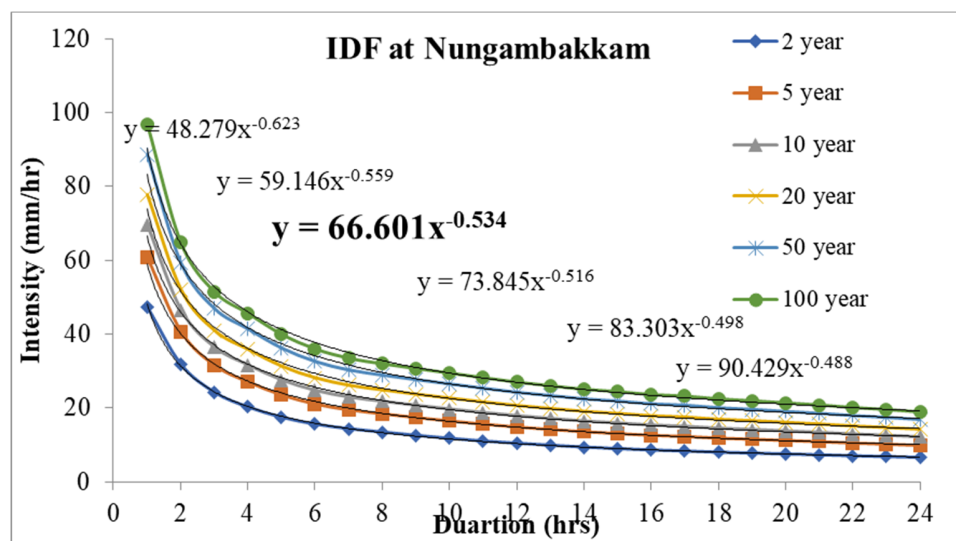
排水路接続先	適用降雨観測所	確率規模	降雨量設定手法 (気候変動考慮)
Adyar 川	Meenubakam 観測所	10 年	降雨強度式+洪水到達時間
Cooum 川	Nungambakkam 観測所	10 年	降雨強度式+洪水到達時間
北 Buckingham 運河	Nungambakkam 観測所	10 年	1996 年洪水の降雨ハイトグラフ引き延ばし
中央 Buckingham 運河	Nungambakkam 観測所	10 年	降雨強度式+洪水到達時間
北 Kovalam 流域	Meenubakam 観測所	100 年	2015 年洪水の降雨ハイトグラフ引き延ばし

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 3-5: Meenubakam 地点の IDF 曲線



出典: JICA Expert Team

Figure 3-6: Nungambakkam 地点の IDF 曲線

### 3.5 Package 毎の都市洪水対策

#### 3.5.1 Package1 北 Buckingham 運河

##### 3.5.1.1. 概況

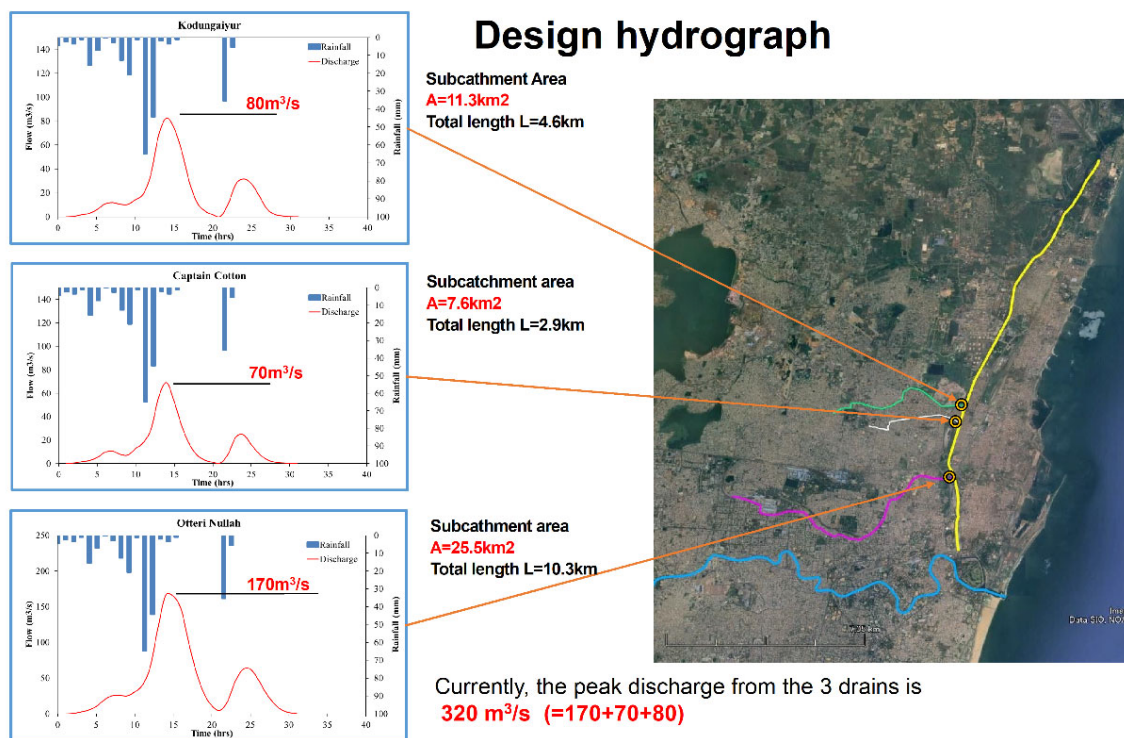
北 Buckingham 運河 (NBC) 流域は、チェンナイ北部の約 50 平方キロメートルをカバーしており、左岸には kodungaiyur、Captain Cotton、Otteri Nullah の 3 つの水路が接続している。一方、右岸の流域は直接ベンガル湾に排水される。

NBC 流域では NBC の高水位の影響で接続水路からの流出が阻害され頻繁に洪水が発生する。これに対処するため、NBC の流下能力の改善、バイパス水路の設置、遊水池の設置を検討した。

##### 3.5.1.2. 降雨の設定とハイドログラフ

計画に使用される計画降雨は、前述のように Nungambakkam 観測所の 1996 年の実績降雨に基づいている。

Figure 3-7 は 3 つの水路におけるハイドログラフを示す。合計の流量は  $320\text{m}^3/\text{s}$  となった。

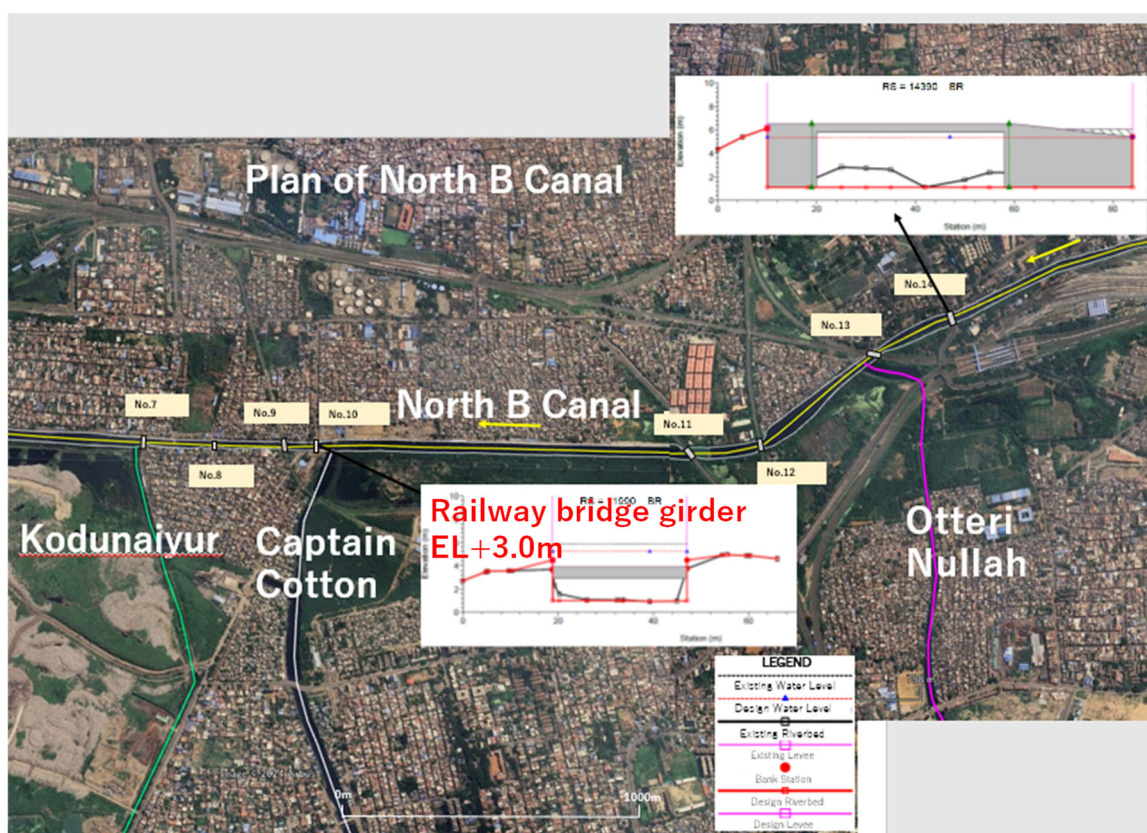


出典: JICA Expert Team

Figure 3-7: NBC に流入する 3 水路のハイドログラフ

### 3.5.1.3. 現況流下能力

NBC の現況流下能力は下流端の Kosasthalaiyar 川合流点付近では  $100\text{m}^3/\text{s}$  以上を示す。一方中流域では  $50\sim 70\text{m}^3/\text{s}$  に低下し、3つの主要な排水路が合流する場所では堤防高が低いため  $40\text{m}^3/\text{s}$  にまで低下する。また、3水路が流入する付近では、鉄道橋等がNBCと交錯しており、鉄道橋の桁下高は、EL+3.0m程度と低く、河床高も上昇していることから、小規模洪水が発生しただけでも水位が上昇し、鉄道施設等への影響が懸念される状況である (Figure 3-8 参照)。Kodungaiyur は全長 4.6km、現況流下能力は  $30\text{m}^3/\text{s}$  であり、一部の区間は流下能力が不足している。Captain Cotton は全長 2.9km、現況流下能力は  $23\text{m}^3/\text{s}$  であり、一部区間は流下能力が不足している。Otteri Nullah は全長 10.3km、現況流下能力は約  $30\text{m}^3/\text{s}$  であり、こちらも流下能力不足に直面している。



出典: JICA Expert Team

Figure 3-8: 3水路近傍の鉄道橋

### 3.5.1.4. NBC および接続排水路の整備方針

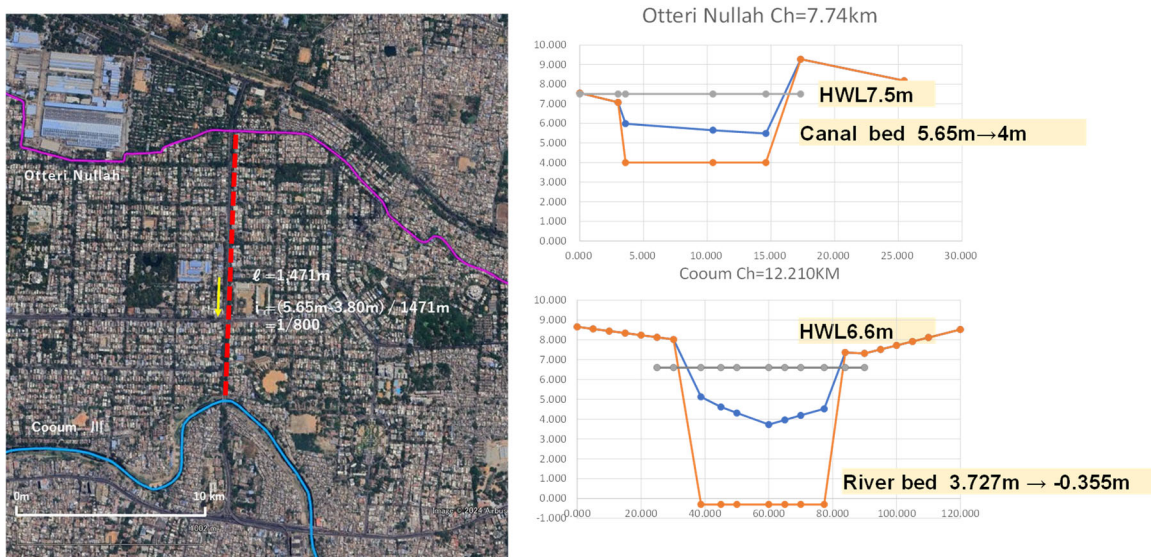
NBC および接続排水路の改善のための整備方針は以下の通りである。

- ①整備はNBCを優先: 当該流域の浸水被害がNBCの流下能力不足に起因する(水路氾濫もNBCの水位が高いことによる流下能力不足が一要因となっている)ことから、NBC

の整備を優先して実施する。

- ②各水路からの NBC への流入量の低減: NBC に流入する 3 水路からの流入量を低減する方策（遊水池適地検討等）を実施する。特に、NBC の流量の約 50% を占め、NBC の整備に大きく影響する Otteri Nullah 水路流域について留意して検討する。なお、Otteri Nullah 水路では、既に Cooum 川へのバイパス水路も整備されていることから、この水路を増改築する方向で流入量低減の検討を進める。具体的には Figure 3-9 に示した Cooum 川へのバイパス水路(20m<sup>3</sup>/s)と Figure 3-10 に示した遊水池(20m<sup>3</sup>/s)を設置する。これにより、NBC への総流入量を 320m<sup>3</sup>/s から 280m<sup>3</sup>/s まで減少させる。
- ③NBC の最大流下能力の把握: ②を踏まえて NBC での河道掘削などによる流下能力の向上を評価し、1/10 年確率規模（気候変動含む）の流出量の内、運河で流下可能な流量を確認する。
- ④NBC で対応できない流出量の処理方法検討: 「各水路の末端や NBC 沿いでの遊水池による流量低減検討（水路の水路掘削による流下能力向上含む）」を実施する。また、その可能性が低い場合は、直接ベンガル湾へ流下させるバイパス整備の検討を実施する。

※バイパス整備は用地買収・多くの家屋移転などを伴うため、遊水池（家屋移転が少ない）などによる流量低減を基本とし、バイパス整備は代替案として検討する。



出典: JICA Expert Team

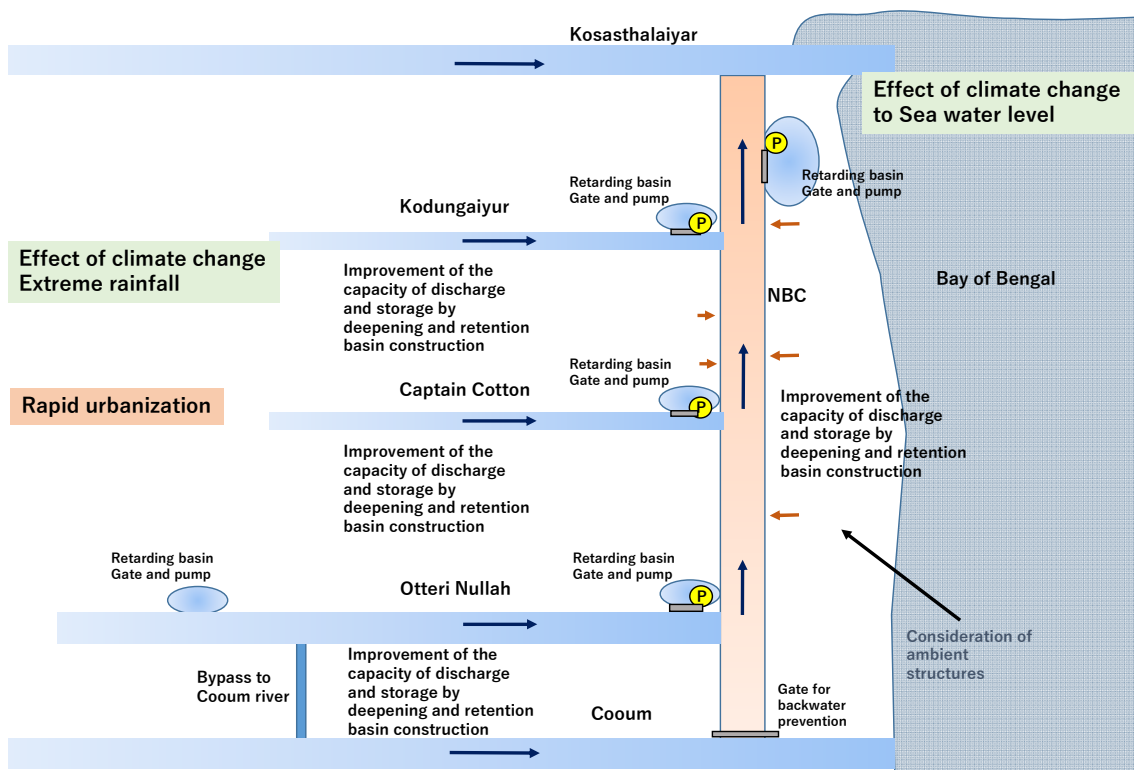
Figure 3-9: Otteri Nullah から Cooum 川へのバイパスの概要



出典: JICA Expert Team

Figure 3-10: Otteri Nulla 上流部における遊水地 (容量 48 万 m<sup>3</sup>)

Figure 3-11 に NBC および接続水路の改善計画を示す。



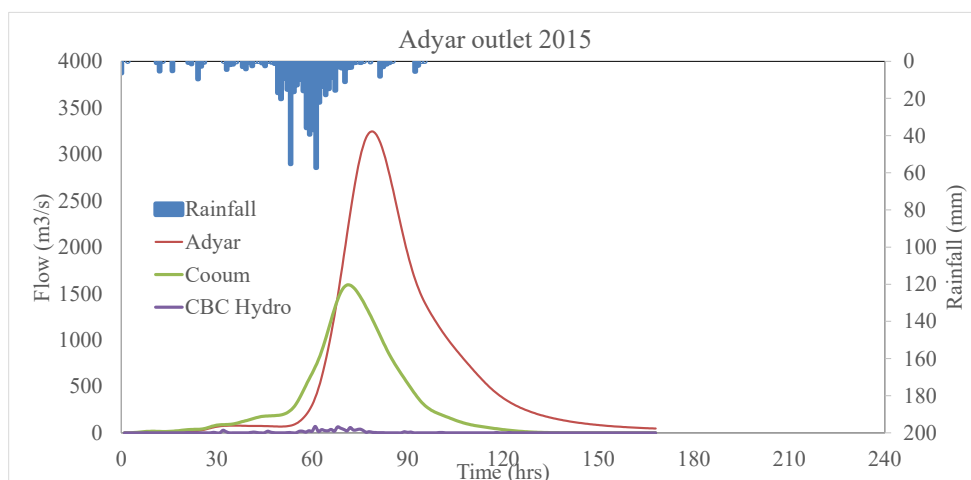
出典: JICA Expert Team

Figure 3-11: NBC および NBC への接続水路の改善に関する概念図

### 3.5.2 中央バッキンガム運河の対策パッケージ

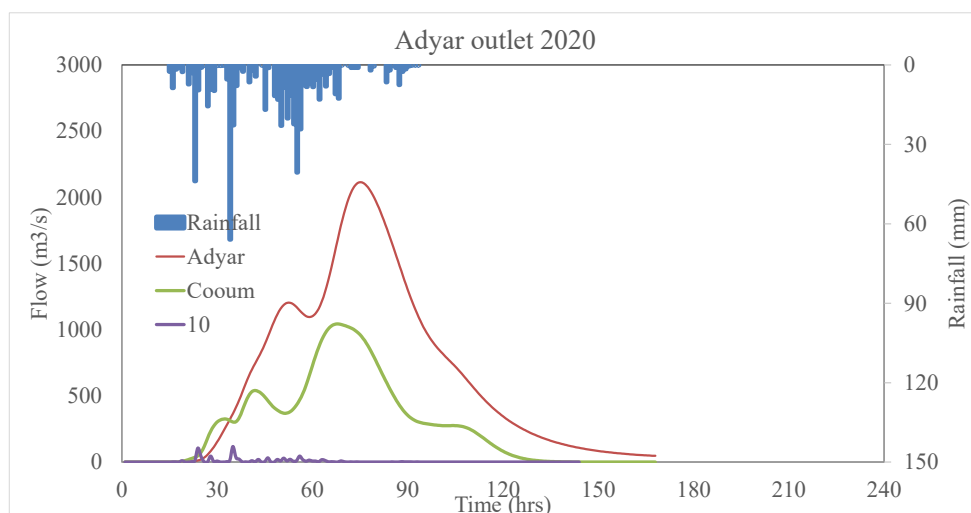
中央バッキンガム運河（CBC）は、Adyar 川と Cooum 川の間広がる流域面積 9.18km<sup>2</sup>の地域で、Adyar 川と Cooum 川に接続している。地形は平坦で、北部および中央の流域の平均標高は 5m である。CBC 地域の洪水は主に Adyar 川と Cooum 川からの背水が原因である。

これらの問題は、CBC 流域からの降雨流出と両河川における洪水ピーク流出が重なる場合にさらに悪化し、水位が大幅に上昇し、洪水リスクが増加する (Figure 3-12、Figure 3-13)。現況流下能力は左岸で 67m<sup>3</sup>/s、右岸で 81m<sup>3</sup>/s であり、鉄道や橋梁などによって堤防のかさ上げや拡幅が制約されている



出典: JICA Expert Team

Figure 3-12: 2015 年洪水での Adyar 川および Cooum 川のハイドログラフ



出典: JICA Expert Team

Figure 3-13: 2020 年洪水での Adyar 川および Cooum 川のハイドログラフ

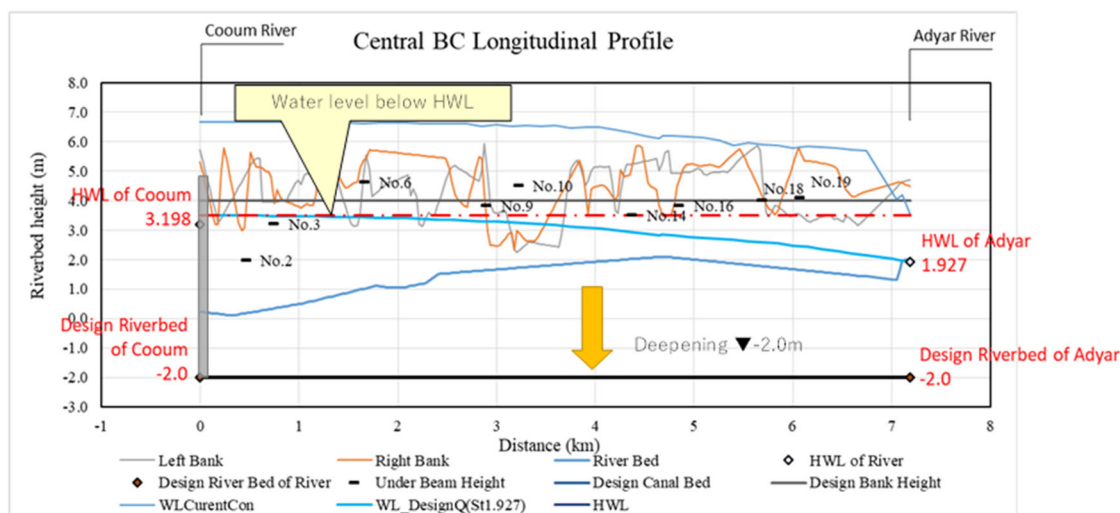
#### 3.5.2.1 対応方針

ピーク流量に対応した河道とするため、以下のような対応方針とした。

- ・河床の掘削の実施：接続先河川の計画に合わせ、MSL-2mまでの掘削
- ・堤防のかさ上げと HWL の設定：既存の橋梁の桁台高さを考慮し 4.1m に設定、余裕高を 0.6m とし HWL を 3.5m に設定
- ・ゲートの設置：Adyar 川の HWL が 1.93m に対して、Cooum 川は 3.20m である。このことから、河川からの背水を防ぐため、洪水時には Cooum 川側に設置したゲートを閉じ、水位差に基づいて Adyar 川への自然排水を可能とする。
- ・Adyar 川と Cooum 川からのピーク流出が一致しない場合：Cooum 川側ゲートを開けて自然排水

### 3.5.2.2. 検討結果

現況河道幅を考慮し、河道幅として 1)一律 13m、2)一律 15m、3)現況河道幅に合わせ 13m と 17m との組み合わせ の 3通りの水位計算を実施した。1)2)の場合、計算水位が HWL3.5m を上回る結果となった。3)の場合の計算水位を Figure 3-14 に示す。計算水位は HWL3.5m 未満に保たれ、Adyar 川へ自然流下により所定のピーク流量を流下可能であることが示された。



出典：JICA Expert Team

Figure 3-14: CBC の計算水位（水路幅を 13m とした場合）

### 3.5.3 Adyar 川および Cooum 川への接続水路における洪水対策

Adyar 川に接続する 10 本の接続水路と、Cooum 川に接続する 6 本の接続水路の現況流下能力を不等流計算（HEC-RAS モデル）にて評価した。合理式による計画流量と現況能力を比較した結果、Adyar 川の 9 本の排水路と Cooum 川の 4 本の排水路において現況流下能力が不十分であることが明らかになり、改善が必要なことが示された。対策は拡幅を伴わない水路の掘削が主となる。遊水池の設置も検討したが、検討の結果、河道整備のみで対応できることから遊水池は不要と判断した。

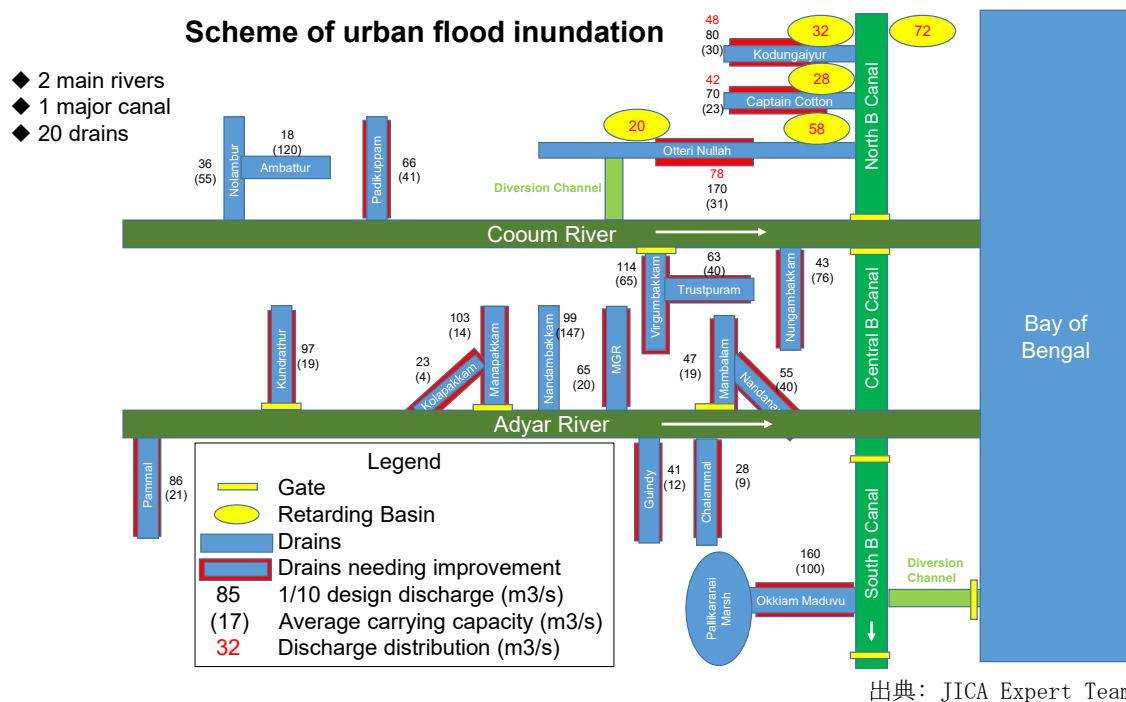
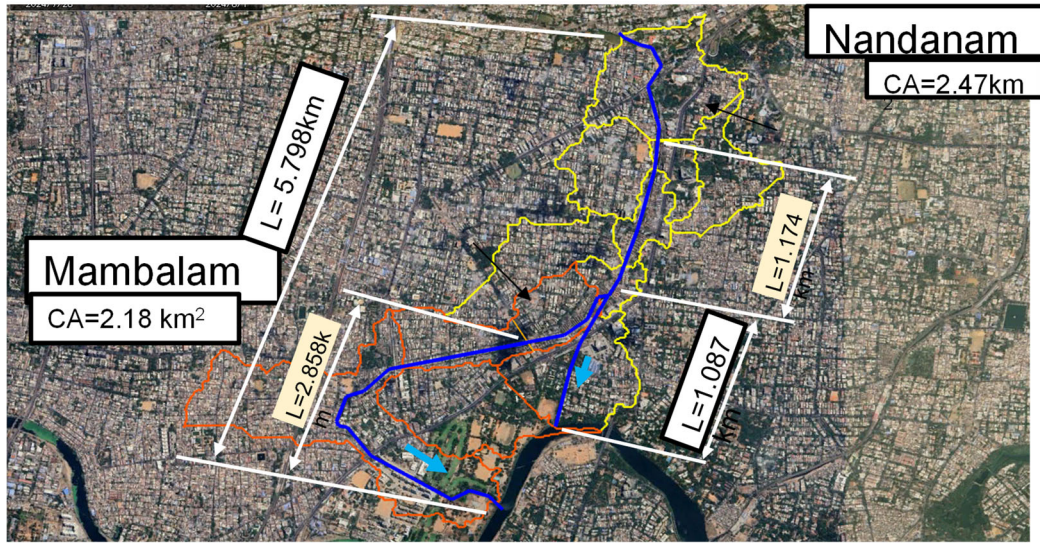


Figure 3-15: 改修が必要な水路

事例として Adyar 川に接続する Mambalam を例にあげる。流域面積は 2.18km<sup>2</sup> (Nandanam を含めると 4.65km<sup>2</sup>)、延長 5.798km、河床勾配 1/935、現況流下能力は平均で 19m<sup>3</sup>/s に対し、計画流量は 47m<sup>3</sup>/s である (Figure 3-16、Figure 3-17)。

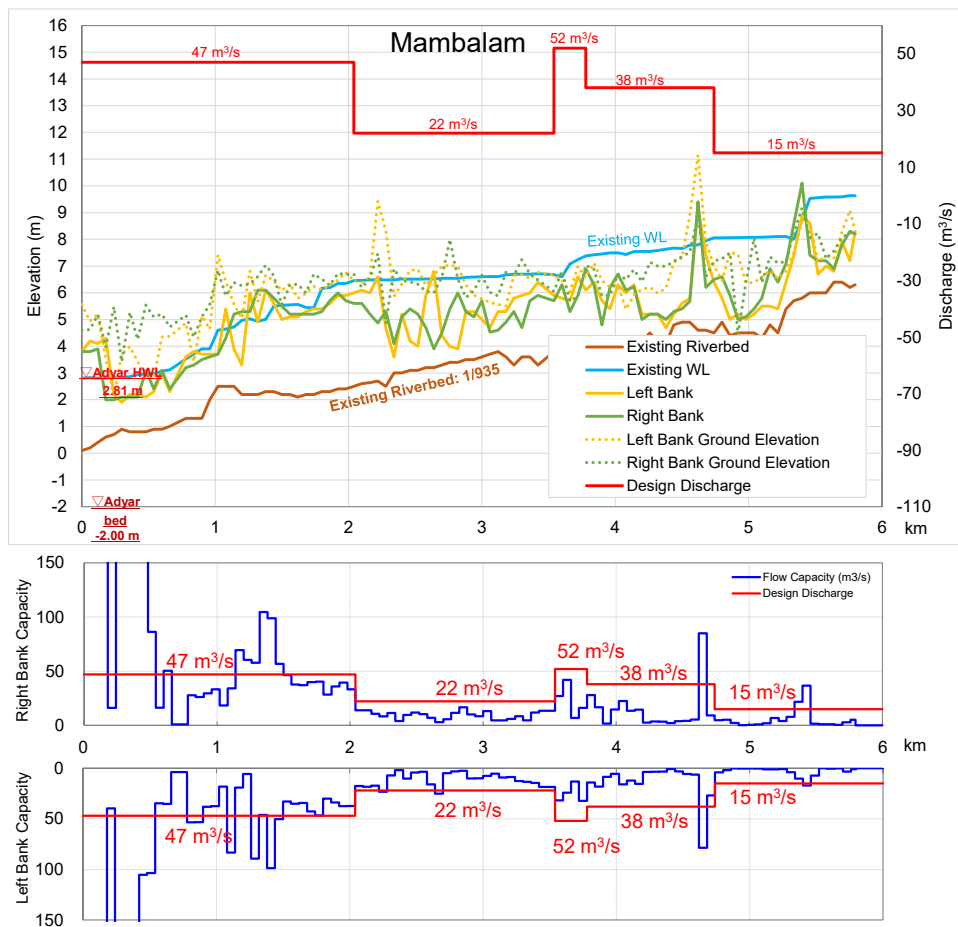
計画河道断面は、以下の条件を踏まえ設定し、不等流計算にて算出された計算水位を包絡する HWL を設定した (Figure 3-18)。

- 用地取得が困難であることや現況河道が掘込河道であること、周辺からの排水の受け入れを考慮し、計画においても掘込河道を基本とする。
- 河床勾配は現況河床勾配を参考に設定し、計画流量に対応できる断面 (川幅×水深) を等流計算にて設定する。
- 川幅は用地取得の関係で、極力現況川幅見合いとする。
- 水深は護岸等の施工性を踏まえ、縦断的に一定となるように設定する。



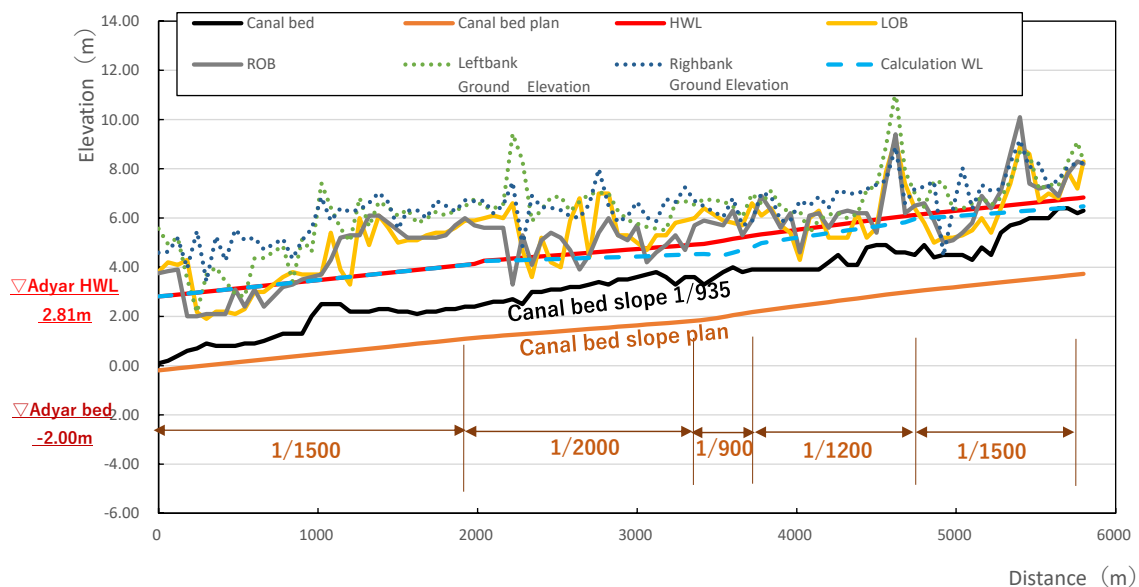
出典: JICA Expert Team

Figure 3-16: 接続水路の整備区間



出典: JICA Expert Team

Figure 3-17: Mamabalam における現況流下能力と水位縦断図



出典: JICA Expert Team

Figure 3-18: Mambalam の掘削縦断面図

### 3.6 北 Kovalam 流域の洪水対策パッケージ

#### 3.6.1 既存構造物対策の評価

Kovalam 流域は Adyar 川の南に広がる流域面積 290 km<sup>2</sup> の流域で、中央に Pallikaranai 湿地がある。流域内の 61 のタンクは多くの水路によりこの湿地に集まり、大きな流入河川はない。一方 Pallikaranai 湿地から流れる河川は Okkiam Maduvu のみである。流域の標高は、主要道路が MSL+4.0m 程度の微高地を通過している。住居地は MSL+3.0 から 3.5m のところに多く集まるが 2.5m のところにも市街地が存在する。

Buckingham 運河は基本高水 240 m<sup>3</sup>/s のうち約 97%の流量が南の Muttukadu に向かい、残りは北の Adyar 川の方へ向かう。これは川幅が Muttukadu 方面は 100m あるのに対し、Adyar 川の方面は 18m 程度と差があるためである。Okkiam Maduvu の川幅はおよそ 120m、現況流下能力は約 100 m<sup>3</sup>/s である。

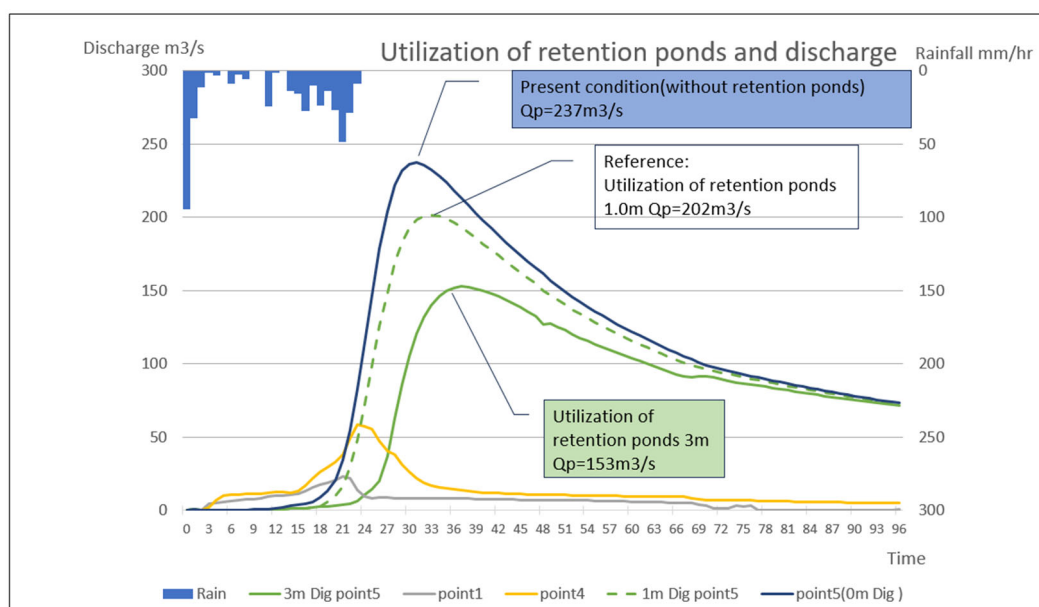
北 Kovalam 流域の治水安全度の評価結果を Table 3-3 に示す。100 年確率降雨の際には水位が 4.4m まで上昇し浸水面積も 49km<sup>2</sup> と広い。この結果より +2.50m を洪水被害が発生しない無害水位とした。

Table 3-3: 再現確率と Pallikaranai 湿地周辺の浸水面積

Return Period	24 hours rainfall (mm)	Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Water level (m)	Flooded area (km <sup>2</sup> )	Flooded area (except 2.50m or less)
1/100	405.1	237.1	4.402	49.1	23.8
1/70	383.2	214.9	4.254	47.7	22.5
1/50	362.4	194.0	4.107	46.3	21.0
1/40	348.7	179.6	4.001	45.2	19.9
1/30	331.0	160.9	3.857	43.6	18.4
1/20	308.6	143.5	3.715	42.0	16.8
1/10	267.4	111.6	3.431	38.6	13.3
1/5	224.5	82.1	3.128	34.6	9.3
1/2	164.2	40.7	2.589	26.7	1.4
level of harmless water			2.500	25.3	0.0

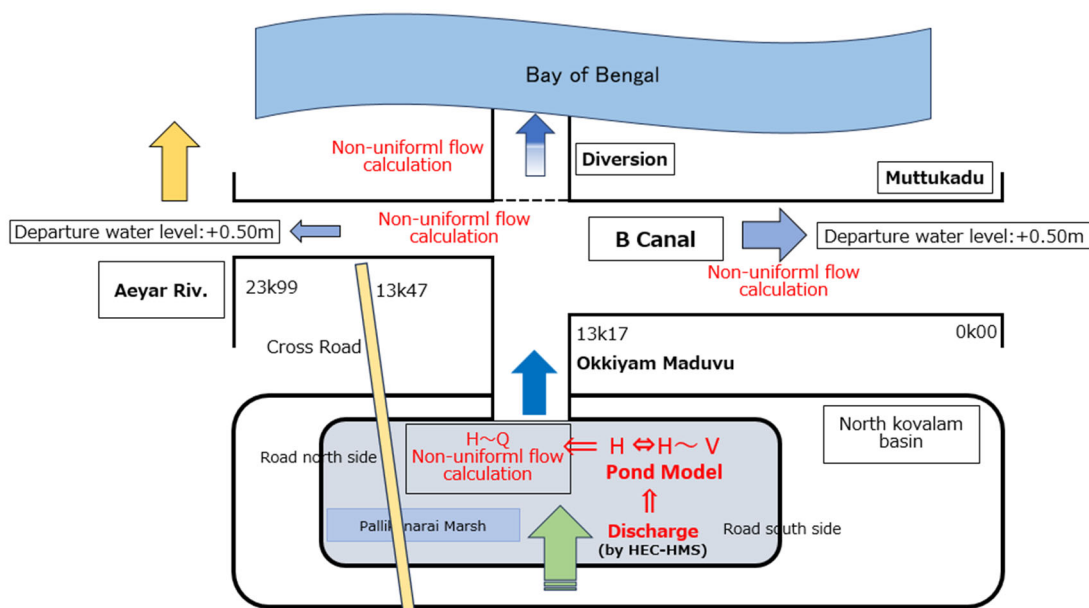
出典: JICA Expert Team

Kovalam 流域の雨水排水計画においては Adyar 川流域と同様開発が急速に進んでいることに鑑み、100年確率の降雨(総降雨量 405mm)に対応できる計画とする。この降雨を用いて Kovalam 流域において HEC-RAS により流出解析を行った。その結果、Pallikaranai 湿地から Okkiam Maduvu への流出ハイドログラフはピーク流量 237 m<sup>3</sup>/s となった。よって洪水対策前の基本高水を 240 m<sup>3</sup>/s に設定する。この基本高水に対し流域内でのタンクによる貯留を考える。深さ 3m を洪水対策に活用できると仮定した場合、ハイドログラフのピーク流量は 153 m<sup>3</sup>/s となった。従って計画高水流量は 160 m<sup>3</sup>/s と設定した (Figure 3-19)。また前述のように Pallikaranai 湿地周辺の地盤高等を考慮して、Pallikaranai 湿地の計画高水位を+2.50m と設定した。



出典: JICA Expert Team

Figure 3-19: 基本高水と計画高水流量



出典: JICA Expert Team

Figure 3-20: 施設配置計画

### 3.6.2 構造物対策の検討

#### 3.6.2.1. 治水対策案

いくつかの治水計画案による Pallikaranai 湿地の水位低下効果を検討した。結果を Table 3-4 に示す。

- ・ Case1: タンクの深さ 1m 分を洪水対策貯留に使うケースである。このケースでは Pallikaranai 湿地のピーク水位が 0.2m 下がることが分かった。
- ・ Case2: Kovalam 流域のタンク 61 か所の総面積は 17.0km<sup>2</sup>で、深さ 3m分の貯留を行うと貯留量は 51.0 百万立法メートルとなり、Pallikaranai 湿地のピーク水位が 0.7m 下がる。
- ・ Case3 (Buckingham 運河の改修) も水位低下の効果があるが、河口 Muttukadu には砂州があり B Canal の河床高の維持が困難であること、Muttukadu 南からの流出量による水位上昇があり河口水位が一定しないために、治水対策としては適していないと考える。
- ・ Case5 (採用案): タンク活用+放水路+Okkiyam Mduvu ショートカットの組み合わせの対策である。現況に対してピーク水位が 1.55m (MSL+2.87m) 低下する。ここでは、放水路の幅を仮に 100m と設定している。

内水目標は 2.5m としており、標高 2.87m~2.5m にある低平市街地の浸水対策は別途必要となる。浸水対策はポンプ排水を想定する。従って、Pallikaranai Marsh の水位を確実に

に下げするためには、Case5 が最も有力な案と考える。

Table 3-4: 治水対策のケースと水位低減効果

	Pallikaranai	Water Bodies	Okkiyam Maduvu	B Canal	Diversion (B Canal to Bengal)	Water Level at Pallikaranai (m)	Water Level Reduction Effects (m)	
Case0	Present condition	Present condition	Present condition	Present condition	—	4.42		
Case1		1.0m excavation				4.22	0.20	
Case2		3.0m excavation	Present condition	Present condition	Present condition	—	3.71	0.71
Case3					Repair (Riverbed height=Current condition -2.0m)	—	3.15	1.27
Case4					present condition	100m (tentative)	3.13	1.29
Case5			Shortcut	Present condition	100m (tentative)	2.87	1.55	

出典: JICA Expert Team

### 3.6.2.2. 最適な放水路幅の検討

放水路幅が 30m,60m,100m の場合において Pallikaranai 湿地の水位低下効果を調べた。結果を Table 3-5 に示す。ピーク水位の低減量は、放水路幅 30m と 60m では 0.39m の差があるが、60m と 100m では 0.03m の差で、ほぼ同じ水位となる。放水路幅が広がると水位の低下量が小さくなる理由は、放水路の水深が小さくなるために放水路の底面の粗度係数が影響して流速が低下するために、Pallikaranai のピーク水位の低減効果が小さくなるものと思われる。また、標高 2.5m を内水被害が発生しない高さとして設定しているが、これよりも Pallikaranai のピーク水位が高い区域はポンプ排水が必要となる。放水路幅 100m と 60m では、Pallikaranai のピーク水位は大きな差がなく、ポンプ排水が必要な面積にも差がなかった。事業費についても検討を行ったところ、以下の結果を得た。

- ・放水路幅 100m のケースは、用地費、補償費が大きく影響して事業費が放水路幅 30m、60m よりも大きくなっている。

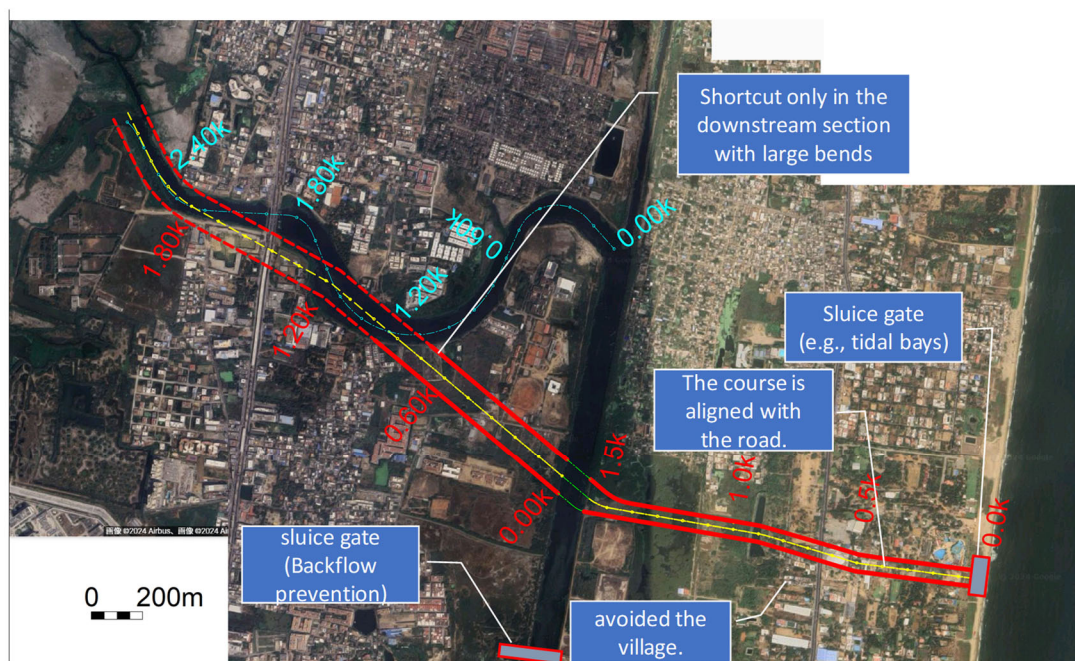
- ・放水路幅 60m と 30m を比べると、放水路幅 60m は用地費が大きく排水ポンプ費が小さい。一方、放水路幅 30m は排水ポンプ費が大きくなり、合計では両者の事業費は大差ない。しかし、排水ポンプは毎年の維持管理や定期的な排水ポンプの更新費が必要となる。

従って、水理面、事業費、維持管理の面の両方から見て、放水路幅 60m が最適と考える。以上を要約すると以下である。放水路 (Okkiyam Maduvu Diversion) は全長 1.56 km、幅 60m、河床勾配 1/3,000 とした。全体図を Figure 3-21 に、縦断図を Figure 3-22 に示す。また Okkiyam Maduvu のショートカット放水路は全長 1.2km、幅 120m、河床勾配 1/3,750 とした。B Canal の改修においては、現況河道を基本として堤防高が不足するところの築堤を行う。川幅、河床勾配は現況のままとする。

Table 3-5: 放水路幅と事業費の関係

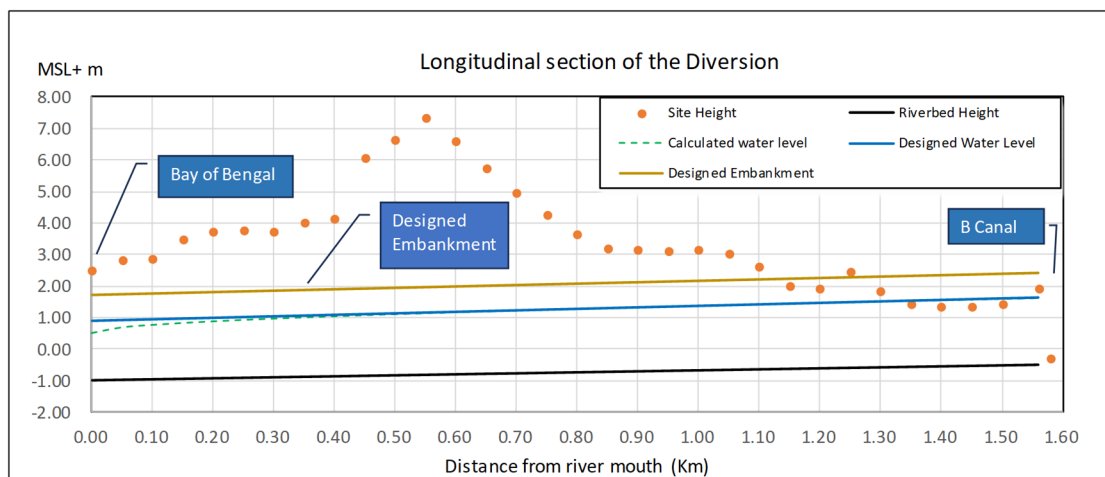
Bypass width	Peak water level (Pallikaranai) (m)	Water level drop (m)	Flooded area (km <sup>2</sup> )	(2) Flooding measures Area (km <sup>2</sup> )	Capacity where pump drainage is needed (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
No bypass (Utilization of retention ponds 3.0m)	3.85	—	43.5	18.3	7.4
30m	3.29	0.56	36.8	11.6	4.7
60m	2.90	0.95	31.4	6.1	2.5
100m	2.87	0.98	31.0	5.7	2.3
Internal water level target	2.50		25.3	0.0	0.0

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 3-21: Okkiam Maduvu のショートカット放水路とバイパス



出典: JICA Expert Team

Figure 3-22: 放水路縦断面図

### 3.7 非構造物対策

#### 3.7.1 雨水利用

チェンナイでは2003年から雨水利用(RWH, Rain Water Harvesting)が義務付けられており、水不足や洪水に対処するために89万以上のシステムが導入されている。しかし、不適切なメンテナンス、規制の不十分な実施によりその効果が十分発揮されていない。洪水被害の多い地域でRWHを最適化することにより、チェンナイは水の安全保障の向上、洪水に対する回復力を高めることができる。

#### 3.7.2 洪水予測とハザードマップ作成

洪水予測とハザードマップ作成に関する動向として、主要な流域をカバーするリアルタイム洪水予測システムがある。ウェブベースのリアルタイム洪水予測やダム操作のガイドランスを提供するもので、2025年までに完成する予定である。これを補完するチェンナイ沿岸洪水警報システム(C-FLOWS)は、天気予報、水力モデル、潮汐シナリオを統合して浸水を予測し、洪水予測と災害対応を強化する。

#### 3.7.3 都市計画と制度的取り決め

都市計画の取り組みとして、第3次都市マスタープランでは、都市開発戦略、降雨量/流出量比管理戦略、配水システム、運河、貯水池のバッファゾーン、残存リスク管理戦略の4つの主要戦略を提案している。これらの詳細は第4章で触れられる。

### 3.8 評価、優先順位、実施案

本章で示した各対策については、それぞれが独立して効果を発揮するものではなく、組み合わせをもって効果が発揮される。例えばゲートを水路の末端に設置することで河川からの背水の影響を排除できる。しかしゲートを閉鎖した状態で水路からの自然排水できないことからポンプの設置が必要となる。また Buckingham 運河においては堀込により貯留効果

が見込めることから、バイパスやポンプの負荷を軽減することができる。さらに河川における対策との整合を図ることも重要である。

評価に関しては、費用、便益、実施可能性の評価軸が考えられる。ここでは水路改修がもっとも優先順位が高い位置づけとなっている。また実施案については Table 3-6 にまとめる。ここでは Phase1 として 10 年以内の事業化を目指している。うち河川改修については 5 年以内に実施、その他の対策については 10 年以内に実施としている。

Table 3-6: 整備実施計画

River/Canal	Countermeasures	Priority Rank	Phase1 (10 Years)	
			First 5 years	Second 5 years
Drains Connected to Adyar River	Retarding Basin	1		
	Drains Channelization	7		
	Gate	4		
Drains Connected to Cooum River	Retarding Basin	1		
	Drains Channelization	5		
	Gate	2		
Drains Connected to North B Canal	Retarding Basin	2		
	Drains Channelization	2		
	Gate	2		
Kodungaiyur Drainage	Retarding Basin	3		
	Drain Channelization	2		
Captain Cotton Drainage	Retarding Basin	3		
	Drain Channelization	3		
Otteri Nullah Drainage	Retarding Basin	6		
	Drain Channelization	2		
	Bypass to Cooum River	2		
Central B Canal	Drain Channelization	2		
	Gate	2		
	Pump	1		
Kovalam Basin	Using existing waterbodies	3		
	Okium Maduvu Channelization	2		
	Gates in B Canal	3		
	Pumps	3		
	Bypass	2		

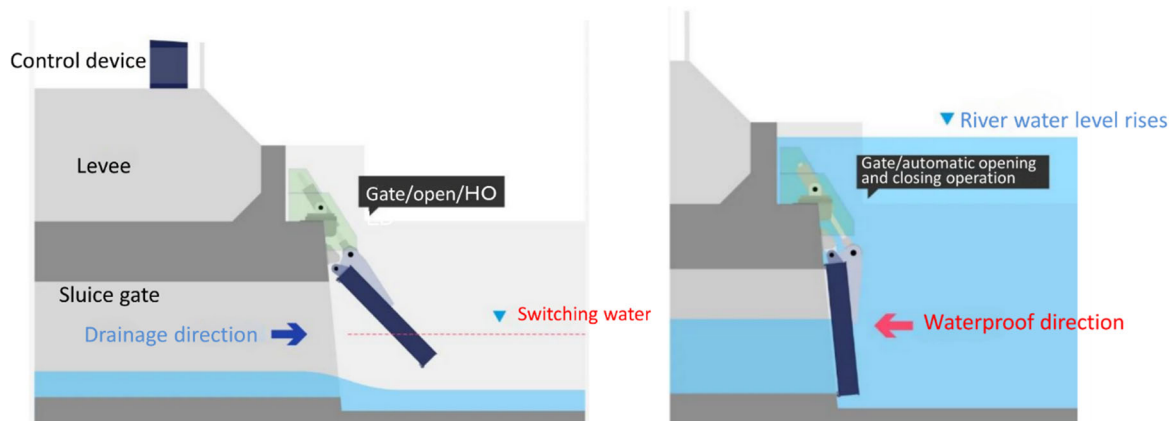
出典: JICA Expert Team

### 3.9 その他の対策

#### 3.9.1 排水管等の対策

水路以外に河川や運河に接続している構造物としては排水管等が存在する。洪水時に河川等の水位が上昇した際にこれらの排水管等を通じて逆流が生ずることがある。これを防ぐためには次図に示すようなフラップゲート等を設置することが必要となる。排水管の数

量やサイズについて次表にまとめる。フラップゲートの設置に関しては、ごみ等によるゲート閉鎖阻害が考えられる。これを防ぐためには維持管理による河川ごみ等の除去、異常検知装置の設置等が有効である。なお排水管の大きさによってはフラップゲート以外の方式の採用も考慮する。



出典: <https://www.kyowa-se.co.jp/product-service/afg-l/>

Figure 3-23: フラップゲートの概要

Table 3-7: 各流域の排水管の数とサイズ

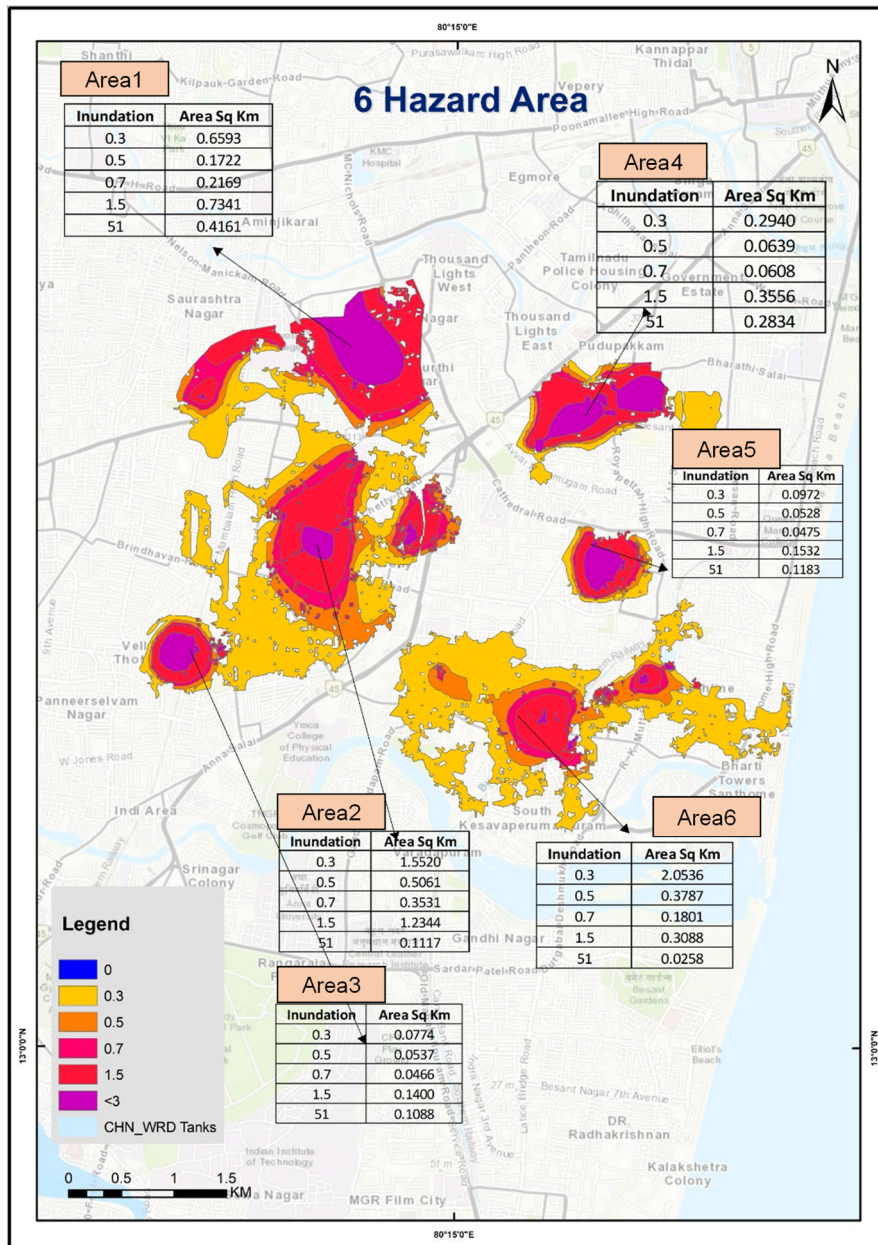
Basin	Number*	Minimum size	Maximum size
Adyar	65(10)	0.4m	W5.6 H1.5
Cooum	24(1)	0.1m	W7 H3.2
Kosasthalaiyar	4(0)	0.6m	W1.6 H2.1
North B Canal	17(3)	0.6m	W2.2 H1.9
Central B Canal	12(1)	0.2m	W2.4 H1.7
South B Canal	47(8)	0.3m	W9.8 H3.5

\*Parenthesis show the number of small drains larger than 2 m diameter or width

出典: JICA Expert Team

### 3.9.2 くぼ地対策

都市内の洪水制御の対象地域はおおむね平坦な地形であり、マクロにみれば西から東に向かって傾斜している。しかし地形を細かく見ると、くぼ地になっているところはいくつか存在する。Figure 3-24 は 2015 年の洪水により浸水したと推定される地域であり、いずれも河川から離れた地域である。これらの地域への雨水は自然流下で排除することができない。従い、空地を活用した貯留を基本としつつ、やむを得ず最深部に湛水した雨水は、ポンプによる全量排水、あるいは地下貯留とポンプ排水の組み合わせのいずれかによって排除する必要がある。湛水量をみると、0.62 百万 m<sup>3</sup> から 3.15 百万 m<sup>3</sup> と非常に大きな値となっており、対策に費用と時間を要することが想像される。従い水路関係の整備を優先したうえで、その間に緑地化等の土地利用の変更を実施することが合理的である。



出典: JICA Expert Team

Figure 3-24: 各くぼ地における浸水深毎の浸水面積

## 4章 都市計画および洪水リスク削減

### 4.1 背景と状況

都市計画、土地利用、および残余リスク管理に関する戦略とガイドラインは、洪水対策マスタープランの策定における重要な対策である。都市化が進んだチェンナイの河川流域における JICA 総合治水 MP 総合治水マスタープラン(以下、JICA 総合治水 MP とする)は、2027 年から 2046 年までのチェンナイの第3次都市開発マスタープラン(以下、第3次 CMA MP とする)に取り入れるための重要な提言と推奨事項を提供する。

提言には、流域レベルでの降雨確率 (RP) 2、5、10、20、50、100 年に対する氾濫危険区域図の作成が含まれます。包括的な洪水リスクアセスメントが実施され、人口、インフラ、都市施設等への影響が評価された。運河や水域周辺の緩衝地帯に関するガイドラインを含む 4 つの戦略とガイドラインが策定された。さらに、JICA 総合治水 MP では、流域全体のレベルで 4 つの流域において、河川洪水対策で活用する雨水貯留用の水域とタンクを選定し、位置が図示されている。これらの水域を結ぶ既存の排水ネットワークも同様に位置が図示され、分断しているリンクが特定された。タンクと水域をクラスター化して接続性を高める取り組みが、4 つの流域で計画されている。

JICA 総合治水 MP の重要な目標は、都市開発の進行による将来の雨水流出係数の増加を緩和する管理手法により、第3次 CMA MP に貢献することである。河川洪水対策と都市洪水対策の両方で目標雨水流出係数 0.8 が設定されており、雨水流出係数が、この目標値を超えた場合、都市計画としても必要雨水貯留容量の算定と実装、土地利用等のケーススタディなど、更なる雨水貯留対策が必要になる。また、本 MP では、MP 事業実施中および完了後の残余リスクを管理するための戦略も概説している。

これらの戦略とガイドラインは、土地利用規制、建築規制、都市開発方針に重点を置いた第3次 CMA MP の趣旨に沿っている。科学的根拠に基づき実施された洪水の氾濫危険区域とリスクアセスメントに基づいて、現在および将来の課題に対処するための実行可能な提言を行うものである。

### 4.2 現状認識と第2次チェンナイ都市開発マスタープランの評価

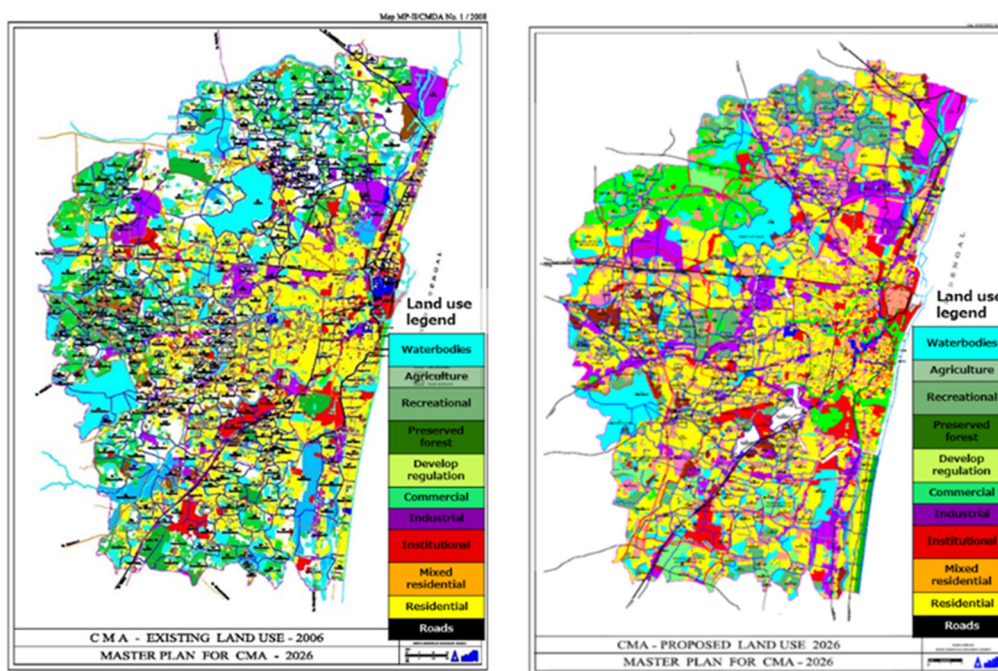
#### 4.2.1 都市化の進行による雨水流出係数の増加

Figure 4-1 は、第2次チェンナイ都市開発マスタープラン(第2次 CMA MP)に基づく 2006 年当時の土地利用図と将来 (2026 年) の土地利用計画図を示している。2006 年にはチェンナイ都市圏 (CMA、1,189 km<sup>2</sup>) の約 68% が非市街地に分類され、緑地、水域、未開発地域が含まれている。

2006 年から 2024 年にかけて、都市化の進行により土地利用が大きく変化し、緑地、農地、湿地が市街地に転換された結果、CMA 内の平均雨水流出係数が 0.52 (2006 年の推定値) から 0.71 (2024 年の推定値) に上昇した。また、チェンナイの人口は、2024 年から

2035年までに約27%増加すると予測されており、都市開発が人口増加と同様のペースで進むと仮定すると、雨水流出係数は0.88に増加すると予想される。

JICA 総合治水MPでは、CMAの目標雨水流出係数は、河川洪水と都市洪水の両方の対策で0.8に設定されている。2035年までに予測される雨水流出係数0.88はこの目標を超え、増加する雨水流出の影響を緩和し、効果的な洪水管理を維持するために、MPとは別に約4.7百万立方メートルの雨水貯留が必要になる。



出典: CMDA 第2次マスタープラン

Figure 4-1: 2006年のCMA土地利用(左)と2026年の土地利用計画図(右)

#### 4.2.2 第2次チェンナイ都市開発マスタープランにおける洪水リスク管理

現在の土地利用と都市計画の基礎となっている第2次CMA MPで概説されている開発方針を分析すると、洪水リスク軽減の観点からいくつかの重要な点が明らかになった。

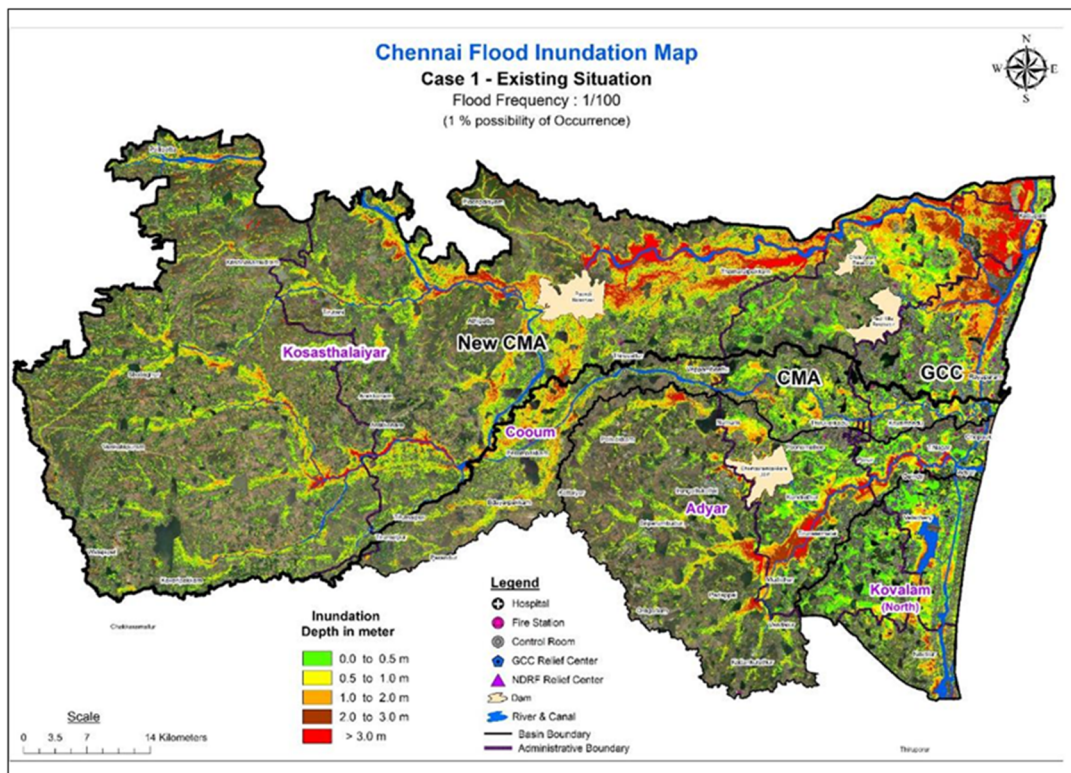
- 開発戦略は、CMA内の経済活動の郊外への分散化を目指しており、CMA外の衛星都市も含まれる。
- 洪水のリスクは認識されているものの、都市計画に実践的な対策が組み込まれていない。
- チェンナイの水域管理方針は、主に飲料水と農業用灌漑を確保するための地下水保全を重視しており、洪水管理における水域の役割について認識されていない。
- 都市計画や都市構造の基本的な構成要素としての緑地の重要性、特に遊水地としての活用や雨水流出抑制に寄与する雨水浸透機能が認識されていない計画に不可欠な対策としての緑地の重要性は、自然の貯水、水の浸透、環境の改善、レクリエーションに貢献しているが、洪水対策への役割が十分に認識されていない。

- 計画の実施手順と監視メカニズムは明確に定義されておらず、水域の保全などの重要な事項の実施が確保されていない。

これらのギャップは、洪水リスク軽減を都市計画と土地利用に反映するためのより包括的な戦略を必要としている

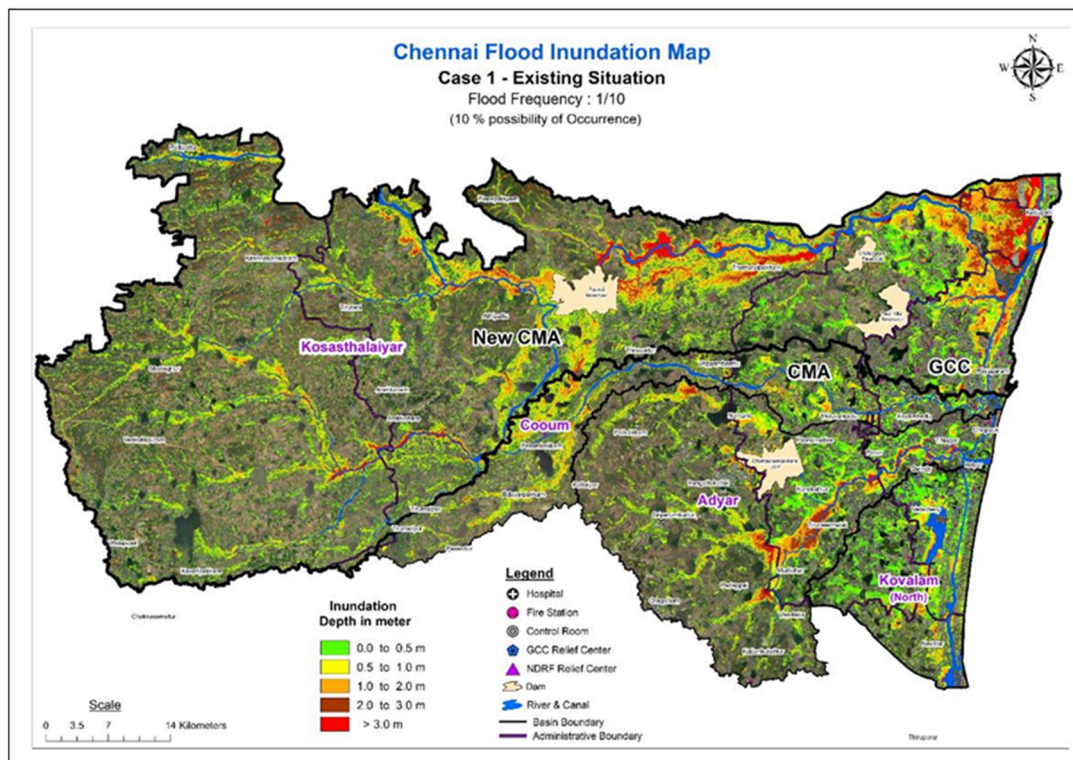
#### 4.3 洪水災害リスク分析

JICA 総合治水 MP の一環として、さまざまな確率降雨の洪水氾濫危険区域図が作成されており、詳細な洪水リスク分析の基礎となっている。100年確率降雨（RP）の洪水の場合、CMAの約46%の地域と520万人が影響を受けるリスクがある。対照的に、10年確率降雨の洪水では、CMAの約33%の地域と370万人が影響を受ける。Figure 4-2とFigure 4-3は、100年確率降雨と10年確率降雨の両方の洪水氾濫危険区域図を示しており、2つのシナリオでの洪水の範囲を表示している。



出典： JICA Expert team

Figure 4-2: 100年確率洪水氾濫危険区域図



出典： JICA Expert team

Figure 4-3: 10年確率洪水氾濫危険区域図

#### 4.4 提案された戦略と推奨事項

JICA 総合治水 MP は、第3次 CMA MP への治水戦略の主流化として、雨水流出係数 (R/R) の制御、および残余リスクの管理を目的とした4つの戦略を提案している。各戦略には、土地利用、建築規制、および関連対策に焦点を当てたガイドラインが付されている。

Table 4-1: 第3次 MP に反映すべき4つの適応戦略

戦略と主旨	
戦略1	<b>都市計画戦略</b> ハザードマップの公表により人々の洪水対策意識を高める。
戦略2	<b>水域保全戦略</b> 既存の水域を都市開発から保全し、将来の河川や水路の拡張や遊水池のための保全地帯を設置する。
戦略3	<b>雨水流出抑制戦略</b> 雨水浸透のために農地と緑地を保全し、新しい開発には雨水貯留施設設置を義務付ける。
戦略4	<b>残余リスク管理戦略</b> 本 MP 事業 の実施中および完了後、100年確率洪水又はそれ以上の洪水のリスクに対する対策を行う。

#### 4.5 戦略1:都市計画戦略とガイドライン

洪水を考慮した都市計画は、JICA 総合治水 MP における災害管理の要であり、河川および都市排水による洪水対策と密接に連携している。4つの流域すべてにおいて、さまざまな確率降雨（2、5、10、20、50、80、100年）の洪水氾濫危険区域図が作成された。これらの図は、被災者、さまざまな水深の浸水地域、重要なライフラインとインフラへの影響の評価など、調査対象地域の災害リスク分析に不可欠である。さらに、第3次 CMA MP で検討すべき問題個所の特定にも役立つものである。

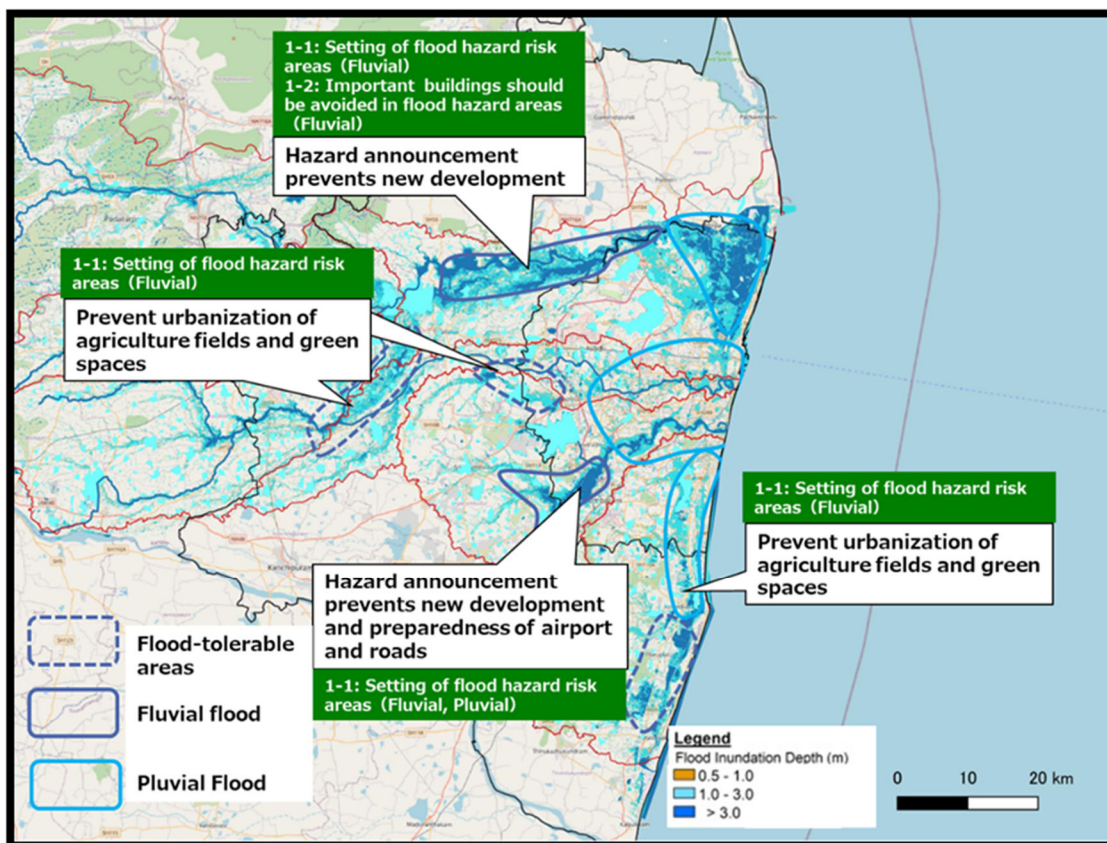
確率降雨のうち、100年および10年の氾濫危険区域図は特に重要である。河川洪水対策の目標安全レベルは100年確率降雨に基づいているが、都市雨水対策は10年確率降雨に基づいている。次のセクションでは、JICA 総合治水 MP の都市計画の戦略1の2つの主要な対策について説明する。この戦略は、次のセクションで説明する他の戦略とともに、第3次 CMA MP に取り入れられることを目的としている。Figure 4-4 は、戦略1の2つの対策に関連する洪水氾濫危険区域図と対策実施か所を示している。

##### 4.5.1 対策1-1:洪水危険地域の特定

第3次 CMA MP（2027～2046年）の主要対策として、洪水多発地域の特定は洪水を考慮した都市計画の基礎となる。この取り組みでは、JICA 総合治水 MP に基づいて開発された洪水氾濫危険区域図を活用し、100年確率降雨の氾濫危険区域図に基づいて、水深0.5メートル以上の洪水地域を正確に特定することに重点を置いている。これらの氾濫危険区域図は、現在治水計画がない地域を含むすべての流域の氾濫危険区域に関する重要な指針を提供する。この情報は、ゾーニング規制、再開発の優先順位、都市の回復力戦略の指針となり、将来の都市開発が洪水リスクを効果的に緩和し、チェンナイの長期計画目標と一致すべきである。

##### 4.5.2 対策1-2:重要な施設を洪水危険地域から遠ざける

重要施設の安全性を確保することは、第3次 CMA MP の洪水耐性戦略の中核をなすものである。100年確率降雨をまたはそれ以上の氾濫危険区域があると特定された地域では、避難所、病院、消防署、災害救援拠点などの重要インフラは、国家災害管理ガイドラインに準拠する必要がある。理想的には、これらの施設は洪水多発地帯内に設置すべきでは無い。しかし、移転が現実的でない場合は、洪水発生時に機能を維持するために、これらの施設は過去の洪水の最高水位レベルよりも高い位置に建設する必要がある。このアプローチにより、重要な都市サービスの水害への耐性が確保され、人命が保護され、異常気象時にも効果的な災害対応が可能になる。



出典： JICA Expert team

Figure 4-4: 都市計画戦略適用位置概念図

#### 4.6 戦略2: 水域保全戦略とガイドライン

水域保全戦略として、自然水域・水系の保全、河川沿いの遊水池機能の整備、将来の河川対策・都市排水に必要な用地の確保の3つの対策で構成されており、これらは第3次CMA MP及び、JICA総合治水MP両方に必要な対策である。これらは、洪水リスクを軽減し、自然の雨水貯留能力を高めるために必要である。河川の緩衝地帯を取り入れることにより、自然の雨水の流れと洪水対策の取り組みを妨げる水域への市街地の侵入と開発を防ぐものである。この対策により、河川の拡張、維持管理、持続可能な洪水管理対策の用地が確保される。当MPの第2章で説明されている雨水を貯留するために選択されたタンクと水域の場所は、図4-5で、戦略2の3つの対策に関連する場所に示されている。

##### 4.6.1 対策2-1: 既存の自然水域・水系の保全

JICA総合治水MPは、将来の河道拡幅と維持管理を見据えて、河川沿いの両側に幅15～30メートルの緩衝地帯を設けることを提案している。同様に、水路や排水施設沿いにも、流量に応じて1～15メートルの緩衝地帯を指定している (Table 4-2)。これらの緩衝地帯は、都市計画に確実に取り入れられるように、土地利用図上に表示される必要がある。湖沼については、緩衝地帯の境界は地形、管理道路、堤防などの自然要素によって境界が定義さ

れ、将来の改修や維持管理活動に十分な用地が確保される。

Table 4-2: 運河と雨水排水路の緩衝地帯の提案

Canal/Drains	Discharge at the Outlet (cusec)	Average Width (ft)	Proposed Buffer Zone (ft)	Examples
Open Surface	Class 1: Larger than 1500	N/A	30 to 50	Buckingham Canal, Kodungaiyur, Captain Cotton, Otteri Nullah, Padikuppam Drain, Virugambakkam-Arumbakkam, Nandanam, Mambalan, MGR, Nandambakkam, Manapakkam
	Class 2: Between 500 to 1500		10 to 30	Ambattur SIDCO Drain, Nungambakkam Drain, Nolambur Drain, Trustpuram Canal Guindy, Kolapakkam
	Class 3: Less than 500		5 to 10	Chelammal
Fully Covered	All	All	No buffer	All covered drainages including cut & covers
Partially Covered	All	All	5 to 10 ft in open spaces	
Open Surface SWD	N/A	larger than 5ft	3 to 10 ft	Under the control of GCC or other municipalities
		Less than 5ft	No buffer	

#### 4.6.2 対策 2-2: 河川沿いの遊水池機能の整備

洪水への耐性をさらに向上させるため、この対策では、100年確率洪水の氾濫危険区域で、河川沿いの緑地、公園、遊水地の開発に重点を置いている。農地、緑地、公園等のオープンエリアは、遊水地として機能するように戦略的に開発され、遊水機能と浸透機能を改善することで洪水リスクを軽減する。これらのエリアは、河川計画と都市排水計画と連携して開発され、都市景観も向上させながら洪水管理に貢献する。都市部に緑のインフラストラクチャを統合することで、洪水と環境・レクリエーションの両方の利点が得られ、洪水の影響を緩和しながら持続可能な都市の成長を促進する。

#### 4.6.3 対策 2-3: 将来の河川対策・都市排水に必要な用地の確保

河川対策に関し、4つの流域にまたがる既存の貯水池と水域の保護と保全は、効果的な洪水管理にとって極めて重要である。JICA 総合治水 MP では、Adyar 川流域に 50 のタンク、Cooum 川流域に 31 のタンク、Kovalam 川の北部に 61 のタンクが指定されている。3流域には 128 のタンクがあり、Kosasthalaiyar 川流域には 119 の貯水槽があり、詳細は Table 4-3 に示される。これらの指定されたタンクは、JICA 総合治水 MP の実施中に流域レベルで洪水を貯留するための最低限の要件である。さらに、新 CMA の外側にある Kosasthalaiyar 川流域の上流域に 380 の貯水槽が指定されており、第 3 次都市開発マスタープランの主な

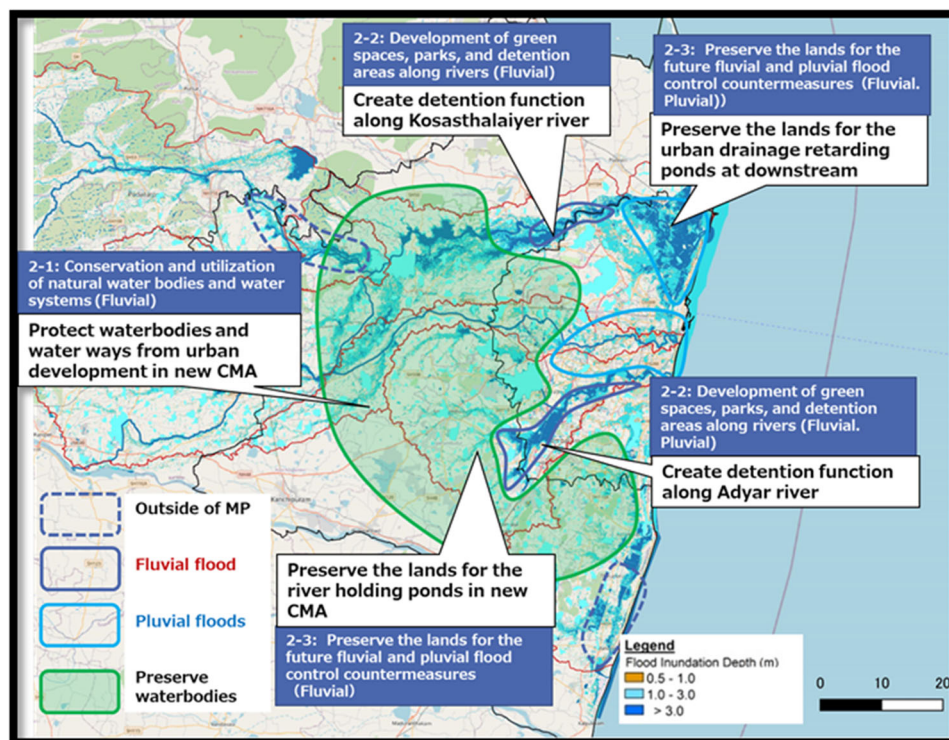
焦点はCMAであるが、新CMAの空間計画も検討する必要がある。JICA総合治水MPでは、新CMAの内外を問わず、すべての水域とタンクの保護と保全を強化している。これらのタンクは、洪水貯留能力の向上に重要な役割を果たしており、都市開発の侵入による水域の縮小から保護する必要がある。

上記の水域の位置、水系、排水システムは、JICA総合治水MPの第2章に詳述されており、タンクと接続排水路の両方を保護することが必要である。これらの接続が途絶えると、洪水管理の有用性が損なわれる。各タンクの指定されたエリアに基づいて緩衝地帯を決定する必要がある。また、2011年の地形マップに示されるように、タンクの既存の水面の境界を明確に定義して保全し、将来の都市開発の侵入を防ぎ、洪水貯留機能を確保することが推奨される。

Table 4-3: 選定した貯水池の面積と貯水容量

Basin	No. Tanks	Improve Flood Storage Capacity (MCM)	Area (km <sup>2</sup> )
Adyar	50	88	47.4
Cooum	31	38	23.1
Kovalam	61	41	13.9
Kosasthaliyar	119	203	171.1

都市排水対策に関し、将来の洪水対策のために土地を保全することは、この戦略の重要な対策である。前述のタンクと水域に加えて、JICA総合治水MPの第3章では、特にノースバッキンガム運河に接続する排水路沿いに、都市排水貯留のための場所がいくつか提案されている。これらのエリアは、North Buckingham運河と3つの主要な接続排水路の両方で、JICA総合治水MPを実施するために必要な調整池やその他の洪水管理施設を建設するために特定された。これらの敷地は、将来の実施プロジェクトで確実に利用できるように、土地利用規制によって保全され、土地利用計画図上に表示される必要がある。これらの敷地を事前に確保することで、都市化の進行に合わせて、効果的な洪水制御対策を実施するための準備が整い、洪水に対する都市の回復力が強化され、重要なインフラストラクチャと住民が水害から保護される。



出典： JICA Expert team

Figure 4-5: 域保全戦略適用位置概念図

#### 4.7 戦略3: 雨水流出抑制戦略とガイドライン

都市計画は、洪水を悪化させる可能性のある降雨量と流出量の比率である雨水流出係数を管理する上で重要な役割を果たす。重要な戦略は、特に雨水の貯留と浸透のために、オープンスペースと緑地を保護することである。新しい都市開発に直面するとき、形成される都市環境と自然の雨水貯留機能のバランスを維持することが必要である。これにより、開発によって河川流域の雨水流出係数を効率的に管理する能力が損なわれることがなくなる。Figure 4-6 は戦略3の対策の空間分布を示している。

##### 4.7.1 対策3-1: 流域の緑地と農地の保全

JICA 総合治水MPでは、CMA および新CMAの緑地と農地の保全と保存を提案している。これは、雨水流出を制御するために必要であり、特に人口密度の低い流域の非都市部は、市街化の進行から保全する必要がある。そうすることで、自然景観を維持し、自然に雨水の浸透・貯留機能が生まれ、流域の雨水流出係数を減らすのに貢献し、将来の都市化が洪水管理に与える影響を軽減する。

##### 4.7.2 対策3-2: 新規開発における雨水貯留施設設置の義務化

JICA 総合治水MPでは、CMA および新CMAにおいて、1,000m<sup>2</sup>以上の敷地面積を有する開

発には、地上または地下の雨水貯留施設の設置を義務付けることを提案している。新しい開発による雨水流出量の増加への影響が抑制され、既存の洪水管理および都市排水施設への負担がさらに増えるのを防ぐことができる。このような施設の設置を義務付けることにより、流域での大雨の際に雨水流出量に対処する能力が向上し、洪水のリスクが軽減され、雨水の自然な流れが維持される。以下の表は、各流域の降雨量が1%増加した場合に対応するために必要な新しい雨水貯留容量を示している。

Table 4-4: 単位当たりの雨水流出率を制御するために必要な貯水量

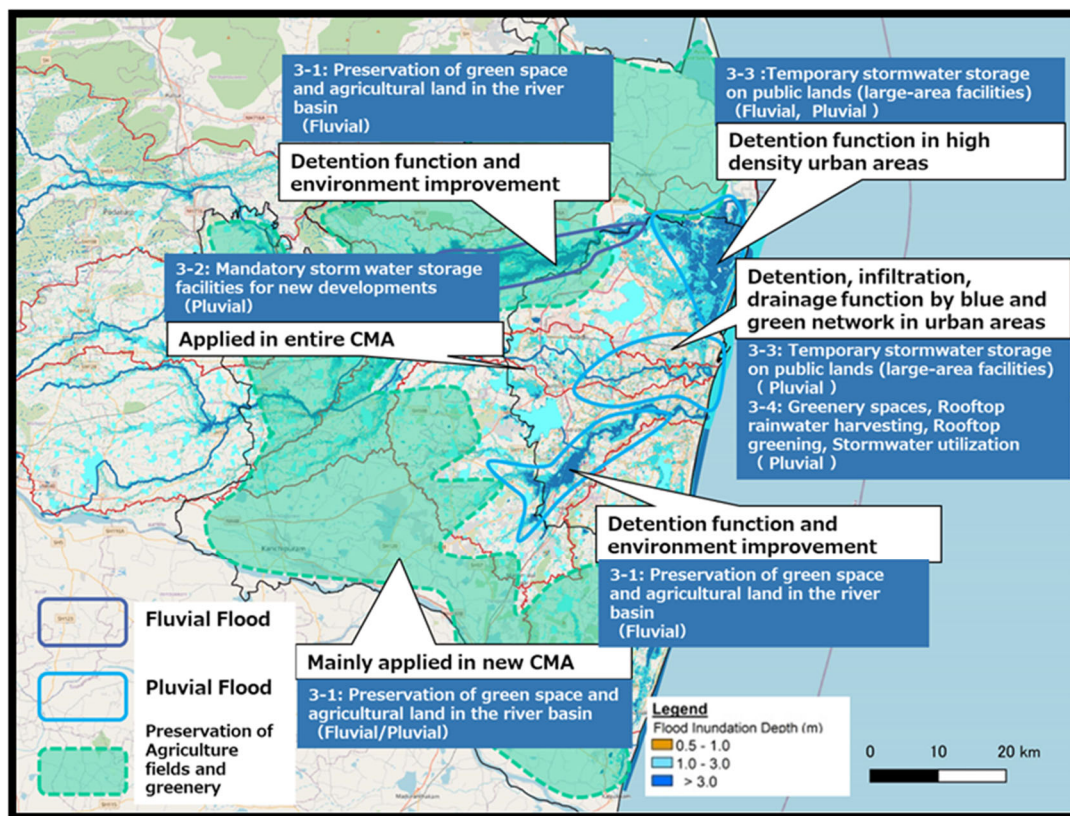
Basin	Area (km <sup>2</sup> )	Unit increase in R/R	Virtual Increased Area (km <sup>2</sup> )	Requires Flood Storage per km <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	Required Additional Storm Water Storage (m <sup>3</sup> )
Adyar Basin within CMA	304	0.01	3.04	50,000 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> Based on Tokyo Metropolitan Government Standard	152,000
Cooum Basin within CMA	174		1.74		87,000
Kosasthaliyar Basin within CMA	501		5.01		250,500
Kovalam Basin within CMA	210		2.1		105,000
Total CMA	1,189		11.19		594,500

#### 4.7.3 対策3-3: 大面積の公共施設用地内での一時的な雨水貯留

CMAの100年確率洪水危険区域内の地域では、都市公園、公立学校などの公共エリアが一時的な雨水貯留施設として指定される。これらの大規模な施設は、大雨の際に過剰な降雨を貯留する緩衝地として機能し、周辺地域への雨水貯留の負担を低減する。この目的で公共空間を活用することは、雨水を管理すると同時に、住民が利用できる緑地を維持するための効率的で費用対効果の高い解決策である。

#### 4.7.4 対策3-4: 敷地内の緑化、屋上緑化、雨水利用敷地内の緑化、屋上緑化、雨水利用等

CMA内で、1,000m<sup>2</sup>以上の敷地の新しい開発では、空地の少なくとも20%の屋上緑化や雨水浸透機能のある緑化に充てることを義務付ける。この対策は、雨水を貯留し、雨水排水施設への負荷を軽減することで、雨水流出の発生源で雨水排水量を管理する。さらに、雨水貯留施設を設置したり、雨水利用施設を設置する個人には補助金を提供し、CMA全体で雨水管理を促進する。



出典： JICA Expert team

Figure 4-6: 流出抑制戦略適用位置概念図

4.7.4.1. 各流域の雨水貯留機能の試算

河川流域の雨水流出水管理に必要な雨水貯留容量を評価するため、戦略 3-1、3-2、3-3 の雨水流出制御対策の実施により実現できる潜在的な雨水貯留容量を試算した。これらの戦略に基づく洪水貯留容量の合計増加量は、Table 4-5 に示すように約 5.8 MCM と推定される。

Table 4-5: 戦略 3 の実施による雨水貯留容量

Component	Land Use/ Facilities	Detention Areas	Adyar (MCM)	Kovalam (MCM)	Cooum (MCM)	Kosasthalaiyar (MCM)	Total (MCM)
3-1	Agriculture	Agricultural land	0.21	0.02	0.02	0.10	0.35
3-2	Required Detention Pond	Detention ponds on-site	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3-3	Public Housing (5% of areas)	Open space between housing, parking	0.99	0.80	0.59	1.24	3.62
3-3	Public	Outdoor	0.21	0.12	0.13	0.29	0.75

Component	Land Use/ Facilities	Detention Areas	Adyar (MCM)	Kovalam (MCM)	Cooum (MCM)	Kosasthalaiyar (MCM)	Total (MCM)
	Schools (2ha for 10% of schools)	playground					
3-3	Park (10% of Greenery)	Open spaces	0.44	0.26	0.23	0.16	1.09
<b>Total</b>			<b>1.85</b>	<b>1.21</b>	<b>0.97</b>	<b>1.79</b>	<b>5.81</b>

Table 4-6 の戦略 3 の 3 つの対策を実施することで達成される総貯留容量 5.8MCM では、4.2.1 で説明したように、雨水流出係数を 0.8 に維持し、0.88 まで上昇しないようにするために必要な推定貯留容量と比較する。

4.2.1 では、雨水流出係数が 0.8 から 0.88 にさらに上昇するのを防ぐために、470MCM の貯水量が必要であると推定されている。戦略 3 を実施することで、この目標を達成するために 580MCM の雨水貯留量を確保することが出来る。合計貯水容量 580 万 MCM は、全流域では必要な容量を 110MCM 上回っているが、Kosasthalayar 川流域の容量は 180 万 m<sup>3</sup> で、必要な貯水量 200 万 m<sup>3</sup> をわずかに下回っている。

Table 4-6: 雨水流出抑制戦略での雨水貯留容量

Basin	Required basin storage capacity to prevent R/R from further increasing from 0.8 to 0.88 (MCM)	Estimated increase in detention capacity by strategy No. 3 (MCM)
Adyar Basin	1.2	1.8 million m <sup>3</sup>
Kovalam Basin	0.8	1.2 million m <sup>3</sup>
Cooum Basin	0.7	1.0 million m <sup>3</sup>
Kosasthalaiyar Basin	2.0	1.8 million m <sup>3</sup>
Total	4.7	5.8 million m <sup>3</sup>

#### 4.8 戦略 4: 残余リスク管理戦略とガイドライン

この戦略は、JICA 総合治水 MP の実施後に残る残余リスクの管理に重点を置いている。MP 実施のそれぞれの段階にわたって、各種残余リスクに対する具体的なアクションを概説している。残余リスクの分類は、事業進捗の各段階でどの戦略を適用すべきかを判断するのに役立つ。

残余リスクは、JICA 総合治水 MP 事業の実施フェーズと対象とする確率降雨に基づいて分類される。対象とする確率降雨は、MP 事業のフェーズ 1 後の目標安全レベルの対象となる 10 年確率降雨、全対策完了後の目標安全レベルとしての 100 年確率降雨、および 100 年確率降雨を超える過去最大降雨の洪水を想定する。Table 4-7 は、これら各フェーズの残余リスクを含む洪水リスクの分類を示している。Figure 4-7 は、洪水残余リスクを管理するための戦略 4 の 5 つの対策の空間分布を示している。

Table 4-7: 洪水リスクの分類

MP 事業 Flood RP	Before the MP project start	After Phase 1 implemented	After all countermeasures are implemented
10 years RP	Fluvial floods: All Existing Risk Pluvial Floods: All Existing Risk	Fluvial floods: No Risk Pluvial Floods: No Risk <b>Pluvial Floods due to lack of Storm Water Drainage(SWD): Residual Risk⑤</b>	Fluvial floods: No Risk Pluvial Floods: No Risk <b>Pluvial Floods due to lack of Storm Water Drainage: Residual Risk⑤</b>
100 years RP	Fluvial floods: All Existing Risk Pluvial Floods: All Existing Risk	<b>Fluvial floods: Residual Risk②</b> <b>Pluvial Floods: Residual Risk④</b> <b>Pluvial Floods due to lack of Storm Water Drainage: Residual Risk⑤</b>	<b>Fluvial floods: No Risk③</b> <b>Pluvial Floods: Residual Risk④</b> <b>Pluvial Floods due to lack of Storm Water Drainage: Residual Risk⑤</b>
More than 100 years RP	Fluvial floods: All Existing Risk Pluvial Floods: All Existing Risk	<b>Fluvial floods: Residual Risk①</b> <b>Pluvial Floods: Residual Risk④</b> <b>Pluvial Floods due to lack of Storm Water Drainage: Residual Risk⑤</b>	<b>Fluvial floods: Residual Risk①</b> <b>Pluvial Floods: Residual Risk④</b> <b>Pluvial Floods due to lack of Storm Water Drainage: Residual Risk⑤</b>

戦略 4 による残余リスクに対処するために、JICA 総合治水 MP の実施中および完了後に適用される 5 つの対策を提案する。これらの対策は、降雨確率別の洪水に対するリスクや、全ての MP 事業の完了後に特定される残余リスクの影響を軽減することに重点を置いている。

#### 4.8.1 対策 4-1: 氾濫危険区域における土地利用と建築規制 (対象残余リスク 外水②)

この対策は、フェーズ 1 後の残余リスク分類 2 に対応する。これらの分類では、目標安全レベルは 10 年確率降雨であるが、10 年確率降雨と 100 年の確率降雨の間に洪水のリスクが残っている。当該地域では、洪水による被害を最小限に抑えるための建築規制の実施が提案されている。洪水に影響されないよう、1 階の居室を避けた 2 階建ての住宅やその他の土地利用対策などである。さらに、重要な都市施設やインフラ施設を洪水が発生しやすい地域から移転することが推奨されている。これらのアクションは、洪水の影響を軽減するために、土地利用、建築行為、および施設構造への規制が厳密に適用され、残余リスクを効果的に管理することを目的としている。

#### 4.8.2 対策 4-2: 洪水リスクエリアの未開発地の用途変更 (対象残余リスク⑤)

この対策は、JICA 総合治水 MP 事業の完了後に残る SWD 洪水リスクに関連する、5 に分類される洪水残余リスクを対象とする。残余リスク分類 5 は、マスタープランのすべての対策が実施された後に、河川洪水リスクが軽減されたものの、SWD が未整備の地域で発生する。

この残余リスクを管理するために、氾濫危険区域内の未開発の土地が存在する場合、その利用は潜在的な洪水リスクを回避するために再評価される。この戦略では、氾濫危険区域内を空地、公園、その他の洪水対策機能に指定出来るよう、土地利用を開発目的から非開発目的に移行することを推奨している。これにより、人々と将来の都市インフラが洪水リスクにさらされる可能性が最小限に抑えられ、敷地が自然の緩衝地帯として保全され、地域全体の洪水に対する強靱化が向上する。

#### 4.8.3 対策 4-3: 重要都市施設の氾濫危険区域外への移転 (対象残余リスク①, ②, ④, ⑤)

この対策は、JICA 総合治水 MP 事業のフェーズ 1 実施後及び事業完了後の 100 年確率洪水危険地域に対し、1, 2, 4, 5 に分類される洪水残余リスクを対象としている。残余リスクの分類 2 は、フェーズ 1 後も 100 年確率洪水のリスクが残っている地域を表し、残余リスクの分類 4 は、10 年確率洪水の目標安全レベルを達成したにもかかわらず、100 年確率洪水地の都市洪水リスクに依然として直面している地域に適用する。

戦略では、土地利用規制の対象となる重要施設やその他のインフラを、特定された洪水リスク地域外に移転することを提案している。この措置は、洪水発生時に起こり得る被害や混乱を最小限に抑え、重要な都市サービスとインフラが機能し続けるようにすることを目的としている。洪水に脆弱な施設をより安全な地域に戦略的に移転することで、コミュニティの洪水からの回復力を高め、これらの地域での洪水による長期的な経済的および社会的影響を軽減する。

#### 4.8.4 対策 4-4: 新規面開発や再開発による土地の嵩上げ (対象残余リスク④)

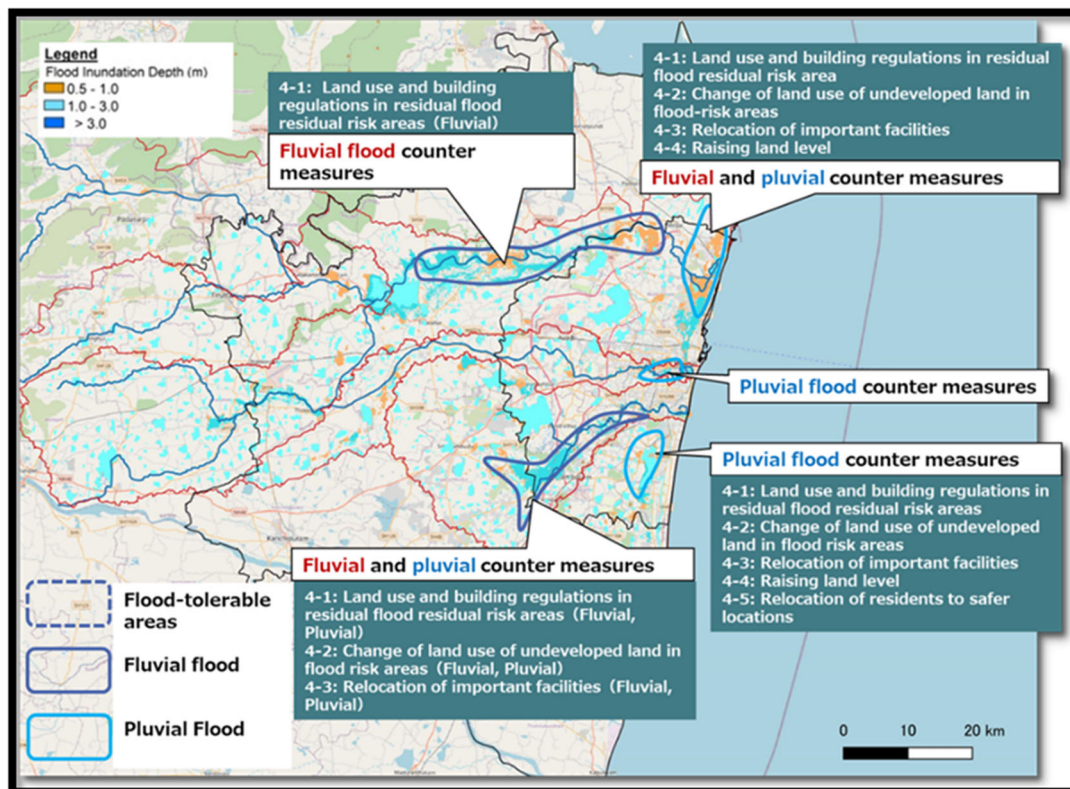
この対策は、4 に分類される洪水残余リスクに対処する。この対策では、エリア内の新規開発および再開発プロジェクトのために、土地の高さを上げることを推奨している。敷地を予測される洪水レベルより高くすることで、将来の開発が洪水から守られる。この対策は施設の脆弱性を軽減し、インフラ施設と住宅の長期的な持続可能性を確保することで、流域の土地利用と洪水管理の目標と一致する。

#### 4.8.5 対策 4-5: より安全な場所へ集団移転 (対象残余リスク③ (Kovalam のみ) , ⑤)

JICA 総合治水 MP 事業の完了後に 100 年降雨確率の洪水が発生しやすい地域に焦点を当て、3 と 5 分類される洪水残余リスクに対処する。分類 3 は、すべての事業を実施した後の洪水残余リスクであり、分類 5 は、不十分な SWD 対策箇所及び窪地等の局所的な対策のために 100 年確率洪水に対して氾濫危険区域となる地域を対象とする。

これらのリスク管理のために、スラム街を主体とした氾濫危険区域から、氾濫危険区域外より安全な場所に住民を移転することを提案する。この移転プロセスは、既に GCC で Rehabilitation Program として行われており、住民の同意を得て、参加型で公平な手続きによって行われている。この提案は、氾濫危険区域の対象地区の実施優先度を上げるもので

あり、この措置は、洪水リスクの軽減にとどまらず、コミュニティの全体の生活環境を向上させ、将来の洪水に対する安全性、安定性、回復力を高めることを目的とする。



出典： JICA Expert team

Figure 4-7: 洪水残余リスク管理戦略適用位置図 (Phase1 後)

#### 4.9 Adyar 川流域での 2 つの戦略の適用例の紹介

都市計画戦略と残余リスク管理戦略の代表的な適用例として、Adyar 川流域に適用した場合の実施例を提示する。以下、これらの対策の実施位置を示す Adya 川流域図を示す。

##### 4.9.1 戦略 1: 都市計画戦略の適用 (対象リスク: 全て)

この戦略では、洪水を考慮した都市計画戦略と土地利用のガイドラインを適用し、Adyar 川流域の洪水リスクに対処するための 2 つの主要な対策から構成される。対策 1-1 は、新しいチェンナイ首都圏 (CMA) 内の下流から上流にかけて、水深が 0.5 メートルを超える氾濫危険区域の境界線を引くことに重点を置いている。対策 1-2 は、リスクを最小限に抑えて安全性を高めるために、重要な施設をこれらの洪水多発エリアに設置しないことを強調している。対策 1-3 は、コンパクトな都市開発を促進し、オープンスペースと雨水が浸透しやすい緑地の創出を促進し、CMA と GCC の両方に適用される。Adyar 川流域全体のこの戦略とその対策の位置を Figure 4-8 に示す。

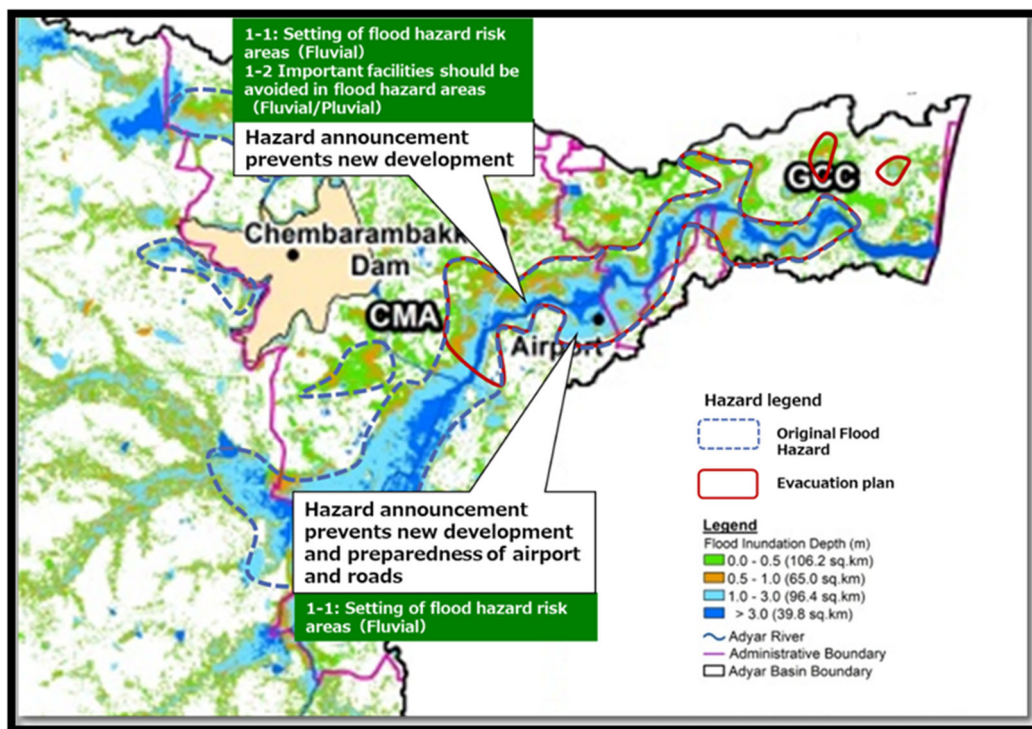
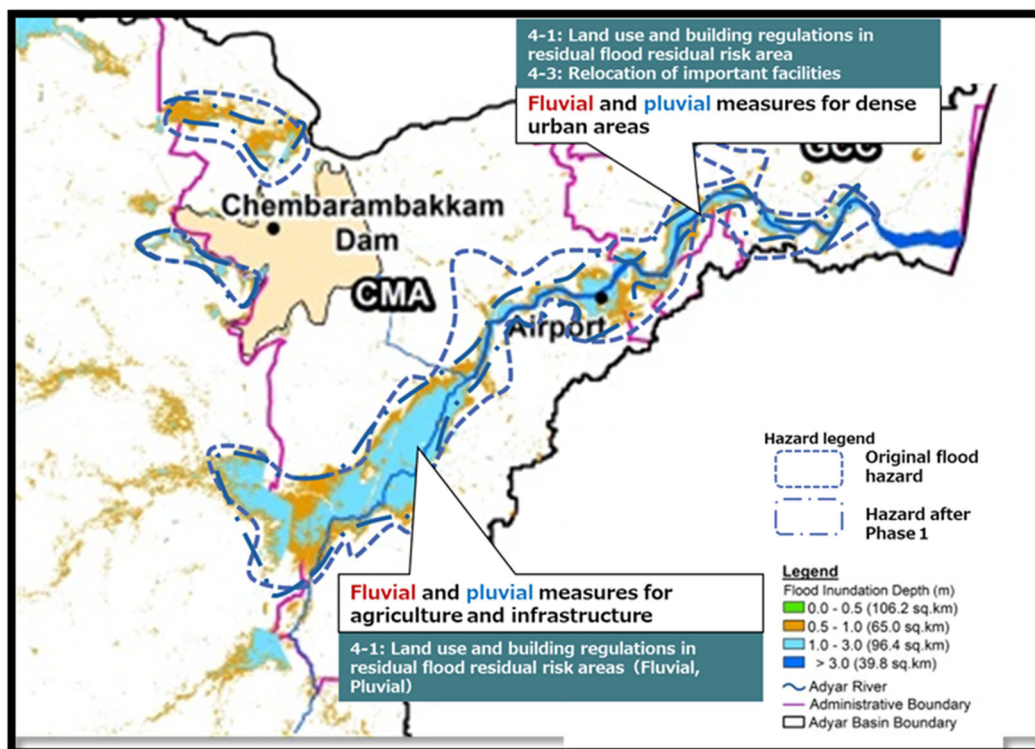


Figure 4-8: Adyar 川流域での都市計画戦略の適用 (MP 事業前)

#### 4.9.2 戦略4: 残余リスク管理戦略の適用

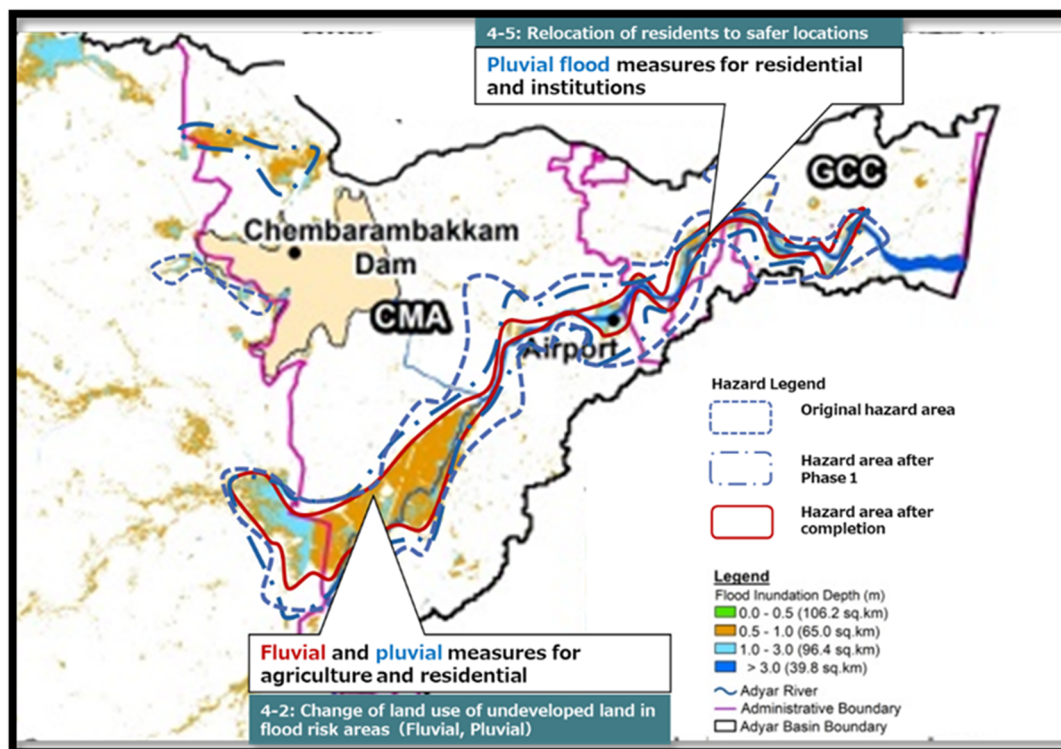
JICA 総合治水 MP 事業の Phase 1 の実施後、Adyar 川流域の氾濫危険区域における残余リスク分類 1 に対処するため、対策 4-1 では土地利用および建築規制の実施に重点を置き、対策 4-3 では重要な施設をより安全な場所に移転する。これらの対策は、洪水リスクを軽減し、被災地域の安全性を高めることを目的としている。Adyar 川流域におけるこれらの戦略の空間分布は、Figure 4-9 に示す。



出典： JICA Expert team

Figure 4-9: Adyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業 Phase1 後)

対策 4-2 では、MP 事業完了後の氾濫危険区域については、特に新 CMA の上流地域の未開発地域の土地利用用途を変更し、さらなるリスクを防ぐことを提案している。さらに、戦略 4-5 では、コミュニティの安全性と回復力を高めるために、スラムを中心に、脆弱な場所から GCC 内のより安全な地域に住民を移転することに重点を置いている。Adyar 川流域全体でのこれらの戦略の空間的適用位置を、Figure 4-10 に示す。



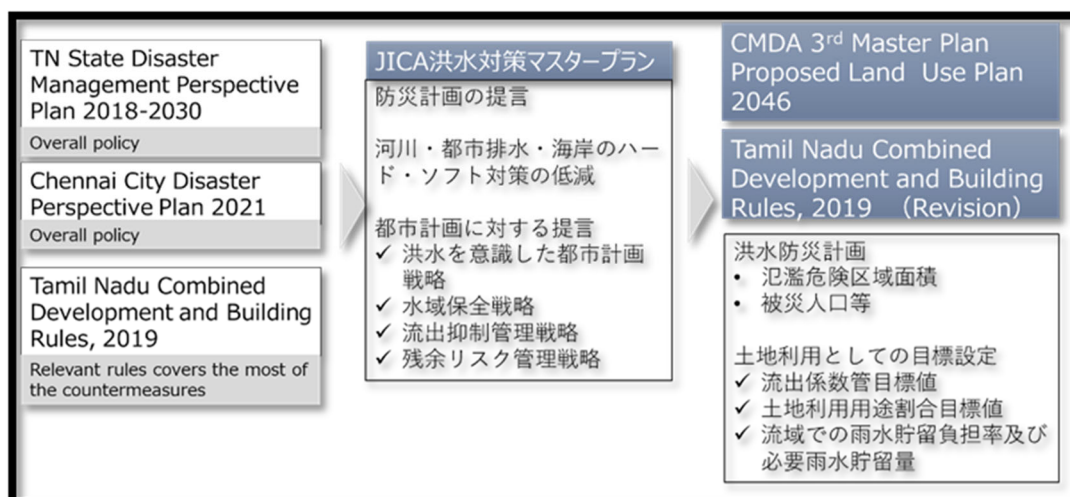
出典： JICA Expert team

Figure 4-10: Adyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業完了後)

#### 4.10 現状のガイドラインと規制の更新に関する推奨事項

第3次 CMA MP で検討される JICA 総合治水 MP で提示された洪水管理戦略とガイドラインに沿って、CMA の土地利用および建築に関する規制を更新するための概要を示す。更新事項は、都市計画と今後の都市開発が洪水リスクに対して回復力を持ち、水害リスクの軽減強化を目指し、Tamil Nadu 州包括的建築開発規制 (TNCBDR) を含む既存の開発・建築規制の枠組みに統合され、洪水リスクを軽減しながら都市成長によって進化するニーズに対応する。Figure 4-11 は、関連する条例と技術的なガイドラインにおける JICA 総合治水 MP の検討プロセスを示している。

提案された変更事項は、洪水が発生しやすい地域に対する戦略を組み込み、重要な施設の安全な移転を促進し、土地利用を管理して洪水リスクをより適切に管理することに重点を置いている。推奨事項は、現在および将来の都市開発行政を改善し、チェンナイの洪水リスクを管理するためのより包括的なアプローチを提供することを目指している。



出典： JICA Expert team

Figure 4-11: 推奨された戦略の検討のための条例・技術指針の枠組み

#### 4.10.1 チェンナイの開発規制と建築規制

本MPの戦略とガイドラインは、第3次CMA MPおよびCMDA による将来の防災指針の一部として、州政府の規制と勧告を通じて施行される。第2次CMA MPで規定された開発・建築規制は、すでに Tamil Nadu 州総合建築開発規制 (TNCBDR) に統合されている。その結果、将来の開発や既存の建物の改善に対応するこれらの規制への必要な変更は、TNCBDR の修正またはその付録を通じて行われる。

#### 4.10.2 Tamil Nadu 州総合建築開発規制への提案

以下の表で、都市計画の4つの洪水対策戦略について、現行の TNCBDR の該当する条項に照らし合わせ、提案した戦略に適用できる条項改正の一部の素案を赤字で提案する。

Table 4-8: TNCBDR の規定に対する戦略の適応例

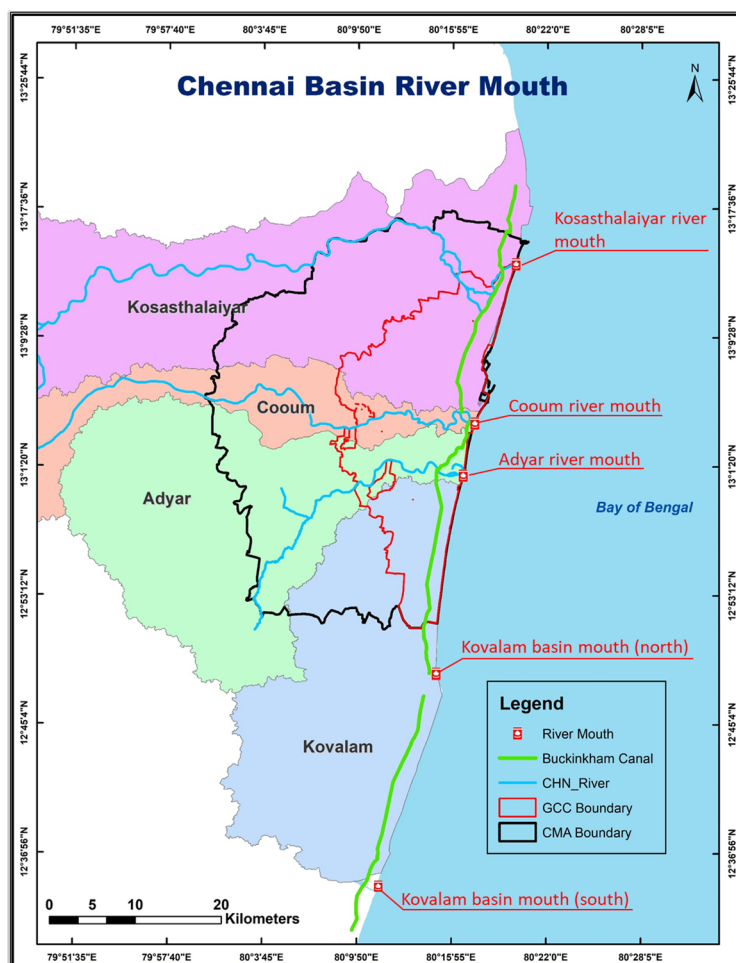
本 MP 提案	TN 州 開発および建築規則
<p>都市計画戦略 1-1: 氾濫危険区域の指定</p> <p>1-2: 重要施設は氾濫危険区域を避けるか建築規制を行う</p>	<p>9. 検査内容、付録 XVII 開発禁止または制限区域:</p> <p>(11) 帯水層涵養地域</p> <p>(12) 集水域 (CMA のみ)</p> <p>(13) Pallikaranai 湿原地域 (CMA のみ)</p> <p>✓ 戦略 1-1: 対象地: 新 CMA 内の 100 年確率洪水またはそれ以上の過去最大洪水による氾濫危険区域。水深 0.5m 以上のエリアを氾濫危険区域として指定し、洪水ハザードマップを公表する。</p> <p>✓ 戦略 1-2: 対象地: 新 CMA 内の 100 年確率洪水またはそれ以上の過去最大洪水による氾濫危険区域。重要公共施設 (軍、産業施設、病院、ライフライン、駅、商業施設等) をなるべく設置しない。</p>

## 5章 沿岸・河口対策

### 5.1 はじめに

チェンナイはベンガル湾に面した都市である。チェンナイの都市化された流域における総合洪水制御のためのマスタープラン策定において検討されている 4 つの主要流域はすべて、ベンガル湾に河口がある (Figure 5-1)。そのため、現在の状況と関係当局による進行中の計画を調査し、洪水時に河口が開口して適切に機能するとともに、河川や沿岸の堆積物による河口閉塞を防ぐために必要な補足対策を提案することが重要である。そこで、これらの流域の現況と関係当局によって進行中の河口対策計画を調査し、必要な追加対策について検討を行った。

この章では、既存の沿岸管理計画を確認し、河口と海岸線の変化を分析し、4 つの河川の河口とチェンナイ首都圏の海岸線の相互関係について評価した。この河口と海岸の分析評価は、総合的な洪水制御マスタープランの策定を検討する上で必要不可欠である。

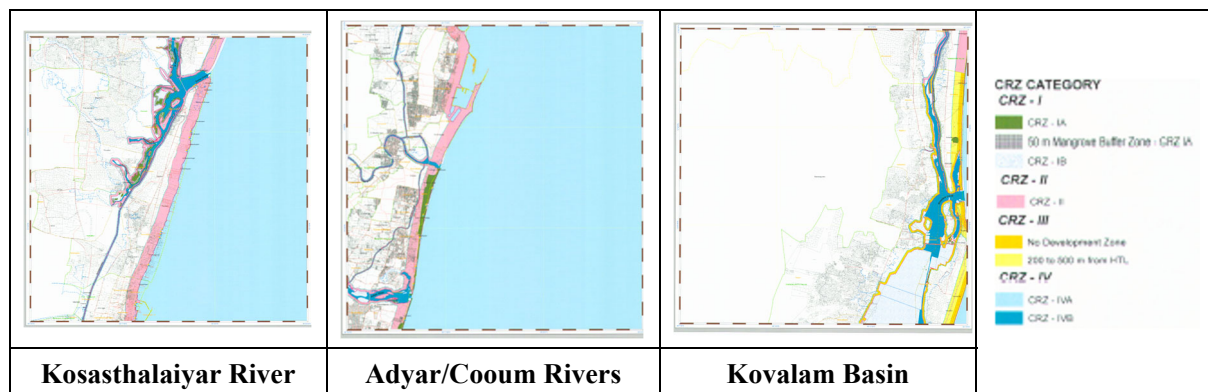


出典: JICA Expert Team

Figure 5-1 対象河川・河口及び周辺海岸

### 5.1.1 チェンナイにおける沿岸域管理計画 (CZMP)

インド政府は、沿岸環境を保護し、沿岸地域の開発活動を規制するために、沿岸規制区域通知を発行 (2019 年) した。この通知において、沿岸域は、沿岸地域の持続可能な開発を促進するために定義された 4 つの区域 (CRZ-I、CRZ-II、CRZ-III、CRZ-IV) に分類されている。CRZ 通知 (2011 年) に基づく CZMP が公開されており、CRZ 通知 (2019 年) に基づく CZMP の草案が公開されている。



Note: CRZ-I (ecologically sensitive), CRZ-II (built-up area), CRZ-III (Rural area), CRZ-IV (water area which includes the water areas up to 12 Nautical miles (Nm) of the territorial waters and the tidal influenced water bodies.)

出典: COASTAL ZONE MANAGEMENT PLAN MAPS 2011, NCSCM

Figure 5-2 対象河川河口の CZMP 区分図

### 5.1.2 海岸侵食防止対策事業

#### 5.1.2.1 海岸侵食及び堆積の状況

チェンナイ市の沿岸地域 (Thiruvallur、Chennai、Kancheepuram) には、釣りや砂浜でのレクリエーション活動の両方の中心として機能している人気のマリナーやビーチを含む、広大な砂浜が広がっている。海岸線は概ね安定しているが、チェンナイ港の北側では侵食傾向が見られ、Adyar 川河口及びその南側の海岸でもやや侵食傾向が見られている。

#### 5.1.2.2 現在の海岸侵食防止対策

Kosasthalaiyar 川河口の南側からチェンナイ港北側までの区間は海岸線が後退傾向であり、高波浪時に沿岸への越波や侵食被害が発生するため、海岸線には 1991 年～2003 年に傾斜堤が建設された (延長約 10km)。また、2004 年～2019 年に約 30 基の突堤が建設された。これらの対策は TNWRD または TNRDC によって実施された。Kovalam 流域の河口の南側から Sulerikattu kuppam までの区間についても、漁業省によって 2016 年～2019 年に約 15 基の突堤が建設された。Mamallapuram は侵食が激しいため、突堤と養浜を組み合わせた対策工が新たに計画されている。

傾斜堤や養浜などのこれらの対策は海岸侵食を軽減することを目的としているが、特に Kosasthalaiyar 川と Cooum 川の河口では、導流壁などの新しい構造物も建設されている。一方、これらの構造物は、自然な沿岸漂砂の移動を妨げるため、周辺海岸のさらなる侵食につながる可能性がある。従って、これらの新しい構造物の海岸への影響を評価するには、砂浜の変化を経時的に監視することが必要である。その結果、新たな侵食が見られる場合は、より広範囲で沿岸堆積物のバランスを回復するために、サンドバイパスなどの対策を検討する必要がある。

### 5.1.3 現在の河口閉塞防止対策事業と洪水管理マスタープラン

検討対象の4河川の河口部ではいずれも過去、河口砂州による河口閉塞が生じており、乾季には河口部の水質悪化を引き起こしており、雨季には洪水の流下能力の低下が発生する可能性がある。そのような中、Adyar 川以外の3河川では、河口閉塞防止対策としてすでに導流堤が建設されており、Kosasthalaiyar 川と Cooum 川では現在、新たな導流堤の建設が進められている。一方、JICA 洪水制御マスタープランのプロジェクト目標の観点においては、本章で検討する河口閉塞防止対策が最も重要である。

## 5.2 河口及び汀線変化の分析

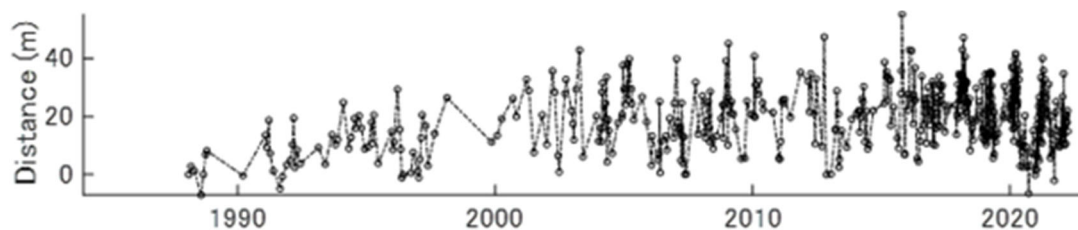
NCCR の調査では、モニタリング期間は1990年から2016年であり、最近の海岸線の変化は確認されていない。今後の海岸線や河口域の管理を適切に実施するためには、最新の海岸線や河口域の状況を把握するためのモニタリングを継続する必要がある。また、海岸線や河口域のモニタリングは、従来、航空写真や衛星写真から海岸線を手動でトレースしてデジタル化することによって行われてきたが、最新のデジタル技術を活用することによって、より効率的に行うことができる。

### 5.2.1 衛星画像を使用した海岸線変化の分析

本業務では、4つの地域に42のトランセクト（横断測線）を設定し、30年以上の期間の衛星画像を使用して海岸線の時系列変化について分析を行った。これらの地域には、Kosasthalaiyar 川流域（10測線）、Adyar 川流域と Cooum 川流域（10測線）、Kovalam 流域の北（11測線）、Kovalam 流域の南（11測線）の地域が含まれる。各横断測線における海岸線の変化は海岸線距離のグラフとして整理した。この図から時間の経過とともに海岸線が陸側（陸に向かって）または海側（海に向かって）に移動しているかを判別することができる。

この検討例として、Ramjan Mahal 近傍の海岸（Kosasthalaiyar 流域）におけるの横断測線の海岸線変化グラフを一つ示す。この横断線における海岸線の変化は、折れ線グラフとしてプロットし、海岸線の変化傾向を可視化した。このグラフにおいては、上側は海岸

線の海側への移動（堆積傾向）を示しており、下側は海岸線の陸側への移動（すなわち侵食傾向）を示している。

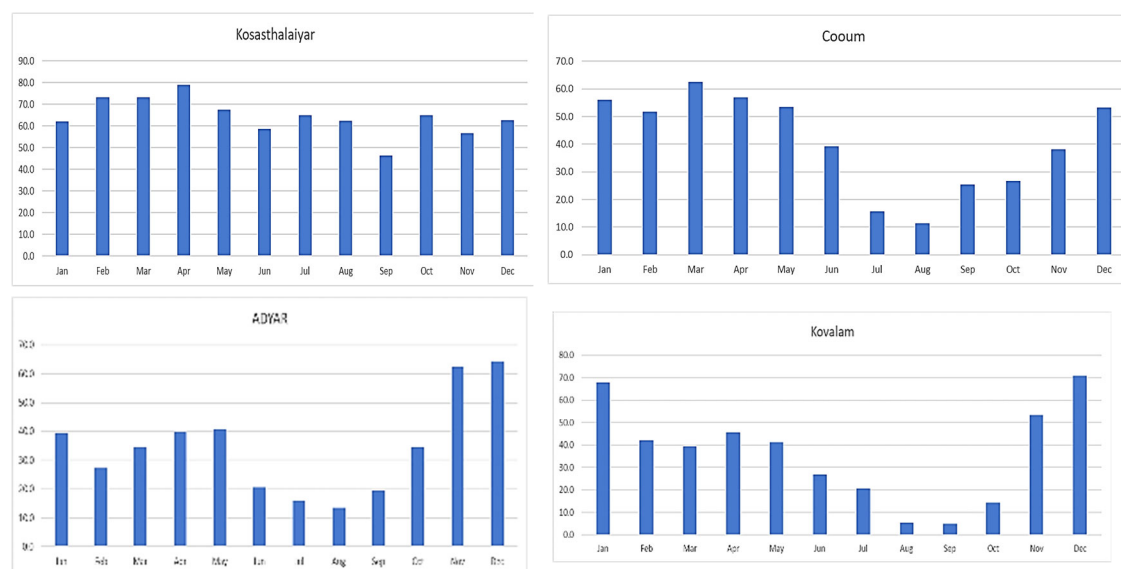


出典: JICA Expert Team

Figure 5-3: 衛星画像を用いた海岸の汀線変化解析例

### 5.2.2 衛星画像を用いた河口変化の分析

本検討では、衛星画像を活用して、河口幅の分析を行った。河口幅計測にあたり、河口付近の汀線は、汀線変化解析と同じ方法で検出し、河口幅の最も狭い部分をAIで検出・計測した。ここで、「河口幅」とは、河口の最も狭い部分の幅を指す。分析結果を月ごとに分類すると、季節パターンがみられる。河口幅は、Figure 5-4に示すように、モンスーン気候の影響により、通常雨が多くなる11月以降に広がり、乾季の8月頃に狭くなっている。

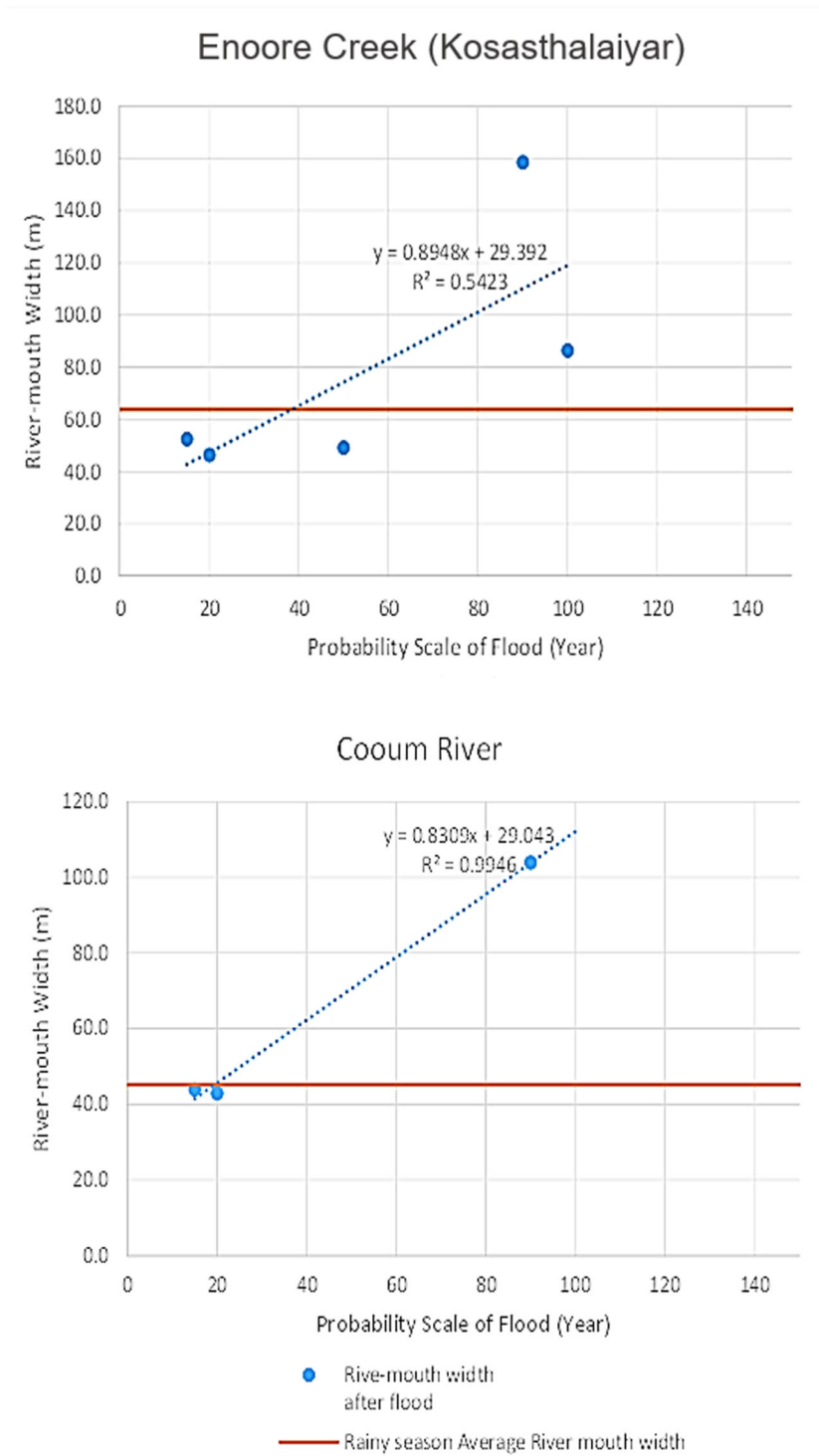


出典: JICA Expert team

Figure 5-4: 月別平均河口幅(m)

### 5.2.3 洪水確率規模と河口幅の関係

河口の幅と洪水の規模の関係を分析した結果、大規模な洪水は河口砂州を自然にフラッシュし、河口幅を広げる傾向があることが明らかとなった。河口幅の大幅な拡大は、通常、再現確率が50年を超える洪水の際に発生していることに留意が必要である。



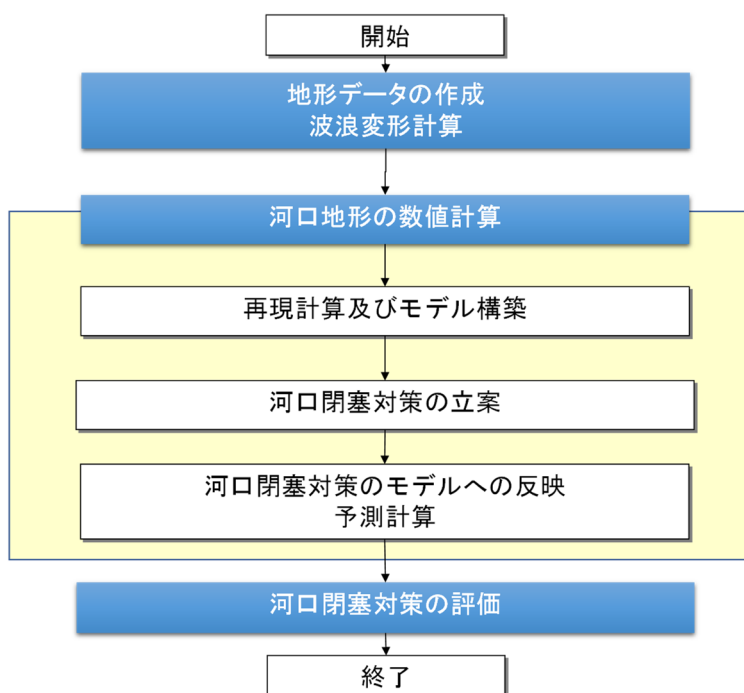
出典: JICA Expert team

Figure 5-5: 河口幅と洪水規模の関係 (Kosasthalaiyar & Cooum)

### 5.3 河口閉塞防止対策案

#### 5.3.1 解析手法とワークフロー

河口閉塞対策の検討フローを Figure 5-6 に示す。最初対象河川の河口部の地形データを収集し、河口地形モデルを作成する。その後、河口に対する外力として波浪変形計算を行う。波浪変形計算結果を外力として三次元海浜変形計算を行い、河口の砂州形成状況の再現を実施する。その再現計算で構築した数値解析モデルを用いて、立案した河口閉塞対策を実施した場合のケースについて予測計算を行う。最後に検討した河口閉塞対策を評価し、最も効果が高い河口閉塞対策を設定する。



出典: JICA Expert Team

Figure 5-6: 河口閉塞対策検討フロー

#### 5.3.2 河口閉塞防止の基本方針と提案された対策

現在、各河川の河口では、既に河口閉塞対策として導流堤や突堤が設置されており、モンスーン前に浚渫が実施されている。前項の河口特性や河口閉塞原因を踏まえて、追加対策を検討する。河口閉塞対策としては、日本における河口閉塞対策事例を踏まえ、導流堤・突堤、浚渫、沖合施設の3つの選択肢を検討する。各対象河川における追加対策の検討方針以下に示す。

##### 5.3.2.1 Kosasthalaiyar 川河口

インド政府は、最近（2024年）、河口の導流堤の建設を完了しており、これにより従来の河口閉塞の問題が効果的に解決されることが期待されている。

### 5.3.2.2. Cooum 川河口

Kosasthalaiyar 川と同様に、インド政府は、河口閉塞に対する主な対策として、Cooum 川河口での導流堤建設に着手している。

### 5.3.2.3. Adyar 川河口

インド政府が実施した調査では、Adyar 川河口の優先アプローチとして維持浚渫が推奨されている。Kosasthalaiyar 川や Cooum 川とは異なり、この対策は、導流堤のような強固な構造物を建設せずに河口を維持することを優先している。

### 5.3.2.4. Muttukadu (North Kovalam)

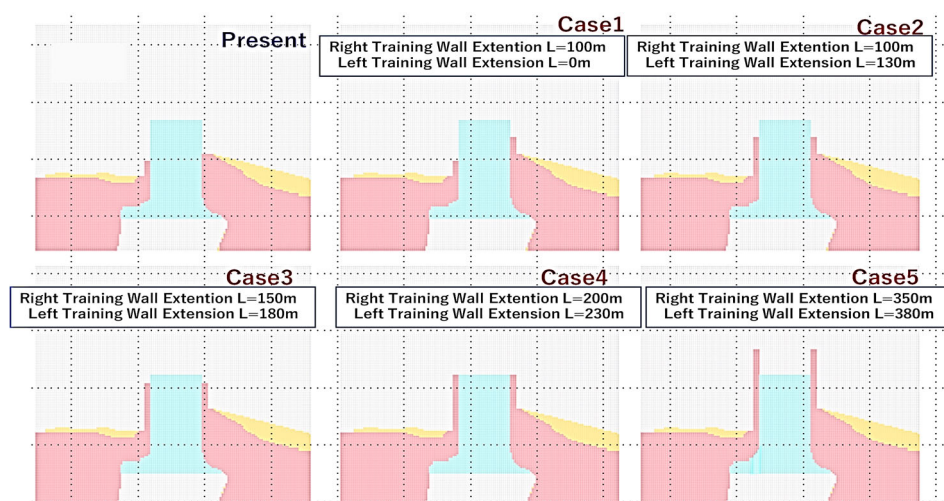
Muttukadu においては、すでに既設の導流堤が設置されているものの、導流堤先端付近まで南側の海岸線が前進しており、導流堤の機能が失われつつある。現在、この地域に大規模な導流堤を追加する計画はない。そこで、Muttukadu において、既存導流堤を延伸した場合と維持浚渫で対策した場合の比較検討を行い、対策案を提案する。その目的は、既存導流堤の機能を維持しながら、海岸線の前進や河口閉塞に対する対策計画を立案することである。

### 5.3.3 河口閉塞の予測計算及び対策案の評価

前節で概説した対策方針を踏まえて、再現計算で構築した数値解析モデルによる予測計算を実施した。これらの予測では、導流堤の建設などの現在のインド政府の計画と、すべての対象河川河口の代替対策（追加対策）の両方を検討し、評価を行った。なお、この報告書概要版では、Muttukadu における検討を例として示す。

#### 5.3.3.1. Muttukadu (North Kovalam)

Figure 5-7 に、本検討で提案した対策案を示す。導流堤の長さを段階的に検討し、図中水色のハッチをかけた範囲の土砂堆積量を比較した。



出典: JICA Expert team

Figure 5-7: Muttukadu の対策案

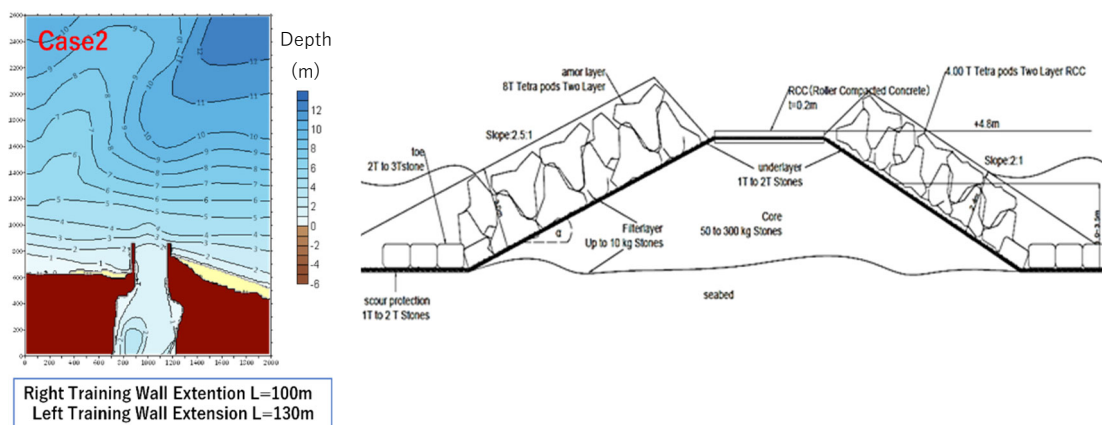
河口への土砂堆積については、維持浚渫で対応することとし、導流堤の建設費と維持浚渫費用を各案で比較したものを Table 5-1 に示す。分析には、維持浚渫費用及び維持管理費については、ライフサイクルコストとして 50 年間分を比較した。その結果、Case2 がトータルの対策費用としては最も安価となった。以上から、Case 2 を最も実行可能な対策案として選定した。

Table 5-1: 各対策案の対策費用の比較

Item	Notes	Present	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
Extension of training wall(m)	Right bank	0	100	100	150	200	350
Length of training wall(m)	Right bank	200	300	300	350	400	550
Extension of training wall(m)	Left bank	0	0	130	180	230	380
Length of training wall(m)	Left bank	200	200	330	380	430	580
Deposition(m <sup>3</sup> /y)		16600	8100	4700	4600	4400	4300
Erosion(m <sup>3</sup> /y)		-1000	-800	-800	-700	-500	-400
Net (m <sup>3</sup> /y)		15600	7300	3900	3900	3900	3900
<b>Cost</b>							
Construction Costs(IND)		0	61,993,600	142,585,300	204,578,900	266,572,500	452,553,300
Maintenance fee for Structure(IND)	50years	0	15,498,400	35,646,400	51,144,800	66,643,200	113,138,400
Dredging Costs(IND)	50years	378,300,000	177,025,000	94,575,000	94,575,000	94,575,000	94,575,000
Shipping Costs(IND)	50years	176,292,000	86,022,000	49,914,000	48,852,000	46,728,000	45,666,000
Disposition Costs(IND)	50years	0	0	0	0	0	0
Total Costs(IND)		554,592,000	340,539,000	322,720,700	399,150,700	474,518,700	705,932,700
Evaluation Result			2nd	1st	3rd		

出典: JICA Expert team

建設費用単価は、Cooum 川で提案されている導流堤の標準断面より算出した。Muttukadu で提案した対策のレイアウトと断面は Figure 5-8 の通りである。



出典: JICA Expert team

Figure 5-8: Muttukadu 対策案 (Case2) の導流堤配置及び標準断面図

導流堤を延伸した場合、漂砂の下手側である北側の海浜において侵食が発生する可能性が高い。したがって、維持管理のために浚渫した土砂は全て北側の砂浜に供給することが望ましい。また、導流堤南側の砂浜に大量の砂が堆積した場合は、サンドバイパスを行い、南側に堆積した土砂を北側砂浜に供給して、養浜することが望まれる。維持浚渫土砂の運搬及びサンドバイパスのイメージを Figure 5-9 に示す。



出典: JICA Expert team

Figure 5-9: 維持浚渫土砂および南側堆積土砂のサンドバイパスによる北側海浜の養浜

## 6章 洪水災害管理

効果的な洪水災害管理には、洪水発生前、発生時、発生後の包括的なアプローチが必要である。洪水発生前には、緩和策と準備を実行することが重要である。発生中には、安全を確保し被害を最小限に抑えるための対応策に焦点が移る。発生後は、復旧活動が最も重要である。これには、インフラの点検と修復、被災者への支援、将来の洪水防止対策の実施が含まれる。これらの包括的な戦略を遵守することで、コミュニティは洪水に対する回復力を強化し、人的および物的損失を最小限に抑えることができる。

本章では、チェンナイの既存の洪水災害管理の枠組みを把握し、制度上の取り決め・政策のギャップ、過去の災害時に重大な被害をもたらした課題に焦点を当てる。日本の参考となる事例を活用して、洪水発生前、発生中、発生後の洪水管理を強化するための実践に向けた奨励事項を提案する。提案した対策は、地方自治体の継続的な取り組みを補完し、これを基盤に、チェンナイの洪水リスクを軽減するためのより強靱で効果的なシステムを促進することを目的とする。

### 6.1 既存の政策、計画、制度の概要

#### 6.1.1 国家レベルでの災害管理

2005年の災害管理法により、インドの災害管理を監督する国家レベルの国家災害管理局（NDMA）が創設された。州レベルでは、首相が議長を務める州災害管理局（SDMA）が政策の策定、計画、調整を行う。Tamil Nadu 州災害管理局（TNSDMA）はTamil Nadu 州でも同様に活動しており、Chief Secretary が最高経営責任者を務める。地区災害対策当局（DDMA）は、District Collector（地区担当上級行政官）が指揮し、地方レベルで災害管理において重要な役割を果たしている。Figure 6-1 に、2005年の国、州、地区、および地方レベルでの制度的および調整メカニズムである災害管理法に基づく災害管理体制を示す。

その他の主な国家レベルでの洪水管理に関連する戦略と計画のリストを以下に示す。

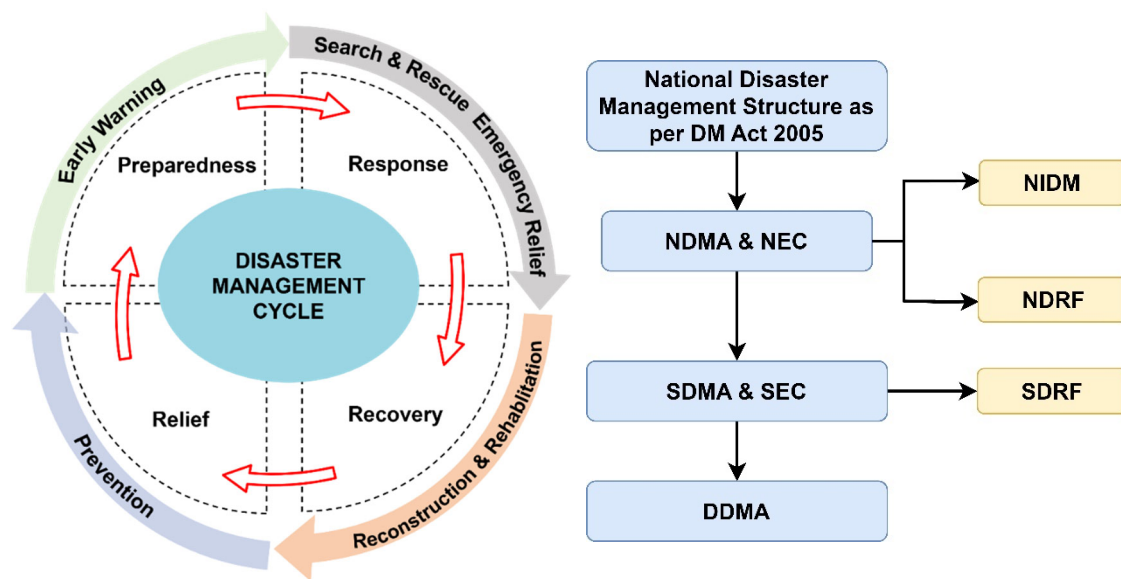
- 国家災害管理政策（2009）
- 国家災害管理計画（2016）
- インド国首相の DRR に関する 10 項目のアジェンダ（2016）
- 国家災害管理ガイドライン、テンプレート、標準運用手順（SoP）。

#### 6.1.2 Tamil Nadu 州とチェンナイ地区の災害管理

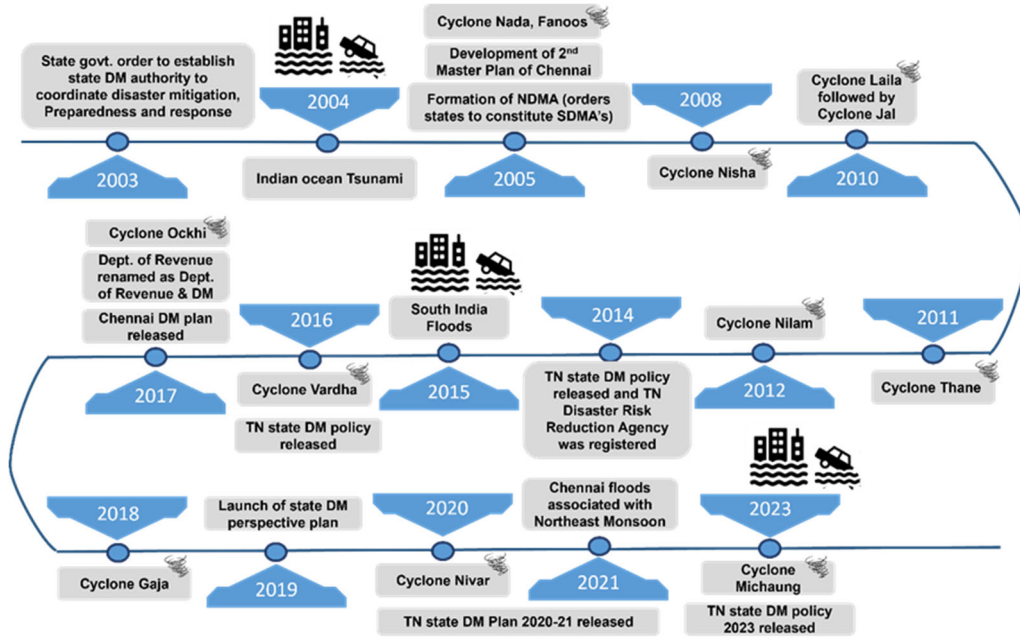
Figure 6-2 に過去の洪水のタイムラインと実施された戦略・政策を、Figure 6-3 に政策の策定、州の災害管理計画の承認、全ての災害管理機能監視を担当する Tamil Nadu 州災害管理庁（TNSDMA）の体制を示す。本調査では、以下の Tamil Nadu 州とチェンナイ地区の災害管理に関する利用可能な政策のフレームワークとその他の関連文書をレビューした。以下は、この調査でレビューされた Tamil Nadu 州とチェンナイ地区の災害管理に関

する利用可能な政策フレームワークとその他の関連文書のリストである。

- Tamil Nadu 州災害管理政策 (2023 年)
- Tamil Nadu 州災害管理計画
- Tamil Nadu 州災害管理展望計画 (2018-30)
- 地区防災計画
- チェンナイ市災害管理展望計画 (2019-2030 年)
- 洪水リスクに関する諮問委員会報告書 (2023 年 3 月)
- Tamil Nadu 州ビジョン 2023

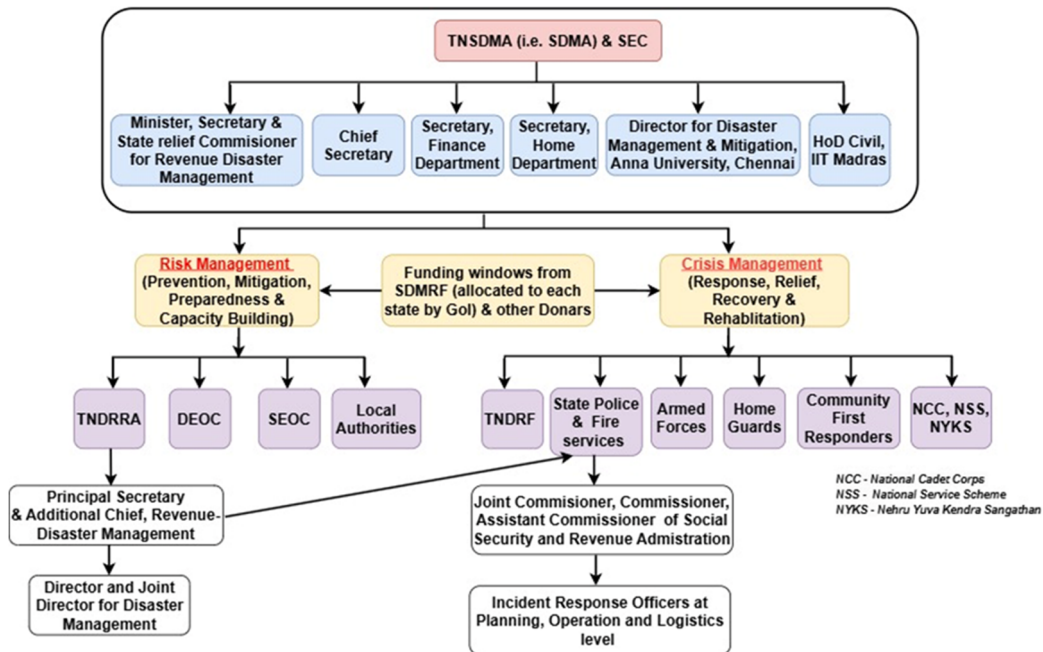


出典: JICA Expert Team、TNDRA データと 2005 年 NDMA 法を使用  
Figure 6-1: 災害管理システムの実践と構造



出典: JICA Expert Team

Figure 6-2: Tamil Nadu 州の主要な災害事象と災害管理政策のタイムライン



出典: 2005 年 NDMA 法に基づく JICA Expert Team 作成

Figure 6-3: 州レベルの災害管理体制

### 6.1.3 チェンナイの災害管理および緊急水害対策室

Tamil Nadu 州の緊急対策センター (SEOC) は、警報の受信と発令、緊急活動の調整、災害状況の監視など、洪水災害管理を含む緊急対策において重要な役割を果たしている。災害時に継続的な支援を提供するために設立された SEOC は、特にモンスーンシーズンには 24 時間稼働し、エンジニアが常駐して災害管理データを収集し分析などを行っている。SEOC は、Tamil Nadu 州の災害管理に関するより大規模な戦略の一環として、2024 年 8 月に発足した近年新設された組織である。

グレーター・チェンナイ・コーポレーション (GCC) は、気象、水路、汚染など、市全体のデータを一元管理するために統合指揮制御センター (ICCC) を導入した。ICCC は、TNUIFSL が世界銀行の資金のもと開発中のリアルタイムの洪水予測システムを既存のシステムに統合することで、洪水管理を強化することを目指している。ICCC は洪水センサーとカメラ活用して主要な市街地を監視し、潜在的な洪水に関する早期警告を提供することが可能である。本システムは、地区レベルでの降雨予測や重要な湖や川の監視など、予測機能の向上させるために継続的に拡張されている。

## 6.2 過去の大洪水と現在の水害対策計画

### 6.2.1 過去の大規模な洪水被害

チェンナイには、南西モンスーン (6~9 月) と北東モンスーン (10~12 月) の 2 つの主要なモンスーンの季節がある。南西モンスーンは、主に南西部から降雨をもたらすが、チェンナイの降水量はインドの他地域と比較して相対的に少ない。一方、北東モンスーンは、後退する南西モンスーン風とベンガル湾での低気圧の形成によって降雨を引き起こす。北東モンスーンは時には長期間の大雨をもたらすが、この地域の水資源の補給や貯水池の水量維持において非常に重要である。一方、洪水につながることもある。

顕著な洪水は、1943 年、1976 年、1985 年、1991 年、1996 年、1998 年、2002 年、2005 年、2008 年、2015 年、2020 年、2021 年、2023 年に発生した。Table 6-1 に 1976 年から 2023 年までの主要な洪水を再掲する<sup>1</sup>。河川洪水と都市洪水の双方の要因で氾濫する洪水が多い。

<sup>1</sup> 第1章、Table 1-5 を本検討の内容に合わせて修正を加えてたものを再掲する。

Table 6-1: 調査地域の主要な既往洪水

洪水年	洪水の原因	日最大降水量 (mm)	日最大降水 発生日	総降水量 (mm)
1976	一次河川氾濫	452.4 Nungambakkam	11/25/1976	1264.5 (Meenambakkam)
1985	河川氾濫 排水路閉塞	329.0 Nungambakkam	11/13/1985	1271.7 (Nungambakkam)
1996	河川氾濫	450.0 Cholavaram &Thamaripakkam 347.0 Nungambakkam	6/14/1996	1704.6 (Nungambakkam)
2005	河川氾濫 排水路閉塞	312.0 Tambaram	12/13/2005	2108.0 (Nungambakkam)
2015	河川氾濫 排水路閉塞	494.2 Tambaram 475.0 Chembarambakkam	12/2/2015	2066.9 (Tambaram)
2021	主要排水路 閉塞	237.1 Mylapore - DGP Office	12/31/2021	1816.0 (Cholavaram) 1785.0 (Mylapore)
2023	河川氾濫 排水路閉塞	293.4mm Nungambakkam	12/4/2023	921.4 (Nungambakkam)

出典: チェンナイ地下鉄における洪水リスクの軽減と管理に関する諮問委員会  
「洪水リスク削減: 最終報告書」2023年<sup>2</sup>

### 6.2.2 2015年洪水の詳細

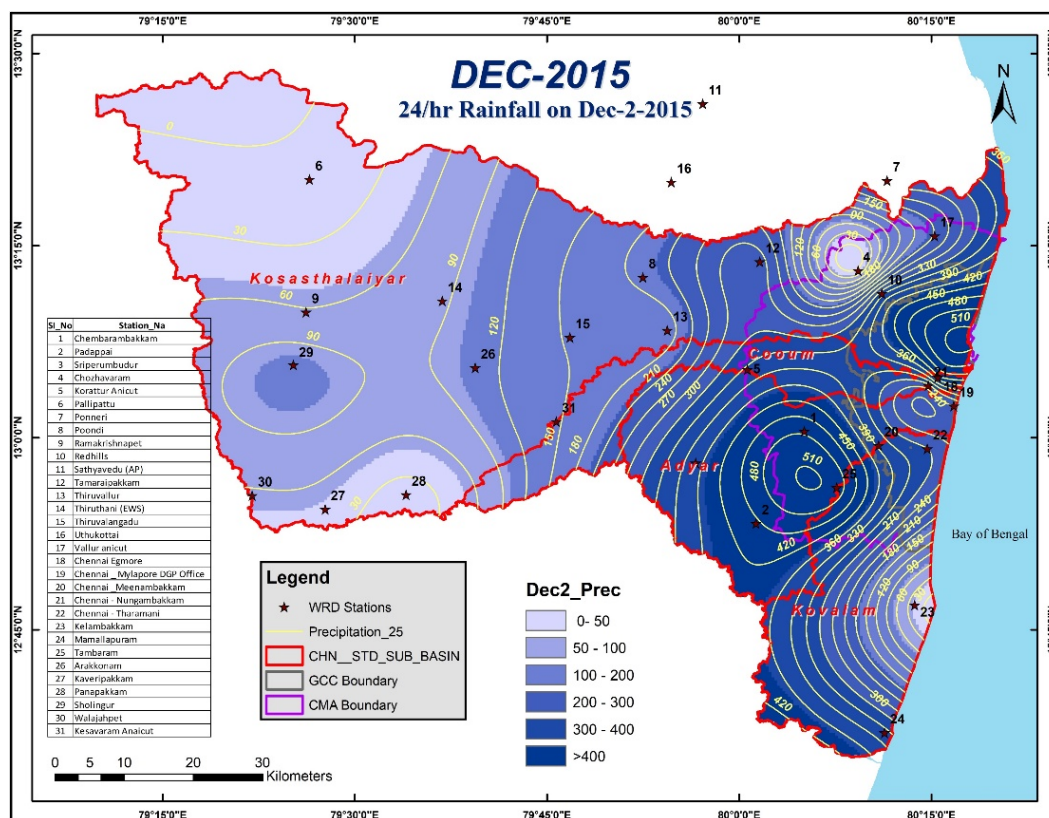
2015年の洪水は既往最大被害の規模であり、チェンナイ市に甚大な影響を与えたため、詳細な被害状況を整理した。この洪水は近年で最も甚大な被害を与えた洪水であり、インフラ、農業、人命を含むさまざまな分野に影響を及ぼした。洪水により多くの死傷者が発生し、数千人が避難を余儀なくされ、数十億ドルの経済的損失を生じた。降雨量の規模に対して不十分であった洪水対策、貯水池の氾濫、排水システムの障害は、都市の洪水に対する備えとインフラの脆弱性を浮き彫りにした。そのため、2015年の洪水は、洪水災害管理の問題（洪水発生前、発生中、発生後）を理解し、チェンナイの災害管理戦略を改善するために重要な洪水実績であるといえる。

本洪水は非常に激しい北東モンスーンによって生じ、市内とその周辺地域において広範囲に洪水が発生した。洪水は2015年11月初旬に始まり、最も深刻な影響は2015年11月28日から12月2日の間に発生した。都市は継続的に豪雨に見舞われ、総降水量はTambaramで2,066.9mm、Mylaporeでは1,785mmに達した。これはチェンナイ市の平均年間降雨量を大幅に上回り、排水能力を大幅に超過した。

Figure 6-4に、2015年12月2日の24時間降水量の等雨量線図を示す。この図から、

<sup>2</sup> 2021年にSECON-JBA調査チームによって実施された作業に基づいている。

Adyar 流域で特に降雨量が多いことがわかる。数回の激しい降雨があった 11 月に続いて、12 月 1 日から 4 日にかけて予期せぬ豪雨が発生し、GCC の対応が追い付かず、重大な被害につながった。



出典: WRD 観測降雨量に基づき JICA Expert Team 作成

Figure 6-4: 2015/12/5 における 24 時間降雨量の等雨量線図

2015 年 12 月の洪水時の降雨量は、既往最大雨量に達していない状況下で、2015 年にチェンナイ史上最も甚大な洪水被害をもたらした。その原因は、豪雨に加え、洪水発生前、発生中、発生後の不十分な洪水管理が考えられる。この課題は、2020 年、2021 年、2023 年の大規模な水害にも該当する。将来の洪水管理戦略を改善するには、課題の原因を特定することが重要である。共通の課題認識を持ち、一部は TNDRRRA や DDM によって既に対処されている。ただし、さまざまな段階にわたる総合的な災害管理をより重視する必要がある。

### 6.3 チェンナイにおける洪水災害管理の包括的なギャップ分析

チェンナイは過去 10 年間で 2015 年、2020 年、2021 年、2023 年に大規模な洪水が発生し、度重なる洪水災害に直面している。これらの洪水は生命、生活、重要なインフラと広範囲にわたる甚大な被害をもたらした。これらの洪水災害によって、洪水発生前の対策、洪水中の対応、洪水後の復旧の取組み等の洪水災害管理における体系的な対策不足が露呈した。この分析では、具体的なケーススタディと詳細な検討に基づいてこれらのギャップを特定し、改善のための実用的な洞察を提案する。この調査結果は、過去の洪水事象の網羅的な調査と、チェンナイの地方自治体の洪水災害管理者へのインタビューに基づく。

- 洪水ハザードマップの欠如
- 不適切な早期警報システム (EWS)

- 標準作業手順（SOP）の評価と更新の欠如
- 断片的な指揮統制と政府機関間および機関内の不十分な連携
- 不十分な排水インフラの運用と維持管理
- 緊急ダムおよび水域運用プロトコル
- 救援・救難資源、避難所管理、生活保護対応への不十分な事前配置
- 不適切な洪水軽減事業と仮設堤防の設置
- 洪水後の被害評価と補償の仕組み

#### 6.4 洪水災害管理の向上に向けた提言

洪水への備えを強化するために、最初のステップかつ最も重要なステップは、住民と利害関係者の間で洪水リスクに関する意識を高めることである。そのため、例えば、水深 50cm または流速 50cm/s の状況下では歩行が困難となり、個人の安全に重大なリスクをもたらす可能性があることを十分に理解してもらうなど、一般市民に対し洪水の危険性に関する適切な教育を行うことが必要である。国内外の事例を参考にして、これらのリスクを具体的かつわかりやすい方法で伝え、一般市民にも緊急性と現実感を意識させることが重要である。これらの工夫や取り組みを洪水ハザードマップ、一般市民の意識向上キャンペーン、およびコミュニティトレーニングプログラムに組み込むことで、住民は洪水発生時に適切に危険性を理解し、行動をとる準備が可能である。このアプローチは、洪水リスクに関する情報伝達や教育を強化するとともに、災害への備えに関する取り組みが実践的で現実的なシナリオに基づいていることを確保するものであり、災害管理のより広範な目標と一致している。

チェンナイでの過去の大洪水時を参考として、災害対応の現状と理想像とのギャップ分析と洪水災害管理の課題の調査に基づき、このセクションでは洪水発生前、発生中、発生後の洪水管理を強化するための提案の概要を示す。これらの提案は、特定された弱点に対処し、将来の洪水に対する都市の回復力を強化しながら、準備、対応、復旧の取り組みを改善する内容となっている。Table 6-2 と Table 6-3 は、災害サイクル（前、最中、後）とギャップに対処するために提案されたアクションに従って整理された現在の状況と改善された将来の状況の比較を示している。この表では、各アクションの優先度を決定するため、以下の指標を考慮した。

Table 6-2: 現状と改善に向けた提案 (洪水前)

今後の洪水災害対策の改善に向けた提案						洪水災害対策の現状と課題	
災害サイクル	活動	優先度	状況の改善	主な代理店	運営機関	現状	
洪水災害の前に (備えと洪水災害防止)	洪水ハザードマップ	高	洪水ハザードマップを作成し、公開する。	TNDRRA	TNDRRA	洪水ハザードマップは一般市民や当局には公開されていない。	
			住民は洪水ハザードマップを理解し、自ら行動できるようになる	TNDRRA	TNDRRA	住民は洪水の危険性を認識していない。	
			統一した洪水ハザードマップの使用について、CP間で合意する。	TNDRRA	DDRA	ハザードマップの要件は各CPごとに異なる。	
			異なる確率年 (例: 1/10 および 1/100) の洪水ハザードマップが作成される。	TNDRRA	DDRA	内陸洪水マップ (1/10の確率) が必要。	
			災害リスクと避難情報がオンラインで共有される。	TNDRRA	DDRA	災害リスクと避難情報は限られており、デジタル化は遅れている。	
	災害管理計画	中	州の災害管理計画は災害実績や状況に応じて改訂され、適宜都市マスタープランに組み込まれる。	TNDRRA	CMA自治体	災害計画は実際の状況を反映していない。	
			災害管理の対応や実際の避難は、SOPと実際の状況に従って行われる。	TNDRRA	CMA自治体	地区レベルの地域防災対策が不十分。	
	防災センター	中	洪水や津波の安全性を高めるために高台に移転する。	TNDRRA	TNDRRA	古いものは2015年の洪水後に設置され、2024年に更新された。	
			浸水や火災に対する安全性向上のため、指令センターを継続的に改善する。	TNDRRA	TNDRRA	1階の指令センターは洪水や津波に対して安全ではない。	
			停電時のバックアップ通信システム (衛星災害デジタル化) を確保する。	TNDRRA	TNDRRA	人的被害の評価とコミュニケーションは電話とインターネットのみに依存している。	
			洪水災害の予測と警報システムが、完全にデジタル化される。	TNDRRA	TNDRRA	災害警報システムは不十分で、非効果的である。	
	予防対策	中	河川と排水路の流下能力を継続的に向上する。	TNWRD	TNWRD	下流の河川改修と排水能力が不足している。	
			洪水被害を軽減するためにダム操作規則とダム警報システムを改善する。	TNWRD	TNWRD	緊急ダムの認知度が低いため、緊急放流時に被害が発生している。	
			統合的なSWDが開発される。	TNWRD GCC	湾岸協力会議	不十分なSWDと散在する排水系統で、効果的な排水が出来ていない。	
			固形廃棄物や灌木等による主にSWDの閉塞を解消する。	TNWRD GCC	湾岸協力会議	洪水後に固形廃棄物と灌木等が排水路を閉塞している。	
	事業継続計画	中	タンクと水域の失われたリンクが復元される。	TNWRD GCC	湾岸協力会議	いくつかの地域で、排水不良につながる排水リンクが断絶している。	
			企業が自主的な防災計画を策定し、DRR能力を強化する。	TNDRRA TNMoI	TNDRRA TNMoI	2015年の洪水後、多くの企業がBCPを策定しているが、不十分である。	
	気象観測と正確な予報	高	天気予報と警報システムが改善され、統合運用される。	TNIMD	TNMD TNDRRA	予測精度は低く、警告の調整も不十分である。	
			気象レーダーの機能がアップグレードされ、降雨量の精度が向上する。	TNIMD	TNIMD	Sバンドレーダーは降雨予測能力が不十分である。	
	リスクコミュニケーション (予防能力)	中	観測所は流域の規模に応じて増加し、改善される。	TNIMD	TNIMD	流域規模に対し、観測所数が不十分である。	
学校での啓発と訓練が実施され、災害への備えが強化される。			TNDRRA	CMA GCC	住民が洪水リスクを認識していない。		
ダム緊急放流の危険地域への情報提供、適切な警告と避難が実施される。			TNWRD	CMA GCC	ダム放流危険区域が指定されていない。リスク教育が不足している。		
洪水リスクに対する理解を深め、行動を改善する。			TNDRRA	TNDRRA	洪水リスクは十分に理解されておらず、州と都市間の協力も弱い。		
リスクコミュニケーション (職員向け研修)	高	避難所不足を解消し、避難所の衛生状態が改善される。	TNDRRA	TNDRRA	避難施設は、運営と品質の問題に直面している。		
		デジタル洪水リスク情報に自由にアクセスが可能になる。	TNDRRA	TNDRRA	洪水時のリスク情報の提供が不十分である。		
		災害管理のための技術研修の強化と熟練した専門家の育成	TNDRRA TNDRF	DDRA DDRF	技術者に対する災害管理訓練が不十分である。		
リスクコミュニケーション (公開研修)	高	DDRFチームは、地域活動のための洪水対応の専門知識を獲得する。	TNDRRA TNDRF	DDRA DDRF	エンジニアの洪水対応訓練が不足している。		
		DRRAがDRF主導のトレーニングと協力を構築し、効果を高める。	TNDRF	DDRF	住民参加の避難訓練が少ない。		
		災害リーダーシップはジェンダーに中立な救援を確実にし、脆弱なグループを優先した行動を行う。	各機関	各機関	救助計画は性別や特別なニーズを考慮していない。		
			防災のデジタル化による情報への自由にアクセスし効率化される。	TNDRF	DDRF	利用可能な情報源について、住民の認知度は低い。	

出典: JICA Expert Team

Table 6-3: 現状と改善に向けた提案 (洪水中および洪水後)

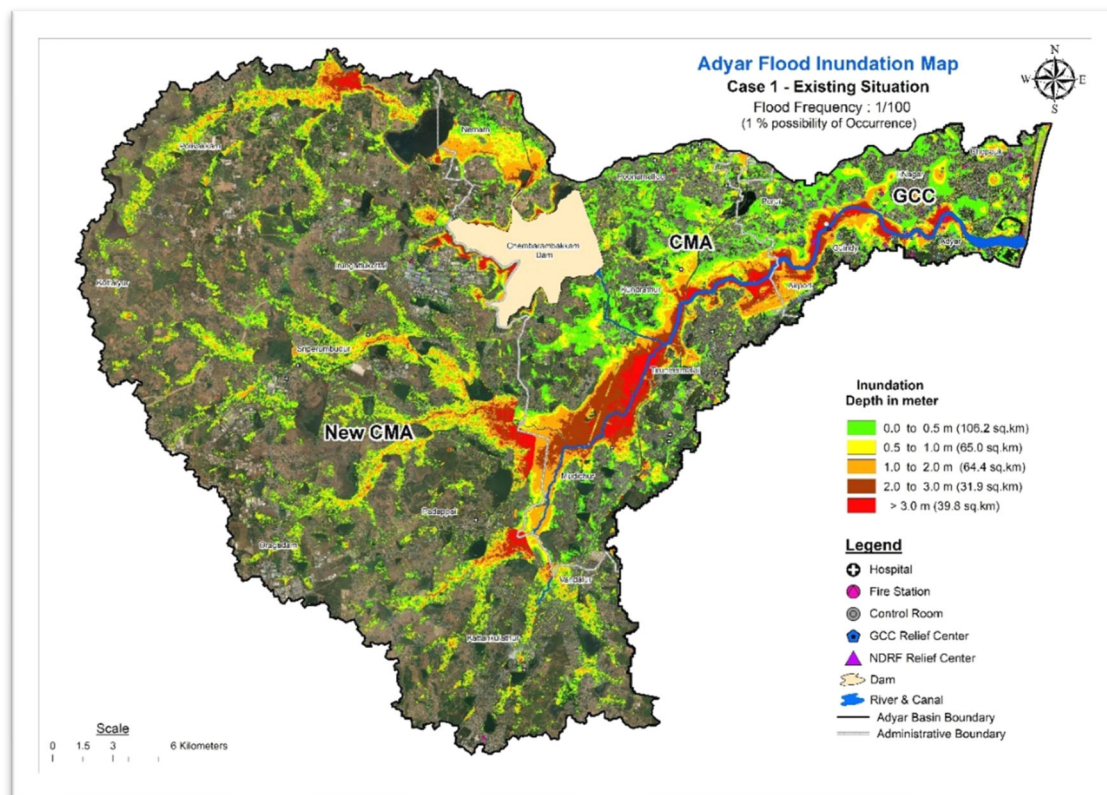
今後の洪水災害対策の改善に向けた提案						洪水災害対策の現状と課題						
災害サイクル	活動	優先度	状況の改善	主な代理店	運営機関	現状						
洪水災害時 (E 緊急事態対応と緩和)	洪水早期警報	中	専任スタッフと部門による信頼性の高いコミュニケーションが確保される。	TNDRRA	自治体	行政判断と市町村とのコミュニケーションが不足している。	情報公開方法が風十分である。					
			マスメディア、インターネット、アナログシステム等、多様なコミュニケーション方法が確立される。	TNDRRA	自治体							
			携帯電話の電波塔、防災ラジオ、掲示板等のインフラが整備される。	TNDRRA TNWRD	Coastal Administrator			公共通信インフラが未整備である。				
	避難指示と調整	中	明確な避難勧告と指示基準が策定される。	TNDRRA TNDRF	TNDRRA TNDRF			避難指示の評価基準が確立されていない。	公衆への通知と普及方法が限定されている。			
			災害最新情報を伝えるメディアプラットフォームが開発される。	TNDRRA TNMCIT	TNDRRA TNMCIT							
			地域の災害リーダーが育成され、コミュニケーションツールが提供される。	TNDRRA TNDRF	Coastal Administrator					避難所における防災能力が不足している。		
	救助と救援	中	災害情報の迅速な収集に向けて、国と地方自治体が協力する。	TNDRRA TNDRF	DDRA DDRF					災害情報共有が遅延している。	インフラの被害と復旧に関するデータの収集が遅延している。	
			インフラ被害報告のために公共部門が効果的に連携する。	TNDRRA TNWRD	Coastal Administrator							
			災害時に脆弱なグループを優先する政策を立案する。	各機関	各機関							救助計画は性別や特別なニーズを考慮していない。
			洪水救助と救援の最新情報が、さまざまなメディアを通じて共有される。	TNDRRA	TNDRRA							洪水時に救助や救援を伝える手段がない。
			TNDRFは地域の被害報告に基づいて救助活動を実施する。	TNDRF	DDRF							DRFによる救援・救助活動が遅延している。
洪水災害後 (緊急支援・復旧・復興)	被災者への支援	高	被災住宅や仮設住宅の早期再建計画を立案する。	MHA TNDRRA	MHA DDRA	被災住宅・仮設住宅への支援コンセプトが欠如している。	日常生活のインフラ復旧が遅延している。					
			公共事業体(水道、ガス、電気、交通)が速やかに復旧工程を立案する。	TNDRRA	各機関							性別や特別なニーズを考慮した支援策が不十分である。
			脆弱層を優先した支援策を実施する。	各機関	各機関							避難所や家庭で水、食料、物資が不足している。
			防災倉庫やホームキットで緊急用品を調達する。	TNDRF MCAFPD	TNDRF MCAFPD			被災者や避難所への支援において、デジタル化が不十分である。				
			被災者支援、避難所等のデジタル情報を提供する。	TNDRRA	TNDRRA			河川沿いのスラム街の格差と苦しみが改善されていない。				
			格差を是正し貧困層を支援する公正な避難システムが構築される。	TNDRF CWC	TNDRF CWC			堤防、護岸、河道の復旧が遅延する。				
	緊急インフラ復旧	高	緊急インフラの迅速な修復に向けて各機関が効果的に協力する。	TNWRD	TNWRD			堆積物や流木のある地域の改善は限定的であり、排水路の建設は遅い。	緊急ポンプ排水対策が不十分である。			
			大雨後の土砂除去作業を加速させる。	TNWRD	河岸協力会議 自治体							
			ポータブルポンプで浸水地域の排水を強化する。	TNWRD	河岸協力会議 自治体							
	緊急予算	中	損傷した道路や排水システムの復旧が加速する。	CMA GCC	CMA GCC					損傷した道路や排水溝の修復が遅れる。	財政支援の遅れと予算承認の効率面で問題がある。	
			災害対応のための迅速な財政支援体制が構築される。	財務省	財務省					洪水保険がなく、災害救済助成金制度も不十分である。		
	復旧・復興計画	中	リスク管理の改善、保険の導入、DRR給付制度が構築される。	財務省	財務省					復旧・復興計画は遅く不透明である。		浸水の恐れがある防災センターや福祉施設が多数存在する。
現地の実態と浸水対策を踏まえた復興計画が策定される。			TNDRRA	TNDRRA	地域社会の喪失と復興が遅延する。							
防災センターや福祉施設の整備が充実する。			MHA TNDRRA	MHA DDRA								
			地域の復興活動を促進し、協力を支援する。	各機関	各機関							

出典: JICA Expert Team

### 6.5 洪水ハザードマップ作成と公開に関する提言

洪水ハザードマップは、10年、100年等の確率年を対象に、流域単位から区単位まで異なる空間スケールで作成した (Figure 6-5)。これらのマップはGISレイヤとJPEG形式で提供されており、TNDRRRA、CMDA、その他自治体等のカウンターパートを含む関連当局と共有されている。

視認性向上により理解しやすくするために、これらの洪水ハザードマップを流域、CMA、GCC レベルなどの適切な空間スケールで印刷することを提言する。GIS やその他アプリケーションを使用して適切なサイズに各自が調整することがカノであり、例えばゾーンおよびワードレベルでは、A1 から A3 サイズが適切と考える。Table 6-4 に、洪水ハザードマップの表示の推奨形式と、その配布および利用に関する推奨事項を示す。



出典: JICA Expert Team

Figure 6-5: Adyar 流域の洪水ハザードマップ (100 年確率)

Table 6-4: 洪水ハザードマップの利用と配布に関する提案

管理者	形式	ポテンシャルを有する組織	使用方法・配布方法
流域	SHP、JPEG A0 プリント	TNDRRA TNWRD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN 政府 GIS データベース（オンラインで政府機関に公開）</li> <li>• TNDRRA 災害管理センター</li> <li>• TNWRD 流域管理者</li> <li>• 一般公開はされない。</li> </ul>
CMA	SHP、JPEG A0 プリント	TNDRRA CMDA MAWS HUDD CRRT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN 政府 GIS データベース（オンラインで政府機関に公開）</li> <li>• TNDRRA 災害管理センター</li> <li>• 第3次都市開発マスタープランの別紙</li> <li>• MAWS はこれをパイロットとして州の他の主要都市に配布する予定である。</li> <li>• 洪水対策マスタープランの付録として一般公開される予定である。</li> </ul>
GCC	SHP、JPEG A0 プリント	TNDRRA CMDA GCC TNUIFSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 州政府 GIS データベース（オンラインで政府機関に公開）</li> <li>• TNDRRA 災害管理センター</li> <li>• GCC 災害管理センター</li> <li>• TNUIFSL は世界銀行の洪水予測プロジェクトの補足情報として使用する。</li> <li>• GCC のウェブサイトを使用して表示する。</li> </ul>
GCC ゾーンレベル (15)	SHP、JPEG A1 プリント	TNDRRA GCC TNUIFSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 州政府 GIS データベース（オンラインで政府機関に公開）</li> <li>• TNDRRA 災害管理センター</li> <li>• GCC 災害管理センター</li> <li>• GCC ゾーンの事務所を利用して宣伝する。</li> </ul>
GCC 区レベル (200)	SHP、JPEG PDF 冊子 (A3)	TNDRRA GCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 州政府 GIS データベース（オンラインで政府機関に公開）</li> <li>• TNDRRA 災害管理センター</li> <li>• GCC 災害管理センター</li> <li>• GCC 区役所は区コミュニティ会議の機会にマップについて議論する予定。</li> </ul>

出典: JICA Expert Team

## 7章 概要費用および経済評価

### 7.1 概要

本章では、前章までに示したマスタープランの概算費用および経済評価について記載する。本試算はマスタープランレベルであり、費用便益分析に基づき実現可能性の高い事業を特定することを目的としている。そのため、F/S および D/D における必要な精度を反映していない点に留意が必要である。

### 7.2 予備的事業費積算

ここでは、予備的事業費の積算における積算の条件と仮定、各費用の積算方法、河川拡幅、既設貯水池の改良、地下河川、都市部の貯水池および水路の改良、ゲート・ポンプ、放水路、海岸・河口対策、維持管理費、概算事業費について記載する。

事業費の積算方法は、JICA のマニュアルに基づき、工事費を工事単価方式で積算し、建設・調達費、設計監理費、予備費、技術訓練費、維持管理費などを含む。

各費用の積算方法では、事業管理費、準備費、建設・調達費、設計監理費、予備費、技術訓練費、維持管理費の積算方法を示している。河川拡幅や既設貯水池の改良、地下河川、都市部の貯水池および水路の改良、ゲート・ポンプ、放水路、海岸・河口対策の各工種について記載している。建設調達費を積算するために、SoR (Schedule of Rate) と呼ばれる現地政府が発行する単価表および現地工事実績に基づき参照したデータを使用している。

維持管理費については、年間維持管理費を建設・調達費の 0.5% とし、河川毎の毎年の維持浚渫工事費を計上している。概算事業費は、各工種の建設・調達費を基に算出し、年別事業費計画も示している。

## 7.2.1 河川拡幅

### 7.2.1.1. 概要

マスタープランにおいて提案された河川拡幅対策の建設・調達費について概算費用を算定した。工種は浚渫工、拡幅の掘削工、護岸工とした。

河川拡幅の施工は基本的に陸上掘削とし、掘削土量の20%を浚渫によって行うものとして計画した。河川拡幅の施工方法を下図に示す。護岸工は、コンクリートブロック張、鋼製矢板、張芝護岸を場所毎に適用する。

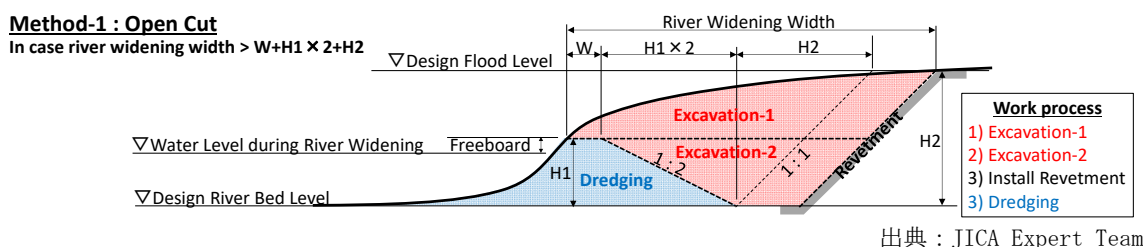


Figure: 7-1 河川拡幅の施工方法

### 7.2.1.2. 建設・調達費

河川毎に計画した河川拡幅の建設・調達費を Table 7-1 に示す。なお、本編 Annex の 1. 施工単価、6) その他の工種で示した工種やその他マスタープランの計画段階では不明な工種の費用はその他として一括計上することとした。河川拡幅における護岸工事であれば、既設構造物の撤去、矢板前面の盛土、堤防に付随する側溝、歩道や車道造成とその舗装、必要に応じた通信照明設備等の整備費用などがそれに該当する。また、浚渫工事であれば、浚渫土砂を仮置、乾燥させるヤードに関する費用などが該当する。その他工種の比率はこれまで計上した主たる工事の20%とした。また、インドにおける直接工事以外に算入する経費として、単価表から得られた直接工事費の合計に6%を加えた。

Table 7-1: 河川拡幅の建設・調達費

河川	工程	単価	単位	Phase1		Phase2		Total	
				数量	計(INR)	数量	計(INR)	数量	計(INR)
Adyar River	掘削	51.45	m <sup>3</sup>	1,192,694	61,364,110	11,285,606	580,644,444	12,478,300	642,008,554
	浚渫	485	m <sup>3</sup>	4,770,776	2,313,826,499	16,722,419	8,110,373,000	21,493,195	10,424,199,499
	運搬	114.5	m <sup>3</sup>	5,963,470	682,817,356	28,008,025	3,206,918,846	33,971,495	3,889,736,202
	盛土	56.5	m <sup>3</sup>	3,248,656	183,549,064	8,721,138	492,744,308	11,969,794	676,293,372
	護岸		m <sup>2</sup>	324,866	1,168,165,200	872,114	2,751,240,934	1,196,979	3,919,406,133
	コンクリートブロック張	1,700	m <sup>2</sup>	234,293	398,298,100	685,548	1,165,431,634	919,841	1,563,729,733
	鋼製矢板(VL型 L=12m)	8,500	m <sup>2</sup>	90,573	769,867,100	186,566	1,585,809,300	277,138	2,355,676,400
	張芝護岸	54.95	m <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0
	河道堰	470,074	m	200	94,014,800	0	0	200	94,014,800
	その他(上記計の20%)				900,747,406		3,028,384,306		3,929,131,712
	Civil Cost				5,404,484,434		18,170,305,839		23,574,790,272
	Provision for GST 18%				972,807,198		3,270,655,051		4,243,462,249
	経費(Civil Costの6%)				324,269,066		1,090,218,350		1,414,487,416
	橋梁架け替え	56,000	m <sup>2</sup>	5,000	280,000,000	13,500	67,500,000	18,500	347,500,000
小計				6,981,560,698		22,598,679,240		29,580,239,937	
Cooum River	掘削	51.45	m <sup>3</sup>	6,586,101	338,854,902	10,582,423	544,465,639	17,168,524	883,320,541
	浚渫	485	m <sup>3</sup>	1,646,525	798,564,759	2,645,606	1,283,118,733	4,292,131	2,081,683,491
	運搬	114.5	m <sup>3</sup>	8,232,626	942,635,720	13,228,028	1,514,609,226	21,460,655	2,457,244,946
	盛土	56.5	m <sup>3</sup>	4,995,400	282,240,100	6,474,160	365,790,040	11,469,560	648,030,140
	護岸	54.95	m <sup>2</sup>	499,540	849,218,000	647,416	1,100,607,200	1,146,956	1,949,825,200
	コンクリートブロック張	1,700	m <sup>2</sup>	499,540	849,218,000	647,416	1,100,607,200	1,146,956	1,949,825,200
	鋼製矢板(VL型 L=12m)	8,500	m <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0
	張芝護岸	54.95	m <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0
	河道堰	470,074	m	200	94,014,800	0	0	200	94,014,800
	その他(上記計の20%)				661,105,656		961,718,168		1,622,823,824
	Civil Cost				3,966,633,937		5,770,309,005		9,736,942,942
	Provision for GST 18%				713,994,109		1,038,655,621		1,752,649,730
	経費(Civil Costの6%)				237,998,036		346,218,540		584,216,577
	橋梁架け替え	56,000	m <sup>2</sup>	11,500	644,000,000	13,000	149,500,000	24,500	793,500,000
小計				5,562,626,081		7,304,683,166		12,867,309,248	
Kosasthalaiyar River	掘削	51.45	m <sup>3</sup>	6,586,101	338,854,902	6,586,101	338,854,902	13,172,202	677,709,803
	浚渫	485	m <sup>3</sup>	1,646,525	798,564,759	1,646,525	798,564,759	3,293,051	1,597,129,517
	運搬	114.5	m <sup>3</sup>	8,232,626	942,635,720	8,232,626	942,635,720	16,465,253	1,885,271,440
	盛土	56.5	m <sup>3</sup>	4,995,400	282,240,100	4,995,400	282,240,100	9,990,800	564,480,200
	護岸	54.95	m <sup>2</sup>	499,540	511,578,394	499,540	313,938,875	999,080	825,517,270
	コンクリートブロック張	1,700	m <sup>2</sup>	283,340	481,677,898	182,160	309,671,898	465,500	791,349,796
	鋼製矢板(VL型 L=12m)	8,500	m <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0
	張芝護岸	54.95	m <sup>2</sup>	544,140	29,900,496	77,652	4,266,977	621,792	34,167,474
	河道堰	470,074	m	170	79,912,580	0	0	170	79,912,580
	その他(上記計の20%)				590,757,291		535,246,871		1,126,004,162
	Civil Cost				3,544,543,746		3,211,481,227		6,756,024,973
	Provision for GST 18%				638,017,874		578,066,621		1,216,084,495
	経費(Civil Costの6%)				212,672,625		192,688,874		405,361,498
	橋梁架け替え	56,000	m <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0
小計				4,395,234,245		3,982,236,722		8,377,470,967	
合計				16,939,421,024		33,885,599,128		50,825,020,152	

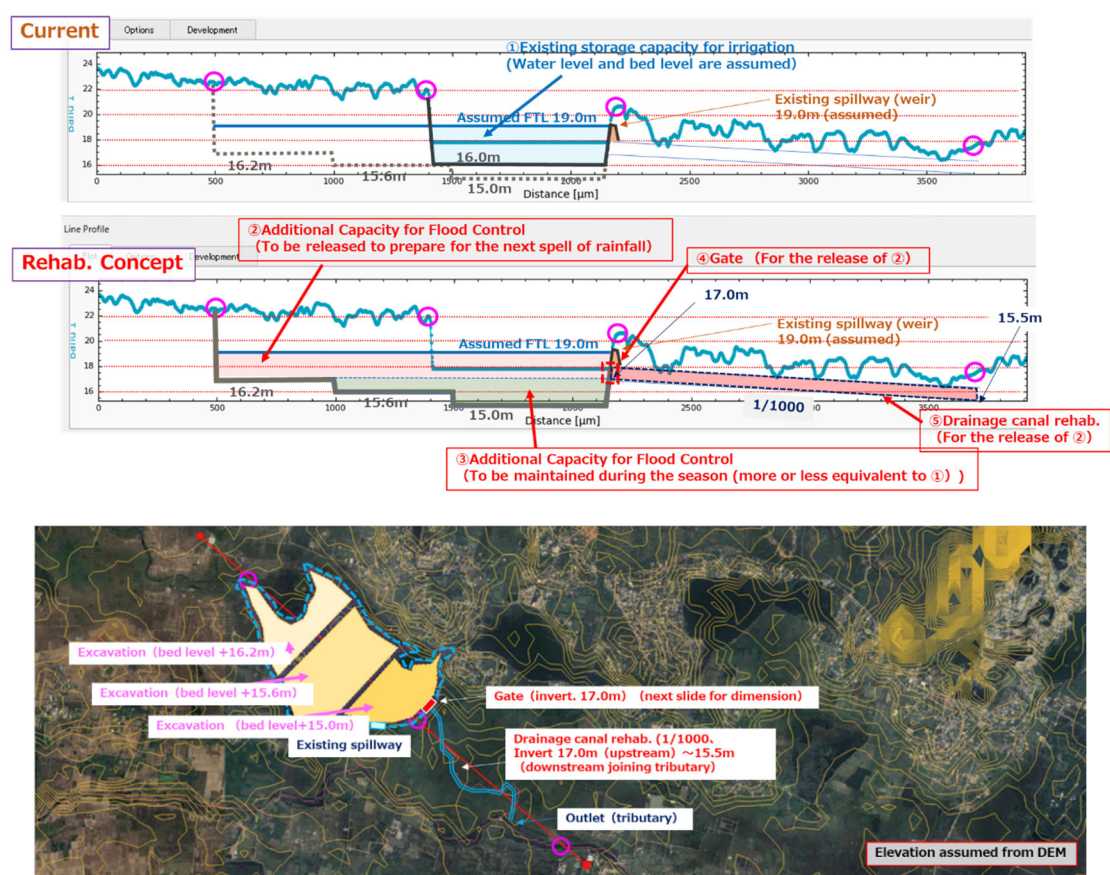
出典：JICA Expert Team

## 7.2.2 既設タンクの改良

### 7.2.2.1. 概要

マスタープランにおいて提案された既設タンク改良の建設・調達費について概算費用を算定した。工種は浚渫、土砂掘削、護岸、放水路とした。改良する代表的な貯水池タンクの標準図を下図に示す。

また、タンクには雨季の洪水前に事前放流をするためのゲートと放水路を設ける。



出典：JICA Expert Team

Figure 7-2: 代表的なタンクの標準図

### 7.2.2.2. 建設・調達費

河川毎に計画したタンクの建設・調達費を Table 7-2 に示す。

Table 7-2: タンク改良の建設・調達費

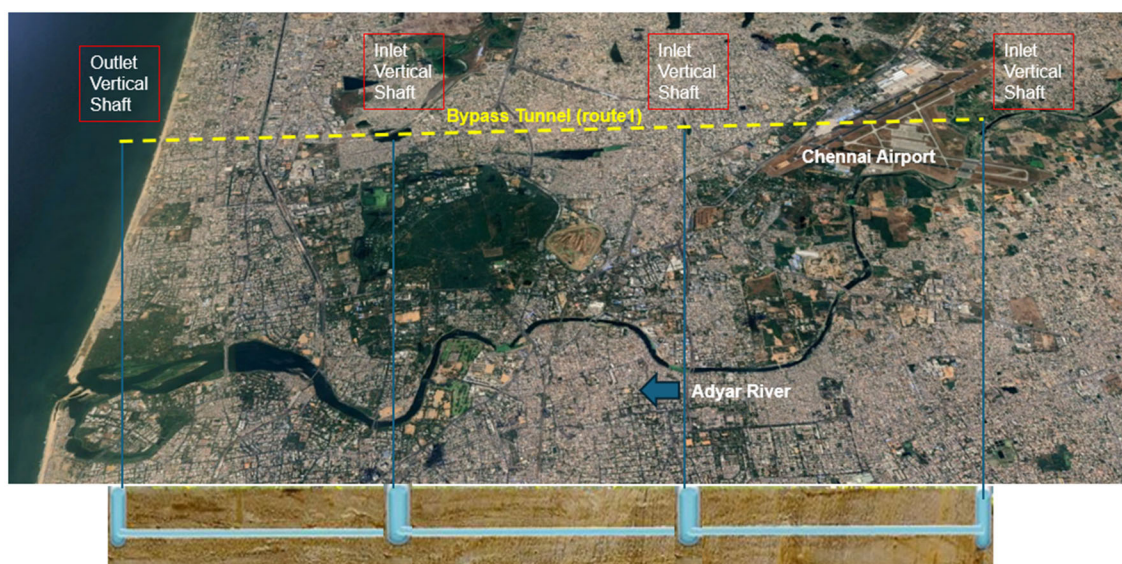
河川	工種	単位	数量	単価(INR)	計(INR)		
Adyar River	掘削	m <sup>3</sup>	290,495	51.45	14,945,959		
	浚渫	m <sup>3</sup>	29,049	485	14,088,999		
	運搬	m <sup>3</sup>	319,544	57.26	18,297,107		
	盛土	m <sup>3</sup>	29,049	56.5	1,641,296		
	護岸	m <sup>2</sup>	193,867	54.95	10,652,997		
	放水路構造物	LS	1	2,612,344,185	2,612,344,185		
	ゲート (Type A)	LS	39	3,708,925	144,648,061		
	ゲート (Type B)	LS	23	3,585,789	82,473,158		
	その他 (上記計の20%)				579,818,352		
	Civil Cost				3,478,910,114		
	Provision for GST 18%				626,203,820	内訳 (INR)	
	経費 (Civil Costの6%)				208,734,607	Phase1	Phase2
	小計				4,313,848,541	2,156,924,271	2,156,924,271
Cooum River	掘削	m <sup>3</sup>	246,136	51.45	12,663,721		
	浚渫	m <sup>3</sup>	24,614	485	11,937,619		
	運搬	m <sup>3</sup>	270,750	57.26	15,503,152		
	盛土	m <sup>3</sup>	24,614	56.5	1,390,671		
	護岸	m <sup>2</sup>	164,622	54.95	9,045,976		
	放水路構造物	LS	1	2,094,161,122	2,094,161,122		
	ゲート (Type A)	LS	22	3,708,925	81,596,342		
	ゲート (Type B)	LS	18	3,585,789	64,544,211		
	その他 (上記計の20%)				458,168,563		
	Civil Cost				2,749,011,377		
	Provision for GST 18%				494,822,048	内訳 (INR)	
	経費 (Civil Costの6%)				164,940,683	Phase1	Phase2
	小計				3,408,774,107	1,704,387,054	1,704,387,054
Kosasthalaiyar River (Existing)	掘削	m <sup>3</sup>	557,048	51.45	28,660,134		
	浚渫	m <sup>3</sup>	55,705	485	27,016,841		
	運搬	m <sup>3</sup>	612,753	57.26	35,086,243		
	盛土	m <sup>3</sup>	55,705	56.5	3,147,323		
	護岸	m <sup>2</sup>	369,738	54.95	20,317,086		
	放水路構造物	LS	1	4,324,045,427	4,324,045,427		
	ゲート (Type A)	LS	95	3,708,925	352,347,840		
	ゲート (Type B)	LS	43	3,585,789	154,188,947		
	その他 (上記計の20%)				988,961,968		
	Civil Cost				5,933,771,810		
	Provision for GST 18%				1,068,078,926	内訳 (INR)	
	経費 (Civil Costの6%)				356,026,309	Phase1	Phase2
	小計				7,357,877,044	3,678,938,522	3,678,938,522
Kosasthalaiyar River (New)	掘削	m <sup>3</sup>	22,250	51.45	1,144,763		
	浚渫	m <sup>3</sup>	2,225	485	1,079,125		
	運搬	m <sup>3</sup>	24,475	57.26	1,401,439		
	盛土	m <sup>3</sup>	2,225	56.5	125,713		
	護岸	m <sup>2</sup>	14,534	54.95	798,668		
	放水路構造物	LS	30,375	0	0		
	ゲート (Type A)	LS	11	3,708,925	40,798,171		
	ゲート (Type B)	LS	1	3,585,789	3,585,789		
	その他 (上記計の20%)				9,786,733		
	Civil Cost				58,720,400		
	Provision for GST 18%				10,569,672	内訳 (INR)	
	経費 (Civil Costの6%)				3,523,224	Phase1	Phase2
	小計				72,813,296	36,406,648	36,406,648
Kosasthalaiyar River						内訳 (INR)	
						Phase1	Phase2
					7,430,690,340	3,715,345,170	3,715,345,170
合計						内訳 (INR)	
						Phase1	Phase2
					15,153,312,988	7,576,656,494	7,576,656,494

出典：JICA Expert Team

### 7.2.3 地下バイパストンネル

#### 7.2.3.1. 概要

マスタープランにおいて提案される地下バイパストンネルは、延長 12.3km、内空断面積 113.1m<sup>2</sup> という仕様となっている。以下に概要を示す。



出典：JICA Expert Team

Figure 7-3: 地下バイパストンネルの概要

#### 7.2.3.2. 建設・調達費

地下バイパストンネルの建設・調達費を Table 7-3 に示す。

Table 7-3: 地下河川の建設・調達費

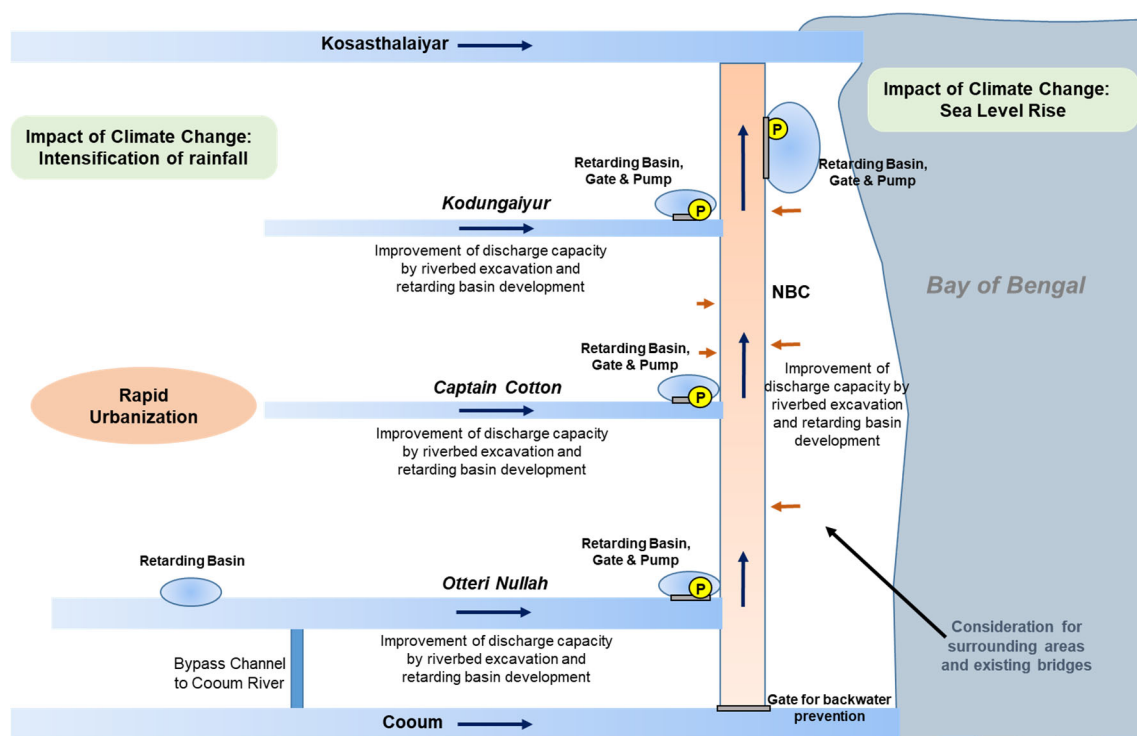
延長	m	12,300
(うち、地下貯留池部分)	m	4,000
内空	m <sup>2</sup>	113.10
単価		57,315
<b>Phase1</b>		<b>79,730,737,566</b>
<b>Phase2</b>		<b>0</b>
<b>合計(INR)</b>		<b>79,730,737,566</b>

出典：JICA Expert Team

## 7.2.4 タンクの改良（都市部）

### 7.2.4.1. 概要

北 Buckingham 運河および Adyar 流域において、既設タンクの改良を計画した。主たる工種は浚渫、掘削、盛土である。それぞれの位置図を Figure 7-4 に示す。



出典：JICA Expert Team

Figure 7-4: 北 Buckingham 運河および接続水路における対策工の概要  
(改良する既設タンクを含む)

#### 7.2.4.2. 建設・調達費

既設タンク改良の建設・調達費を Table 7-4 に示す。

Table 7-4: 既設タンク改良の建設・調達費

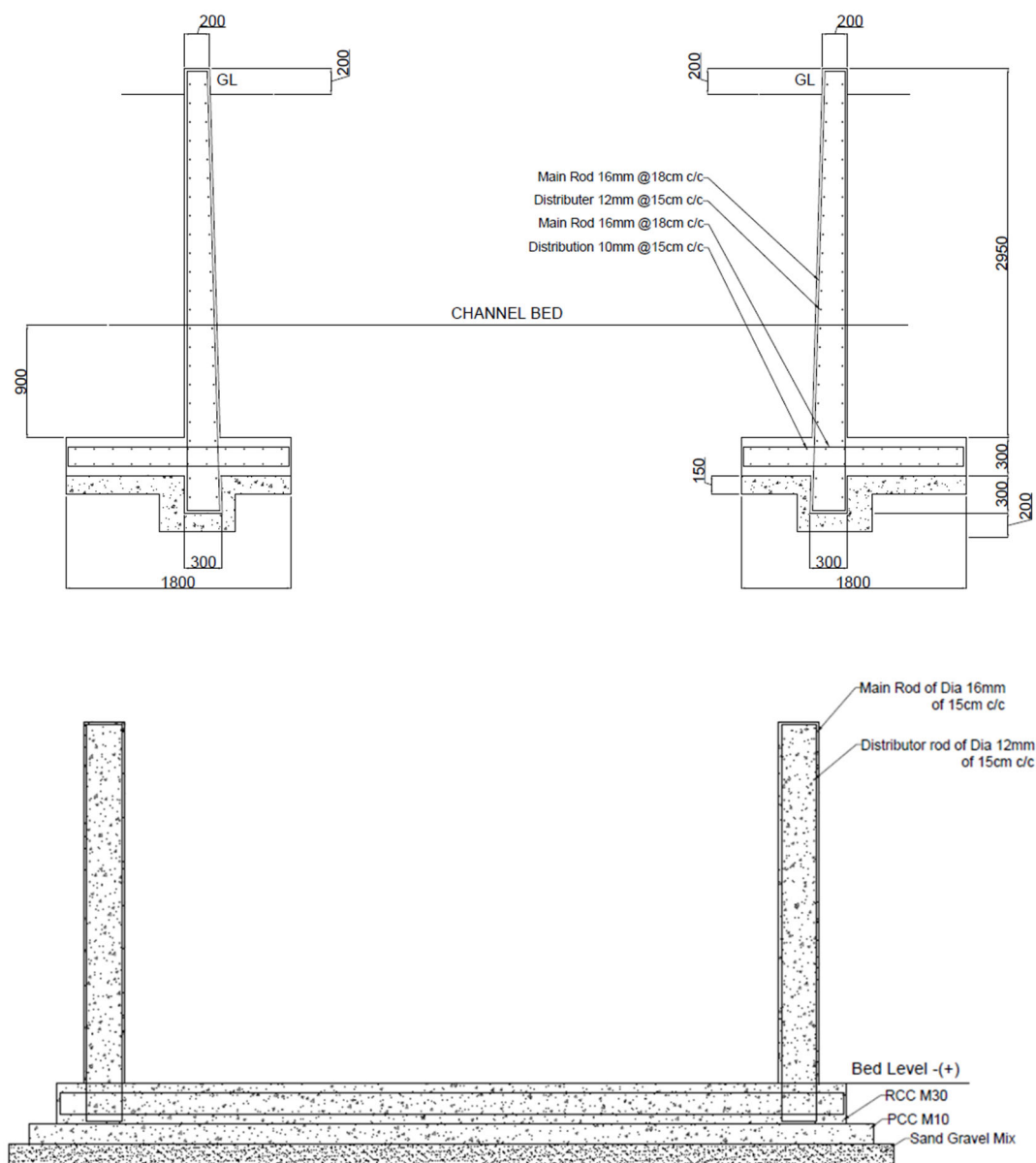
工種	単位	数量	単価( INR)	計( INR)
掘削	m <sup>3</sup>	4,132,350	51.45	212,609,408
浚渫	m <sup>3</sup>	0	485	0
運搬	m <sup>3</sup>	4,050,000	57.26	231,903,000
盛土	m <sup>3</sup>	405,000	56.5	22,882,500
護岸	m <sup>2</sup>	24,249	54.95	1,332,504
コンクリート打設	m <sup>3</sup>	55,290	30,500	1,686,345,000
その他（上記計の20%）				431,014,482
Civil Cost				2,586,086,894
Provision for GST 18%				465,495,641
経費（Civil Costの6%）				155,165,214
<b>計</b>				<b>3,206,747,749</b>
		内訳	<b>Phase1</b>	<b>3,206,747,749</b>
			<b>Phase2</b>	<b>0</b>

出典：JICA Expert Team

## 7.2.5 水路の改良（都市部）

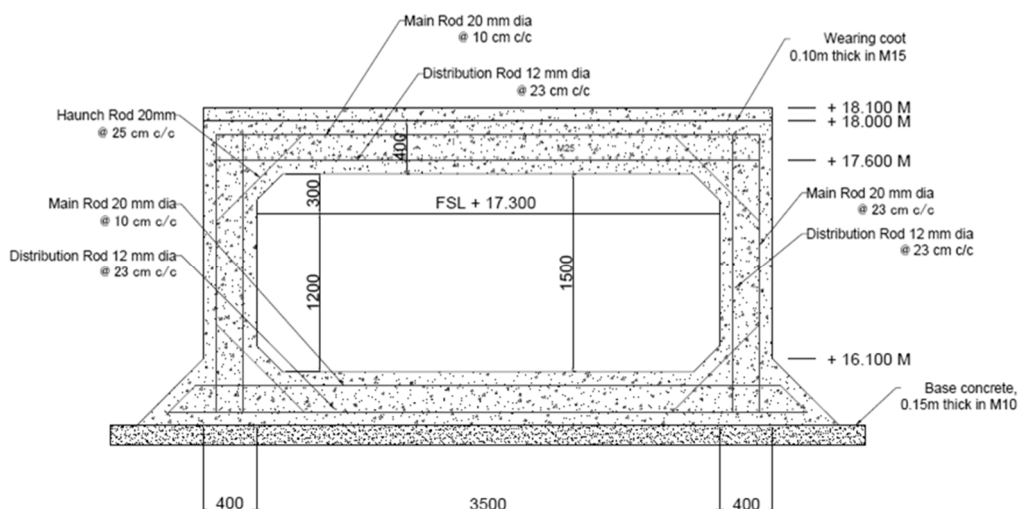
### 7.2.5.1. 概要

水路は、コンクリート壁構造と Cut & Cover の2種類が主として築造されている。それぞれの標準断面図を Figure 7-5、Figure 7-6 に示す。



出典：Project example: Improvements to Gerugambakkam Channel in Gerugambakkam Village in Kundrathur Taluk of Kancheepuram, TNPWD より JICA Expert Team 編集

Figure 7-5: コンクリート壁構造の標準的な断面図



出典：Comprehensive Flood Management, Adayar, Lower Palar, Kovalam... Sub Basins, TNPWD WRD より JICA Expert Team で編集

Figure 7-6: Cut & Cover の標準的な断面図

#### 7.2.5.2. 建設・調達費

水路の改良（都市部）の建設・調達費を Table 7-5 に示す。

Table 7-5: 水路の改良（都市部）の建設・調達費

工種	単位	数量	単価(INR)	計(INR)
掘削	m <sup>3</sup>	6,834,215	51.45	351,620,361
浚渫	m <sup>3</sup>	0	485	0
運搬	m <sup>3</sup>	5,918,122	212.4	1,257,009,111
盛土	m <sup>3</sup>	3,797	56.5	214,511
護岸	m <sup>2</sup>	1,770,961	54.95	97,314,319
コンクリート打設	m <sup>3</sup>	526,727	30,500	16,065,161,300
Cut & Cover水路	m	90	449,207	40,428,630
その他（上記計の20%）	式	1		3,562,349,646
Civil Cost				21,374,097,878
Provision for GST 18%				3,847,337,618
経費（Civil Costの6%）	式	1		1,282,445,873
小計				<b>26,503,881,369</b>
		内訳	Phase1	<b>26,503,881,369</b>
			Phase2	<b>0</b>

出典：JICA Expert Team

## 7.2.6 ゲート・ポンプ

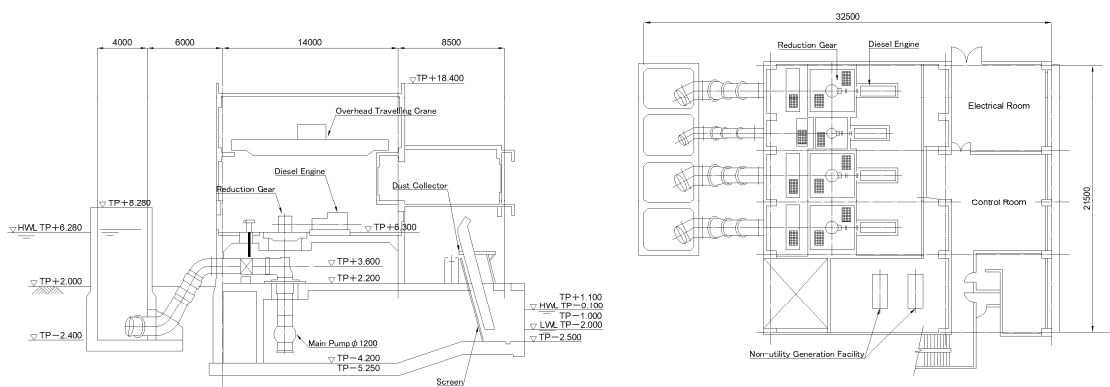
### 7.2.6.1. 概要

計画したゲートおよびポンプの一覧を Table 7-6 に、排水機場の標準図を Figure 7-7 に示す。

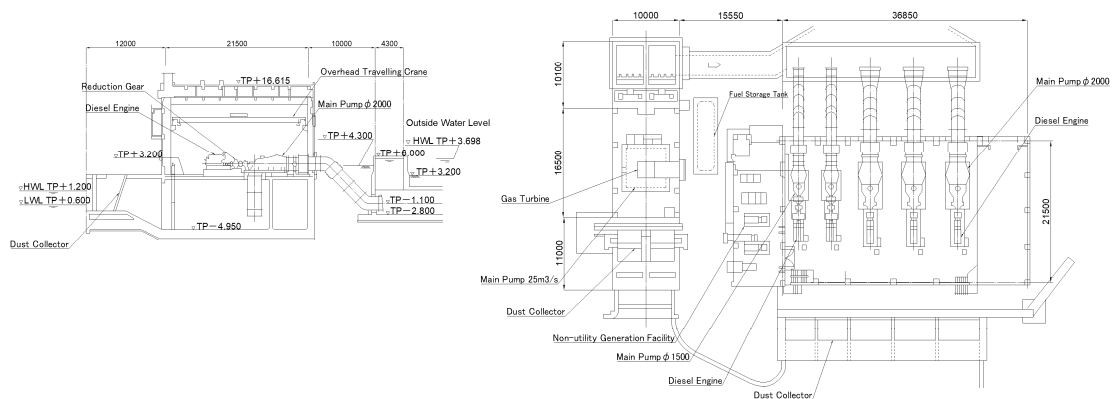
Table 7-6: ゲート・ポンプの一覧

Sl. No.	Canal	Gate St H m	Gate W m	Gate S m <sup>2</sup>	Pump Q m <sup>3</sup> /s
<b>Adyar</b>					
1	Mambalam	4.710	15.500	73.005	0.000
2	Manapakkam	8.450	10.000	0.000	0.000
3	Kuradrathur	4.560	8.000	36.480	0.000
<b>Cooum</b>					
1	Vigrrambakkam Arunbakkam	7.540	15.000	0.000	0.000
<b>B-Canal/Kovalam</b>					
1	B-canal/Adyar	4.000	20.000	80.000	0.000
2	B-canal/Muttukadu	2.500	120.000	300.000	0.000
3	Okkiyam Maduvu Diversion	2.000	120.000	240.000	0.000
4	New Diversion/Bay of Bengal	2.900	62.900	182.410	28.670
<b>Kovalam</b>					
1	Inland water exclusion	0.000	0.000	0.000	1.406
<b>NBC/CBC</b>					
1	K1	1.700	2.000	3.400	2.000
2	K2	1.700	2.000	3.400	1.000
3	C1	1.100	2.000	2.200	0.500
4	C2	1.100	2.000	2.200	0.500
5	O1	2.300	2.000	4.600	0.000
6	O2	2.300	2.000	4.600	0.000
7	O3	1.000	2.000	2.000	2.000
8	O4	1.000	2.000	2.000	2.000
9	O5	1.000	2.000	2.000	2.000
10	North B Canal RB	3.600	2.000	7.200	2.000
11	North B Canal	2.400	9.000	21.600	
12	Central B Canal	6.000	6.500	39.000	

出典：JICA Expert Team



(a) 小規模排水機場（計画排水量の目安：7.68 m<sup>3</sup>/s 以下）



(b) 中規模排水機場（計画排水量の目安：60m<sup>3</sup>/s 以下）

出典：JICA Expert Team

Figure 7-7: 排水機場の標準的な断面図

7.2.6.2. 建設・調達費

ゲート・ポンプの建設・調達費を Table 7-7 に示す。

Table 7-7: ゲート・ポンプの建設・調達費

Sl. No.	Canal	Gate St H m	Gate W m	Gate S m2	Amount 1) Gate (INR)	Pump Q m <sup>3</sup> /s	Amount 2) Pump st. (INR)	Amount 1)+2) (INR)	Amount *Only Pump St. (INR)
<b>Adyar</b>									
1	Mambalam	4.71	15.5	73	58,994,205	0	0	58,994,205	0
2	Manapakkam	8.45	10		3,315,789	0	0	3,315,789	0
3	Kuradrathur	4.56	8	36	22,021,197	0	0	22,021,197	0
	Sub Total				<b>84,331,192</b>		<b>0</b>	<b>84,331,192</b>	<b>0</b>
<b>Cooum</b>									
1	Vigrrambakkam Arunbakkam	7.54	15		83,625,000	0	0	83,625,000	0
	Sub Total				<b>83,625,000</b>		<b>0</b>	<b>83,625,000</b>	<b>0</b>
<b>B-Canal/Kovalam</b>									
1	B-canal/Adyar	4	20	80	68,157,895			68,157,895	
2	B-canal/Muttukadu	2.5	120	300	698,052,632			698,052,632	
3	Okkiyam Maduvu Diversion	2	120	240	460,578,947			460,578,947	
4	New Diversion/Bay of Bengal	2.9	62.9	182	278,978,582	28.67	886,821,790	1,165,800,372	2,721,870
	Sub Total				<b>1,505,768,055</b>		<b>886,821,790</b>	<b>2,392,589,846</b>	<b>2,721,870</b>
<b>Kovalam</b>									
1	Inland water exclusion					1.40625	83,748,366	83,748,366	455,508
	Sub Total				<b>0</b>		<b>83,748,366</b>	<b>83,748,366</b>	<b>455,508</b>
<b>NBC/CBC</b>									
1	K1	1.7	2	3	4,289,621	2	98,842,120	103,131,741	485,700
2	K2	1.7	2	3	4,289,621	1	73,421,060	77,710,681	434,850
3	C1	1.1	2	2	3,927,853	0.5	60,710,530	64,638,383	409,425
4	C2	1.1	2	2	3,927,853	0.5	60,710,530	64,638,383	409,425
5	O1	2.3	2	5	4,671,095		48,000,000	52,671,095	384,000
6	O2	2.3	2	5	4,671,095		48,000,000	52,671,095	384,000
7	O3	1	2	2	3,869,474	2	98,842,120	102,711,594	485,700
8	O4	1	2	2	3,869,474	2	98,842,120	102,711,594	485,700
9	O5	1	2	2	3,869,474	2	98,842,120	102,711,594	485,700
10	North B Canal RB	3.6	2	7	5,565,221	2	98,842,120	104,407,341	485,700
11	North B Canal/Cooum	2.4	9	22	12,192,253			12,192,253	
12	Central B Canal/Cooum	6	6.5	39	23,985,789			23,985,789	
	Sub Total				<b>79,128,821</b>		<b>785,052,720</b>	<b>864,181,541</b>	<b>4,450,200</b>

Total INR

	1,752,853,069
Breakdown phase1	1,752,853,069
phase2	0

1,755,622,876	3,508,475,945	7,627,577
1,755,622,876	3,508,475,945	7,627,577
0	0	0

出典：JICA Expert Team

## 7.2.7 放水路

### 7.2.7.1. 概要

計画した放水路の数量を Table 7-8 に示す。

Table 7-8: 放水路の数量

Location	Length	コンクリート 水路断面	掘削量	護岸	橋梁	盛土
	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
Buckingham muttukadu to Adyar River		256	0	10,000	0	10,000
Buckingham muttukadu to Okkiyam Maduvu		256	0	96,000	0	72,000
Okkiyam Maduvu Short-Cut		256	474,000	1,000	0	5,000
Otterinulla-Cooum 分水路	1,471	26	38,246	1,275	0	382
Okkiyam Maduvu 放 水路	1,580	256	404,000	15,000	1,824	4,000
<b>Total</b>	<b>3,051</b>		<b>916,246</b>	<b>123,275</b>	<b>1,824</b>	<b>91,382</b>

出典：JICA Expert Team

### 7.2.7.2. 建設・調達費

算出した放水路の建設・調達費を Table 7-9 に示す。

Table 7-9: 放水路の建設・調達費

工種	単位	数量	単価(INR)	計(INR)
擁壁式水路	m	3,051	83,000	253,233,000
浚渫	m <sup>3</sup>	916,246	485	444,379,310
運搬	m <sup>3</sup>	916,246	114.5	104,910,167
盛土	m <sup>3</sup>	91,382	56.5	5,163,109
護岸	m <sup>2</sup>	123,275	54.95	6,773,954
その他（浚渫・運搬・盛土の20%）				112,245,308
Civil Cost				926,704,848
Provision for GST 18%				166,806,873
経費（Civil Costの6%）				55,602,291
橋梁架け替え	m <sup>2</sup>	1,824	56,000	102,144,000
計				1,251,258,011

内訳

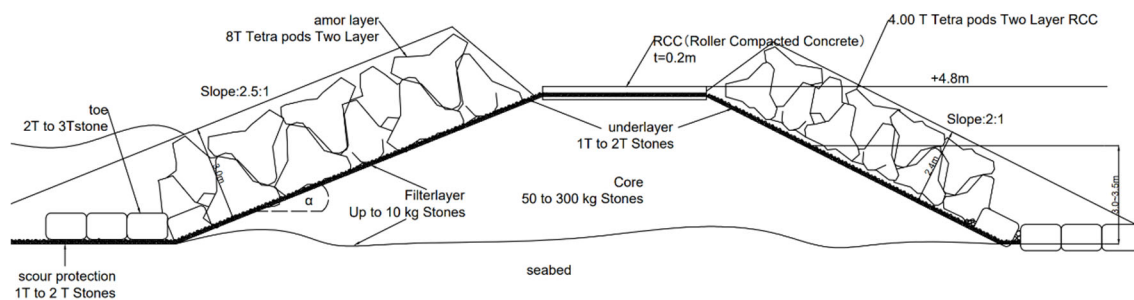
Phase1	1,251,258,011	Phase2	0
--------	---------------	--------	---

出典：JICA Expert Team

## 7.2.8 海岸・河口対策

### 7.2.8.1. 概要

海岸、河口対策は Muttukadu の浚渫と導流壁の築堤である。導流堤の標準断面を Figure 7-8 に、主要工事数量を Table 7-10 に示す。



出典：JICA Expert Team

Figure 7-8: 導流堤の標準断面

Table 7-10: 海岸、河口対策主要工事数量

工種	単位	数量
浚渫	m <sup>3</sup>	30,000
導流堤築造	m	230

出典：JICA Expert Team

### 7.2.8.2. 建設・調達費

海岸・河口対策の建設・調達費を下表に示す。

Table 7-11: 海岸、河口対策の建設・調達費

工種	単位	数量	単価( INR)	Total( INR)
浚渫	m <sup>3</sup>	30,000	485	14,550,000
運搬 (20km)	m <sup>3</sup>	30,000	114.5	3,435,000
導流堤築造	m	230	619,936	142,585,280
その他 (事例参照なのでなし)				0
Civil Cost				160,570,280
Provision for GST 18%				28,902,650
経費 (Civil Costの26%)				41,748,273
計			Phase1	231,221,203
			Phase2	0
			SUM	231,221,203

出典：JICA Expert Team

### 7.2.9 概算事業費

各対策工の建設・調達費に準備費や事業管理費他を加えた概算事業費を Table 7-12 に示す。

Table 7-12: 概算事業費

Item		Phase1	Phase2	Total
		(Unit: INR)		
<b>1 事業管理費</b>		4,636,985,983	1,383,678,395	6,020,664,378
	事業管理費 小計	4,636,985,983	1,383,678,395	6,020,664,378
<b>2 準備費</b>				
2-1	用地取得費（補償費を含む）	95,085,817,157	591,204,918,784	686,290,735,941
(1)	外水対策	84,194,062,704	591,204,918,784	675,398,981,488
	河川拡幅	0	509,022,413,111	509,022,413,111
	貯水池改良	82,182,505,672	82,182,505,672	164,365,011,345
	地下河川	2,011,557,031	0	2,011,557,031
(2)	内水対策	10,891,754,453	0	10,891,754,453
	貯水池（都市部）	6,199,126,172	0	6,199,126,172
	水路（都市部）	0	0	0
	放水路	2,148,225,625	0	2,148,225,625
	ゲート・ポンプ	2,544,402,656	0	2,544,402,656
(3)	海岸・河口対策	0	0	0
2-2	補償費	0	0	0
2-3	環境配慮審査（EIA）費	0	0	0
	準備費 小計	95,085,817,157	591,204,918,784	686,290,735,941
<b>3 建設調達費</b>				
(1)	外水対策	104,246,815,084	41,462,255,622	145,709,070,706
	河川拡幅	16,939,421,024	33,885,599,128	50,825,020,152
	貯水池改良	7,576,656,494	7,576,656,494	15,153,312,988
	地下河川	79,730,737,566	0	79,730,737,566
(2)	内水対策	34,470,363,074	0	34,470,363,074
	貯水池（都市部）	3,206,747,749	0	3,206,747,749
	水路（都市部）	26,503,881,369	0	26,503,881,369
	放水路	1,251,258,011	0	1,251,258,011
	ゲート・ポンプ	3,508,475,945	0	3,508,475,945
(3)	海岸・河口対策	231,221,203	0	231,221,203
	建設調達費 小計	138,948,399,361	41,462,255,622	180,410,654,983
<b>4 設計監理費</b>				
4-1	土木設計監理費			
4-1-1	実施設計費	6,947,419,968	2,073,112,781	9,020,532,749
4-1-2	施工監理費	4,168,451,981	1,243,867,669	5,412,319,649
	設計監理費 小計	11,115,871,949	3,316,980,450	14,432,852,399
<b>5 予備費</b>				
5-1	物価上昇費	1,500,642,713	447,792,361	1,948,435,074
5-2	物理的予備費	3,001,285,426	895,584,721	3,896,870,148
	予備費 小計	4,501,928,139	1,343,377,082	5,845,305,221
<b>6 技術訓練費</b>				
	技術訓練費 小計	0		
<b>7 維持管理費</b>				
	年間			
	維持管理費(1)（年間）	6,947,419,968	2,073,112,781	9,020,532,749
	維持管理費(2)（年間）	13,490,506	13,490,506	13,490,506
	維持管理費 小計（年間）	6,960,910,474	2,086,603,287	9,034,023,255
<b>Total（維持管理費を除く）</b>		<b>254,289,002,590</b>	<b>638,711,210,332</b>	<b>893,000,212,922</b>

出典：JICA Expert Team

### 7.3 予備的経済性評価

ここでは経済性評価の手法、社会経済に関する GIS ベースのデータベースの構築、経済分析の実施、経済便益の算出、経済費用の算出、経済性の評価結果について記載する。

経済性評価の手法では、国土交通省の「治水経済調査マニュアル（案）」に基づき、事業評価を行う手順を示している。社会経済に関する GIS ベースのデータベースの構築では、対象地域の人口分布、GDP 分布、土地利用、公共施設等のインフラ分布を整理している。

経済分析の実施では、被害項目の特定、被害項目の原単位の算定、経済便益の算出、経済費用の算出を行っている。被害項目の特定では、直接被害と間接被害を評価対象とし、被害項目の原単위를算定している。経済便益の算出では、事業実施の有無による被害額差分を基に便益を評価している。

対象地域における 2015 年 12 月の洪水時の実被害額および被害数量に基づき算定した各被害項目（資産項目）の原単위를 Table 7-13 に示す。

Table 7-13: 各資産評価額

(千万 INR /km<sup>2</sup> or km or unit)

氾濫 ブ ック Flood Block	資産評価額（被害項目）の原単位 Intensity of Asset Value (Damage) (Crore INR /km <sup>2</sup> or km or unit)														
	家計資産 Household asset (Crore INR /km <sup>2</sup> )		工業資産 Industrial asset (Crore INR /km <sup>2</sup> )	商業資産 Commencial asset (Crore INR /km <sup>2</sup> )	農業資産 Agricultural asset (Crore INR/km <sup>2</sup> )	農作物 Agricultural asset (Crore INR /km <sup>2</sup> )	道路 Road (Crore INR /km)	鉄道延長 Railway (Crore INR /km)	上水道 Water Distribution line (Crore INR /km)	電カインフラ Electricity Infrastructure					その他公共 施設 Other public facilities (Crore INR /km <sup>2</sup> )
	家屋 House asset	家庭用品 Household articles asset								変電設備 Substations (Crore INR /unit)	開閉器 Pillar box (Crore INR /unit)	配電変圧器 Distribution Transformers (Crore INR /unit)	高圧電線 HT Line length (Crore INR /km)	低圧電線 LT Line length (Crore INR /km)	
<0.5m	0.13	29.22	929.36	410.66	0.13	0.28	0.42	0.33	0.03	6.48	0.00	0.00	0.03	0.02	106.88
0.5<															
1.0m	0.20	43.38	1,593.19	583.57	0.28	0.61	0.66	0.52	0.05	10.89	0.01	0.00	0.05	0.03	179.56
1.0<															
1.5m	0.25	54.90	2,091.06	713.25	0.39	0.84	0.85	0.67	0.06	14.26	0.01	0.00	0.07	0.04	235.14
1.5<															
2.0m	0.29	63.75	2,389.78	821.31	0.43	0.93	0.99	0.78	0.07	16.86	0.01	0.00	0.08	0.05	277.89
2m<	0.35	77.03	2,854.46	951.00	0.53	1.14	1.16	0.92	0.09	20.75	0.01	0.00	0.10	0.06	342.02
Total	0.16	34.98	1,231.59	478.31	0.27	0.59	0.52	0.36	0.04	11.16	0.01	0.00	0.05	0.03	137.01

出典：各種統計や報道に基づく被害額および GIS データをもとに JICA 専門家チーム作成

Phase2 の事業のシミュレーション結果を用いて、算定される 4 流域 (Adyar・Cooum・Kovalam・Kosasthalaiyar) の年平均被害軽減期待額 (経済便益) を Table 7-14 に示す。

Table 7-14: 年平均期待軽減額 (Phase2)

(千万 INR)

Flow Scale 流量 規模	Return Period 超過 確率	Damage Amount 被害額			Segment average damage reduction 区間平均 被害軽減額 ④	Interval Probability 区間 確率 ⑤	Annual average damage reduction 年平均 被害軽減額 ④×⑤	Total annual average damage reduction (=Expected annual average damage reduction) 年平均被害軽減額の累計 (=年平均被害軽減期待額)	Note 備考
		Without countermeasure 事業を実施 しない場合 ①	With countermeasure 事業を実施 した場合 ②	Damage reduction 被害軽減額 ③=①-②					
1/1.1	0.909	0	0	0	268	0.409	110	110	
1/2	0.500	607	70	536	529	0.167	88	198	
1/3	0.333	661	139	522	593	0.133	79	277	
1/5	0.200	753	88	665	720	0.100	72	349	
1/10	0.100	877	102	774	809	0.050	40	389	
1/20	0.050	958	113	844	861	0.017	14	404	
1/30	0.033	998	119	878	899	0.013	12	416	
1/50	0.020	1,046	126	919	942	0.008	7	423	
1/80	0.013	1,093	129	964	982	0.003	2	425	
1/100	0.010	1,132	133	999					

出典： JICA Expert team

経済費用の算出では、事業費 (施設等の建設費、用地費、補償費) および維持管理費を対象としている。経済性の評価結果では、便益費用率 (B/C Ratio)、純現在価値 (NPV)、経済的内部収益率 (EIRR) 等の指標により事業の経済性を評価している。評価結果として、各経済指標の算出結果を示す。

B/C は総じて一番効果が小さい残事業評価でも 2.4 であることから、本事業は経済性の観点から妥当と判断できる。

Table 7-15: 洪水対策事業の各経済指標の結果

	Phase1	Phase2	残事業 (Phase2-Phase1)
B/C	13.7	3.5	2.4
NPV (B-C)	204,500 (千万 INR)	117,500 (千万 INR)	47,900 (千万 INR)
EIRR	39%	32%	14%

出典： JICA Expert team

## 7.4 結論

各フェーズにおける EIRR、ENPV(=B-C)、および B/C の結果を総括し、以下の表に示す。

評価結果が高いのは、対象河川の流量容量が低いことに起因している。通常、プロジェクトの利益は初期段階でより顕著であるが、安全性が向上するにつれて評価値は時間とともに低下する。フェーズ2では、フェーズ1が既に1/10 再起期間 (RP) までの安全性を確保していると仮定している。評価は、フェーズ1の実施有無を比較し、フェーズ2における1/10 RP から1/100 RP までの追加保護を考慮している。

Items	Phase I			Phase II			Phase II - Phase I
	Construction	Site Preparation	Total	Construction	Site Preparation	Total	
Project Cost (Cr. INR)	15,900	9,500	25,400	4,800	59,100	63,900	38,500
B/C	13.7			3.5			2.4
NPV (B-C) (Cr. INR)	204,500			117,500			47,900
EIRR	39.1%			32.3%			14.1%
Reference: (Underground Bypass) (Cr. INR)	Construction	Site Preparation	Total				
	8,000	200	8,200				

## 8章 戦略的環境アセスメント

### 8.1 環境影響評価

#### 8.1.1 物理的対策の概要

CFCMP の優先的な物理的対策について、自然・社会環境への影響の評価を、スコーピング段階の評価との比較とともに Table 8-1 に整理した。

#### 8.1.2 主な負の影響

##### 8.1.2.1. 水質汚染およびその他の間接的な潜在的影響

本調査における水質調査結果より、Adyar 川、Cooum 川、Buckingham 運河の表流水の水質は低く、その中でも塩化物 (Cl) と硝酸塩 (NO<sub>3</sub>) の濃度が高く、溶存酸素 (DO) の濃度が著しく低い。一般に、水質の低下は、家庭用排水、農業用排水、工業用排水が未処理のまま河川や運河に流入し、植物プランクトンやその他の藻類が異常繁殖、富栄養化を招く。このような水域の状態は、水生生態系だけでなく河川の周辺環境における悪臭など、人々の生活に悪影響を及ぼす。

##### 8.1.2.2. 生物多様性/生態系

都市部における緑地は、都市に日陰とオープンスペースを提供し、ヒートアイランド現象の緩和や、雨水貯留による都市全般の流出速度の低減に寄与することから、地域の象徴的な樹林地や大径木の伐採による CMA 内の緑環境の劣化は、都市化が進む地域にとって重大な負の影響の一つである。

CFCMP で優先的に実施される物的対策のリストには、「河口改修」、「地下河川の建設」、「放流路の建設」など、ベンガル湾沿岸地域でのコンクリート構造物の建設を伴う取組みが含まれる。前節で示したように、チェンナイの沿岸地域のほとんどは、関連法に基づき沿岸規制区域に指定されている。よって、これらの物理的対策は国や州の関連法令に従い水生生態系に対する詳細な環境アセスメントに基づき実施される必要がある。

また、Kovalam 流域では、洪水多発地域に指定されている Pallikaranai 湿原保護林がラムサール条約湿地に登録されており、今後改修に向けた開発計画があるものの、生物多様性に関わる湿原機能の劣化を招く恐れのある建設行為には十分注意する必要がある。

##### 8.1.2.3. 住民移転と用地取得

本プロジェクトの対象となる河川の河岸沿いには多くの住宅や商業施設が立地しているため、規模が大きな非自発的住民移転や河川拡幅の実施に伴う用地取得が発生することが予想される。特に、チェンナイの市街化区域の河川や運河沿いには、多くの違法住宅地が確認されており、これらの地域で治水対策を実施することは、貧困層を含む非正

規定住者と呼ばれる社会的弱者に対する非自発的住民移転を実施することとなり、被影響住民（PAPs）の生活環境に大きな負の影響を与える。

Table 8-1: 環境影響評価のための主な CFCMP における物理的対策

分類	物理対策	建設作業概要	
V 外水氾濫対策	A1: Adyar 川流域	A1-①: Adyar 川及び Chembarambakkam 余剰水路の改修-1 (河床掘削)	河床の掘削
		A1-②: Adyar 川及び Chembarambakkam 余剰水路の改修-2 (河川幅拡張)	河川幅拡張のための土工、嵩上げ堤防の建設
		A1-③: 地下河川建設 (空港近くの Adyar 川からベンガル湾を連結)	TBM (トンネル掘削機) による地下河川の掘削、トンネル構造のためのコンクリート構造物建設、Adyar 川からベンガル湾への取水口と排出口の立坑の建設
	A2: Cooum 川流域	A2-①: Cooum 川河川改修-1 (河床掘削)	河床の掘削
		A2-②: Cooum 川河川改修-2 (河川幅拡張)	河川幅拡張のための土工、嵩上げ堤防の建設
	A3: Kosasthalaiyar 川流域	A3-①: Kosasthalaiyar 川及び Redhills 余剰水路の改修-1 (河床掘削)	河床の掘削
		A3-②: Kosasthalaiyar 川及び Redhills 余剰水路の改修-2 (河川幅拡張)	河川幅拡張のための土工、嵩上げ堤防の建設
		A3-③: Kosasthalaiyar 川及びループ水路の開発 (ゲート整備を伴う)	嵩上げ堤防の建設、河川幅拡張のための土工、ゲート建設
	A4: Kovalam 流域	A4-①: Okkiyam Maduvu 余剰水路の改修-1 (水路床掘削)	河床の掘削
		A4-②: Okkiyam Maduvu 余剰水路の改修-2 (水路幅拡張)	河川幅拡張のための土工、嵩上げ堤防の建設
A5: 全河川流域	A5-①: 既存調整池の改修 (ゲート整備を伴う)	既存調整池の土壌掘削、調整池と河川をつなぐ排水路の建設 (ゲート建設を伴う)	
	A5-②: 新調整池の整備 (ゲート整備を伴う) (特に Kosasthalaiyar 川流域)	新規調整池整備のための土壌掘削、調整池と河川をつなぐ排水路の建設 (ゲート建設を伴う)	
B. 内水氾濫対策	B1: 北 Buckingham 運河 (NBC)	B1-①: Buckingham 運河の改修	運河の底土壌の掘削、嵩上げ堤防/横壁の建設
		B1-②: 遊水地整備 (Kodungaiyur Drain, Captain Cotton Canal, Otteri Nala Drain に隣接及び NBC 中間地点付近)	地盤の掘削、ゲートの建設、ポンプの設置、堤防保護のためのコンクリート構造物の建設
		B1-③: バイパス水路 (Cut & Cover)の整備 (Otteri Nala Drain と Cooum 川を連結)	新規暗渠排水路のための土壌掘削、排水路コンクリート構造物の建設
		B1-④: ゲート整備※Cooum 川の交錯点	運河の底土壌の掘削、ゲート建設
	B2: 中央 Buckingham 運河 (CBC)	B2-①: Buckingham 運河の改修	運河の底土壌の掘削、嵩上げ横壁の建設
		B2-②: ゲート整備 (側壁整備を伴う) ※Cooum 川の交錯点	運河の底土壌の掘削、ゲート建設
	B3: 南 Buckingham 運河 (SBC)	B3-①: Buckingham 運河の改修	運河の底土壌の掘削、河岸・嵩上げ横壁の建設
		B3-②: ゲート整備※運河北部及び Pallikaranai 湿地付近 (ポンプ整備を伴う)	運河の底土壌の掘削、ゲート建設、ポンプ設置
		B3-③: 放水路整備 (Buckingham 運河及びベンガル湾を連結) ※Okkiyam Maduvu から Injambakkam 地区を結ぶショートカット水路整備 含む。	新放水路のための土壌掘削、放水路コンクリート構造物の建設、ベンガル湾付近のゲート建設
	B4: 接続排水路 (Adyar 川及び Cooum 川へ接続)	B4-①: 排水路改修 (水路床掘削及び幅拡張) ※Adyar 川及び Cooum 川と連結する排水路を対象 (MGR, Kolapakkam, Kundrathur, Pammal 排水路等)	排水路の床土壌の掘削、排水路堤防の拡張のためのコンクリート工事、堤防の嵩上げ工事
B4-②: ゲート整備 (河川との連結部分となる排水口整備を含む)		ゲート建設、運河の床土壌の掘削、コンクリートガイド壁及び排水口の新規整備	
B4-③: 調整池改修及び新規調整池開発 (ゲート整備を伴う) ※Kundrathur 排水路 (Madha College 近くの未利用地)、Palmmar 排水路の上流 (Thirunermalai Lake=Periya Eri)		既存の調整池の底土壌の掘削、新規調整池のための土壌掘削、調整池と排水路をつなぐ排水路建設	
C: 海岸洪水対策	C-①: 導流堤建設※Muttukadu 地区	河口付近での土工、導流路建設	

#### 8.1.2.4. 地域資源（地下水及び海岸）

建設工事に伴った過度の土壌掘削や地下水の取水は、一般的に地下水位の低下を引き起こし、水資源に依存する人々への水不足や CMA 内の地盤沈下など、自然・社会環境に重大な悪影響を与える可能性がある。

また、沖合への砂の流出などにより既存海岸の砂が喪失し浜辺の形状が変化することはチェンナイの観光産業に大きな負の影響を与える。

#### 8.1.3 代替案の分析

Table 8-2 に CFCMP において提案される対策案の代替分析の概要を示す。対策案の妥当性を確認するため、評価項目に「事業なし」の側面を加えている。重要な評価基準は、洪水軽減の費用に加えて、EIA で特定された項目から選択されている。

### 8.2 緩和策

以下に主な負の影響に対する緩和策を示す。

#### 8.2.1.1. 水質汚染及び他の間接的な可能性のある影響

- ✓ 将来的な植生による水質浄化を図るため、調整池の河川水が流入する入口付近へ水生植生を設ける。（ファイトレメディエーション）
- ✓ 建設中及び供用開始後における定期的な表面水の水質調査などモニタリングを実施する。
- ✓ チェンナイ都市圏における下水道施設の改善を推進する。

#### 8.2.1.2. 生物多様性 / 生態系

- ✓ 伐採した樹木の追加植林を実施する。（グリーンオフセット）
- ✓ 湿地帯の新規整備など、自然に配慮した開発の促進を図る。

#### 8.2.1.3. 住民移転及び用地取得

- ✓ 適切な住民移転に係る活動の実施に向けた住民移転計画（RAP）の作成を行う。

#### 8.2.1.4. 地域資源（地下水及びビーチ）

- ✓ 地質及び地下水位の現状を把握するための詳細調査を実施する。
- ✓ 長期的な視点の基づく海浜の砂移動についての詳細な分析調査を実施する。
- ✓ 建設中及び供用開始後における定期的な地下水位及び海浜の砂移動に関するモニタリングを実施する。

Table 8-2: 代替案検討の概要

#	カテゴリ及び対策	プロジェクト・オプションなし	A: 外水氾濫対策										B: 内水氾濫対策										C						
			A1 Adyar川流域			A2 Cooum川流域		A3 Kosasthalaiyar川流域			A4 Kovalum流域		A5 全流域		B1 NBC				B2 CBC		B3 SBC			B4 接続排水路			海岸洪水対策		
			①	②	③	①	②	①	②	③	①	②	①	②	①	②	③	④	①	②	①	②	③	①	②	③	①		
			Adyar川及びChembarambakkam余剰水路の改修-2(河川幅拡幅)	Adyar川及びChembarambakkam余剰水路の改修-1(河床掘削)	地下河川建設	Cooum川河川改修-1(河床掘削)	Cooum川河川改修-2(河川幅拡幅)	Kosasthalaiyar川及びRedhills余剰水路の改修-1(河床掘削)	Kosasthalaiyar川及びRedhills余剰水路の改修-2(河川幅拡幅)	Kosasthalaiyar川及びループ水路の開発(ゲート整備を伴う)	Okkiyam Maduvu 余剰水路の改修-1(水路床掘削)	Okkiyam Maduvu 余剰水路の改修-2(水路幅拡幅)	既存調整池の改修(ゲート整備を伴う)	新調整池の整備(ゲート整備を伴う)(特にKosasthalaiyar川流域)	Buckingham 運河の改修	遊水地整備(Kodungalur Drain, Captain Cotton Canal etc.に接続)	バイパス水路(Cut & Cover)の整備(Oteri Nala Drainと河川を連結)	ゲート整備※Cooum川の交錯点	Buckingham 運河の改修	Cooum川の交錯点	ゲート整備(側壁整備を伴う)※	Buckingham 運河の改修	Palikaranai湿地付近	ゲート整備※運河北部及びベンガル湾を連結)	放水路整備(Buckingham 運河及び幅)	排水路改修(水路床掘削及び幅拡)	ゲート整備(河川との連結部分となる排水口整備を含む)	調整池改修及び新規調整池開発(ゲート整備を伴う)	導流堤建設※Mutukadu地区
1	洪水軽減のための費用	1	3	3	1	2	2	3	3	2	4	4	4	4	4	4	3	4	4	2	4	2	2	4	4	4	4	3	
2	地域経済に有益	1	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4	4	
3	公害防止	1	2	4	2	2	4	2	4	4	2	4	2	3	3	3	3	4	3	4	3	4	2	3	4	2	2	2	
4	自然環境への影響	3	3	3	2	4	2	3	3	3	2	2	2	2	4	2	5	5	4	5	4	5	2	4	5	2	2	2	
5	非自発的住民移転と土地取得	5	5	2	3	5	2	5	2	4	5	4	4	3	5	4	5	4	3	3	5	4	3	5	4	4	5	5	
6	市民の生活環境に与える影響	1	5	4	5	5	4	5	4	5	5	4	5	3	5	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	3	3	
7	地域資源への影響	3	3	5	2	3	5	3	5	5	3	3	3	3	5	3	4	5	5	5	5	5	2	5	5	3	2	2	
	合計		26	26	19	26	24	26	26	27	28	26	26	22	31	24	28	31	29	28	30	29	19	30	31	25	21	21	
	平均	15	23.00			24.50		25.67			26.00		23.50		28.50				28.50		26.00			28.67			21		
	平均		24.53										27.92										21						

### 8.3 環境目的、目標、ビジョン及び戦略

以下に、チェンナイにおける CFCMP と関連した環境戦略の検討結果を示す。

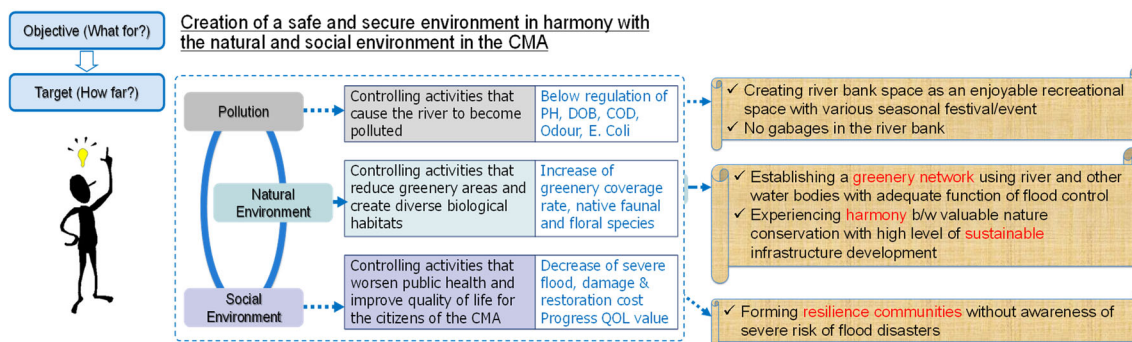


Figure 8-1: チェンナイにおける環境目的、目標及びビジョンの概要

### 8.4 Environmental Strategy in Chennai

以下に、前述の環境ビジョンに基づいた CFCMP と関連する環境戦略を示す。

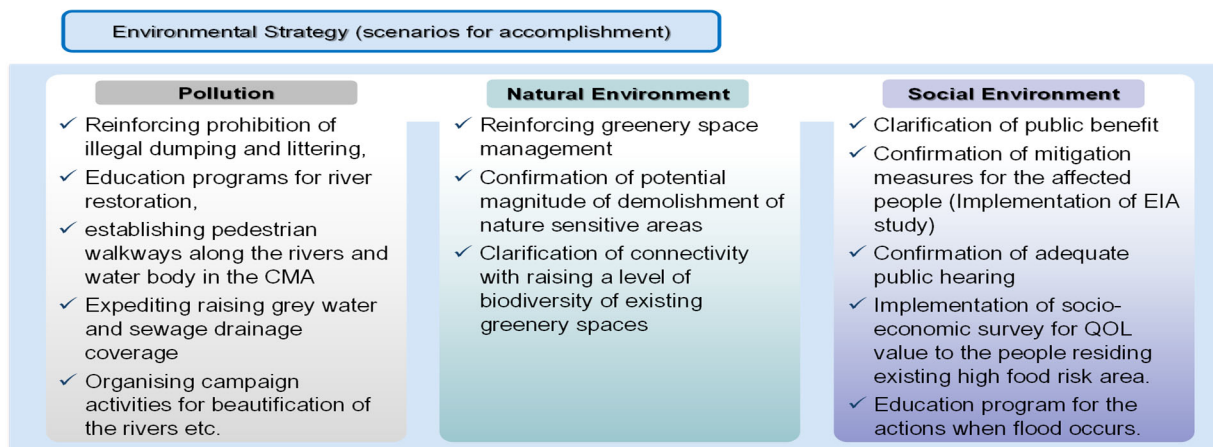


Figure 8-2: チェンナイにおける環境戦略の概要

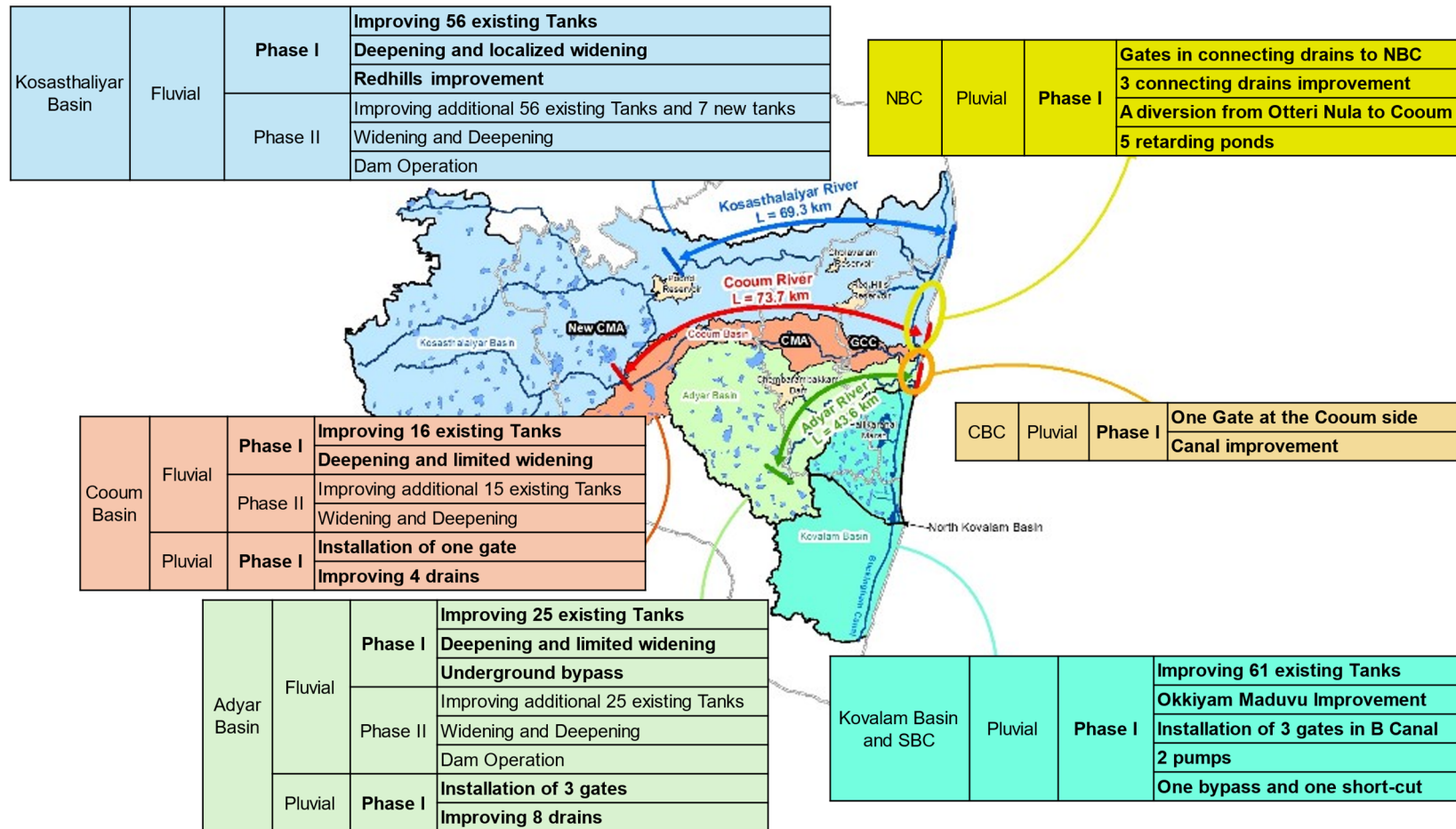
## 9章 優先施策と実施計画

### 9.1 FRMMP のプロジェクト・コンポーネント案

この章では、提案されている河川洪水対策と都市洪水対策の包括的な対策の概要を示している。都市洪水対策の浸水被害軽減は本川改修によるバックウォーターの減少も寄与することから、対策は水系別のコンポーネントでまとめて整備の進め方を考える必要がある。

本章はこの整備の進め方として、流域別の優先度や対策の優先度を整理し、整備スケジュールを踏まえたロードマップを提案している。

FRMMP のプロジェクト・コンポーネント案は Figure 9-1 の通りである。



出典： JICA Expert Team

Figure 9-1: 各流域におけるコンポーネント

## 9.2 整備計画

洪水管理マスタープランでは、比較的長い期間にわたって実施する必要があるいくつかの対策が含まれているため、これらの対策の優先順位設定が重要である。これには、さまざまな Phase と実施計画の提案が含まれる。本節では、技術的および社会経済的考慮事項を考慮しながら、流域別および対策の種類別に要素の優先順位を提案している。

### 9.2.1 流域別の優先順位

Adyar、Cooum、Kosasthalaiyar、Kovalam の各流域別での優先順位は、洪水に対する被害額や近年の市街化状況、内水河川対応の必要性から設定した。

Table 9-1 はその把握結果であり、Adyar 川流域及び Kovalam 流域の優先度が高い結果となった。Adyar 川流域では Adyar 川の改修で支川部でのバックウォーターが改善されるため、本川からの氾濫防御だけでなく内水被害軽減効果を併せて期待できる。このため、優先度は、Adyar 川流域、Kovalam 流域、Cooum 川流域、Kosasthalaiyar 川流域の順とした。

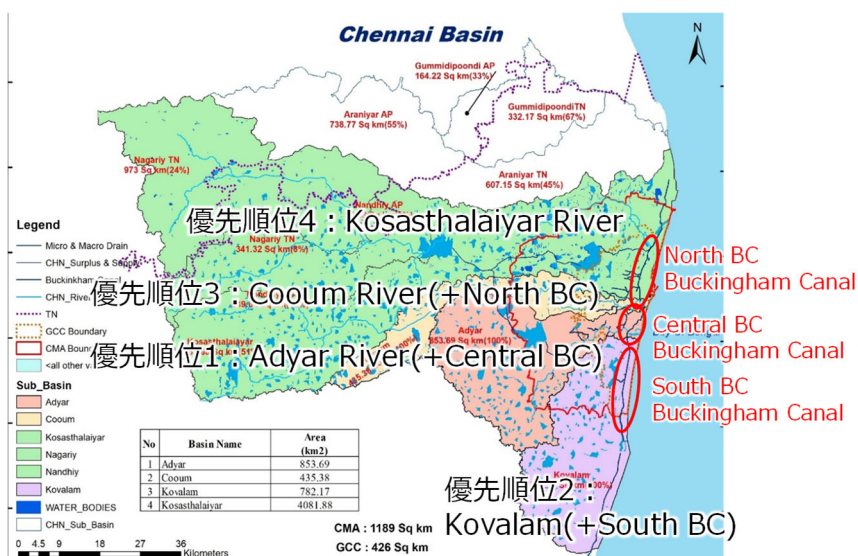
以下は、Buckingham 運河を考慮した優先流域である。

- ・優先順位 1: Adyar 流域と Central Buckingham 運河
- ・優先順位 2: Kovalam 流域と South Buckingham 運河
- ・優先順位 3: Cooum 流域と North Buckingham 運河
- ・優先順位 4: Kosasthalaiyar 流域

Table 9-1: 流域別の優先順位

Priority	Basin	Potential Damage Rank (Hazard)	Urbanization (Reduce Exposure)	Effectiveness (Improve Flood Control)
1	Adyar	1 or 2	2	1
2	Kovalam	1 or 2	1	2 or 3
3	Cooum	3 or 4	3	4
4	Kosasthalaiyar	3 or 4	4	2 or 3

出典: JICA Expert Team



出典：JICA Expert Team

Figure 9-2: 流域別の優先順位

Table 9-2 は、本検討で検討した各洪水規模に対する被害額の整理結果である。

Table 9-2: 被害額、流域面積当たりの被害額順位

① 総被害額

	Return Period	Adyar	Cooum	Kosasthalaiyar	Kovalam
amount of damage (INR in Billion)	1/10	169	126	289	190
	1/100	228	176	390	205
order		2	4	1	2

② 流域面積当たりの被害額

		Adyar	Cooum	Kosasthalaiyar	Kovalam
Basin Area	km2	854	435	4,082	782
Damage per basin area (INRINR in Billion/km2)	1/10	0.20	0.29	0.07	0.24
	1/100	0.27	0.40	0.10	0.26
order		2	1	4	2

出典：JICA Expert Team

9.2.2 優先プロジェクトの選定 (洪水管理計画)

河道改修や貯水池 (タンク) の機能増強には多くの用地買収が必要であり、全整備を行うには時間を要することとなる。従って、当面 10 年程度での段階整備を Phase1 として本節では検討を行った。

9.2.2.1. 河川洪水対策の優先順位

● 河道改修

河道拡幅に伴う用地買収は Table 2-4 の通り、多くの住居や商業施設の移転を伴うため

に時間を要すると考えられる。このため、以下の順で段階的に事業を実施する。

Phase1：現況河道内での掘削（一部局部拡幅）

Phase2：河道拡幅



出典： JICA Expert Team

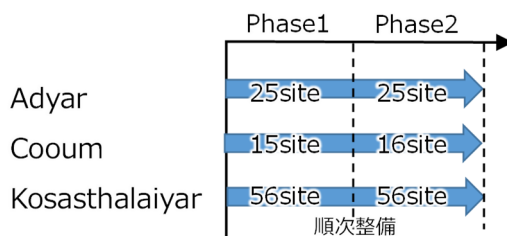
Figure 9-3： 河道改修手順

また、各河川ともに上流側（Adyar 川：39.8km 上流、Cooum 川：25.3km 上流 Kosasthalaiyar 川：32.9km 上流）は将来的にも拡幅が必要ないため、Phase1 の整備で全川整備した場合には治水安全度の上下流バランスが逆転する恐れがある。

このため、各河川において Phase1 として妥当な整備区間の検討を次節で行った。

● タンクの機能増強

貯水池の機能増強は、現在 TNWRD は、タンクの洪水貯留の強化に取り組んでおり、今後も整備期間の中で順次機能増強していくことになると考えられる。従って、段階整備の Phase1 では C/P とも協議し、全体のタンク数の内、半分のタンクを整備することとした。



出典： JICA Expert Team

Figure 9-4： 貯水池の整備完了イメージ

9.2.2.2. 河道掘削とタンクの貯留機能増強の比較

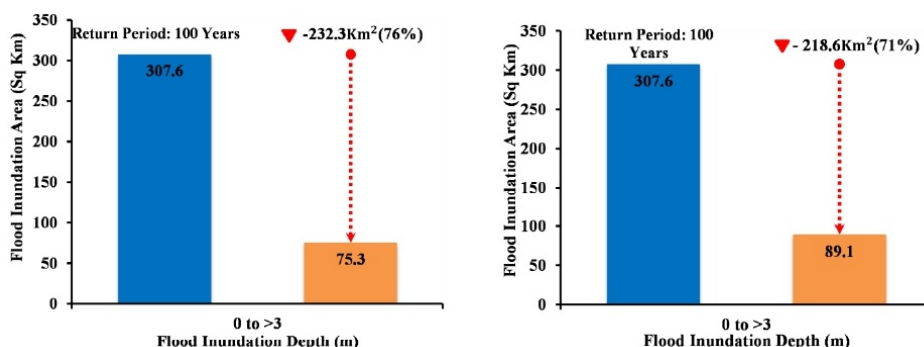
Figure 9-5 は、Adyar 川を例に、河道掘削による流下能力向上とタンクの貯留機能増強による流量低減による 1/100 洪水規模での氾濫軽減効果を示したものである。

Adyar 川河道掘削では氾濫面積は 307.6 km<sup>2</sup> から 75.3 km<sup>2</sup> に 76% 減少する。同様に、タンクの貯留機能増強では氾濫面積は 307.6 km<sup>2</sup> から 89.1 km<sup>2</sup> に 71% 減少する。両方の対策の効果はほぼ同じであるが、河道掘削の方がわずかに効果は高い結果となっている。

尚、タンクは二山洪水などの降雨パターンによっては確実に洪水を貯留出来ないおそれがあり、実際の被害軽減効果は河道掘削の方がより高いと考えられる。

コストの点では、3つの河川の掘削のみによる河川水路改善の建設費は約1,700INR Croresで、タンク機能増強の総コスト1,500INR Croresよりわずかに高い。しかし、タンクは別途用地買収などの準備費が約1,800INR Crores必要となり、事業全体としては河道掘削の方が安価となる。

以上から、河道掘削はタンクよりも治水効果が高く、総コスト面でも優位なことから、Phase1での実施は妥当と判断した。



出典：JICA Expert Team

Figure 9-5: 河道掘削（左図）とタンクの貯留機能増強（右図）の比較

### 9.2.2.3. 都市洪水対策の優先度

チェンナイ市街地部は浸水頻度が大きいことから、都市洪水対策はPhase1で実施することとした。各箇所におけるphase1での整備順序は以下の通りである。

- Buckingham 運河及びその接続排水路

Buckingham 運河は河口部に近く、本川の水位上昇による逆流防止よりも Buckingham 運河の疎通能力拡大が重要である。特に北部 Buckingham 運河では接続する排水路が3つあり、その内2つが疎通能力不足であることから優先して Buckingham 運河の疎通能力拡大を行うこととした。

Phase1（前半）：Buckingham 運河の疎通能力改修

Phase1（後半）：本川からの逆流防止ゲート

- 本川に接続する排水路の整備

内水対策では排水路の疎通能力改善と本川からの逆流防止ゲート設置が計画されている。当面の本川の河道改修が終わるまでは、逆流による支川氾濫が助長されるおそれが高いことや排水路の改修にあたり周辺との調整が必要となることから逆流防止ゲートを優先して実施することとした。

Phase1（前半）：本川からの逆流防止ゲート

Phase1（後半）：排水路の改修

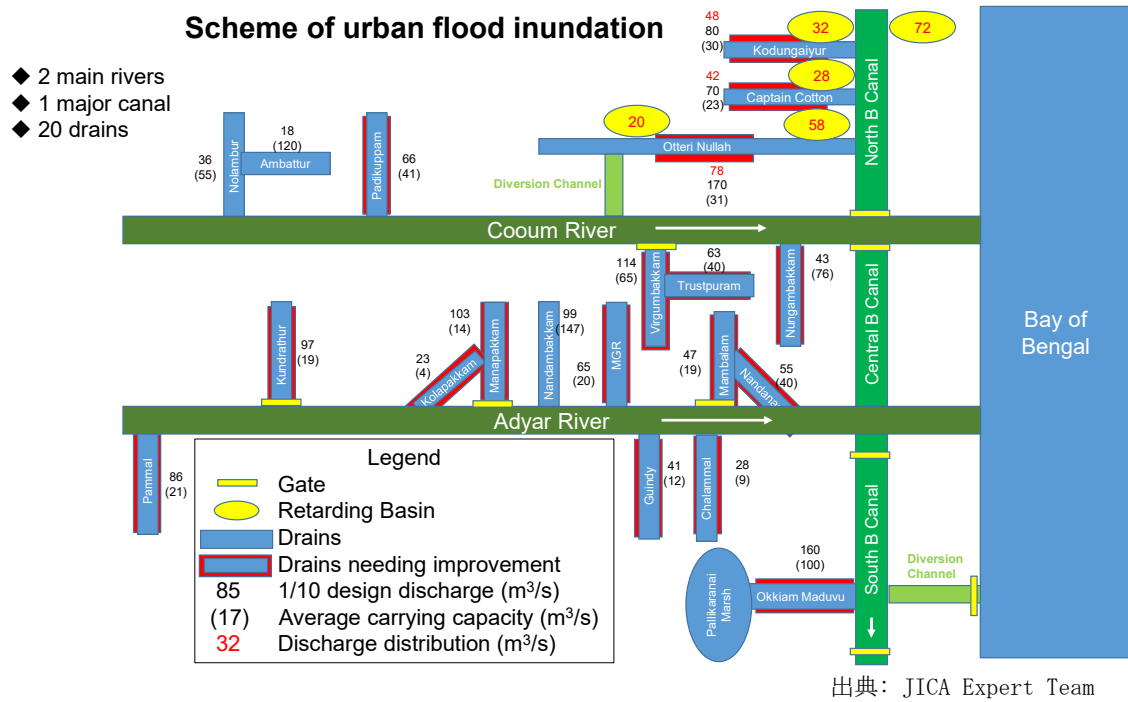
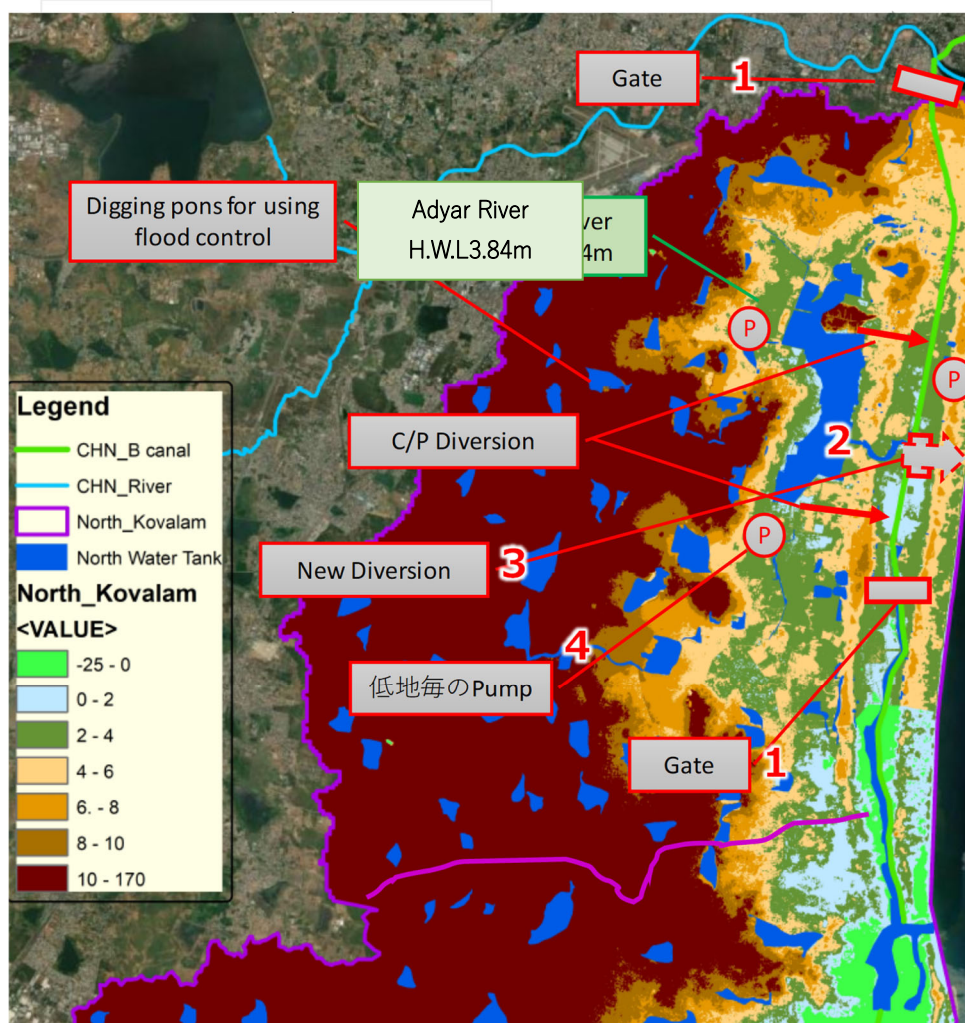


Figure 9-6: 内水対策対象箇所

● Kovalam 流域

Kovalam 流域では排水不良が大きな課題であるため、抜本的な対策は放水路となる。したがって、Phase1 では、放水路整備や流域外からの逆流防止のためのゲート、Okkiyam Maduvu の拡幅の整備が優先的に必要である。

また、これらの整備後も残る窪地の内水除去も、優先整備の後に必要となる。



出典： JICA Expert Team

Figure 9-7: Kovalam 流域対策対象箇所

### 9.2.3 実施スケジュール

実施スケジュールは当面（Phase1）、将来（Phase2）の2段階を基本として作成した。

各整備の考え方は以下の通りであり、そのスケジュールは Table 9-3 の通りである。

尚、表中の工程では各流域で同時スタートしているが、事業規模が大きいことから、Adyar 川流域、Kovalam 流域、Cooum 川流域、Kosasthalaiyar 流域の順で整備のスタート時期を変えることもあり得る。

Table 9-3: 事業スケジュール案

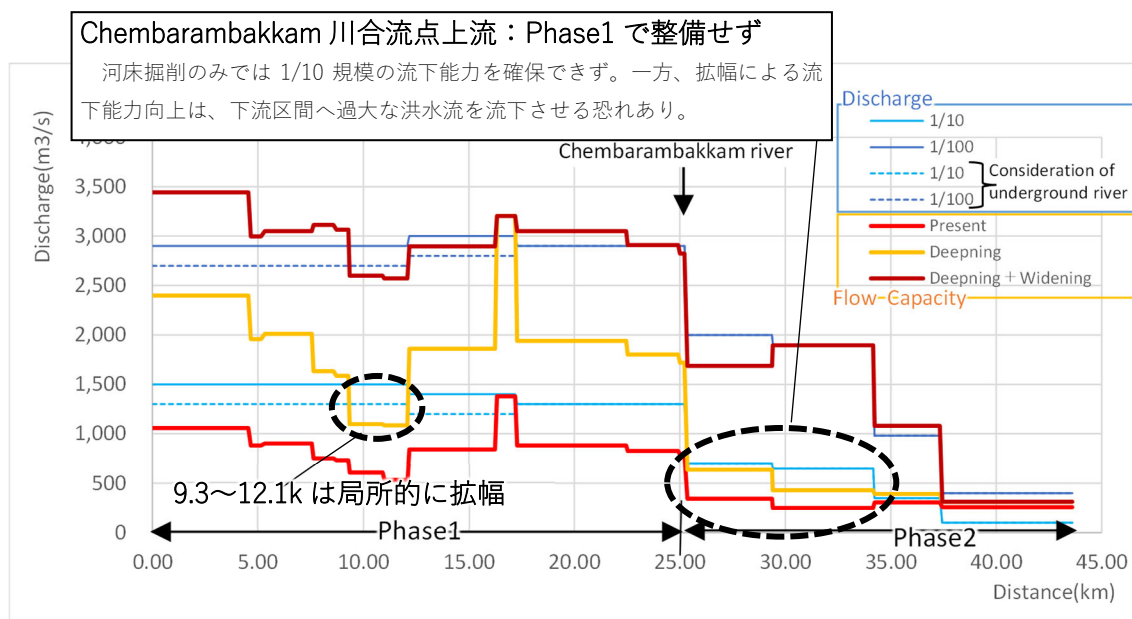
countermeasure				Phase 1		Phase 2 and beyond					
				5	10	15	20	beyond			
Adyar River	Flood control	Using Existing Waterbodies	50 tanks	12 tanks	13 tanks	12 tanks	13 tanks	Extended (depend on circumstances)			
		Dam Operation Improvement	under verification	Verification		Operation					
		River Channelization	Excavation and local widening	0.0~25.0k		upper 25.0k					
			widening			0.0~43.6k					
	Underground river										
Strom Water	Gates in Connecting Drainages to Rivers	3 Gates	優先度 1		Extended (depend on circumstances)						
	River Channelization	8 river									
Centrl B Canal	Strom Water	Gates in Connecting Drainages to Rivers	1 Gates								
		River Channelization	Centrl B Canal								
Cooum River	Flood control	Using Existing Waterbodies	31 tanks	7 tanks				8 tanks	8 tanks	8 tanks	Extended (depend on circumstances)
		River Channelization	Excavation and local widening	0.0~25.0k		upper 25.0k					
			widening			0.0~34.2k					
	Strom Water	Gates in Connecting Drainages to Rivers	Gates (1place)	優先度 3		Extended (depend on circumstances)					
River Channelization		4 place									
North B Canal	Strom Water	Gates in Connecting Drainages to Rivers	1 Gates						Extended (depend on circumstances)		
		River Channelization	North B Canal , 3 river								
		Diversion Channel	1 Channel								
		New Flood Storage	5 storages								
Kosasthalaiyar River	Flood control	Using Existing Waterbodies	112 tanks	28 tanks	28 tanks	28 tanks	28 tanks	Extended (depend on circumstances)			
		Dam Operation Improvement	Under verification	Verification		Operation					
		River Channelization	Excavation and local widening	0.0~31.7k		upper 31.7k					
			widening			0.0~69.3k					
kobaram	Strom Water	Using Existing Waterbodies	2 tanks	優先度 2		Extended (depend on circumstances)					
		River Channelization	okaymado								
		Gates in B Canal	3 Gates								
		Pumps	2 pumps								
		Bypass	1 bypass								

出典： JICA Expert team

### 9.3 Phase1において優先的に進める洪水対策

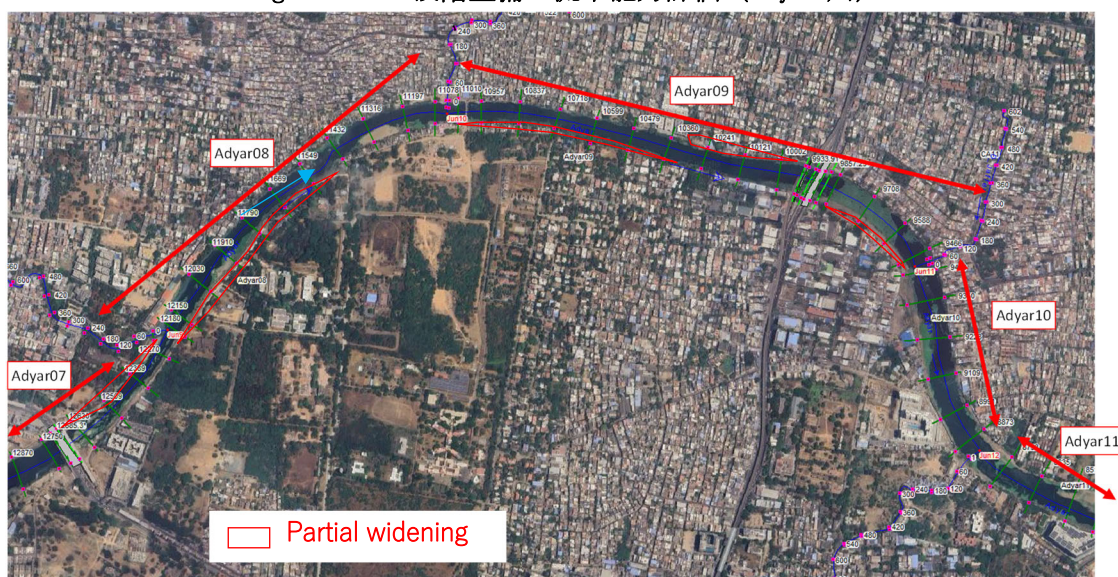
#### 9.3.1 Adyar 川

Figure 9-8はAdyar川における各河道改修（Deepening、Deepening+Widening）で達成できる流下能力と各確率規模での流量配分を重ね合わせたものである。図から、Phase1での整備は25.2k下流で実施することとした。



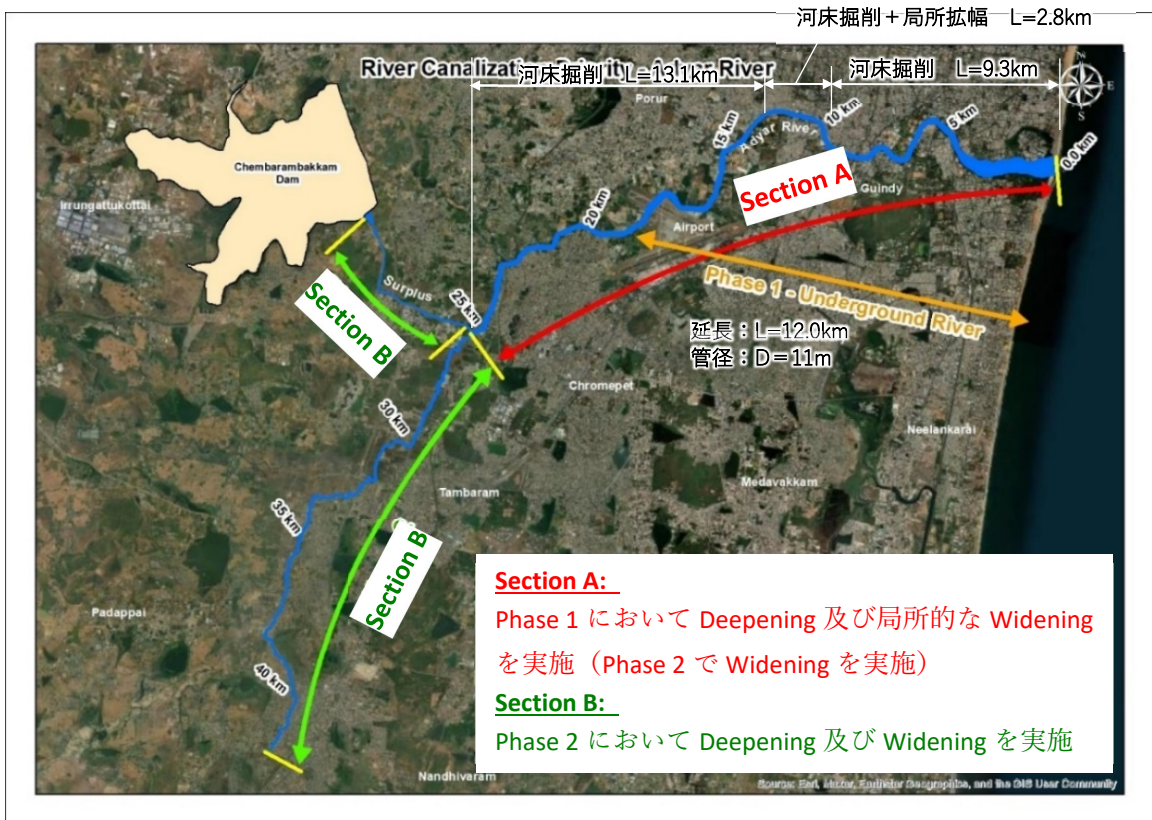
出典：JICA Expert Team

Figure 9-8: 段階整備の流下能力評価 (Adyar 川)



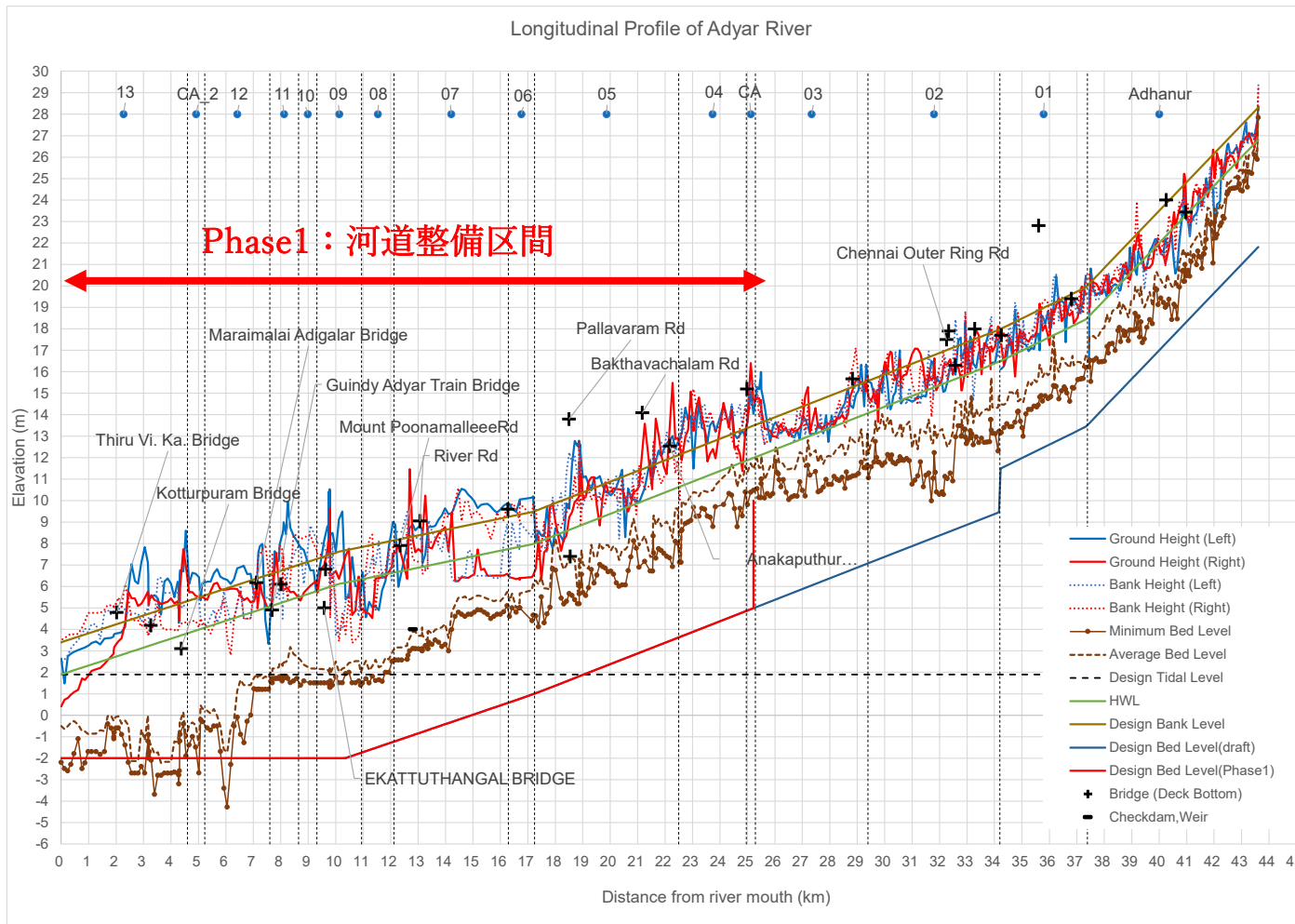
出典：JICA Expert Team

Figure 9-9: 9.3~12.1k 局所拡幅箇所位置図 (Adyar 川)



出典：JICA Expert Team

Figure 9-10: 優先順位図 (Adyar 川)



出典：JICA Expert Team

Figure 9-11: 計画縦断面図 (Adyar 川)

### 9.3.2 地下バイパストンネル

Phase1において掘削だけでは1/10規模の治水安全度を確保できない9.3~12.1kの区間は、極力家屋移転が少ない箇所での最低限の拡幅（拡幅幅は10m程度であり、その位置はFigure 9-9参照）と地下バイパストンネルにより対応することとした。

Table 9-4は、地下バイパストンネルと更に河道を拡幅する案について比較整理したものである。更なる河道拡幅は家屋移転交渉に時間を要することからPhase1の10年間で整備が出来ないおそれが高い。一方、地下バイパストンネルは事業を早期に実施できる経済効果の高さやKovalam地区における内水対策も期待できることから、この案を採用している。

Table 9-4: ネック区間に対する対応の方向

ケース	更なる河道拡幅		地下バイパストンネル	
概要	地下バイパストンネルを造らなかった場合、更に必要な河道拡幅をしたケース（10m更に拡幅）		200m <sup>3</sup> /sを地下バイパストンネルで分派させるケース	
用地	5ha		2ha	
移転	住居：900棟、商業施設：60棟		住居：80棟、商業施設：無し	
事業費 Cr INR million USD	準備費	建設費	準備費	建設費
	900 110	30 3.6	200 24	8,000 1,000
メリット	・地下バイパストンネルより安価		<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業を早期に実施可能</li> <li>・洪水で年間数回閉鎖されるチェンナイ空港の滑走路に対する早期の改善効果が期待され、経済活動への寄与が大きい。</li> <li>・ルート上には内水被害常襲地帯のKovalam basinを通過するため、この内水対応も可能</li> </ul>	
デメリット	・家屋移転交渉などで時間を要するため、Phase1の10年間で事業実施できないおそれあり		・費用は高価	
評価			費用は高価であるが、事業の早期効果発現による各経済効果も考慮し、本ケースを採用	

出典：JICA Expert Team

Figure 9-10は、概略の整備区間を示しており、Phase1における用地買収などを含まない本体事業費は掘削で約530Crore INR (64 million USD)、地下バイパストンネルで8,600 Crore INR (1,000 million USD)となる（コスト算出の詳細は後述）。

Figure 9-12 は、地下バイパストンネルの位置図である。Kovalam 流域の内水対応として、地下バイパストンネルは Phase1 で完成させるが、地下バイパストンネルの治水効果発現をより早期に発現させるためには、この内水地区での区間から整備を行い、全区間が完成するまで地下調節池として利用することも考えられる。

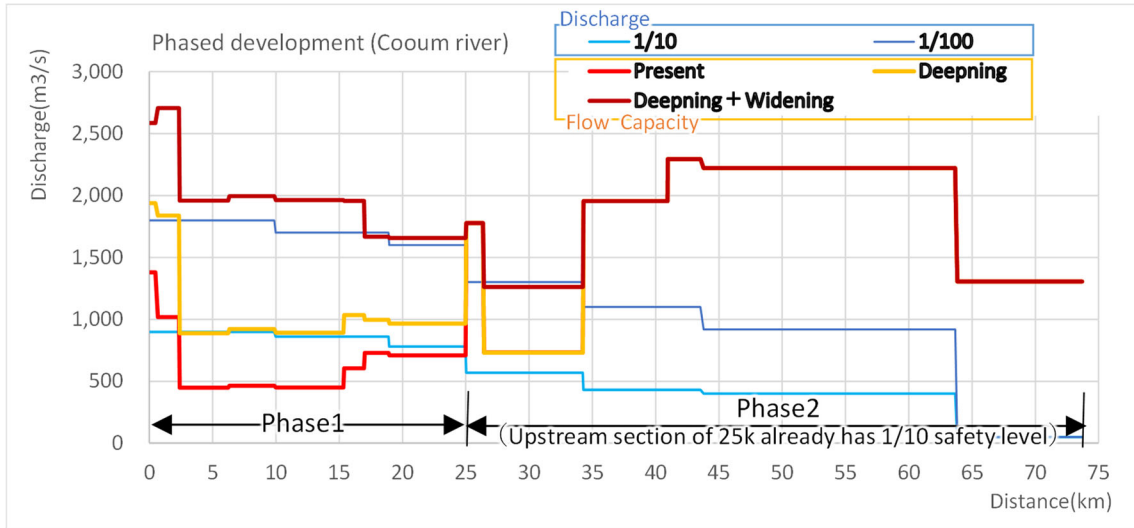


出典： JICA Expert Team

Figure 9-12: 地下バイパストンネル平面位置図

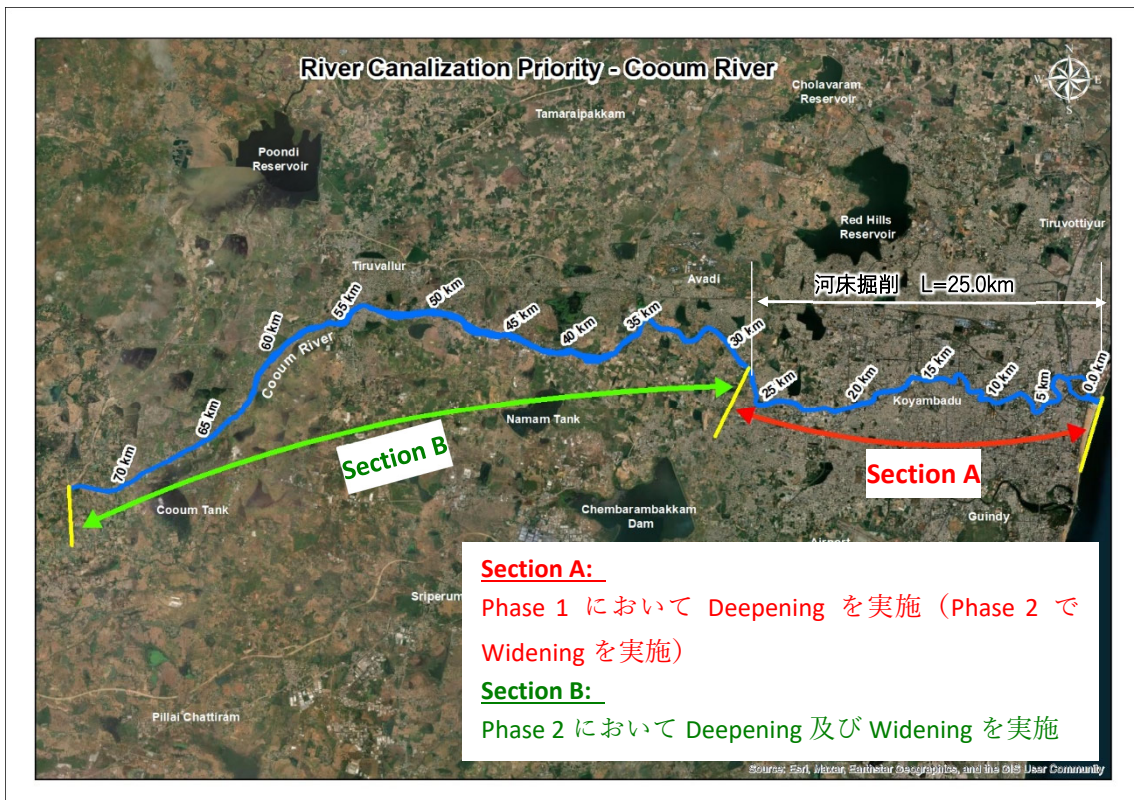
### 9.3.3 Cooum 川

Cooum 川は 25.0k 上流では 1/10 規模以上の流下能力があることから、Phase1 では 0.0～25.0k までを河道掘削することで治水安全度上の上下流バランスを維持することとした。



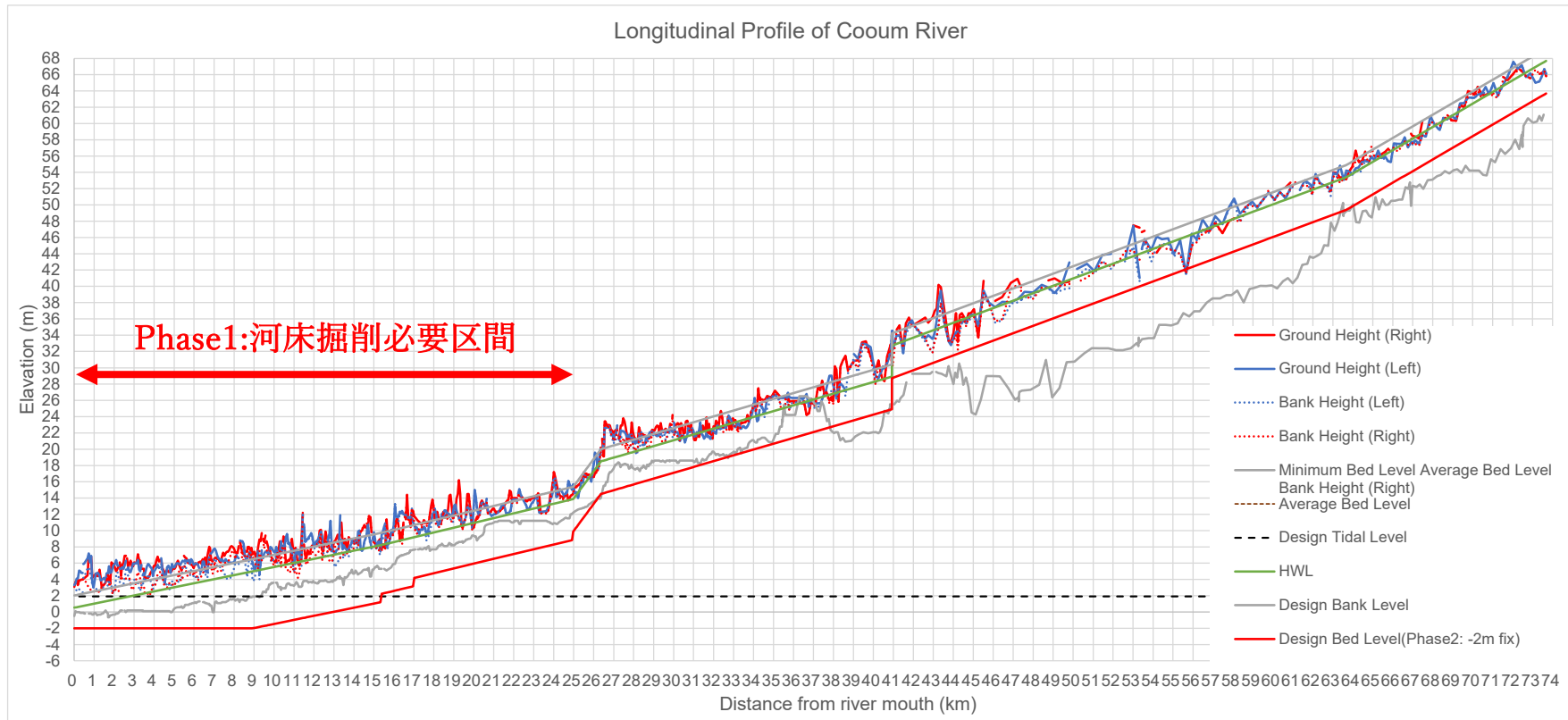
出典：JICA Expert Team

Figure 9-13: 段階整備の流下能力評価 (Cooum 川)



出典：JICA Expert Team

Figure 9-14: 優先順位図 (Cooum 川)



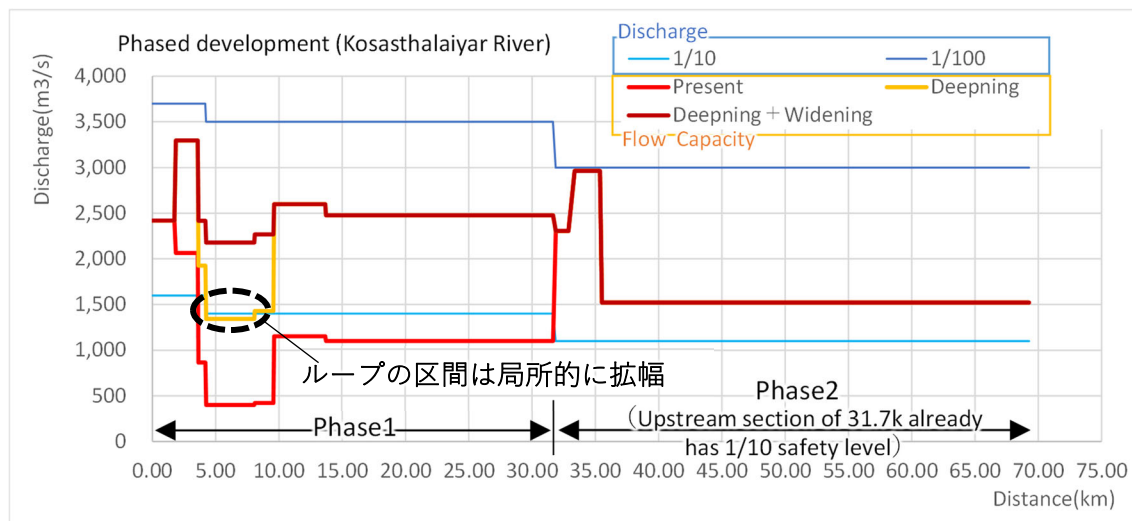
出典： JICA Expert Team

Figure 9-15: 計画縦断図 (Cooum 川)

### 9.3.4 Kosasthalaiyar 川

また、流路分岐する区間（3.6～9.6k）を対象として分岐した流路の一部変更や、一部拡幅などを行うこととした。

Redhill 川は、1/10 規模の流下能力が不足しているのは 3.1k～6.1k 区間のみとなる。この区間は川幅が上下流区間に比べて狭いため、河道周辺が農地主体であることも考慮して下流側の川幅相当（210m）での築堤・掘削により流下能力断面を確保することとした。



出典：JICA Expert Team

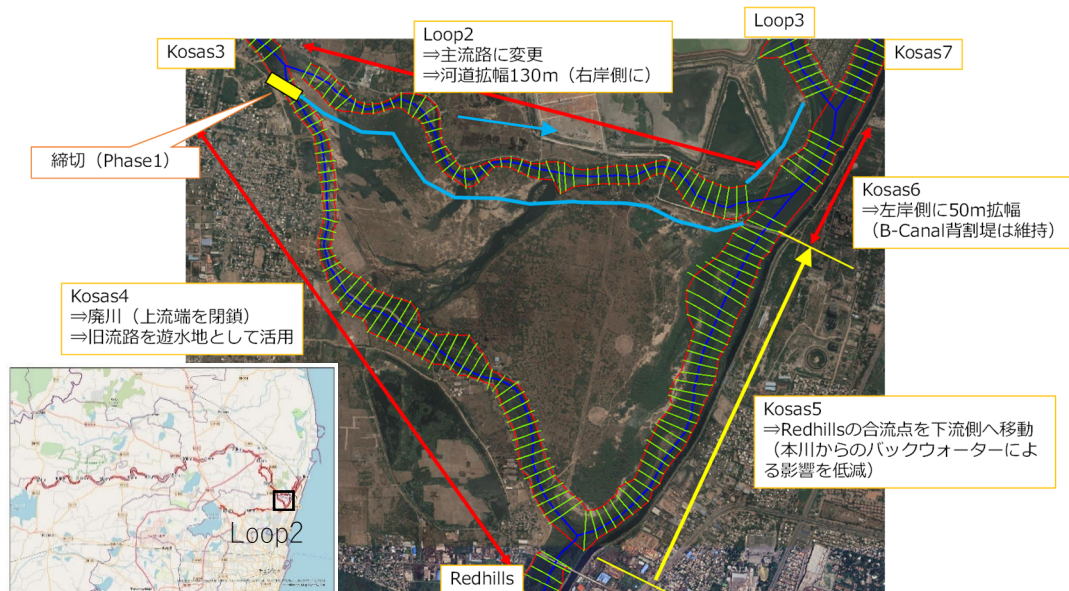
Figure 9-16: 段階整備の流下能力評価 (Kosasthalaiyar 川)

整備区間の内、拡幅を行う箇所は Figure 9-17 の通りである。Figure 9-18 の Loop2 の区間では右側の流路を締め切ることによって右支川の Redhill 川の合流点水位を下げ、バックウォーターによる流下能力への影響を軽減させる。左岸側の流路は、拡幅して流下能力向上を図る。Figure 9-19 は、Loop1 と Loop2 の間の区間であり、流路幅が狭い区間となっている。この区間はのうち部分を利用して拡幅することで流下能力を確保する。Figure 9-20 は、右支川 Redhill 川は 3km～6km の区間で流路幅が狭く流下能力が不足しているため、周辺が農地であることも勘案して拡幅して流下能力を確保する。



出典：JICA Expert Team

Figure 9-17: 優先順位図 (Kosasthalaiyar 川)



出典：JICA Expert Team

Figure 9-18: Kosasthalaiyar 川における分岐部での改修イメージ1

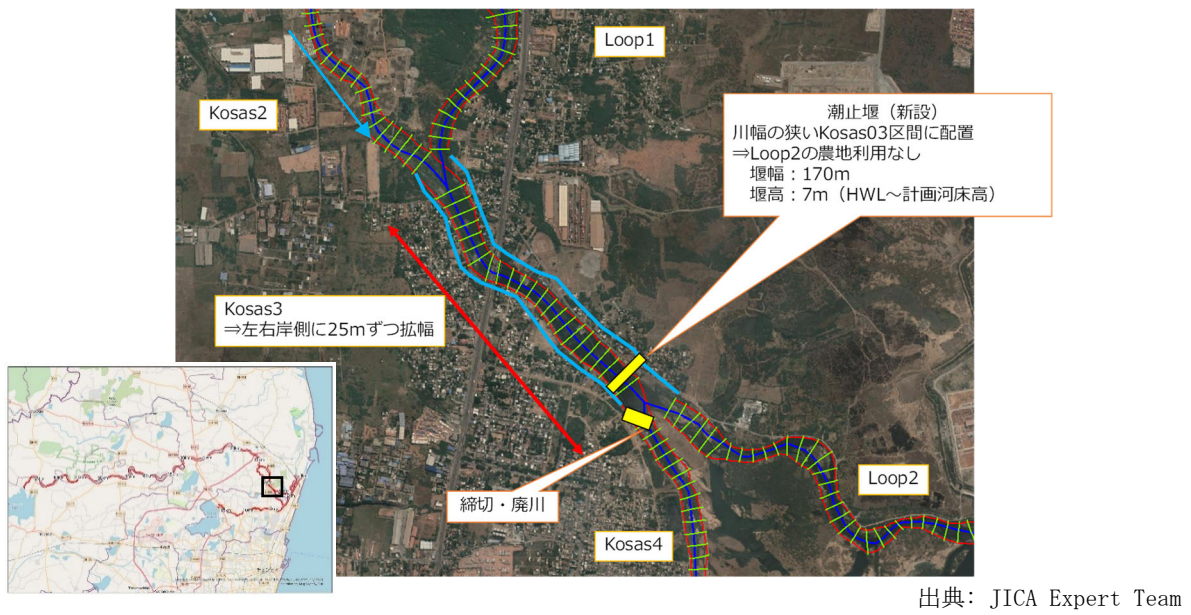


Figure 9-19: Kosasthalaiyar 川における分岐部での改修イメージ 2

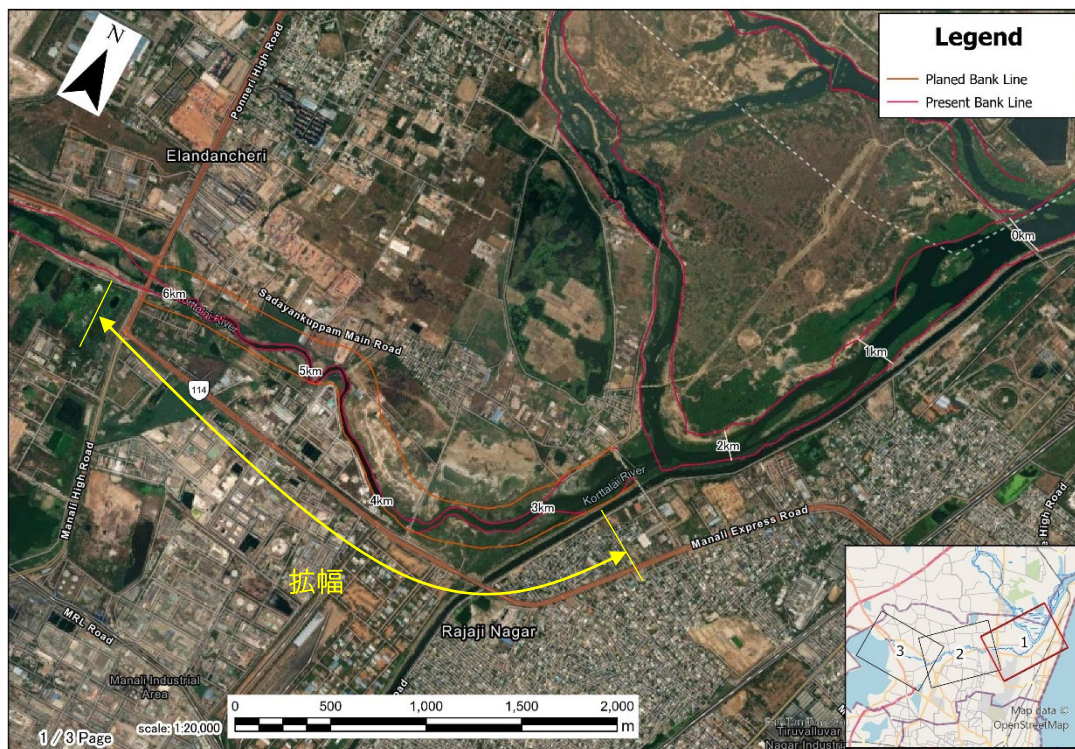
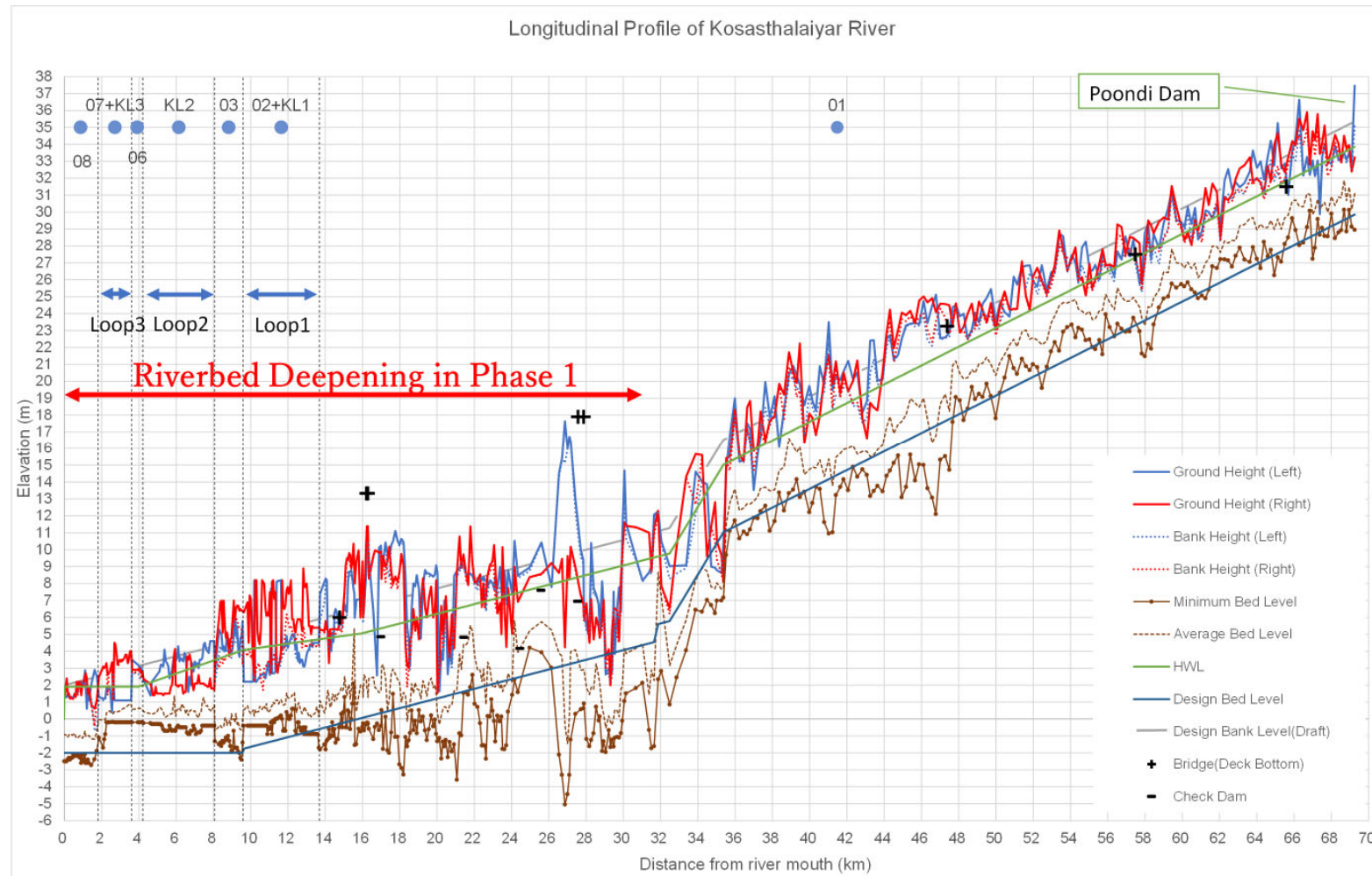
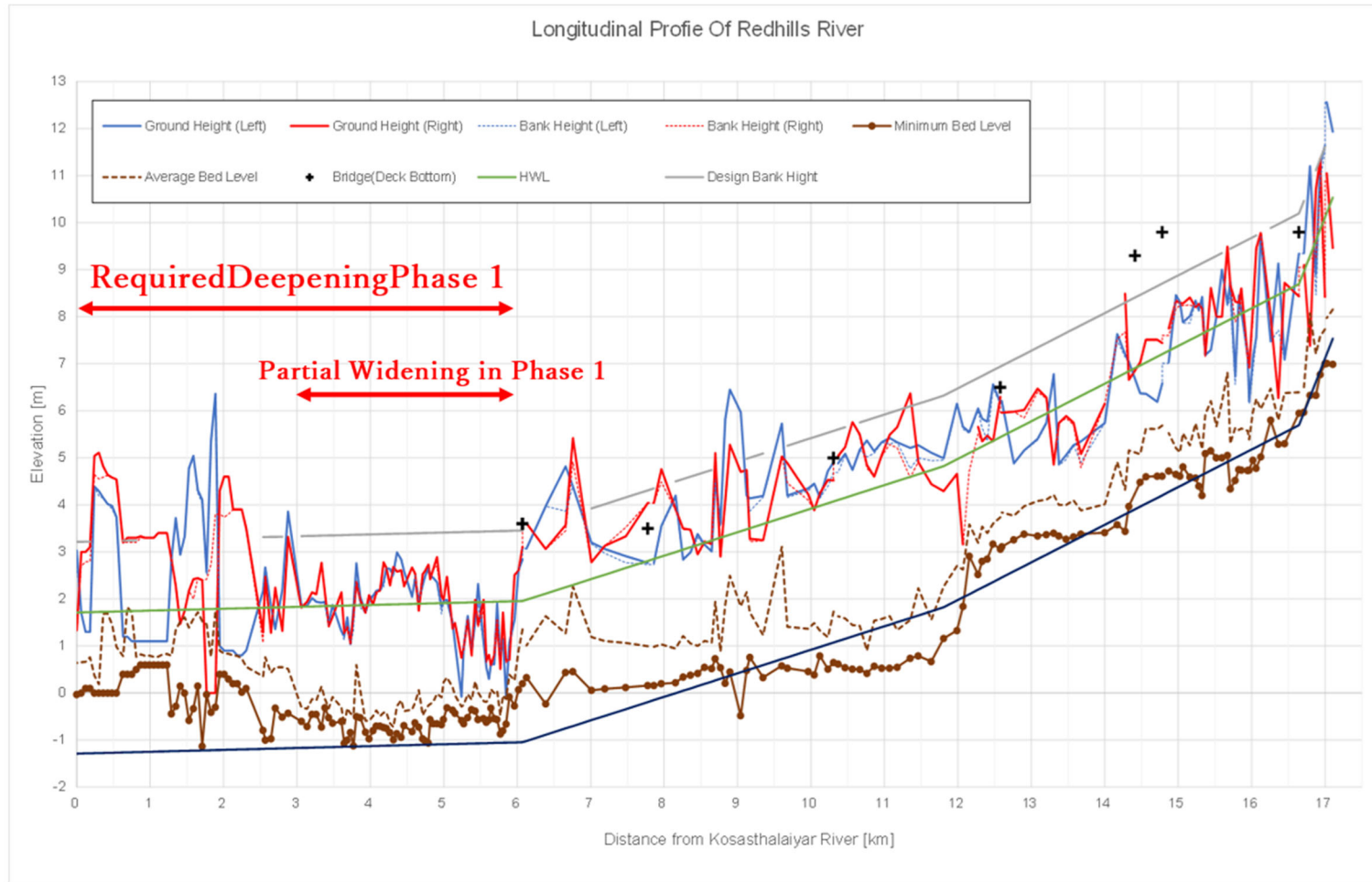


Figure 9-20: Redhill の拡幅区間



出典：JICA Expert Team

Figure 9-21: 計画縦断面図 (Kosasthalaiyar 川)



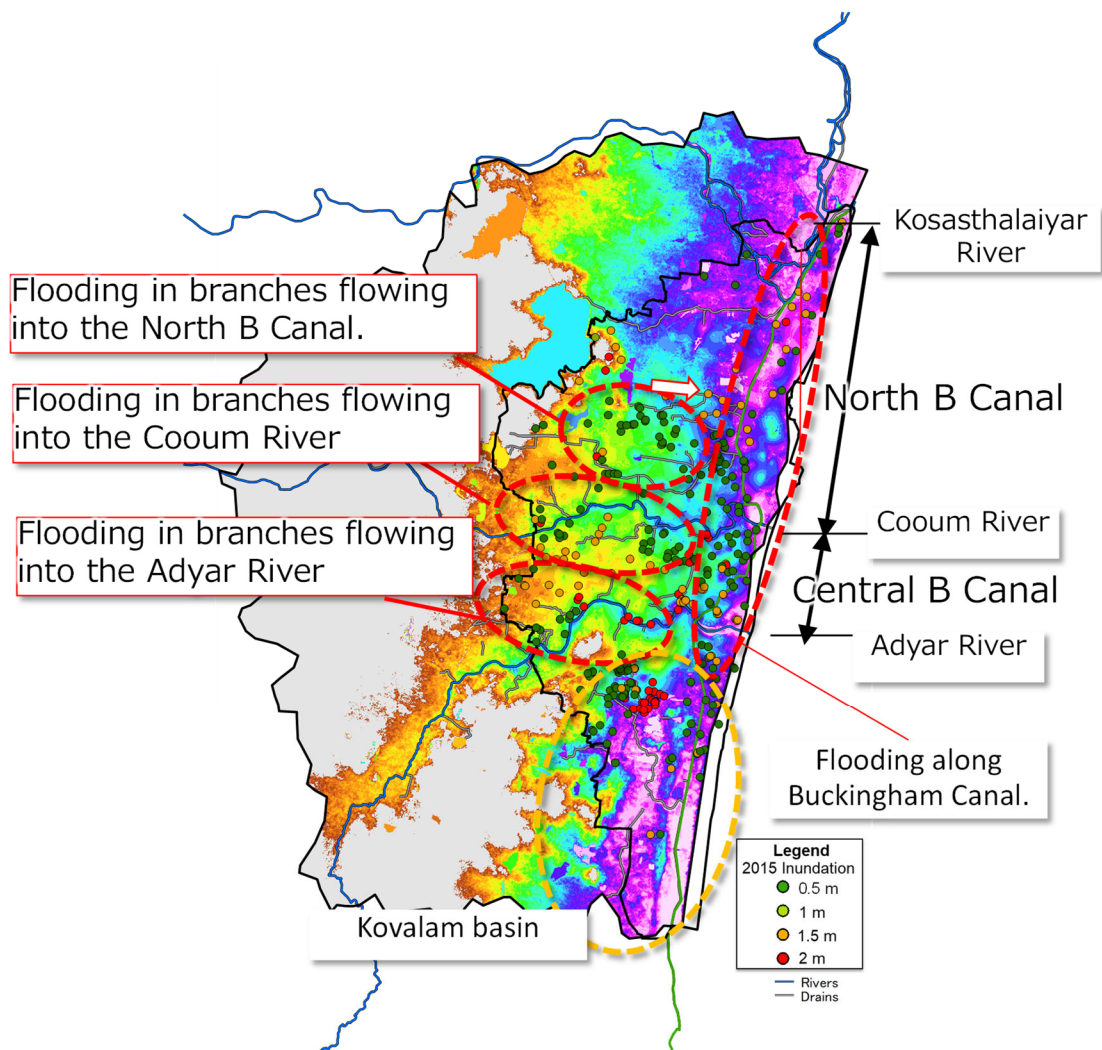
出典：JICA Expert Team

Figure 9-22: 計画縦断面図 (Redhill 川)

## 9.4 都市洪水対策

都市洪水管理は、以下の4区分として計画する。

- North B Canal 及びその支川
- Central B Canal (主要支川無し)
- Adyar 川及び Cooum 川沿い
- Kovalam 流域



出典： JICA Expert Team

Figure 9-23: チェンナイにおける地形と 2015 年洪水における浸水状況

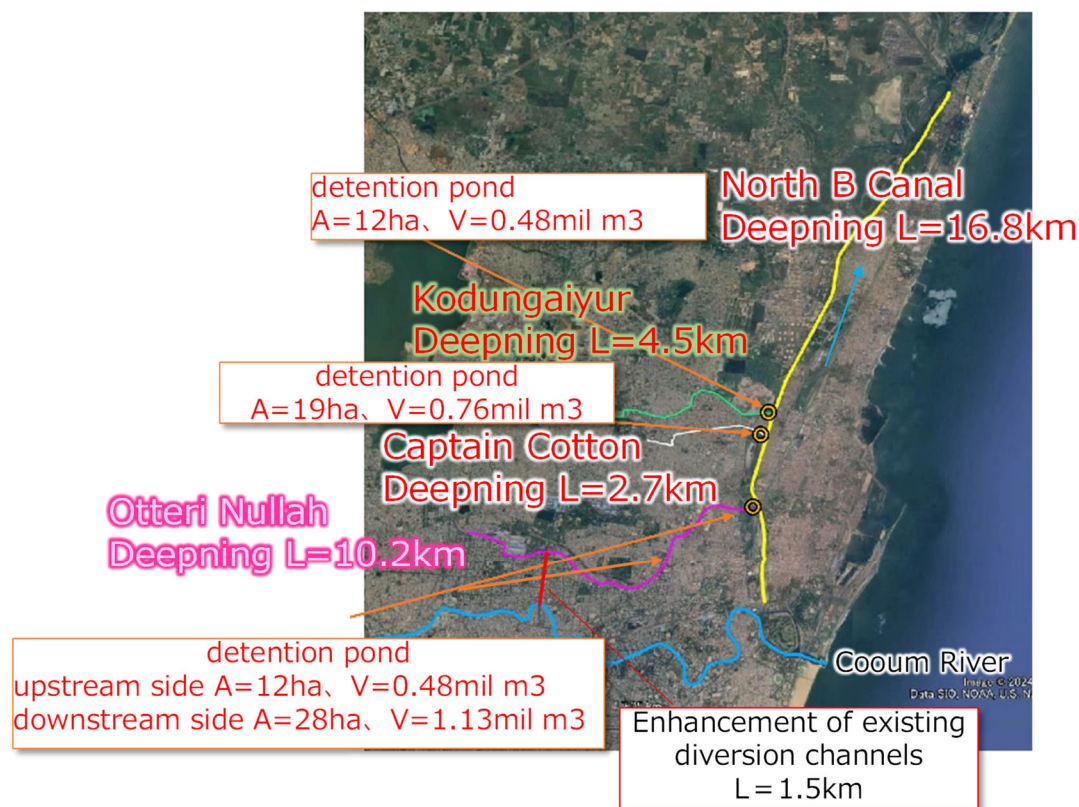
### 9.4.1 North B Canal 及びその支川

North B Canal は現状でも流下能力が不足しており、この区間の流下能力不足は支川の流下能力低下にも繋がる。

このため、Phase1では優先的にNorth B Canalの河道掘削による河川整備を実施し、その後支川部でも河道掘削による河川整備を実施する。但しNorth B Canalの流下能力は、河道掘削を実施しても現河岸高評価からは1/10規模の60%相当しか流下できない。

従って、不足する流下能力対応として、河道掘削後に3つの支川部に調節池を新規に設置する他、支川Otteri Nullahでは既存のCooum川分派水路を増強することで1/10規模の整備を達成させる。

更に、North B CanalのCooum川との接合部では、逆流防止のためにゲートを設置する。



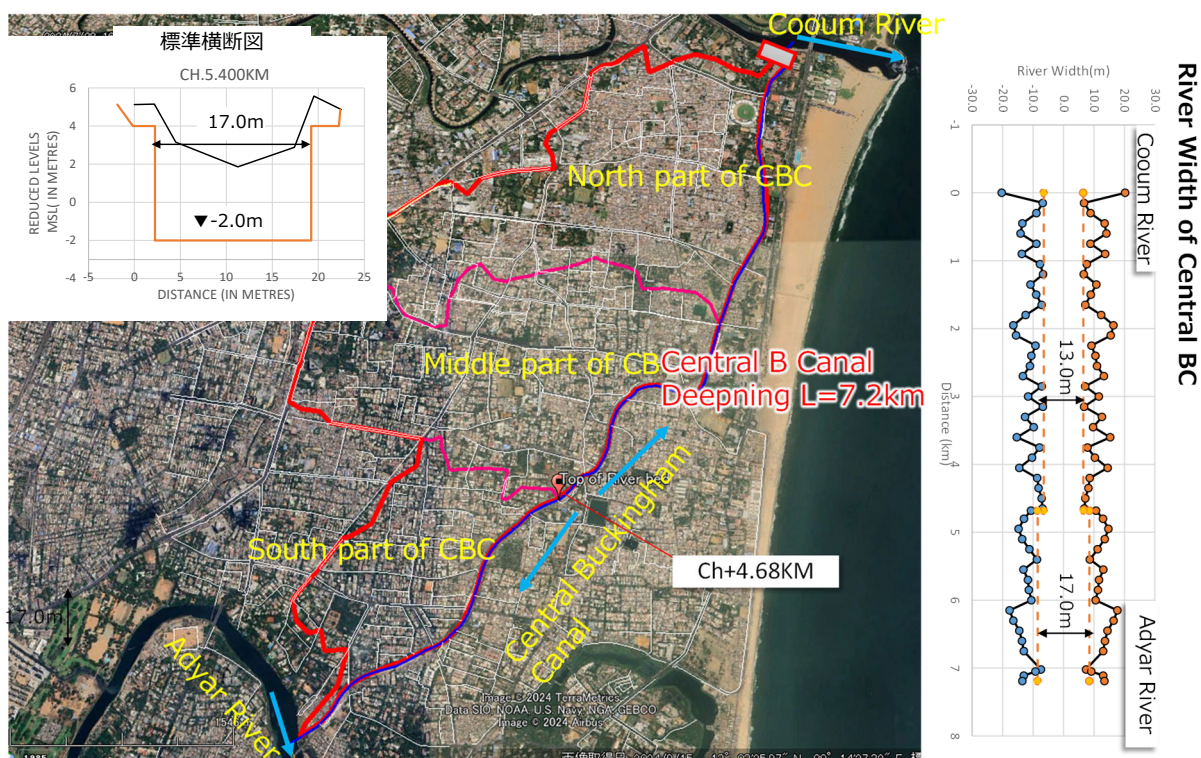
出典：JICA Expert Team

Figure 9-24: North B Canal 及びその支川における Phase1 の対策

### 9.4.2 Central B Canal

Central B Canal は流域面積が小さく、主要な支川はないが Canal へ流入する水路への流下能力改善のため、Phase1 ではまず Central B Canal の河道掘削による河川整備を実施する。掘削高は Adyar 川と Cooum 川における Phase1 での掘削高と合わせて-2m とし、掘削幅は、拡幅せずに済む掘削幅として下右図の通りと (13.0m or 17.0m) した。

更に、Cooum 川の HWL が河岸高より高いことから逆流防止としてゲートを Cooum 側に河道整備後に設置する。



出典： JICA Expert Team

Figure 9-25: Central B Canal における Phase1 の対策

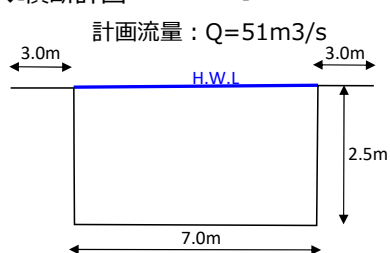
### 9.4.3 河川沿いの支川処理 (Adyar 川及び Cooum 川沿い)

Phase1 において本川の改修が進むことで支川へのバックウォーターの影響は軽減されることから、合わせて 1/10 規模で流下能力が不足している支川を対象に河道掘削による河川整備を実施する。Adyar 川 8 河川、Cooum 川 1 河川が対象となる。

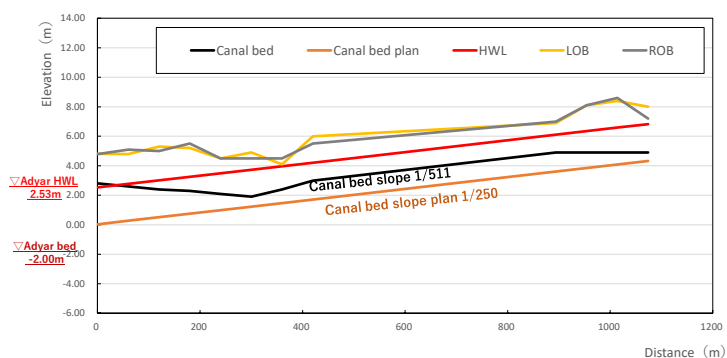
但し、HWL が河岸高より高い支川では、当面支川へのバックウォーターの影響が大きいことから、本川の河道整備に時間を要することも考慮し、まず、逆流防止ゲートを設置する (4 箇所)。



### 支川改修縦横断計画例 (Nandanam)



### ◆縦断計画



出典：JICA Expert Team

Figure 9-26: Adyar 川及び Cooum 川沿いの支川における Phase1 の対策

#### 9.4.4 Kovalam 流域

コバラム流域（北部）の都市化地域では、平坦な地形、低地、急速な都市化、パリカラナイ湿地、水域、貯水池の縮小、ミッシングリンクなどにより、排水不良が大きな問題となっている。コバラム流域の都市洪水に効果的に対処するには、Figure 9-27 に示した包括的なアプローチが必要である。

##### 9.4.4.1. Phase 1: (約 10 年)

抜本的な対策は、VGP アミューズメント パークまたはその近くにおける Buckingham 運河からベンガル湾へのバイパス運河の建設である。このバイパスは、流域の排水能力を高め、都市部の洪水を軽減することを目的としている。

- ・ Buckingham 運河の逆流防止ゲート：逆流防止ゲートを設置して、高潮や高潮時の逆流による洪水のリスクを軽減する。
- ・ Okkiyam Maduvu およびその他の排水路の導水：Okkiyam Maduvu およびその他の排水路を拡幅、直線化、および深掘りすることで、流下能力を向上させる。
- ・ ポンプ システム：ポンプを配置して、窪地部での内水排除を行う。
- ・ 既存のタンクの洪水貯留：既存タンク（61 個）の洪水貯留容量を改善する。

Kovalam 流域では低平地が広がっていることから排水不良が大きな課題であり、抜本的な対策は放水路となる。したがって、Phase1 では、まず放水路整備を進めることが重要であるが、用地交渉などの時間や Buckingham 運河からの逆流を考慮し、以下の手順により実施する。

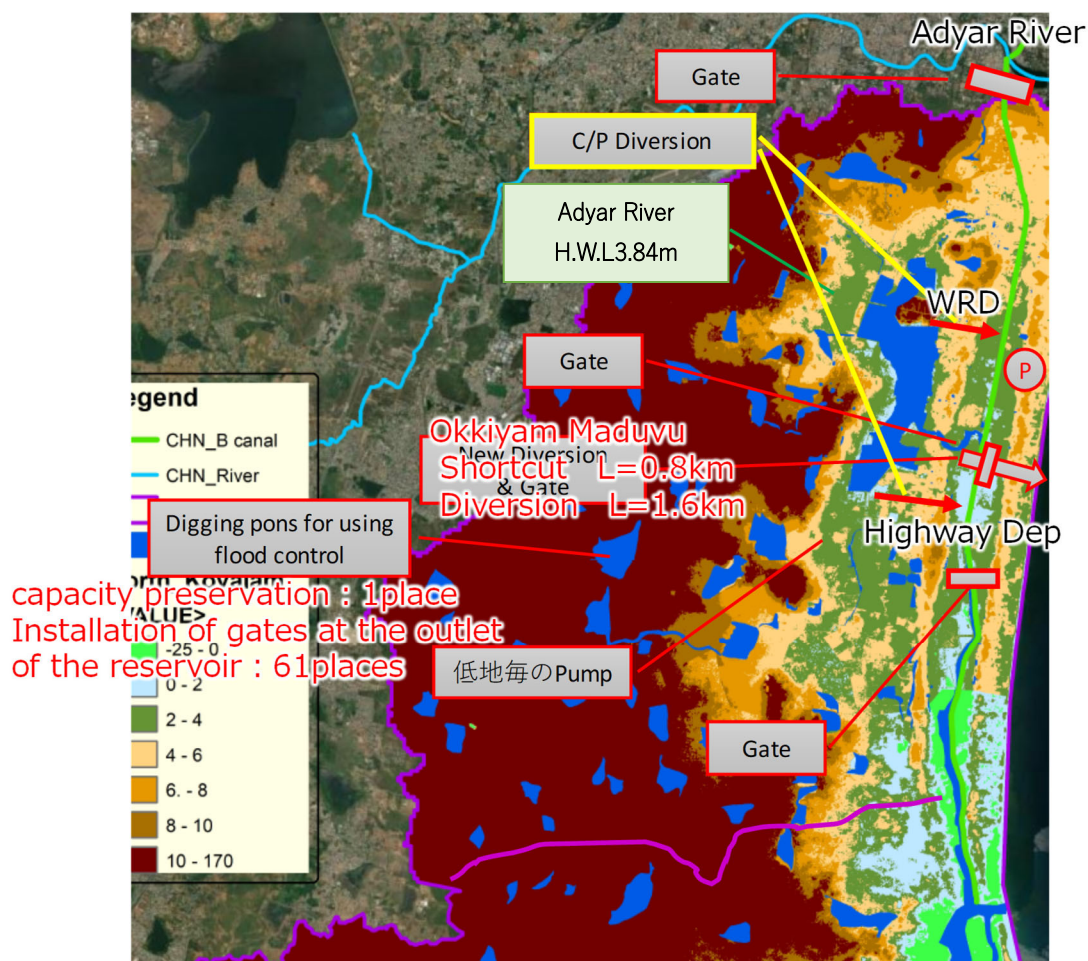
##### ① 外水氾濫防止：逆流防止ゲート設置

##### ② 内水排除：

- ・ 放水路整備
- ・ Okaymado のショートカットや掘削による流下能力拡大
- ・ 内水排除ポンプ

##### ③ 流出抑制：既存ため池活用

尚、Phase2 では浸水の軽減状況からも分かる Phase1 の整備後も残る窪地の内水を除去するためのポンプ設置を行う。



出典： JICA Expert Team

Figure 9-27: Kovalam 流域対策対象箇所

## 9.5 結論と推奨事項

包括的な洪水対策マスタープランの実施は、特にチェンナイのような都市環境では、困難で多面的な取り組みが必要である。急速な都市化、土地利用の対立、制度上の障壁などの要因により、洪水制御対策のシームレスな実施が妨げられることが多い。堅牢なマスタープランには、綿密な調整、長期的な取り組み、制度的能力の構築、継続的な監視、社会環境の統合が必要である。洪水対策マスタープランの実施を成功させるには、次の重要な側面が不可欠である。

- ・**最高レベルの当局間の調整**：洪水制御計画の成功は、政府当局、技術専門家、地域社会などの利害関係者間の効果的な調整にかかっており、意思決定とコラボレーションのための枠組みを構築することが重要である。高レベルの当局間で定期的にブリーフィングと合意形成セッションを行うことで、官僚的な遅延をなくし、すべての組織が共通の目標に向かっ

て取り組むことが重要である。

・**財務メカニズム**：さまざまな段階で提案された対策を実行するには、十分な資金を確保することが不可欠である。内部リソースと、国際機関からの融資や助成金などの外部金融取り決めの両方を活用する必要がある。段階的な資金調達アプローチにより、財政能力を圧迫することなくリソースを効率的に割り当てることができる。

・**能力構築と開発**：マスタープランの実施を持続するには、関係機関の技術的および組織的能力を強化することが不可欠である。ターゲットを絞ったトレーニングプログラム、リソース割り当て、知識共有イニシアチブにより、人員と組織の能力が向上し、新たな課題に効果的に対処できるようになる。

・**定期的な監視と評価**：進捗状況を体系的に監視し、成果を定期的にレビューすることで、マスタープランが順調に進んでいることが保証される。継続的な評価により、改善すべき領域が特定されるだけでなく、利害関係者の説明責任も強化される。定期的な報告メカニズムにより、透明性がさらに高まり、一般市民と意思決定者の間で信頼が育まれる。

・**社会環境的配慮**：社会的要因と環境要因をすべての計画および実施段階に統合することは、悪影響を最小限に抑えるために不可欠である。地域社会の関与、社会的懸念への対応、環境の保護は、包括的な開発を促進する。このアプローチにより、長期的な持続可能性と将来の洪水リスクに対する回復力が確保される。

これらの重要な側面に焦点を当てることで、洪水対策マスタープランは実施上の課題を克服し、都市の回復力を高め、洪水の脅威からコミュニティを保護する測定可能な成果をもたらすことができる。