

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

ファイナルレポート

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	マスタープランの調査対象及び調査流域.....	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.....	1-2
1.3	調査地域の地形的条件.....	1-3
1.3.1	調査地域の地質と土壌.....	1-5
1.4	社会経済の概要.....	1-6
1.4.1	人口.....	1-6
1.4.2	州別国内総生産(GSDP).....	1-8
1.4.3	都市の交通とアクセスの容易性.....	1-10
1.5	調査流域の水文学的・物理学的特徴.....	1-11
1.5.1	降雨量と気候.....	1-11
1.5.2	水域と排水システム.....	1-13
1.5.3	土地利用・土地被覆(LULC)と重要インフラ.....	1-13
1.6	チェンナイにおける既往洪水.....	1-17
1.7	チェンナイにおける洪水管理の課題.....	1-18

2 章	河川洪水対策	2-1
2.1	既存の構造物による治水対策	2-1
2.1.1	河川治水に関する TNWRD の主要プロジェクト	2-1
2.2	河川洪水管理計画策定の基本方針	2-4
2.2.1	検討の進め方と基準	2-4
2.2.2	対象地域とこれまでの課題、検討要件	2-5
2.2.3	計画洪水規模	2-7
2.2.4	整備対象期間	2-8
2.3	水文・水理解析	2-8
2.3.1	降雨統計分析と計画降雨の設定	2-8
2.3.2	洪水管理基準地点の設定	2-18
2.3.3	基本高水流量の推定	2-22
2.3.4	対象降雨波形の選定	2-22
2.3.5	気候変動の影響	2-27
2.3.6	基本高水流量の算定	2-27
2.3.7	防護区域の設定	2-29
2.3.8	計画高水位 (High Water Level : HWL)、計画堤防高の設定	2-30
2.3.9	計画高水位の設定	2-33
2.3.10	計画高水流量の検討	2-41
2.3.11	将来流出量の算定	2-42
2.3.12	現況流下能力の算定	2-49
2.3.13	将来計画河道 (案) の検討方針	2-54
2.3.14	将来計画河道 (案) の設定	2-66
2.3.15	河道計画の精査	2-86
2.3.16	河道の維持可能性検討	2-90
2.4	構造物対策の検討	2-101
2.4.1	既存タンクの改修による洪水貯留	2-101
2.4.2	New CMA 地区外側の Kosasthalaiyar 流域での洪水貯留対策	2-119
2.4.3	河川改修	2-121
2.4.4	地下バイパストンネル (Adyar 川)	2-146
2.5	段階整備の検討	2-155
2.5.1	基本的な進め方	2-155
2.5.2	Phase1 における各河川での改修区間	2-158

2.6	非構造物対策の検討.....	2-169
2.6.1	主要ダムでの洪水予測と事前放流効果検討.....	2-169
2.6.2	タンクの運用	2-171
2.6.3	洪水ハザードマップ作成.....	2-172
2.7	設計放流配分案.....	2-175

3 章	都市洪水対策	3-1
3.1	はじめに	3-1
3.1.1	都市内洪水の概要	3-1
3.2	都市内洪水と排水施設	3-3
3.2.1	近年の都市洪水の発生要因	3-3
3.2.2	チェンナイにおける都市排水システム	3-3
3.2.3	北 Kovalam 流域における都市洪水	3-8
3.2.4	組織体制	3-10
3.3	都市洪水防御計画の基本的考え方	3-11
3.3.1	治水安全度	3-12
3.3.2	プロジェクトの目標年	3-15
3.3.3	計画降雨量およびハイエトグラフとシミュレーション結果	3-15
3.4	各 Package における構造物対策	3-18
3.4.1	Package1 (北 Buckingham 運河)	3-19
3.4.2	Package1 Countermeasures in Central Buckingham Canal	3-63
3.4.3	Package 3 and Package4 Adyar 川および Cooum 川に接続する水路	3-88
3.5	Package 5 North Kovalam 流域	3-146
3.5.1	既存構造物対策の評価	3-146
3.5.2	雨水排水計画	3-153
3.5.3	構造物対策の検討	3-159
3.6	非構造物対策	3-175
3.6.1	雨水利用	3-175
3.6.2	洪水予測とハザードマップ作成	3-175
3.6.3	都市計画と制度的取り決め	3-176
3.7	評価、優先順位、実施案	3-178
3.7.1	都市内対策の組み合わせ	3-178
3.7.2	評価、優先順位、実施案	3-178
3.8	積算数量	3-180
3.9	その他の対策	3-186
3.9.1	排水管等の対策	3-186

3.9.2	くぼ地対策	3-191
3.10	付録1 遊水地の容量算出	3-193
3.10.1	Kodungaiyur	3-193
3.10.2	Captain Cotton	3-197
3.10.3	Otteri Nulla 上流	3-201
3.10.4	Otteri Nulla 下流	3-206
3.10.5	NBC	3-210
3.11	付録2 排水管のリスト	3-215

4章	市計画および洪水リスク削減	4-1
4.1	都市計画と洪水対策	4-1
4.1.1	チェンナイの都市の発展の概要	4-1
4.1.2	第2次都市開発マスタープラン（第2次MP）のレビュー	4-3
4.1.3	近年の市街化の現状と今後の都市開発の概略	4-8
4.2	洪水対策における水域と緑地の役割	4-16
4.2.1	土地利用と雨水流出係数の変化	4-18
4.2.2	雨水流出係数の増加に対する必要な対策	4-18
4.3	洪水災害リスクアセスメント	4-20
4.3.1	確率年別氾濫危険区域	4-20
4.3.2	洪水リスクの分類	4-22
4.3.3	4流域の氾濫危険区域	4-24
4.3.4	MP事業実施中、事業完了後の各流域の氾濫危険区域と課題	4-27
4.3.5	JICAの残余リスクモデル曲線との比較	4-29
4.3.6	日系企業が立地する産業団地の洪水リスク	4-30
4.4	第3次MPに向けた洪水災害への適応戦略と技術的法規制の枠組み	4-31
4.4.1	4つの適応戦略と土地利用、建築に関するガイドライン	4-31
4.4.2	戦略1：都市計画戦略とガイドライン	4-31
4.4.3	戦略2：水域保全戦略とガイドライン	4-33
4.4.4	戦略3：雨水流出抑制戦略とガイドライン	4-43
4.4.5	戦略4：残余リスク管理戦略とガイドライン	4-49
4.5	JICA洪水対策マスタープランにおけるリスクエリア管理戦略及び残余リスク管理戦略の適用	4-55
4.5.1	Adyar川流域の洪水リスク対策	4-55
4.5.2	Kovalam流域の洪水リスク対策	4-60
4.5.3	Cooum川流域の洪水リスク対策	4-65
4.5.4	Kosasthalaiyar川流域の洪水リスク対策	4-70
4.6	結論と提言	4-75
4.6.1	調査結果概要	4-75
4.6.2	施策と計画への提言	4-75
4.6.3	Tamil Nadu州総合開発建築規則への提案	4-76
4.6.4	日本の知見	4-78
4.7	付録	4-83
4.7.1	土地利用の違いによる流域内の平均流出係数計算表を示す	4-83
4.7.2	平均流出係数管理のための土地利用計画面積比率の検討	4-85
4.7.3	雨水貯留可能容量の試算	4-87

5 章	沿岸・河口対策	5-1
5.1	はじめに	5-1
5.2	既存の海岸管理のレビュー	5-2
5.2.1	沿岸域管理計画 (CZMP)	5-2
5.2.2	海岸侵食防止対策事業	5-5
5.2.3	既存の河口閉塞防止対策事業	5-10
5.3	河口及び汀線変化の分析	5-19
5.3.1	衛星画像を活用した海岸線の変化の分析	5-20
5.3.2	衛星画像を活用した河口幅の変化の分析	5-25
5.3.3	洪水確率規模と河口幅の関係	5-30
5.4	河口の潮位・波浪	5-32
5.4.1	潮位	5-32
5.4.2	波浪	5-37
5.5	河口閉塞対策の検討	5-40
5.5.1	目的	5-40
5.5.2	解析手法及び検討フロー	5-40
5.5.3	地形データの作成	5-41
5.5.4	波浪変形計算	5-42
5.5.5	地形変化解析	5-47
5.6	今後の課題および解決策	5-79
5.6.1	今後の課題	5-79
5.6.2	解決策	5-80

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.....	6-3
6.1.3	チェンナイの災害管理および緊急水害対策室.....	6-6
6.2	過去の大洪水と現在の水害対策計画.....	6-7
6.2.1	過去の大規模な洪水被害.....	6-7
6.2.2	2015年洪水の詳細.....	6-10
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.....	6-12
6.3.1	洪水ハザードマップの欠如.....	6-12
6.3.2	不適切な早期警報システム（EWS）.....	6-12
6.3.3	標準作業手順（SOP）の評価と更新の欠如.....	6-13
6.3.4	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.....	6-13
6.3.5	不十分な排水インフラの運用と維持管理.....	6-15
6.3.6	緊急ダムおよび水域運用プロトコル:.....	6-16
6.3.7	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... ..	6-16
6.3.8	その他のギャップ.....	6-17
6.4	洪水災害管理の向上に向けた提言.....	6-19
6.4.1	洪水災害前（洪水への備えと洪水災害防止）.....	6-20
6.4.2	洪水災害中（緊急対応と被害軽減）.....	6-21
6.4.3	洪水災害後（緊急支援・復旧・復興）.....	6-22
6.4.4	提案されたアクションの詳細（前、中、後）.....	6-25
6.5	洪水ハザードマップ作成と公開に関する提言.....	6-27
6.6	今後の展望.....	6-34

7 章	概算費用および経済評価	7-1
7.1	概算事業費積算	7-1
7.1.1	積算の条件と仮定	7-1
7.1.2	各費用の積算方法	7-5
7.1.3	河川拡幅	7-10
7.1.4	既設タンクの改良	7-14
7.1.5	地下バイパストンネル	7-21
7.1.6	タンクの改良（都市部）	7-22
7.1.7	水路の改良（都市部）	7-25
7.1.8	ゲート・ポンプ	7-29
7.1.9	放水路	7-33
7.1.10	海岸、河口対策	7-35
7.1.11	維持管理費	7-36
7.1.12	概算事業費	7-37
7.2	予備的経済性評価	7-42
7.2.1	経済性評価	7-42
7.3	Annex	7-88
7.3.1	施工単価	7-88
7.3.2	既設タンクの改良における放水路の標準断面および積算数量	7-99
7.3.3	準備費	7-104
7.3.4	経済費用と経済便益のキャッシュフロー	7-114

8 章	戦略的環境アセスメント	8-1
8.1	はじめに.....	8-1
8.2	調査の目的.....	8-1
8.3	SEA 調査のアプローチとプロセス.....	8-2
8.4	自然・社会環境に関する法律・規制	8-3
8.4.1	自然環境関連法.....	8-3
8.4.2	社会環境に関連する法律.....	8-5
8.4.3	環境影響評価の手順.....	8-8
8.4.4	環境規制.....	8-9
8.5	環境問題に関する組織のフレームワーク	8-15
8.5.1	環境・森林・気候変動省 (MoEFCC).....	8-15
8.5.2	Tamil Nadu 州環境気候変動局 (TNDoeCC).....	8-15
8.5.3	環境関連政府機関及びその他の政府機関.....	8-15
8.5.4	非政府セクター.....	8-16
8.6	環境課題に関連する方針、計画、プログラム	8-18
8.6.1	チェンナイの環境政策.....	8-18
8.6.2	環境活動に関連するプロジェクト.....	8-20
8.7	プロジェクト概要.....	8-21
8.8	スコーピング.....	8-21
8.8.1	スコーピング分析.....	8-21
8.8.2	チェンナイにおける代表的な環境・社会問題／課題.....	8-24
8.8.3	環境影響の可能性に係る予備的分析.....	8-26
8.9	環境社会のベースライン.....	8-29
8.9.1	現状把握.....	8-29
8.9.2	公害.....	8-35
8.9.3	自然環境.....	8-55
8.9.4	社会環境.....	8-70
8.9.5	自然災害.....	8-82
8.10	戦略的環境アセスメント(SEA).....	8-83
8.10.1	SEA の構成	8-83
8.10.2	環境影響評価.....	8-85

8.10.3	代替案の分析.....	8-116
8.10.4	緩和策の検討.....	8-124
8.10.5	チェンナイにおける環境戦略.....	8-130
8.11	ステークホルダー会議 (SHCM).....	8-132
8.11.1	スコーピング段階.....	8-132
8.11.2	ドラフトファイナル (DFR) 段階.....	8-135
8.12	環境モニタリング計画.....	8-141
8.12.1	計画/建設段階.....	8-141
8.12.2	供用段階.....	8-142

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	実施スケジュールの作成.....	9-3
9.2.1	流域別の優先順位.....	9-3
9.2.2	実施スケジュール.....	9-7
9.3	河川ごとの優先プロジェクトの選定.....	9-14
9.3.1	優先プロジェクトの選定における評価軸.....	9-14
9.3.2	優先プロジェクトの提案.....	9-14
9.3.3	事業費面での評価.....	9-25
9.4	重点プロジェクトの概要.....	9-25
9.4.1	Adyar 川.....	9-25
9.4.2	Cooum 川.....	9-33
9.4.3	Kosasthalaiyar 川.....	9-35
9.4.4	都市洪水対策.....	9-40

図目次

Figure 1-1: 対象流域と行政区域.....	1-3
Figure 1-2: 調査地域の地形図.....	1-4
Figure 1-3: チェンナイ流域の地形図.....	1-5
Figure 1-4: 人口分布.....	1-7
Figure 1-5: 推定人口増加.....	1-7
Figure 1-6: GDP 分布.....	1-8
Figure 1-7: Tamil Nadu 州国内総生産 (GSDP)	1-9
Figure 1-8: 主要都市の月平均降水量と月平均気温.....	1-11
Figure 1-9: 1991 年から 2021 年までの年平均降水量	1-12
Figure 1-10: 流域内のインフラと水路の特徴.....	1-13
Figure 1-11: 調査流域の水域図.....	1-14
Figure 1-12: 2023 年における新 CMA の調査地域の土地利用	1-15
Figure 1-13: 調査地域の交通インフラ.....	1-16
Figure 1-14: Adyar 川の流下能力図.....	1-19
Figure 1-15: Cooum 川の流下能力図.....	1-20
Figure 1-16: Kosasthalaiyar 川の流下能力図.....	1-20
Figure 1-17: 包括的な洪水管理マスタープランの概念図.....	1-21

Figure 2-1: Palar 流域管区 (チェンナイ地区河川を管理) の TNWRD 年間予算の変遷 (USD)	2-2
Figure 2-2: チェンナイ地域の TNWRD 予算の分類 (USD)	2-2
Figure 2-3: 治水計画立案の流れ.....	2-5
Figure 2-4: 河川洪水管理計画検討対象流域.....	2-6
Figure 2-5: 河川の重要度に応じた治水計画規模設定の目安.....	2-8
Figure 2-6: 降雨観測地点位置図.....	2-10
Figure 2-7: モデル降雨波形による到達時間 (Adyar 川)	2-13
Figure 2-8: モデル降雨波形による到達時間 (Cooum 川)	2-14
Figure 2-9: モデル降雨波形による到達時間 (Kosasthalaiyar 川)	2-14
Figure 2-10: 降雨確率解析結果の一例.....	2-16
Figure 2-11: 洪水管理基準地点位置図.....	2-18
Figure 2-12: 洪水管理基準地点位置図 (Adyar 川)	2-19
Figure 2-13: 洪水管理基準地点位置図 (Cooum 川)	2-20
Figure 2-14: 洪水管理基準地点位置図 (Kosasthalaiyar 川)	2-21
Figure 2-15: 基本高水流量と計画高水流量の関係.....	2-22
Figure 2-16: 基本高水流量算定までの流れ.....	2-23
Figure 2-17: 降雨引き延ばしイメージ.....	2-23
Figure 2-18: 2005 年型洪水_100 年確率時の降雨量と流出量の関係 (Adyar 川)	2-24
Figure 2-19: 2005 年型洪水_100 年確率時の降雨量と流出量の関係 (Cooum 川)	2-25
Figure 2-20: 1996 年型洪水_100 年確率時の降雨量と流出量の関係 (Kosasthalaiyar 川)	2-26
Figure 2-21: Adyar 川 基本高水流量配分図 (W=1/100)	2-28
Figure 2-22: Cooum 川 基本高水流量配分図 (W=1/100)	2-28
Figure 2-23: Kosasthalaiyar 川 基本高水流量配分図 (W=1/100)	2-29
Figure 2-24: 検討対象流域の人口分布とゾーニングの関係.....	2-30
Figure 2-25: チェンナイ市内の河川状況 (Cooum 川 College Bridge)	2-32
Figure 2-26: チェンナイ市内の既設橋梁 (Cooum 川 College Bridge)	2-32
Figure 2-27: 計画高水位・計画堤防高設定の概念図.....	2-33
Figure 2-28: Adyar 川 計画縦断図 (素案)	2-35
Figure 2-29: Adyar 川平面図	2-36
Figure 2-30: Cooum 川 計画縦断図 (素案)	2-38
Figure 2-31: Cooum 川平面図	2-39
Figure 2-32: Kosasthalaiyar 川 計画縦断図 (素案)	2-40

Figure 2-33: Kosasthalaiyar 川・Redhill 川 平面図.....	2-41
Figure 2-34: 治水対策検討の流れ.....	2-42
Figure 2-35: 河道改修による浸水区域の変化（現況状態・100年確率規模洪水時）	2-45
Figure 2-36: Adyar 川流出計算結果（既設 Tank 改修量との関係）.....	2-46
Figure 2-37: Cooum 川流出計算結果（既設 Tank 改修量との関係）.....	2-46
Figure 2-38: Kosasthalaiyar 川流出計算結果（既設 Tank 改修量との関係）...	2-47
Figure 2-39: Adyar 川 計画高水流量（素案）.....	2-48
Figure 2-40: Cooum 川 計画高水流量（素案）.....	2-48
Figure 2-41: Kosasthalaiyar 川 計画高水流量（素案）.....	2-49
Figure 2-42: 現況流下能力図（Adyar 川）.....	2-51
Figure 2-43: 現況流下能力図（Cooum 川）.....	2-52
Figure 2-44: 現況流下能力図（Kosasthalaiyar 川）.....	2-53
Figure 2-45: 首都圏外郭放水路 全体図.....	2-57
Figure 2-46: 首都圏外郭放水路 整備効果.....	2-57
Figure 2-47: 将来計画河道断面イメージ図.....	2-59
Figure 2-48: Adyar 川改修後河道流下能力図（2割勾配：一部区間直壁断面）..	2-61
Figure 2-49: Cooum 川改修後河道流下能力図（2割勾配断面）.....	2-63
Figure 2-50: Kosasthalaiyar 川改修後河道流下能力図（2割勾配断面）.....	2-64
Figure 2-51: Redhill 川改修後河道流下能力図（2割勾配断面）.....	2-65
Figure 2-52: Adyar 川 計画高水流量（素案）と改修後流下能力の比較.....	2-67
Figure 2-53: Adyar 川ネック区間位置図.....	2-69
Figure 2-54: 地下バイパストンネルルート案位置図.....	2-71
Figure 2-55: Adyar 川 計画河床高縦断図（素案）.....	2-72
Figure 2-56: Cooum 川 計画高水流量（素案）と改修後流下能力の比較.....	2-74
Figure 2-57: Cooum 川地下バイパストンネル（案）.....	2-76
Figure 2-58: Cooum 川 計画河床高縦断図（素案）.....	2-77
Figure 2-59: Kosasthalaiyar 川 計画高水流量（素案）と改修後流下能力の比較..	2-79
Figure 2-60: Kosasthalaiyar 川 Loop2 区間周辺改修平面図.....	2-80
Figure 2-61: Kosasthalaiyar 川放水路ルート（案）.....	2-81
Figure 2-62: Kosasthalaiyar 川 計画河床高縦断図（素案）.....	2-82
Figure 2-63: Redhill 川 築堤区間位置図.....	2-83
Figure 2-64: Redhill 川 計画高水流量（素案）と改修後流下能力の比較... ..	2-84
Figure 2-65: Redhill 川 計画河床高縦断図（素案）.....	2-85
Figure 2-66: Adyar 川 河口部不等流計算結果.....	2-87

Figure 2-67: Cooum川 河口部不等流計算結果	2-88
Figure 2-68: Kosasthalaiyar川 河口部不等流計算結果	2-89
Figure 2-69: Kosasthalaiyar川下流部の資産集積区間	2-89
Figure 2-70: 確率規模別流出計算結果 (Adyar川、Tank利用率75%)	2-91
Figure 2-71: Adyar川下流部土砂堆積監視区間	2-92
Figure 2-72: 確率規模別不等流計算水位縦断面図 (Adyar川)	2-93
Figure 2-73: 確率規模別摩擦速度縦断面図 (Adyar川)	2-94
Figure 2-74: 確率規模別流出計算結果 (Cooum川、Tank利用率75%)	2-95
Figure 2-75: 確率規模別不等流計算水位縦断面図 (Cooum川)	2-96
Figure 2-76: 確率規模別摩擦速度縦断面図 (Cooum川)	2-97
Figure 2-77: 確率規模別流出計算結果 (Kosasthalaiyar川、Tank利用率75%)	2-98
Figure 2-78: 確率規模別不等流計算水位縦断面図 (Kosasthalaiyar川)	2-99
Figure 2-79: 確率規模別摩擦速度縦断面図 (Kosasthalaiyar川)	2-100
Figure 2-80: Somangalam Big Tank の概要.....	2-103
Figure 2-81: Somangalam Big Tank の平面図および断面図.....	2-106
Figure 2-82: 既存タンクの改良コンセプト (Somangalam Big Tank の例)	2-107
Figure 2-83: 既存タンクの改良コンセプト (Somangalam Big Tank の例: ゲート参考 諸元)	2-108
Figure 2-84: 既存タンクの改良コンセプト (Somangalam Big Tank の例: 接続水路参 考諸元)	2-109
Figure 2-85: Adyar川における既存タンク位置図 (50タンク)	2-111
Figure 2-86: Cooum川における既存タンク位置図 (31タンク)	2-113
Figure 2-87: Kosasthalaiyar川における既存タンク位置図 (112タンク)	2-115
Figure 2-88: Kosasthalaiyar川における新規タンク候補箇所位置図 (112タンク)	2-116
Figure 2-89: Poondiダム上流域におけるTank等位置図	2-120
Figure 2-90: Adyar川計画縦断面図	2-122
Figure 2-91: Cooum川計画縦断面図	2-123
Figure 2-92: Kosasthalaiyar川計画縦断面図	2-124
Figure 2-93: Redhill川計画縦断面図	2-125
Figure 2-94: 河道拡幅ラインイメージ (Cooum川)	2-126
Figure 2-95: Adyar川掘削河道平面図 (1/4)	2-127
Figure 2-96: Adyar川掘削河道平面図 (2/4)	2-128
Figure 2-97: Adyar川掘削河道平面図 (3/4)	2-129
Figure 2-98: Adyar川掘削河道平面図 (4/4)	2-130
Figure 2-99: Cooum川掘削河道平面図 (1/7)	2-131

Figure 2-100: Cooum 川掘削河道平面図 (2/7)	2-132
Figure 2-101: Cooum 川掘削河道平面図 (3/7)	2-133
Figure 2-102: Cooum 川掘削河道平面図 (4/7)	2-134
Figure 2-103: Cooum 川掘削河道平面図 (5/7)	2-135
Figure 2-104: Cooum 川掘削河道平面図 (6/7)	2-136
Figure 2-105: Cooum 川掘削河道平面図 (7/7)	2-137
Figure 2-106: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (1/6)	2-138
Figure 2-107: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (2/6)	2-139
Figure 2-108: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (3/6)	2-140
Figure 2-109: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (4/6)	2-141
Figure 2-110: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (5/6)	2-142
Figure 2-111: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (6/6)	2-143
Figure 2-112: Redhill 川掘削河道平面図 (1/2)	2-144
Figure 2-113: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (2/2)	2-145
Figure 2-114: Adyar 川流下能力縦断図と計画高水流量の関係 (100 年確率規模)	2-146
Figure 2-115: 地下バイパストンネルルート案位置図.....	2-148
Figure 2-116: 取水地点の状況 (Route1 案)	2-149
Figure 2-117: 取水地点の状況 (Route2 案)	2-149
Figure 2-118: バイパストンネル (Route1) 3次元イメージ.....	2-152
Figure 2-119: バイパストンネル (Route1) 概要図.....	2-152
Figure 2-120: 地下バイパストンネル案ルート図 (Route1)	2-153
Figure 2-121: 取水施設イメージ図(Adyar 川 18.3k 付近)	2-153
Figure 2-122: 放流施設イメージ図.....	2-154
Figure 2-123: 中間取水施設イメージ図 (Adambakkam Lake)	2-154
Figure 2-124: 中間取水施設イメージ図 (Kallu Kuttai Lake)	2-155
Figure 2-125: Adyar 川における現況治水安全度	2-156
Figure 2-126: 河道改修手順.....	2-156
Figure 2-127: タンクの所在状況と整備完了イメージ.....	2-158
Figure 2-128: 段階整備の流下能力評価 (Adyar 川)	2-160
Figure 2-129: 優先順位図 (Adyar 川)	2-163
Figure 2-130: 拡幅必要箇所の平面図.....	2-163
Figure 2-131: 段階整備の流下能力評価 (Cooum 川)	2-164
Figure 2-132: 優先順位図 (Cooum 川)	2-165
Figure 2-133: 段階整備の流下能力評価 (Kosasthalaiyar 川)	2-166
Figure 2-134: 優先順位図 (Kosasthalaiyar 川)	2-167

Figure 2-135: Kosasthalaiyar 川における分岐部での改修イメージ1	2-168
Figure 2-136: Redhill の拡幅区間	2-168
Figure 2-137: リアルタイム洪水予測プロジェクトのウェブサイト	2-170
Figure 2-138: 1/100 年規模の確率の洪水氾濫マップ (現況施設条件)	2-173
Figure 2-139: 1/10 年規模の確率の洪水氾濫マップ (現況施設条件)	2-173
Figure 2-140: Adyar 川 計画高水流量配分図	2-175
Figure 2-141: Cooum 川 計画高水流量配分図	2-175
Figure 2-142: Kosasthalaiyar 川・Redhill 川 計画高水流量配分図	2-176

Figure 3-1: プロジェクトエリア内の河川、運河、および水路.....	3-2
Figure 3-2: B 運河の状況.....	3-4
Figure 3-3: Adyar 川および Cooum 川に接続する水路の状況	3-6
Figure 3-4: 北 Buckingham 運河に接続する水路.....	3-6
Figure 3-5: 建設中の SWD	3-8
Figure 3-6: 北 Kovalam 流域.....	3-9
Figure 3-7: Nungambakkam および Meenumbakkam の降雨観測箇所位置図	3-15
Figure 3-8: Meenubakam 地点の IDF 曲線	3-16
Figure 3-9: Nungambakkam 地点の IDF 曲線	3-17
Figure 3-10: Nungambakkam 地点で観測された 1996 年降雨のハイトグラフ	3-17
Figure 3-11: Meenubakam 地点で観測された 2015 年降雨のハイトグラフ	3-18
Figure 3-12: NBC 流域の標高図	3-20
Figure 3-13: NBC 流域の標高図（縦断方向）	3-21
Figure 3-14: GCC 内のオープンスペース	3-22
Figure 3-15: NBC と NBC に接続する 3 つの水路	3-23
Figure 3-16: NBC および NBC への接続水路の改善に関する概念図	3-24
Figure 3-17: NBC に流入する 3 水路のハイドログラフ	3-25
Figure 3-18: NBC の現況流下能力	3-27
Figure 3-19: NBC の縦断図	3-28
Figure 3-20: 3 水路近傍の鉄道橋	3-29
Figure 3-21: Kodungaiyur の概況	3-30
Figure 3-22: Kodungaiyur の現況流下能力、水路幅、堤防高	3-31
Figure 3-23: Captain Cotton の概況	3-32
Figure 3-24: Captain Cotton の現況流下能力、水路幅、堤防高	3-33
Figure 3-25: Otteri Nulla の概況	3-34
Figure 3-26: Otteri Nulla の現況流下能力、水路幅、堤防高	3-35
Figure 3-27: Otteri Nulla から Cooum 川へのバイパスの概要	3-36
Figure 3-28: Otteri Nulla から Cooum 川へのバイパス-縦断図と横断図	3-37
Figure 3-29: Otteri Nulla 上流部における遊水地（容量 48 万 m ³ ）	3-37
Figure 3-30: 3 水路からのハイドログラフ（Otteri Nulla から Cooum 川へのバイパス、遊水地の設置によりピーク流量を 40m ³ /s 削減）	3-39
Figure 3-31: Otteri Nulla 上流部遊水地によるピーク流量削減（容量約 20 万 m ³ ） ..	3-40
Figure 3-32: NBC の計算水位（河床不陸整合の場合）	3-41
Figure 3-33: NBC の計算水位（-2m まで河床掘削した場合）	3-42

Figure 3-34: NBC 流域における流出量低減案	3-43
Figure 3-35: 遊水地への越流の概念図.....	3-45
Figure 3-36: Kodungaiyur 遊水地におけるピーク流量削減 (容量約 40 万 m ³)	3-45
Figure 3-37: Kodungaiyur 遊水地の位置図 (容量 48 万 m ³)	3-46
Figure 3-38: Kodungaiyur 水路の流量配分図	3-46
Figure 3-39: Captain Cotton 遊水地によるピーク流量削減 (容量約 24 万 m ³)	3-47
Figure 3-40: Captain Cotton 遊水地の位置図 (容量 76 万 m ³)	3-47
Figure 3-41: Captain Cotton 水路の流量配分図.....	3-48
Figure 3-42: Otteri Nulla 遊水地 (下流部) によるピーク流量削減 (容量約 102 万 m ³)	3-48
Figure 3-43: Otteri Nulla 遊水地 (下流部) の位置図 (容量約 113 万 m ³)	3-49
Figure 3-44: Otteri Nulla 水路の流量配分図.....	3-49
Figure 3-45: 残流域からの流入を考慮したハイドログラフ.....	3-50
Figure 3-46: NBC の流量配分図	3-51
Figure 3-47: NBC 遊水地によるピーク流量削減 (容量 117 万 m ³)	3-51
Figure 3-48: NBC 遊水地の位置図 (最下流より 9km 地点)	3-52
Figure 3-49: NBC の計算水位 (3 水路からの流入量を変化させた場合)	3-52
Figure 3-50: NBC の計画横断図	3-53
Figure 3-51: Kodungaiyur の計算水位と HWL.....	3-54
Figure 3-52: Kodungaiyur の計画横断図	3-55
Figure 3-53: Captain Cotton の計算水位と HWL.....	3-55
Figure 3-54: Captain Cotton の計画横断図	3-56
Figure 3-55: Otteri Nulla の計算水位と HWL.....	3-56
Figure 3-56: Otteri Nulla の計画横断図	3-57
Figure 3-57: NBC からのバイパス水路 (TNWRD による計画)	3-58
Figure 3-58: NBC からのバイパス計画 (JET の提案)	3-59
Figure 3-59: NBC および NBC への接続水路の改善に関する概念図	3-61
Figure 3-60: NBC 流域に設置する遊水地の位置図	3-62
Figure 3-61: CBC とその流域位置図	3-64
Figure 3-62: CBC に接続する水路	3-64
Figure 3-63: CBC の標高図	3-65
Figure 3-64: 2015 年洪水における Adyar 川および Cooum 川のハイドログラフ	3-66
Figure 3-65: 2020 年洪水における Adyar 川および Cooum 川のハイドログラフ	3-66
Figure 3-66: CBC の流域分割	3-67
Figure 3-67: CBC 流域内の水路網および地形図	3-68
Figure 3-68: CBC の縦断図	3-70

Figure 3-69: CBC の水路幅、現況流下能力	3-71
Figure 3-70: CBC の現況写真	3-71
Figure 3-71: CBC に架かる橋梁の位置図 (1)	3-72
Figure 3-72: CBC に架かる橋梁の位置図 (2)	3-73
Figure 3-73: CBC に架かる橋梁の位置図 (3)	3-74
Figure 3-74: CBC に架かる橋梁の横断面図 (1)	3-74
Figure 3-75: CBC に架かる橋梁の横断面図 (2)	3-75
Figure 3-76: CBC の縦断面図と洪水時の計算水位	3-77
Figure 3-77: Adyar 川および Cooum 川の洪水流と CBC 洪水流 (ピークが重ならない場合)	3-78
Figure 3-78: Adyar 川および Cooum 川の洪水流と CBC 洪水流 (ピークが重なる場合)	3-79
Figure 3-79: CBC との合流点における Adyar 川の HWL.....	3-80
Figure 3-80: CBC との合流点における Cooum 川の HWL.....	3-80
Figure 3-81: CBC の水路幅を 13m とした場合の水路幅図	3-81
Figure 3-82: CBC の水路幅を 13m とした場合の計画横断面図	3-82
Figure 3-83: CBC の計算水位 (水路幅を 13m とした場合)	3-83
Figure 3-84: CBC の水路幅を 15m とした場合の水路幅図	3-83
Figure 3-85: CBC の水路幅を 15m とした場合の計画横断面図	3-84
Figure 3-86: CBC の計算水位 (水路幅を 15m とした場合)	3-85
Figure 3-87: CBC の水路幅を 13m および 17m とした場合の水路幅図	3-86
Figure 3-88: CBC の水路幅を 17m とした場合の計画横断面図	3-86
Figure 3-89: CBC の計算水位 (水路幅を 13m および 17m とした場合)	3-87
Figure 3-90: Adyar 川流域と接続水路位置図	3-89
Figure 3-91: Cooum 川流域と接続水路位置図	3-90
Figure 3-92: 既存水路の能力評価方法.....	3-91
Figure 3-93: 流域分割と流量配分図 - Nandanam and Mambalam.....	3-95
Figure 3-94: 流域分割と流量配分図 - Calammal and Guindy.....	3-96
Figure 3-95: 流域分割と流量配分図 - MGR and Nandambakkam.....	3-97
Figure 3-96: 流域分割と流量配分図 - Manapallam and Kolapallam.....	3-98
Figure 3-97: 流域分割と流量配分図 - Kundrathur.....	3-99
Figure 3-98: 流域分割と流量配分図 - Pammal.....	3-100
Figure 3-99: 流域分割と流量配分図 - Nungambakkam.....	3-101
Figure 3-100: 流域分割と流量配分図- Trustpuram and Virugumbakkam.....	3-102
Figure 3-101: 流域分割と流量配分図 - Padikuppam, Nolampur and Ambattur.....	3-103
Figure 3-102: Mambalam 水路の概況	3-104
Figure 3-103: Mambalam 水路の現況流下能力	3-105

Figure 3-104: 現況の流量と水位	Nandanam.....	3-106
Figure 3-105: 現況の流量と水位	Mambalam.....	3-107
Figure 3-106: 現況の流量と水位	Chalammal.....	3-108
Figure 3-107: 現況の流量と水位	Guindy.....	3-109
Figure 3-108: 現況の流量と水位	MGR.....	3-110
Figure 3-109: 現況の流量と水位	Nandambakkam.....	3-111
Figure 3-110: 現況の流量と水位	Manapakkam.....	3-112
Figure 3-111: 現況の流量と水位	Kolapakkam.....	3-113
Figure 3-112: 現況の流量と水位	Kundrathur.....	3-114
Figure 3-113: 現況の流量と水位	Pammal.....	3-115
Figure 3-114: 現況の流量と水位	Nungambakkam.....	3-116
Figure 3-115: 現況の流量と水位	Trustpuram.....	3-117
Figure 3-116: 現況の流量と水位	Virumbakkam.....	3-118
Figure 3-117: 現況の流量と水位	Padikuppam.....	3-119
Figure 3-118: 現況の流量と水位	Nolambur.....	3-120
Figure 3-119: 現況の流量と水位	Ambattur-SIDCO.....	3-121
Figure 3-120: 改修が必要な水路.....		3-124
Figure 3-121: 水路改修の方法.....		3-125
Figure 3-122: 計画縦断図と計画横断図	Nandanam.....	3-127
Figure 3-123: 計画縦断図と計画横断図	Mambalam.....	3-128
Figure 3-124: 計画縦断図と計画横断図	Chelammal.....	3-129
Figure 3-125: 計画縦断図と横断図	Guindy.....	3-130
Figure 3-126: 計画縦断図と横断図	MGR.....	3-131
Figure 3-127: 計画縦断図と横断図	Manapakkam.....	3-132
Figure 3-128: 計画縦断図と横断図	Kolapakkam.....	3-133
Figure 3-129: 計画縦断図と横断図	Nungambakkam.....	3-134
Figure 3-130: 計画縦断図と横断図	Trustpuram.....	3-135
Figure 3-131: 計画縦断図と横断図	Virumbakkam.....	3-136
Figure 3-132: 計画縦断図と横断図	Padikuppam.....	3-137
Figure 3-133: 計画流量と計算流量 (1)		3-138
Figure 3-134: 計画流量と計算流量 (2)		3-139
Figure 3-135: 計画流量と計算流量 (3)		3-140
Figure 3-136: 2015 年洪水時の Adyar 川の水位と Mambalam 地点の堤防高		3-142
Figure 3-137: Adyar 川、Cooum 川に接続する水路位置図.....		3-144
Figure 3-138: Kovalam 流域の標高区分図		3-147
Figure 3-139: Pallikaranai 湿地周辺の写真		3-148

Figure 3-140: Kovalam 流域の地形横断面図	3-148
Figure 3-141: 南 Buckingham 運河の中堤防付近.....	3-149
Figure 3-142: Okkiam Maduvu の現況流下能力（満杯評価）	3-150
Figure 3-143: Okkiyam Maduvu の概況図	3-150
Figure 3-144: B 運河の現行流下能力（満杯評価）	3-151
Figure 3-145: 低流量時の B 運河	3-151
Figure 3-146: 標高別面積の計測範囲.....	3-153
Figure 3-147: HEC-RAS モデルの検証結果	3-155
Figure 3-148: 基本高水と計画高水流量.....	3-156
Figure 3-149: OkkiamMaduvu と他の重要な水路の位置図	3-157
Figure 3-150: 計画水位の解析.....	3-158
Figure 3-151: 治水対策のケースと水位低減効果.....	3-161
Figure 3-152: 放水路幅と水位低下量の関係.....	3-162
Figure 3-153: 地下放水路案.....	3-165
Figure 3-154: 治水対策施設の位置図.....	3-166
Figure 3-155: OkkiamMaduvu のショートカット放水路とバイパス	3-167
Figure 3-156: 放水路縦断面図.....	3-168
Figure 3-157: 放水路横断面図.....	3-168
Figure 3-158: Okkiam Maduvu 縦断面図	3-169
Figure 3-159: Okkiam maduvu ショートカット放水路区間の横断面図.....	3-169
Figure 3-160: B 運河の縦断面図.....	3-170
Figure 3-161: 低地の浸水対策.....	3-171
Figure 3-162: 洪水吐放流ゲートのイメージ.....	3-174
Figure 3-163: チェンナイ沿岸域における洪水予報のための C-FLOW におけるデータの流れ	3-176
Figure 3-164: フラップゲートの概要.....	3-187
Figure 3-165: 排水管位置図（Adyar 川流域）	3-188
Figure 3-166: 排水管位置図（Cooum 川流域）	3-189
Figure 3-167: 排水管位置図（Kosasthalaiyar 川流域）	3-189
Figure 3-168: 排水管位置図（Kovalam 流域）	3-190
Figure 3-169: 各くぼ地における浸水深毎の浸水面積.....	3-192
Figure 3-170: Kodungaiyur の計画縦断面図	3-193
Figure 3-171: Kodungaiyur に設置する遊水地に係る水位と流量	3-194
Figure 3-172: Kodungaiyur 遊水地における水位—容量関係式	3-196
Figure 3-173: Kodungaiyur 遊水地の構造	3-197
Figure 3-174: Captain Cotton の計画縦断面図	3-197

Figure 3-175: Captain Cotton に設置する遊水地に係る水位と流量	3-198
Figure 3-176: Captain Cotton 遊水地における水位—容量関係式	3-201
Figure 3-177: Captain Cotton 遊水地の構造	3-201
Figure 3-178: Otteri Nulla の計画縦断面図	3-202
Figure 3-179: Otteri Nulla 上流部に設置する遊水地に係る水位と流量	3-203
Figure 3-180: Otteri Nulla 上流部遊水地における水位—容量関係式	3-205
Figure 3-181: Otteri Nulla 上流部遊水地の構造	3-206
Figure 3-182: Otteri Nulla の計画縦断面図	3-206
Figure 3-183: Otteri Nulla 下流部に設置する遊水地に係る水位と流量	3-207
Figure 3-184: Otteri Nulla 下流部遊水地における水位—容量関係式	3-209
Figure 3-185: Otteri Nulla 下流部遊水地の構造	3-210
Figure 3-186: NBC に隣接して設置する遊水地に係る水位と流量	3-211
Figure 3-187: NBC 遊水地における水位—容量関係式	3-214
Figure 3-188: NBC 遊水地の構造	3-214

Figure 4-1: 17 世紀から 19 世紀におけるマドラスの発展成長.....	4-1
Figure 4-2: チェンナイにおける 1950 年からの人口推移と 2035 年までの将来動向	4-2
Figure 4-3: 1991 年から 2021 年までのチェンナイの人口.....	4-3
Figure 4-4: CMA の 3 衛星都市と幹線道路	4-4
Figure 4-5: 1973 年時点 (左) と 2006 年時点 (右) の CMA の土地利用計画図.....	4-5
Figure 4-6: CMA の 2026 年までの土地利用計画図 (左) と 2024 年の現状土地利用 (右)	4-6
Figure 4-7: 2006 年当時の水路と水域 (左) と 2026 年土地利用計画の緑地と水域 (右)	4-8
Figure 4-8: CMA の市街化の推移	4-9
Figure 4-9: 都市拡大の方向性.....	4-10
Figure 4-10: チェンナイ都市圏の幹線道路網 (左) と経済発展軸概念図 (右)	4-11
Figure 4-11: Ery システム (左) と水系分断の概念図 (右)	4-11
Figure 4-12: 水域と市街地開発	4-12
Figure 4-13: 1985 年から 2022 年までの Velachery Tank の比較.....	4-12
Figure 4-14: Velachery Tank と (左) と流入水路 (右)	4-13
Figure 4-15: 水域と緑地減少のメカニズム	4-13
Figure 4-16: 都市化と河川洪水・都市洪水の類型図.....	4-14
Figure 4-17: Adyar 川 Sadipet 橋付近での 2015 年洪水状況.....	4-15
Figure 4-18: Adyar 川 Sadipet 橋付近での 2015 年洪水水位.....	4-15
Figure 4-19: 地下鉄ライトハウス駅近くの Buckingham 運河沿いでの家畜の飼育.....	4-16
Figure 4-20: Nandanum の都市水路のゴミ	4-16
Figure 4-21: 100 年確率洪水区域の氾濫危険区域	4-21
Figure 4-22: 10 年確率洪水の氾濫危険区域	4-21
Figure 4-23: MP 事業実施前の 200 年確率洪水の氾濫危険区.....	4-24
Figure 4-24: MP 事業実施前の 100 年確率洪水の氾濫危険区域.....	4-25
Figure 4-25: MP 事業実施前の 10 年確率洪水の氾濫危険区域.....	4-25
Figure 4-26: MP 優先事業実施後 (Phase1) の 100 年確率洪水の氾濫危険区域.....	4-26
Figure 4-27: MP 事業完了後の 100 年確率洪水の氾濫危険区域.....	4-27
Figure 4-28: MP 事業完了後の 200 年確率洪水の氾濫危険区域.....	4-27
Figure 4-29: MP 事業実施による Adyar 川流域の残余リスクの推移.....	4-29
Figure 4-30: JICA 残余リスクモデル曲線との比較.....	4-29
Figure 4-31: チェンナイ都市圏の産業団地と日本企業.....	4-30
Figure 4-32: 都市計画戦略適用位置概念図	4-33
Figure 4-33: 水域保全戦略適用位置概念図	4-35
Figure 4-34: 河川保全地帯の断面計画 (左)	4-36

Figure 4-35: 河川保全地帯の平面計画	4-36
Figure 4-36: 都市洪水対策で検討対象とする水路配置図.....	4-38
Figure 4-37: Adyar 川流域の水路と土地利用区割り（左）と用途地区（右）	4-39
Figure 4-38: 湖沼周辺地形検討図	4-39
Figure 4-39: 湖沼の保全エリア境界の考え方	4-40
Figure 4-40: 日本の遊水地事例	4-40
Figure 4-41: 遊水地機能を持つ多目的公園の事例.....	4-41
Figure 4-42: Adyar 川流域で将来整備予定のタンク	4-42
Figure 4-43: Adyar 川流域における既存タンク拡大事例（断面図および平面図）	4-42
Figure 4-44: North Buckingham 運河に計画されている雨水貯留施設.....	4-43
Figure 4-45: 流出抑制戦略適用位置概念図	4-44
Figure 4-46: 雨水貯留施設概念図：地下式貯留槽（左）、雨水調整池（右）	4-45
Figure 4-47: PWD の地下式雨水貯留施設	4-46
Figure 4-48: 高等学校のグラウンドを使った校庭貯留の例.....	4-47
Figure 4-49: 校庭貯留の平常時と貯水時の状況	4-47
Figure 4-50: 東京都緑化計画の標準図	4-48
Figure 4-51: 一般住宅での雨水貯留事例：貯留タンク（左）、地下貯留槽（右）	4-48
Figure 4-52: 洪水残余リスク管理戦略適用位置図（Phase1 後）	4-51
Figure 4-53: 建築規制の水深区分	4-52
Figure 4-54: 建築規制の推奨ガイドライン	4-53
Figure 4-55: Adyar 川流域上流の氾濫危険区域（左）と現況土地利用検討図（右） ...	4-53
Figure 4-56: Adyar 川流域上流の氾濫危険区域の第 2 次 MP 土地利用計画図	4-54
Figure 4-57: Adyar 川流域の氾濫危険区域内の土地利用と洪水分類.....	4-56
Figure 4-58: Adyar 川流域での都市計画戦略の適用（MP 事業前）	4-56
Figure 4-59: Adyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略（MP 事業 Phase1 後）	4-57
Figure 4-60: Adyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略（Phase1 後、拡大図）	4-58
Figure 4-61: Adyar 川流域の 10 年確率洪水 PM 事業前の氾濫危険区域 MP 事業完了後の 対策（対象残余リスク⑤）	4-58
Figure 4-62: Adyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略（MP 事業完了後）	4-59
Figure 4-63: Adyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略（MP 事業完了後、拡大図）	4-59
Figure 4-64: Adyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略（MP 事業完了後、拡大図）	4-60
Figure 4-65: Kovalam 流域の氾濫危険区域内の土地利用と洪水分類.....	4-61
Figure 4-66: Kovalam 流域での都市計画戦略の適用（MP 事業前）	4-61
Figure 4-67: Kovalam 流域での洪水残余リスク管理戦略（MP 事業 Phase1 後）	4-62
Figure 4-68: Kovalam 流域での洪水残余リスク管理戦略（MP 事業 Phase1 後、拡大図）	4-63
Figure 4-69: Kovalam 流域での洪水残余リスク管理戦略（MP 事業完了後、拡大図）	4-64

Figure 4-70: Kovalam 流域第 2 次 MP の土地利用計画図の見直し (MP 事業完了後)	4-64
Figure 4-71: Cooum 川流域の氾濫危険区域内の土地利用と洪水分類.....	4-65
Figure 4-72: Cooum 川流域での都市計画戦略.....	4-66
Figure 4-73: Cooum 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業 Phase1 後)	4-67
Figure 4-74: Cooum 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業 Phase1 後、拡大図)	4-67
Figure 4-75: Cooum 川流域の 10 年確率洪水 PM 事業前の氾濫危険区域	4-68
Figure 4-76: Cooum 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業完了後)	4-68
Figure 4-77: Cooum 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業完了後、拡大図)	4-69
Figure 4-78: Cooum 川流域第 2 次 MP の土地利用計画図の見直し (MP 事業完了後)	4-69
Figure 4-79: Kosasthalaiyar 川流域の氾濫危険区域内の土地利用と洪水分類.....	4-70
Figure 4-80: Kosasthalaiyar 川流域での都市計画戦略 (MP 事業前)	4-71
Figure 4-81: Kosasthalaiyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業 Phase1 後)	4-71
Figure 4-82: Kosasthalaiyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業 Phase1 後、拡大図)	4-72
Figure 4-83: Kosasthalaiyar 川流域の 10 年確率洪水 PM 事業前の氾濫危険区域	4-72
Figure 4-84: Kosasthalaiyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業完了後) ..	4-73
Figure 4-85: Kosasthalaiyar 川流域での洪水残余リスク管理戦略 (MP 事業完了後、拡大図)	4-74
Figure 4-86: Kosasthalaiyar 川流域第 2 次 MP の土地利用計画図見直し (MP 事業完了後)	4-74
Figure 4-87: チェンナイにおける都市計画及び土地利用・建築規制への適用枠組.....	4-76
Figure 4-88: 洪水対策に関する日本の都市計画施策及びガイドライン.....	4-79
Figure 4-89: 日本の特定都市河川浸水被害対策法.....	4-80
Figure 4-90: 東京の洪水対策の実施体制	4-81
Figure 4-91: 東京都都市洪水・SWD 対策取組か所.....	4-81

Figure 5-1: 対象河川・河口及び周辺海岸	5-1
Figure 5-2: CZMP MAP (Kosasthalaiyar 川の河口周辺).....	5-4
Figure 5-3: CZMP MAP (Cooum 川および Adyar 川の河口周辺).....	5-4
Figure 5-4: CZMP MAP (Kovalam Basin の河口周辺).....	5-5
Figure 5-5: 海岸線の侵食・堆積傾向 (1990-2016、広域)	5-6
Figure 5-6 : 海岸線の侵食・堆積傾向 (1990-2016、対象範囲を拡大)	5-7
Figure 5-7: チェンナイ港の建設に伴う海岸線変化 (1876-1998)	5-8
Figure 5-8: 傾斜堤及び突堤の状況 (Nagar beach)	5-9
Figure 5-9: 突堤の状況 (Kovalam beach)	5-9
Figure 5-10: 捨石堤防 (RMS) と突堤の位置図	5-10
Figure 5-11: 砂州の状況 (Kosasthalaiyar 川)	5-11
Figure 5-12: 河口閉塞対策計画 Curved River training walls (Kosasthalaiyar 川)	5-12
Figure 5-13: 砂州及び導流堤 (Cooum 川)	5-13
Figure 5-14: 河口閉塞対策計画 Curved River training walls (Cooum 川)	5-14
Figure 5-15: 河口閉塞対策計画 Dredging and Bypassing (Cooum 川)	5-15
Figure 5-16 : 砂州及び浚渫の状況 (Adyar 川河口部)	5-16
Figure 5-17: 浚渫・サンドバイパス案 (Adyar 川河口部)	5-17
Figure 5-18: 既存の導流堤及び浚渫の状況 (Kovalam 河口部)	5-18
Figure 5-19: 対象海岸の漂砂の基本的なメカニズム.....	5-19
Figure 5-20: 汀線変化解析の対象地域	5-20
Figure 5-21: 汀線分析用横断線位置図 1	5-21
Figure 5-22: Kosasthalaiyar 川周辺の海岸線の変化.....	5-21
Figure 5-23: 汀線分析用横断線位置図 2	5-22
Figure 5-24: Cooum 川、Adyar 川周辺の海岸線の変化.....	5-22
Figure 5-25: 汀線分析用横断線位置図 3	5-23
Figure 5-26: Kovalam Basin 周辺の海岸線の変化.....	5-23
Figure 5-27: 汀線分析用横断線位置図 (Kokilamedu)	5-24
Figure 5-28: Kokilamedu 周辺の汀線変化	5-24
Figure 5-29: 月別平均河口幅 (m) (Kosasthalaiyar)	5-25
Figure 5-30: 月別平均河口幅 (m) (Adyar).....	5-25
Figure 5-31: 月別平均河口幅 (m) (Cooum).....	5-26
Figure 5-32: 月別平均河口幅 (m) (Kovalam Basin).....	5-26
Figure 5-33: 月別平均河口幅 (m) (Kokilamedu).....	5-26
Figure 5-34: 衛星画像における河口幅の読み取り例 (Adyar 川の例)	5-27
Figure 5-35: モンスーン期間の最大河口幅 (m) (Kosasthalaiyar).....	5-27

Figure 5-36: モンスーン期間の最大河口幅 (m) (Adyar)	5-28
Figure 5-37: モンスーン期間の最大河口幅 (m) (Cooum).....	5-28
Figure 5-38: モンスーン期間の最大河口幅 (m) (Kovalam basin)	5-28
Figure 5-39: モンスーン期間の最大河口幅 (m) (Kokilamedu).....	5-29
Figure 5-40: 河口幅と洪水規模の関係 (Kosasthalaiyer, Cooum)	5-30
Figure 5-41: 河口幅と洪水規模の関係 (Adyar, B Canal North)	5-31
Figure 5-42: 平均潮位 (潮位観測基準)	5-33
Figure 5-43: 最大潮位 (年平均潮位基準)	5-33
Figure 5-44: Tamilu Nadu 地区の海面上昇量	5-35
Figure 5-45: 2050年時点の海面上昇による沿岸地区の浸水域	5-36
Figure 5-46: 波浪観測データ	5-37
Figure 5-47: チェンナイにおける年間推算波浪	5-37
Figure 5-48: チェンナイにおける月別推算波浪	5-38
Figure 5-49: 河口閉塞対策検討フロー	5-40
Figure 5-50: 河口地形モデル (Kosasthalaiyer)	5-41
Figure 5-51: 河口地形モデル (Cooum)	5-41
Figure 5-52: 河口地形モデル (Adyar)	5-42
Figure 5-53: 河口地形モデル (B Canal North)	5-42
Figure 5-54: 波浪推算点 (ERA5)	5-45
Figure 5-55: 波浪変形計算結果例 (波向ベクトル図: 3月)	5-46
Figure 5-56: 波浪変形計算結果例 (波向ベクトル図: 12月)	5-46
Figure 5-57: 三次元海浜変形モデルの計算フロー.....	5-47
Figure 5-58: 海浜変形モデルの適用範囲	5-49
Figure 5-59: Kosasthalaiyer 川の再現計算結果.....	5-50
Figure 5-60: Cooum 川の再現計算結果	5-51
Figure 5-61: Adyar 川の再現計算結果	5-52
Figure 5-62: B Canal(North)河口の再現計算結果.....	5-53
Figure 5-63: 日本における河口閉塞対策事例 (導流堤、浚渫、沖合施設)	5-54
Figure 5-64: Kosasthalaiyer 河口導流堤 (2024/2/14 撮影)	5-54
Figure 5-65: Cooum 河口導流堤 (2024/2/13 撮影)	5-55
Figure 5-66: Kosasthalaiyer 川の予測計算結果 (インド政府の導流堤計画)	5-57
Figure 5-67: Kosasthalaiyer 川の予測計算結果 (代替案 1)	5-58
Figure 5-68: Kosasthalaiyer 川の予測計算結果 (代替案 2)	5-59
Figure 5-69: 上表中の土砂計測範囲 (水色範囲)	5-60
Figure 5-70: 追加対策施設のイメージ	5-60
Figure 5-71: Cooum 川の予測計算結果 (インド政府の導流堤計画)	5-61

Figure 5-72: Cooum 川の予測計算結果（代替案 1）	5-63
Figure 5-73: Cooum 川の予測計算結果（代替案 2）	5-64
Figure 5-74: 上表中の土砂計測範囲（水色範囲）	5-65
Figure 5-75: Adyar 川の予測計算結果（インド政府の導流堤計画）	5-66
Figure 5-76: Adyar 川の予測計算結果（代替案 1）	5-68
Figure 5-77: Adyar 川の予測計算結果（代替案）	5-69
Figure 5-78: 上表中の土砂計測範囲（水色範囲）	5-71
Figure 5-79: Muttukadu の対策案.....	5-72
Figure 5-80: Muttukadu の初期地形.....	5-73
Figure 5-81: Muttukadu の予測計算結果（現況）	5-73
Figure 5-82: Muttukadu の予測計算結果（対策案 1・2）	5-74
Figure 5-83: Muttukadu の予測計算結果（対策案 3・4）	5-75
Figure 5-84: Muttukadu の予測計算結果（対策案 5）	5-76
Figure 5-85: Muttukadu の予測計算結果の比較.....	5-77
Figure 5-86: Muttukadu 対策案（Case2）の導流堤配置及び標準断面図	5-78
Figure 5-87: 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	5-79

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	6-5
Figure 6-3: 州レベルの災害管理体制	6-5
Figure 6-4: 2015/12/5における24時間降雨量の等雨量線図	6-10
Figure 6-5: Adyar流域の洪水ハザードマップ (100 年確率)	6-28
Figure 6-6: Cooum流域の洪水ハザードマップ (100 年確率)	6-28
Figure 6-7: Kosasthalaiyar流域の洪水ハザードマップ (100 年確率)	6-29
Figure 6-8: コバラム流域の洪水ハザードマップ (100 年確率)	6-29
Figure 6-9: CMA および GCC の洪水ハザードマップ (100 年確率)	6-30
Figure 6-10: Kovalam流域 ZONE-1の洪水ハザードマップ (100 年確率)	6-31
Figure 6-11: Kovalam流域 ZONE-1 Ward-01の洪水ハザードマップ (100 年確率)	6-32

Figure 7-1 JICA のマニュアルで規定された事業費の積算体系	7-1
Figure 7-2: 建設費・調達費（土木建設費）の構成（日本の例）	7-6
Figure 7-3: 河川拡幅の施工方法.....	7-10
Figure 7-4: 鋼製矢板護岸の標準断面図.....	7-12
Figure 7-5: 代表的なタンクの標準図.....	7-14
Figure 7-6: 水路におけるゲートの標準図.....	7-17
Figure 7-7: 標準図（素掘掘削）（B=3.0m , H=2.0m）	7-18
Figure 7-8: 標準図（重力式擁壁タイプ）（B=6.0m, H=2.0m）	7-18
Figure 7-9: 水路の標準断面（Cut&Cover）（B=6.0m, H=2.0m）	7-18
Figure 7-10: 地下バイパストンネルの概要.....	7-21
Figure 7-11: 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）	7-22
Figure 7-12: Cut & Cover の標準的な断面図.....	7-25
Figure 7-13: Cut & Cover の標準的な断面図.....	7-26
Figure 7-14: 排水機場の標準図.....	7-30
Figure 7-15: 北 Buckingham 運河における支川の位置図.....	7-31
Figure 7-16: 放水路の位置図.....	7-33
Figure 7-17: 導流堤の標準断面.....	7-35
Figure 7-18: 対象地域の人口分布.....	7-43
Figure 7-19: 対象地域の GDP 分布.....	7-44
Figure 7-20: CMA の 2018 年時点の土地利用図	7-46
Figure 7-21: 対象地域における主要なインフラ.....	7-48
Figure 7-22: 対象地域における変電設備の分布.....	7-48
Figure 7-23: 対象地域における開閉器の分布.....	7-49
Figure 7-24: 対象地域における配電変圧器の分布.....	7-49
Figure 7-25: 対象地域における高圧・低圧電線の分布.....	7-50
Figure 7-26: 高圧電力（HT）需要の分布.....	7-51
Figure 7-27: 低圧電力（LT）の消費者の分布.....	7-52
Figure 7-28: 経済分析の対象とする便益.....	7-54
Figure 7-29: 想定浸水域における主要インフラの分布.....	7-64
Figure 7-30: 想定浸水域における電力関連設備の分布.....	7-67
Figure 7-31: 治水事業の便益.....	7-70
Figure 7-32: プロジェクトの費用.....	7-73
Figure 7-33: 水害の貨幣価値換算できない項目の定量化指標.....	7-77
Figure 7-34: （参考）人口分布.....	7-78
Figure 7-35: （参考）浸水分布図.....	7-79
Figure 7-36: （参考）交通インフラの分布図.....	7-81
Figure 7-37: （参考）低圧電力利用者の分布.....	7-83

Figure 7-38: (参考) 高圧電力の需要分布.....	7-85
Figure 7-39: Cut & Cover の対象流量と m 当たり直接工事費の関係.....	7-96
Figure 7-40: Cooum 川河口で建設中の導流壁 (南側)	7-98
Figure 7-41: 標準断面 (Earth Canal)	7-100
Figure 7-42: 標準断面 (重力式擁壁タイプ)	7-100
Figure 7-43: 標準断面 (Cut&Cover)	7-101

Figure 8-1: SEA の位置づけ	8-1
Figure 8-2: 一般的な SEA 調査のプロセス	8-3
Figure 8-3: EIA のフロー	8-8
Figure 8-4: チェンナイにおける CRZ の位置図 (1/3)	8-12
Figure 8-5: チェンナイにおける CRZ の位置図 (2/3)	8-13
Figure 8-6: チェンナイにおける CRZ の位置図 (3/3)	8-14
Figure 8-7: 環境、森林、気候変動省の組織図	8-15
Figure 8-8: E. F. I. と CET によって修復された水域の位置	8-17
Figure 8-9: 気候変動緩和策及び適応策における湿地の生態系サービス	8-19
Figure 8-10: チェンナイにおける最終処分場の位置図	8-26
Figure 8-11: インドの行政構造	8-29
Figure 8-12: チェンナイ周辺河川流域の土質図	8-34
Figure 8-13: チェンナイ周辺河川流域の土地利用図	8-35
Figure 8-14: 環境調査地点の概要	8-36
Figure 8-15: 採水状況 (2023 年 4 月 6 日、7 日) (一般ベースライン)	8-42
Figure 8-16: 騒音・振動調査の状況 (2023 年 4 月 24 日) (一般ベースライン)	8-46
Figure 8-17: 採水状況 (2023 年 4 月 6 日、7 日)	8-49
Figure 8-18: Adyar, Cooum, and Kosasthalayer 川、Kovalam 流域及び Buckingham 運河 の位置図	8-59
Figure 8-19: 対象河川において確認された動物相の例	8-61
Figure 8-20: ウミガメの営巣地位置図	8-61
Figure 8-21: CMA 及びその周辺の保護地域と優先湿地、生物多様性の位置	8-64
Figure 8-22: CMA 内及びその周辺の保護地域と優先湿地、生物多様性の状況 (1) ..	8-65
Figure 8-23: CMA 内及びその周辺の保護地域と優先湿地、生物多様性の状況 (2) ..	8-66
Figure 8-24: CMA 内及びその周辺の保護地域と優先湿地、生物多様性の状況 (3) ..	8-67
Figure 8-25: CMA 内及びその周辺の保護地域と優先湿地、生物多様性の状況 (4) ..	8-68
Figure 8-26: チェンナイの保安林の位置	8-68
Figure 8-27: Pallikaranai 湿原保護林の位置及び状況	8-70
Figure 8-28: チェンナイの宗教人口の割合	8-74
Figure 8-29: 成人男女の識字率 (1951~2011 年)	8-75
Figure 8-30: インドと Tamil Nadu 州の出生率の推移	8-76
Figure 8-31: インドと Tamil Nadu 州の妊産婦死亡率 (2004~2016 年)	8-76
Figure 8-32: GCC におけるスラムの位置	8-77
Figure 8-33: CMA 内の建築遺産資産の位置	8-80
Figure 8-34: チェンナイの観光要素としてのビーチ位置図	8-82

Figure 8-35: 洪水多発地域マップ.....	8-83
Figure 8-36: SEA 調査の構成.....	8-84
Figure 8-37: 環境目的・目標.....	8-130
Figure 8-38: チェンナイにおける環境ビジョン.....	8-130
Figure 8-39: チェンナイにおける環境戦略.....	8-131
Figure 8-40: Avadi 市での ステークホルダー会議 (2022 年 9 月 29 日)	8-134
Figure 8-41: Tambaram 市でのステークホルダー会議 (2022 年 12 月 30 日)	8-135
Figure 8-42: GCC でのステークホルダー会議 (2022 年 5 月 6 日)	8-135
Figure 8-43: DFR 段階における SHCM.....	8-140

Figure 9-1: 各流域におけるコンポーネント.....	9-2
Figure 9-2: Adyar 川の洪水により生じる社会的影響(土地利用図は 2026 Draft Plan)	9-4
Figure 9-3: Kovalam 流域での市街化状況.....	9-5
Figure 9-4: 流域別の優先順位.....	9-7
Figure 9-5: 河道改修手順.....	9-8
Figure 9-6: タンクの整備完了イメージ.....	9-9
Figure 9-7: 既存タンクの改良コンセプト (Somangalam Big Tank の例)	9-10
Figure 9-8: 都市洪水対策対象箇所.....	9-11
Figure 9-9: Kovalam 流域対策対象箇所.....	9-12
Figure 9-10: 河道改修とタンク tank などの貯留案の比較 (Adyar).....	9-15
Figure 9-11: 河道整備の効果.....	9-16
Figure 9-12: 河道改修とタンク tank などの貯留案の比較 (Cooum).....	9-18
Figure 9-13: 河道整備のみでの効果.....	9-19
Figure 9-14: 河道改修とタンク tank などの貯留案の比較 (Kosasthalaiyar)....	9-22
Figure 9-15: 河道整備のみでの効果.....	9-23
Figure 9-16: Kovalam 流域での段階整備効果.....	9-24
Figure 9-17: 標準掘削横断イメージ図.....	9-26
Figure 9-18: 整備対象区間 (Adyar 川)	9-26
Figure 9-19: 拡幅必要箇所の平面図.....	9-27
Figure 9-20: 計画縦断図 (Adyar 川)	9-28
Figure 9-21: Kovalam 流域における地下バイパストンネルのルート	9-30
Figure 9-22: 地下バイパストンネル平面位置図.....	9-31
Figure 9-23: 地下バイパストンネル整備イメージ.....	9-32
Figure 9-24: 標準掘削横断イメージ図.....	9-33
Figure 9-25: 整備対象区間 (Cooum 川)	9-33
Figure 9-26: 計画縦断図 (Cooum 川)	9-34
Figure 9-27: 標準掘削横断イメージ図.....	9-35
Figure 9-28: 整備対象区間 (Kosasthalaiyar 川)	9-35
Figure 9-29: Kosasthalaiyar 川における分岐部での改修イメージ 1	9-36
Figure 9-30: Kosasthalaiyar 川における分岐部での改修イメージ 2	9-37
Figure 9-31: Redhill 川の拡幅区間.....	9-37
Figure 9-32: 縦断図 (Kosasthalaiyar 川)	9-38
Figure 9-33: 計画縦断図 (Redhill 川)	9-39

Figure 9-34: チェンナイにおける地形と 2015 年洪水における浸水状況.....	9-40
Figure 9-35: NBC 及びその支川における Phase1 の対策	9-41
Figure 9-36: CBC における Phase1 の対策	9-42
Figure 9-37: Adyar 川及び Cooum 川沿いの支川における Phase1 の対策	9-43
Figure 9-38: Kovalam 流域対策対象箇所	9-44

表目次

Table 1-1: 調査地域の諸元	1-3
Table 1-2: 調査流域の地形的特徴の諸元.....	1-4
Table 1-3: 推定人口(2022年)	1-6
Table 1-4: 各流域の道路・鉄道網.....	1-10
Table 1-5: 調査地域の主要な既往洪水.....	1-17

Table 2-1: 検討対象 3 河川流域の流域面積および流域内人口.....	2-8
Table 2-2: 雨量観測所と観測内容.....	2-9
Table 2-3: 検討対象流域における河川水位・流量観測所の設置状況一覧.....	2-11
Table 2-4: 降雨継続時間算定結果.....	2-11
Table 2-5: 洪水到達時間算定のための流域諸元一覧.....	2-12
Table 2-6: 合理式での経験式による洪水到達時間.....	2-12
Table 2-7: 降雨確率解析の条件.....	2-15
Table 2-8: 確率分布モデル.....	2-15
Table 2-9: 確率降水量算定結果 (Adyar 川流域)	2-16
Table 2-10: 確率降水量算定結果 (Cooum 川流域)	2-17
Table 2-11: 確率降水量算定結果 (Kosasthalaiyar 川流域)	2-17
Table 2-12: 洪水管理基準地点.....	2-18
Table 2-13: 100 年確率規模洪水時の洪水ピーク流量 (Adyar 川)	2-24
Table 2-14: 100 年確率規模洪水時の洪水ピーク流量 (Cooum 川)	2-25
Table 2-15: 100 年確率規模洪水時の洪水ピーク流量 (Kosasthalaiyar 川)	2-26
Table 2-16: 流出計算条件一覧.....	2-27
Table 2-17: Adyar 川 計画高水位縦断計画.....	2-34
Table 2-18: Cooum 川取水堰地点計画高水位.....	2-37
Table 2-19: Cooum 川 計画高水位縦断計画.....	2-37
Table 2-20: Cooum 川 計画高水位縦断計画.....	2-39
Table 2-21: 基本的な対策の方向の比較 (Adyar を例として比較) 1	2-55
Table 2-22: 基本的な対策の方向の比較 (Adyar を例として比較) 2	2-56
Table 2-23: Adyar 川 流下能力算定表 (全区間 2 割勾配断面)	2-60
Table 2-24: Adyar 川 流下能力算定表 (2 割勾配断面: 緑ハッチ部は直壁断面)	2-60
Table 2-25: Cooum 川 流下能力算定表.....	2-62
Table 2-26: Kosasthalaiyar 川 流下能力算定表.....	2-62
Table 2-27: Redhill 川 流下能力算定表.....	2-62
Table 2-28: Adyar 川 計画縦断諸元表.....	2-68
Table 2-29: Adyar 川 河道拡幅による影響物件等.....	2-68
Table 2-30: 9.34k~12.08k 区間の流下能力不足対応案比較.....	2-70
Table 2-31: Cooum 川 計画縦断諸元表.....	2-75
Table 2-32: Cooum 川 河道拡幅による影響物件等.....	2-75
Table 2-33: Kosasthalaiyar 川 計画縦断諸元表.....	2-80

Table 2-34: Kosasthalaiyar 川 河道拡幅による影響物件等	2-81
Table 2-35: Tanks and Waterbodies Areas.....	2-101
Table 2-36: Somangalam Big Tank の基本諸元	2-103
Table 2-37: Somangalam Big Tank の写真(1)	2-104
Table 2-38: Somangalam Big Tank の写真(2)	2-105
Table 2-39: Adyar 川における既存タンク一覧 (50 タンク)	2-110
Table 2-40: Adyar 川のタンク改良による容量増加 (洪水調節容量)	2-111
Table 2-41: Cooum 川における既存タンク一覧 (31 タンク)	2-112
Table 2-42: Cooum 川のタンク改良による容量増加 (洪水調節容量)	2-113
Table 2-43: Kosasthalaiyar 川における既存タンク一覧 (112 タンク)	2-114
Table 2-44: Kosasthalaiyar 川のタンク改良による容量増加 (洪水調節容量)	2-115
Table 2-45: Kosasthalaiyar 川における新規タンク候補箇所一覧 (7 タンク) ...	2-116
Table 2-46: Kosasthalaiyar 川の新規タンクによる容量増加 (洪水調節容量) ..	2-117
Table 2-47: 3 流域の洪水調節容量のまとめ (Adyar, Cooum, Kosasthalaiyar) ...	2-117
Table 2-48: 既存タンクの改修割合とピーク流出量の関係 (Adyar 川)	2-118
Table 2-49: 既存タンクの改修割合とピーク流出量の関係 (Cooum 川)	2-118
Table 2-50: 既存タンクの改修割合とピーク流出量の関係 (Kosasthalaiyar 川)	2-118
Table 2-51: バイパストンネルルート比較表.....	2-148
Table 2-52: バイパストンネル概略諸元表.....	2-150
Table 2-53: Route1 でのトンネル内径と放流量の関係	2-150
Table 2-54: 各事業の建設費.....	2-156
Table 2-55: 各河川における概略拡幅幅.....	2-157
Table 2-56: 段階整備の流下能力評価 (Adyar 川)	2-161
Table 2-57: ネック区間に対する対応の方向.....	2-162
Table 2-58: 段階整備の流下能力評価 (Cooum 川)	2-164
Table 2-59: 段階整備の流下能力評価 (Kosasthalaiyar 川)	2-166
Table 2-60: 段階整備の流下能力評価 (Redhill 川)	2-167
Table 2-61: 対象地域の主なダムの諸元.....	2-169
Table 2-62: 様々なシナリオにおける事前放流のシミュレーション効果.....	2-171
Table 2-63: 洪水ハザードマップの利用・提供.....	2-174

Table 3-1: 河川および B 運河に接続する排水路	3-4
Table 3-2: GCC 内のタンクのリスト	3-7
Table 3-3: CPHEEO マニュアルに示された都市域における計画降雨の確率年	3-12
Table 3-4: 降雨確率年に関する基準、ガイドラインのまとめ	3-14
Table 3-5: NBC 流域に設置する遊水地の諸元	3-63
Table 3-6: 合理式によるピーク流量計算過程	3-69
Table 3-7: 洪水到達時間の計算過程	3-69
Table 3-8: 平均流速の計算過程	3-69
Table 3-9: CBC に架かる橋梁桁下高さ	3-76
Table 3-10: Adyar 川流域の接続水路の設計ピーク流量の算出	3-93
Table 3-11: Cooum 川流域の接続水路の設計ピーク流量の算出	3-94
Table 3-12: 計画流量と現況流下能力 (1)	3-122
Table 3-13: 計画流量と現況流下能力 (2)	3-123
Table 3-14: 改修が必要な水路のまとめ	3-125
Table 3-15: 水路の計画諸元のまとめ	3-141
Table 3-16: ゲートの諸元まとめ	3-143
Table 3-17: 対策のまとめ	3-145
Table 3-18: 再現確率と Pallikaranai 湿地周辺の浸水面積	3-152
Table 3-19: 治水対策のケースと水位低減効果	3-160
Table 3-20: 放水路幅と水位低減効果	3-162
Table 3-21: 放水路幅と事業費の関係	3-164
Table 3-22: 放水路幅と事業費の内訳	3-164
Table 3-23: Kovalam 流域の治水対策に必要な施設	3-166
Table 3-24: 土工および補償数量	3-172
Table 3-25: 水門構築数量	3-173
Table 3-26: ため池の改築数量	3-173
Table 3-27: 各対策の優先度評価	3-179
Table 3-28: プロジェクト実施案	3-180
Table 3-29: 積算数量 (a)NBC and connecting drains, CBC, (b)Adyar and Cooum ..	3-181
Table 3-30: 各流域の排水管の数とサイズ	3-188
Table 3-31: くぼ地の浸水容量 (単位: 百万立法メートル)	3-191
Table 3-32: Kodungaiyur 遊水地の越流水深と流量	3-195
Table 3-33: Kodungaiyur 遊水地の容量の計算 - 深さ毎の面積を求める	3-195
Table 3-34: Kodungaiyur 遊水地の容量の計算 - 深さ毎の容量を求める	3-196

Table 3-35: Captain Cotton 遊水地の越流水深と流量	3-199
Table 3-36: Captain Cotton 遊水地の容量の計算 - 深さ毎の面積を求める	3-200
Table 3-37: Kodungaiyur 遊水地の容量の計算 - 深さ毎の容量を求める	3-200
Table 3-38: Otteri Nulla 上流部遊水地の越流水深と流量	3-204
Table 3-39: Otteri Nulla 上流部遊水地の容量の計算 - 深さ毎の面積を求める ...	3-204
Table 3-40: Otteri Nulla 上流部遊水地の容量の計算 - 深さ毎の容量を求める ...	3-205
Table 3-41: Otteri Nulla 下流部遊水地の越流水深と流量	3-208
Table 3-42: Otteri Nulla 下流部遊水地の容量の計算 - 深さ毎の面積を求める ...	3-208
Table 3-43: Otteri Nulla 下流部遊水地の容量の計算 - 深さ毎の容量を求める ...	3-209
Table 3-44: NBC 遊水地の越流水深と流量	3-212
Table 3-45: NBC 遊水地の容量の計算 - 深さ毎の面積を求める	3-213
Table 3-46: NBC 遊水地の容量の計算 - 深さ毎の容量を求める	3-213
Table 3-47: 排水管等のリスト (太字は幅あるいは直径が 2m 以上のもの)	3-215

Table 4-1: CMA の 2006 年時点の土地利用	4-6
Table 4-2: CMA の 2026 年の土地利用計画	4-6
Table 4-3: 土地利用用途別の流出係数	4-18
Table 4-4: CMA 内の流出係数の変遷	4-18
Table 4-5: 土地利用用途の面積割合と雨水流出係数	4-19
Table 4-6: CMA 内 2026 年土地利用計画図で JICA MP を実施した場合の必要雨水貯留量	4-20
Table 4-7: 100 年確率洪水と 10 年確率洪水の洪水リスク	4-22
Table 4-8: 100 年確率洪水の氾濫危険区域、被災想定人口	4-22
Table 4-9: 洪水リスクの分類	4-23
Table 4-10: 第 3 次 MP に反映すべき 4 つの適応戦略	4-31
Table 4-11: 都市計画戦略とガイドライン	4-32
Table 4-12: 水域保全戦略と推奨ガイドライン	4-34
Table 4-13: 水路に関する保全地帯の一覧表	4-37
Table 4-14: 雨水流出抑制戦略と推奨ガイドライン	4-44
Table 4-15: 大規模施設の空地の貯留機能水深	4-46
Table 4-16: 雨水流出抑制戦略での雨水貯留容量	4-49
Table 4-17: 残余リスク管理戦略と推奨ガイドライン	4-50
Table 4-18: 100 年確率洪水氾濫危険区域の水深と土地利用・建築規制戦略の推奨ガイドライン	4-52
Table 4-19: 洪水リスクエリア管理・残余リスク管理の運用スケジュール	4-55
Table 4-20: MP での都市計画戦略と TNCDBR 関連条項への適応表	4-76
Table 4-21: 兵庫県総合治水条例の構成	4-82
Table 4-22: 2006 年時点の CMA 内の平均流出係数計算表	4-83
Table 4-23: 2026 年の将来土地利用計画図による CMA 内の平均流出係数計算表	4-83
Table 4-24: 2023 年時点の現状土地利用による平均流出係数計算表	4-84
Table 4-25: 2024 年時点の土地利用面積比率による雨水流出係数	4-85
Table 4-26: 第 2 次 MP2026 年の土地利用面積比率による雨水流出係数	4-85
Table 4-27: 雨水流出係数が 0.8 となる将来の土地利用面積比率の例	4-86
Table 4-28: Adyar 川流域 (CMA 内) の雨水貯留可能容量試算	4-87
Table 4-29: Kovalam 流域 (CMA 内) の雨水貯留可能容量試算	4-88
Table 4-30: Cooum 川流域 (CMA 内) の雨水貯留可能容量試算	4-89
Table 4-31: Kosasthalaiyar 川流域 (CMA 内) の雨水貯留可能容量試算	4-89

Table 5-1:海岸の侵食堆積傾向の定義.....	5-6
Table 5-2:海岸線の侵食・堆積傾向（1990-2016）	5-6
Table 5-3: 河口閉塞対策の概算コスト（Kosasthalaiyar 川）	5-12
Table 5-4: 既存の導流堤（Cooum 川河口部）	5-13
Table 5-5: 河口閉塞対策の概算コスト（Cooum 川）	5-15
Table 5-6: 既存の導流堤（Kovalam 河口部）	5-18
Table 5-7: 確率潮位偏差.....	5-34
Table 5-8: 確率波浪（水深 40m）	5-38
Table5-9: 波浪変形計算手法の比較.....	5-43
Table 5-10: 沖波波浪（月別エネルギー平均波）	5-44
Table 5-11: 波浪変形計算入力条件	5-45
Table 5-12: 計算結果（各河川の河口における波浪）	5-45
Table 5-13: 計算結果（各河川の河口における波浪）	5-48
Table 5-14: 計算領域及び格子サイズ.....	5-49
Table 5-15: 各対策案の堆積量の比較.....	5-60
Table 5-16: 各対策案の堆積量の比較.....	5-65
Table 5-17: 各対策案の堆積量の比較.....	5-70
Table 5-18: 各対策案の対策費用の比較（参考）	5-71
Table 5-19: 各対策案の堆積量の比較.....	5-76
Table 5-20: 各対策案の対策費用の比較.....	5-77
Table 5-21: Case2 の費用.....	5-78

Table 6-1: チェンナイにおける過去の大規模洪水の概要	6-8
Table 6-2: 調査地域の主要な既往洪水	6-9
Table 6-3: 調査地域における 2015 年の洪水で観測された降雨量	6-11
Table 6-4: 2015 年の洪水時に対象流域および管理地域で観測された降雨量	6-11
Table 6-5: 主要交通網の浸水期間	6-14
Table 6-6: 現状と改善に向けた提案（洪水前）	6-23
Table 6-7: 現状と改善に向けた提案（洪水中および洪水後）	6-24
Table 6-8: 洪水ハザードマップの利用と配布に関する提案	6-33

Table 7-1: 主な労務費単価.....	7-4
Table 7-2: 主な材料費単価.....	7-4
Table 7-3: 事業費を構成する各費用の積算方法.....	7-5
Table 7-4: Comprehensive Flood Management (TNPWD) の積算事例.....	7-7
Table 7-5: 日本の積算事例 (参考)	7-7
Table 7-6: 河川洪水対策.....	7-8
Table 7-7: 都市洪水対策.....	7-8
Table 7-8: 海岸・河口対策.....	7-9
Table 7-9: 各護岸工の適用箇所.....	7-11
Table 7-10: 河川拡幅の施工数量.....	7-12
Table 7-11: 河川拡幅の建設・調達費.....	7-13
Table 7-12: タンク改良の施工数量.....	7-15
Table 7-13: 放水路とゲートの大きさ.....	7-15
Table 7-14: タンク改良の建設・調達費.....	7-20
Table 7-15: 地下バイパストンネルの建設・調達費.....	7-21
Table 7-16: タンク (都市部) 掘削数量.....	7-23
Table 7-17: 既設タンク改良の建設・調達費.....	7-24
Table 7-18: 水路 (都市部) 数量.....	7-27
Table 7-19: 水路の改良 (都市部) の建設・調達費.....	7-28
Table 7-20: ゲート・ポンプの一覧.....	7-29
Table 7-21: ゲート・ポンプの建設・調達費.....	7-32
Table 7-22: 放水路の数量.....	7-34
Table 7-23: 放水路の建設・調達費.....	7-34
Table 7-24: 海岸、河口対策主要工事数量.....	7-35
Table 7-25: 海岸、河口対策の建設・調達費.....	7-36
Table 7-26: 維持管理費用 (年間)	7-36
Table 7-27: 維持管理費 (2) の内訳 (年間)	7-37
Table 7-28: 概算事業費.....	7-38
Table 7-29: 年別事業費計画.....	7-40
Table 7-30: 対象地域の各行政区分および各水系の人口.....	7-42
Table 7-31: 対象地域の各行政区分および各水系の GDP	7-43
Table 7-32: 対象地域の各行政区分および各水系の土地利用種別面積.....	7-45
Table 7-33: 対象地域における各公共施設 (社会インフラ) の総延長.....	7-47
Table 7-34: 直接被害の対象被害項目 (資産項目)	7-54
Table 7-35: 間接被害の対象被害項目 (資産項目)	7-55
Table 7-36: 本プロジェクトにおける直接被害の対象資産の算出方法.....	7-56
Table 7-37: 本プロジェクトにおける間接被害の対象資産の算出方法.....	7-57
Table 7-38: 被害率の設定.....	7-58

Table 7-39: 2015 年 12 月洪水時の総被害額（一般資産：家計・産業・農業セクター）（千万 INR）	7-59
Table 7-40: 2015 年 12 月洪水時の総被害額（公共施設等被害）（千万 INR）.....	7-60
Table 7-41: 2015 年 12 月洪水による家計セクター資産の浸水深別被害面積（km ² ）.....	7-61
Table 7-42: 2015 年 12 月洪水による製造業セクター資産の浸水深別被害面積（km ² ）.....	7-61
Table 7-43: 2015 年 12 月洪水による商業セクター資産の浸水深別被害面積（km ² ）.....	7-62
Table 7-44: 2015 年 12 月洪水による農業セクター資産の浸水深別被害面積（km ² ）.....	7-62
Table 7-45: 2015 年 12 月洪水による浸水深別被害道路延長（km）.....	7-63
Table 7-46: 2015 年 12 月洪水による浸水深別被害鉄道延長（km）.....	7-63
Table 7-47: 2015 年 12 月洪水による浸水深別被害上水道システム延長（km）.....	7-64
Table 7-48: 2015 年 12 月洪水による浸水深別被害変電設備（unit）.....	7-65
Table 7-49: 2015 年 12 月洪水による浸水深別被害開閉器（unit）.....	7-65
Table 7-50: 2015 年 12 月洪水による浸水深別被害配電変圧器（unit）.....	7-66
Table 7-51: 2015 年 12 月洪水による浸水深別被害高圧電線（HT）延長（km）.....	7-66
Table 7-52: 2015 年 12 月洪水による浸水深別被害低圧電線（LT）延長（km）.....	7-66
Table 7-53: 2015 年 12 月洪水による公共施設等の資産の浸水深別被害面積（km ² ）.....	7-67
Table 7-54: デフレーターの設定.....	7-68
Table 7-55: 被害項目別の原単位の推定（千万 INR /km ² or km or unit）.....	7-69
Table 7-56: インドの 10 年国債の利率の推移.....	7-71
Table 7-57: 4 流域（Adyar・Cooum・Kovalam・Kosasthalaiyar）における年平均被害軽減期待額 算出表（千万 INR）.....	7-71
Table 7-58: 標準変換係数（SCF）の推定.....	7-74
Table 7-59: 洪水対策事業の各経済指標の結果.....	7-76
Table 7-60: CMA エリアにおける年超過確率別の浸水区域内人口（人）.....	7-78
Table 7-61: CMA エリアにおける年超過確率別の浸水鉄道延長（km）.....	7-80
Table 7-62: CMA エリアにおける年超過確率別の浸水道路延長（km）.....	7-80
Table 7-63: 12 時間間隔浸水時間別の浸水道路・高速道路延長（km）.....	7-81
Table 7-64: CMA エリアにおける年超過確率別の浸水による電力（低圧電力）の停止による影響 人口（人）.....	7-83
Table 7-65: CMA エリアにおける年超過確率別の浸水による電力（高圧電力）の停止による影響 事業所数（軒）.....	7-84
Table 7-66: 12 時間間隔浸水時間別の浸水が想定される開閉器（unit）.....	7-86
Table 7-67: 過去 10 年間（2015～2024 年）の洪水によるチェンナイ空港閉鎖の詳細.....	7-87
Table 7-68: 運搬距離に応じた運搬単価（INR）.....	7-89
Table 7-69: 架け替える橋梁一覧 架け替える橋梁一覧.....	7-90
Table 7-70: 河川拡幅に関するその他工種の単価.....	7-91
Table 7-71: SOR に示された掘削単価.....	7-93
Table 7-72: SOR に示された単価を修正する条件.....	7-94
Table 7-73: SOR に示された埋戻し単価.....	7-94

Table 7-74: コンクリート壁構造の単価.....	7-94
Table 7-75: Cut & Cover の計画の抜粋.....	7-96
Table 7-76: (B)設備工事費（設備工事対象：除塵機）.....	7-97
Table 7-77: 工事概要.....	7-99
Table 7-78: 放水路の施工数量.....	7-102
Table 7-79: 準備費（用地取得費と補償費）.....	7-105
Table 7-80: 河川拡幅にかかる準備費（Adyar 川）.....	7-106
Table 7-81: 河川拡幅にかかる準備費（Cooum 川）.....	7-106
Table 7-82: 河川拡幅にかかる準備費（Kosasthalaiyar 川）.....	7-107
Table 7-83: タンク改良にかかる準備費（Adyar 川）.....	7-108
Table 7-84: タンク改良にかかる準備費（Cooum 川）.....	7-108
Table 7-85: タンク改良にかかる準備費（Kosasthalaiyar 川：既設）.....	7-109
Table 7-86: タンク新設にかかる準備費（Kosasthalaiyar 川：新設）.....	7-109
Table 7-87: 地下バイパストンネルにかかる準備費.....	7-110
Table 7-88: タンク（都市部）新設にかかる準備費.....	7-111
Table 7-89: ゲート・ポンプの整備にかかる準備費.....	7-112
Table 7-90: 放水路の整備にかかる準備費.....	7-113
Table 7-91: Phase1 の経済費用及び経済便益のキャッシュフロー.....	7-114
Table 7-92: Phase2 の経済費用及び経済便益のキャッシュフロー.....	7-115
Table 7-93: 残事業（Phase2-1）の経済費用及び経済便益のキャッシュフロー.....	7-116

Table 8-1: 環境配慮に関連する法制度.....	8-4
Table 8-2: 社会配慮に関連する法制度.....	8-5
Table 8-3: 社会的セーフガードに関する法制度.....	8-6
Table 8-4: 国家大気環境基準.....	8-9
Table 8-5: 国家水質基準（産業冷却、レクリエーション（非接触）、美観用）.....	8-10
Table 8-6: 国家騒音基準.....	8-10
Table 8-7: 底質土の目標値と土壌浄化介入値（mg/kg 乾燥土）.....	8-10
Table 8-8: CRZ の分類.....	8-11
Table 8-9: Tamil Nadu 州環境・気候変動・森林局の戦略.....	8-19
Table 8-10: チェンナイにおける環境活動に関連した進行中のプロジェクト.....	8-20
Table 8-11: スコーピング分析（P: 計画段階, C: 施工段階, O: 供用段階）.....	8-21
Table 8-12: 代表的な環境問題と関連する状況.....	8-26
Table 8-13: 潜在的な負の影響と正の影響のまとめ.....	8-27
Table 8-14: プロジェクトを実施しない場合の影響の概要.....	8-28
Table 8-15: 大気質調査地点（一般ベースライン）.....	8-37
Table 8-16: 大気質調査の基本条件（2023年4月24日）（一般ベースライン）.....	8-38
Table 8-17: 大気質調査（一般ベースライン）の調査結果.....	8-39
Table 8-18: 水質調査の調査地点（一般ベースライン）.....	8-40
Table 8-19: 水質調査結果（一般ベースライン）.....	8-43
Table 8-20: 騒音・振動調査地点（一般ベースライン）.....	8-45
Table 8-21: 騒音・振動調査の結果（一般ベースライン）.....	8-46
Table 8-22: 土砂の土質調査地点（一般ベースライン）.....	8-47
Table 8-23: 底質土壌調査結果（一般ベースライン）.....	8-49
Table 8-24: 標準土壌分類.....	8-50
Table 8-25: 水質・底質土壌調査地点（対象タンク）.....	8-51
Table 8-26: 水質調査結果（タンク）.....	8-52
Table 8-27: 底質土壌の調査結果（対象タンク）.....	8-54
Table 8-28: チェンナイ及び周辺地域における植物相の絶滅危惧種及び準絶滅危惧種	8-56
Table 8-29: チェンナイ及び周辺地域における動物相の絶滅危惧種及び準絶滅危惧種	8-61
Table 8-30: チェンナイ都市圏の保護地域.....	8-62
Table 8-31: チェンナイ都市圏における優先湿地と生物多様性.....	8-62
Table 8-32: 主要都市を含む Tamil Nadu 州および隣接州・県の総 GDP（単位：₹Lakh）	8-71
Table 8-33: 主要作物の面積生産量と生産性.....	8-73
Table 8-34: インド南部地域における稲作の季節.....	8-73
Table 8-35: チェンナイおよびチェンナイ都市圏の成人識字率（2011年）.....	8-75

Table 8-36: CMA の建物遺産リスト	8-80
Table 8-37: 環境影響評価の対象となる CFCMP の主な優先対策.....	8-85
Table 8-38: 水質汚染を引き起こす可能性のある洪水対策.....	8-86
Table 8-39: 生物多様性/生態系に悪影響を及ぼす可能性のある洪水対策.....	8-87
Table 8-40: 非自発的住民移転が必要となる可能性のある洪水対策.....	8-88
Table 8-41: 地域資源の劣化を招く可能性のある洪水対策.....	8-89
Table 8-42: 河川洪水対策 (Adyar 川流域の改善 A1) の実施に関する環境影響評価の概要	8-90
Table 8-43: 河川洪水対策 (Cooum 川流域の改善 A2) の実施に関する環境影響評価の概要	8-93
Table 8-44: 河川洪水対策 (Kosasthalaiyar 川流域の改善 A3) の実施に関する環境影響評 価の概要	8-95
Table 8-45: 河川洪水対策 (Kovalam 流域の改善 A4) の実施に関する環境影響評価の概要	8-98
Table 8-46: 河川洪水対策 (Kovalam を含む全流域の改善 A5) の実施に関する環境影響評 価の概要	8-100
Table 8-47: 都市洪水対策 (北 Buckingham 運河 (NBC) の改善 B1) の実施に関する環境影 響評価の概要	8-103
Table 8-48: 都市洪水対策 (中央 Buckingham 運河 (CBC) の改善 B2) の実施に関する環境 影響評価の概要	8-106
Table 8-49: 都市洪水対策 (南 Buckingham 運河 (SBC) の改善 B3) の実施に関する環境影 響評価の概要	8-108
Table 8-50: 都市洪水対策 (接続排水路の改善 B4) の実施に関する環境影響評価の概要	8-111
Table 8-51: 海岸洪水対策 C の実施に関する環境影響評価の概要	8-114
Table 8-52: 代替案分析の総括.....	8-117
Table 8-53: 対策カテゴリーの特徴.....	8-118
Table 8-54: 代替分析(1) (評価: 1←負の評価 正の評価→5).....	8-120
Table 8-55: 代替分析(2) (評価: 1←負の評価 正の評価→5).....	8-121
Table 8-56: 代替分析(3) (評価: 1←負の評価 正の評価→5).....	8-122
Table 8-57: 代替分析(4) (評価: 1←負の評価 正の評価→5).....	8-123
Table 8-58: 緩和策の概要.....	8-125
Table 8-59: SHCM (スコーピング段階) の概要.....	8-132
Table 8-60: SHCM 参加者からの主なフィードバック	8-133
Table 8-61: Profiles of the SHCM in Draft Final Stage.....	8-135
Table 8-62: SHCM 参加者からの主なフィードバック	8-136

Table 8-63: 計画／建設段階におけるモニタリング活動の概要.....	8-141
Table 8-64: 供用段階におけるモニタリング活動の概要.....	8-143

Table 9-1: プロジェクト・コンポーネント.....	9-1
Table 9-2: 被害額、流域面積当たりの被害額順位.....	9-4
Table 9-3: 流域別の優先順位.....	9-6
Table 9-4: 各河川における概略拡幅幅.....	9-8
Table 9-5: 事業スケジュール案.....	9-13
Table 9-6: 1/100 規模での浸水範囲軽減効果.....	9-17
Table 9-7: 1/100 規模での浸水範囲軽減効果.....	9-20
Table 9-8: 1/100 規模での浸水範囲軽減効果.....	9-24
Table 9-9: 河道整備及びダム改良における事業費.....	9-25
Table 9-10: バイパストンネル概略諸元表.....	9-29
Table 9-11: Route1 でのトンネル内径と放流量の関係.....	9-29

1章 マスタープランの調査対象及び調査流域

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

洪水対策マスタープランは、構造物対策および非構造物対策を含む広範な対策を統合することによって、洪水災害に対処するためにデザインされた包括的なロードマップである。実施可能性調査 (F/S) や詳細設計 (D/D) が特定のプロジェクトの実施可能性の評価や計画に重点を置くのに対し、マスタープランは長期的で包括的な展望を提示する。通常は、洪水リスクを踏まえた包括的対策を提示し、相互に関連する複数の対策を示し、目標とする治水安全度を達成するための段階的实施計画を策定する。

問題の一部分のみに対処する散発的な対策や個別のプロジェクトとは異なり、マスタープランは包括的かつ統合的なアプローチをとる。流域の上下流の相互関係を考慮するとともに、河川洪水（河川氾濫によって引き起こされる洪水）と都市洪水（都市部の排水能力の限界による洪水）の相互作用を考慮し、両者に包括的に対処するものであり、都市化した流域ではマスタープランは特に重要である。

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は、河川洪水対策（第2章）、都市洪水対策（第3章）、都市計画および残存リスク削減（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）、優先施策と実施計画（第9章）の検討成果から構成される。また、チェンナイ第3次都市開発マスタープランにも寄与するものでもある。これらの構成要素を統合することで、この計画は、持続可能かつ協調的な方法で洪水リスクを軽減し、レジリエンス強化することを目的としている。

治水マスタープランの実施には、政府機関、地域社会、技術専門家を含む利害関係者間の協力が必要である。また、望ましい治水安全度とレジリエンス強化を達成するためには多大な時間と労力がかかるため、長期的な取り組みが求められる。計画の有効性と妥当性を確保するためには、定期的なモニタリングと再検討が不可欠である。例えば、年1回の関係者会議を開催して進捗状況の把握と課題への対応を行い、5年毎に包括的レビューを実施して変化する状況や情勢に基づく実施計画に必要な評価と見直しを行う、等の方策が考えられる。

前言の通り、マスタープランは、特定のプロジェクトの実現可能性調査や詳細設計ではない。また、洪水対策の単一側面に限定されるものでなく、洪水被害軽減の多面的な側面を考慮する、広範で戦略的な枠組みである。このような統合的なアプローチを採用することにより、マスタープランは、洪水リスクが持続的かつ包括的に管理されることを保証し、洪水リスクの高い地域の被害軽減、レジリエンス強化を長期的に達成するための明確な道筋を提示する。

1.2 チェンナイの都市化流域

Table 1-1 は、調査対象地域に含まれる 4 河川流域と主要な行政界等を示している。4 流域を合わせた面積は 6,153 km² である。しかし、Kosasthalaiyar 流域の一部は Andhra Pradesh 州内にあるため本調査の対象外としており、Tamil Nadu 州内の 4 流域の総面積は 5,102 km² となる。さらに、782 km² 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 km² 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 km² 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 川の間の中中央 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 1189km² 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 5904km² 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。

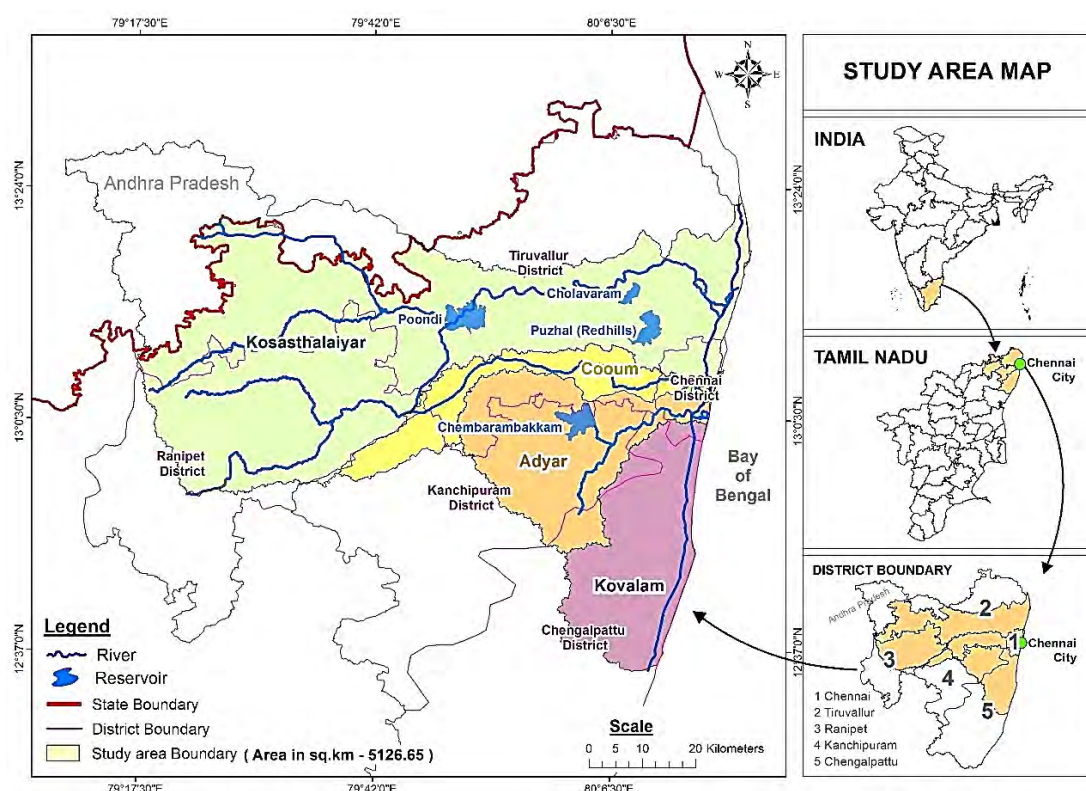
チェンナイの 4 つの主要なダムおよび貯水池は、Poondi 貯水池 (Kosasthalaiyar 流域)、Chembarambakkam 貯水池 (Adyar 流域)、Red Hills 貯水池 (Kosasthalaiyar 流域)、Cholavaram 湖 (Kosasthalaiyar 流域) である。Figure 1-1 は、主要 4 流域、河川、ダム、その他の関連する行政境界を示している。

「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: 調査地域の諸元

Basin/Admin	Area (km ²)	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

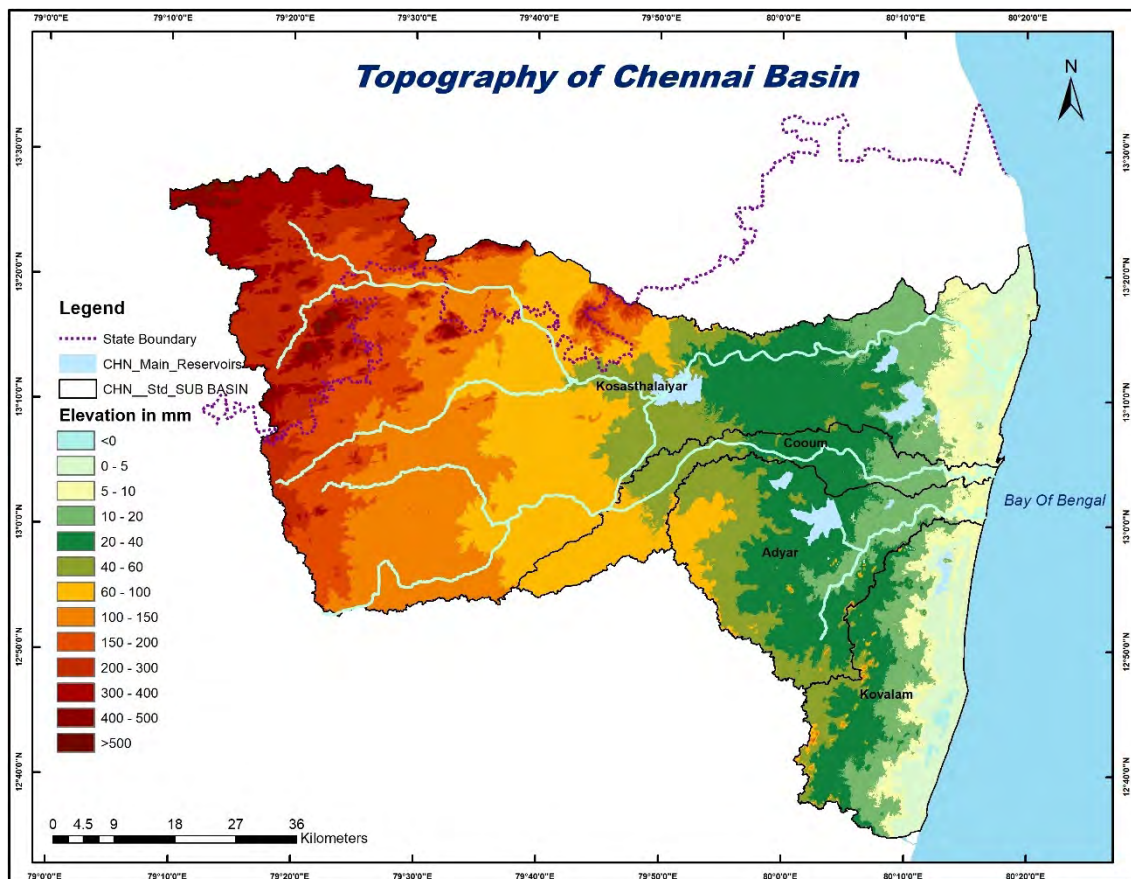


出典: JICA Expert Team

Figure 1-1: 対象流域と行政区域

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こりやすい。Adyar 流域、Cooum 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 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。



出典: JICA Expert Team

Figure 1-2: 調査地域地形図

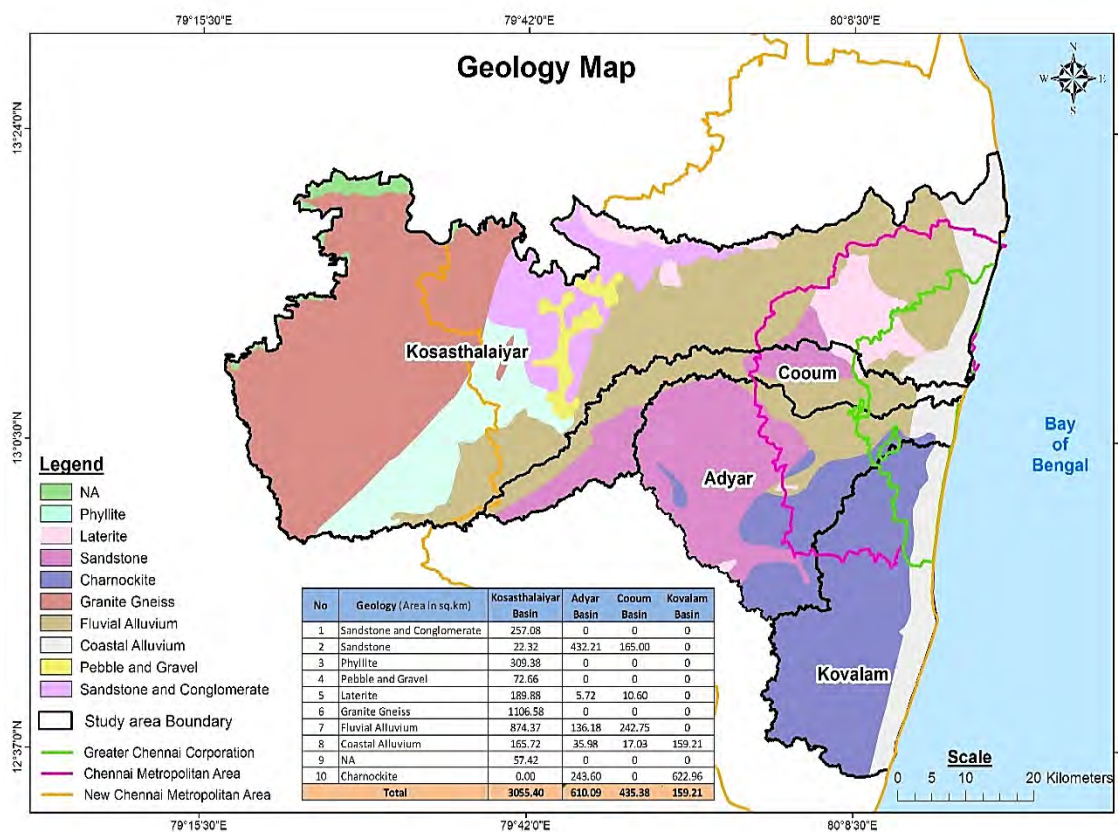
Table 1-2: 調査流域の地形的諸元

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

1.3.1 調査地域の地質と土壌

Figure 1-3 に示すように、チェンナイ流域の地質は多様で、異なる年代の堆積層と岩層から構成されている。流域の約 60%は堆積層で占められ、残りの 40%は岩層で構成されている。流域で見られる岩石は、沖積堆積物を含め、古生代から原生代、ジュラ紀、白亜紀、第三紀、第四紀まで多岐にわたる。流域の主な土壌は、初期土壌、アルフィソル（成熟した肥沃な土壌）、エンティソル（未発達土壌）、ヴェルティソル（縮膨土壌）などである。これらの土質は、母岩の風化の程度が異なるため、しばしば複合的に見られる。GCC 地域は、その地質に基づいて、砂質地域、粘土質地域、硬岩地域の 3つの地域に分類される。砂質地域は川岸や沿岸部に位置し、雨水が速やかに浸透する。粘土質地域は市の大部分を占めており、雨水はゆっくりと浸透するが、土壌に長く保持される。硬岩地域は、Guindy、Velachery、Adambakkam、Saidapet の一部などの特定の地域に見られる。



出典: JICA Expert Team using - ADB study data

Figure 1-3: チェンナイ流域の地形図

1.4 社会経済の概要

1.4.1 人口

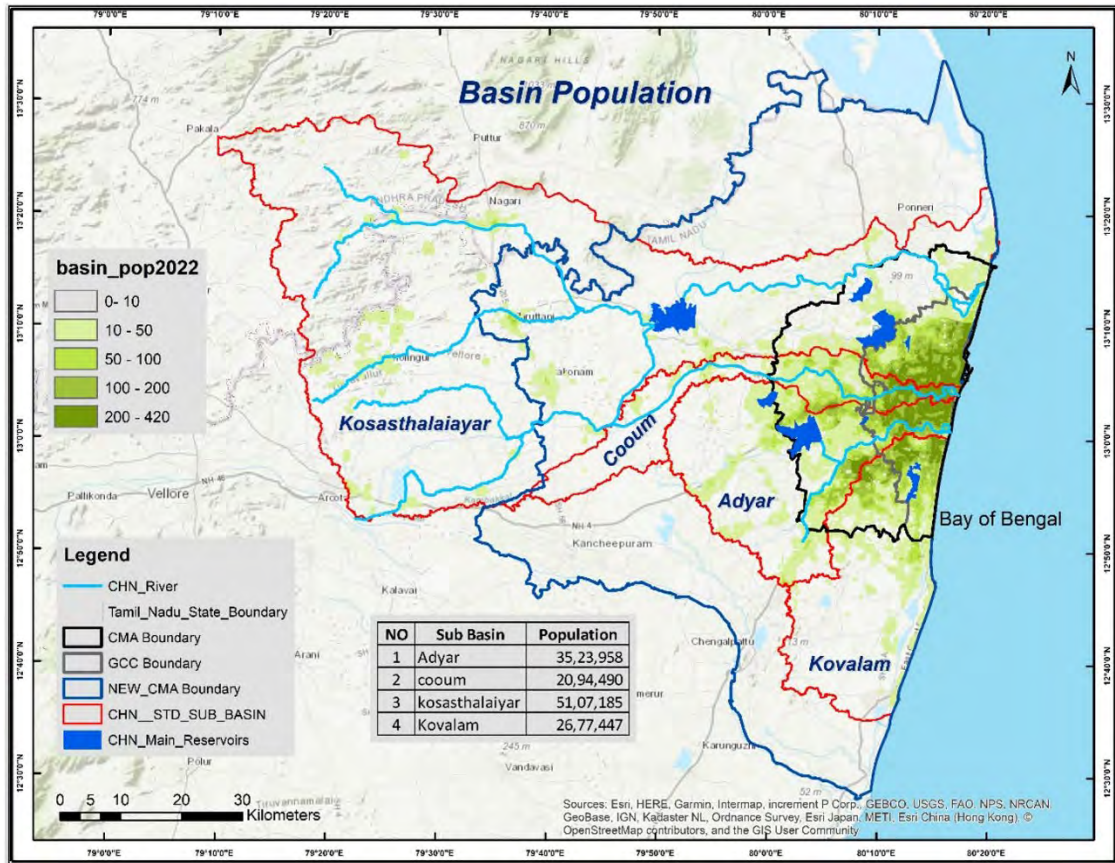
Tamil Nadu 州の州都であるチェンナイは、インドで4番目に大きな都市である。チェンナイ都市圏（CMA）は、チェンナイ市と8つの市町村などから構成されている。各行政区域と流域の推計人口を Table 1-3 に示す。

Table 1-3: 推定人口（2022年）

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
Total Four Basins	13,404,000

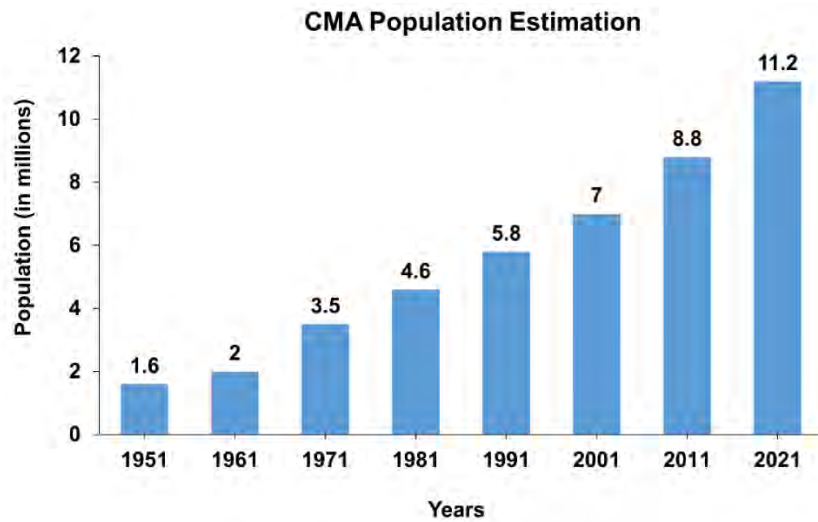
出典: JICA Expert Team using various statistical information and projections

2001年の国勢調査によると、CMAの人口はTamil Nadu州の人口の11.28%を占める。しかし、CMA全体の面積は、Tamil Nadu州全体の面積（0.914%）の1%にも満たない。Figure 1-5は、CMAが過去80年間、急速に人口が増加してきたことを示している。2026年のCMA第2次マスタープランでは、CMAの人口は2021年に1,120万人、2026年には1,250万人に達すると予測されている。さらに、CMAの拡大に伴い、新CMAは、産業活動、教育拠点、医療施設としてさらに人口が増加すると予想されている。



出典: JICA Expert Team based on Esri Data

Figure 1-4: 人口分布



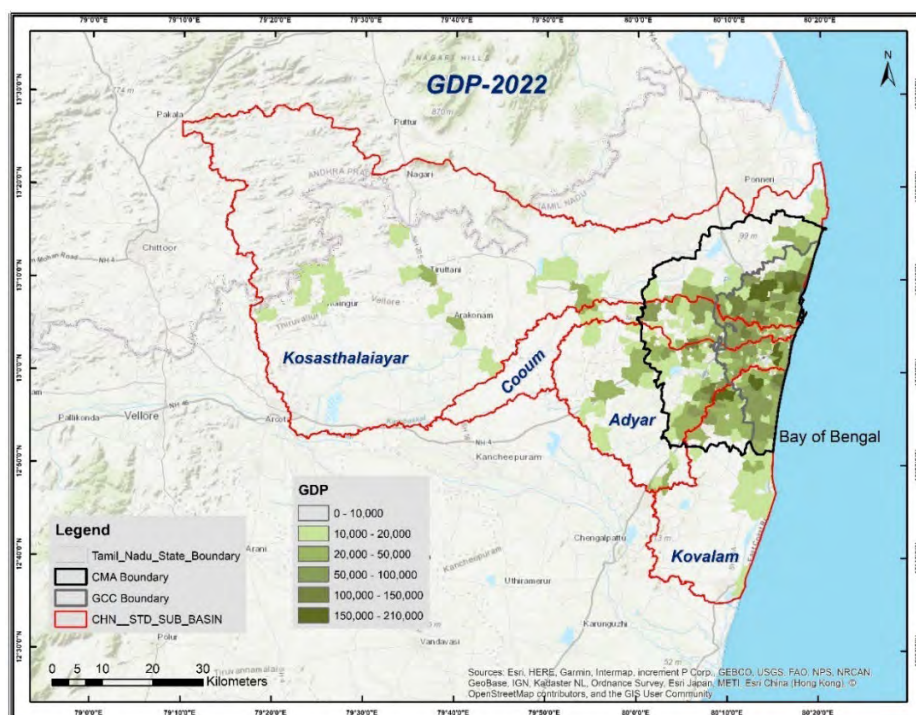
出典: JICA Expert Team based on the population projection -2nd master plan

Figure 1-5: 推定人口増加

1.4.2 州別国内総生産(GSDP)

2022年度のTamil Nadu州の地域GDPは3,203億米ドルであり、過去8年間の年間平均成長率(CAGR)は11.27%であった¹。これはインド全体のGDPの8.8%に相当し、Maharashtra州に次いで2番目に大きい。2018年のCMAの一人当たりの所得は1,764ドルで、全国平均より31%高い²。

Figure 1-7は調査地域のGDP分布を示す。チェンナイ経済の主要部門は、漁業、観光、製造・加工、銀行、輸出、ITである。南インドの産業の中心地でもあるチェンナイ都市圏(CMA)のGDPは2190億ドルである。

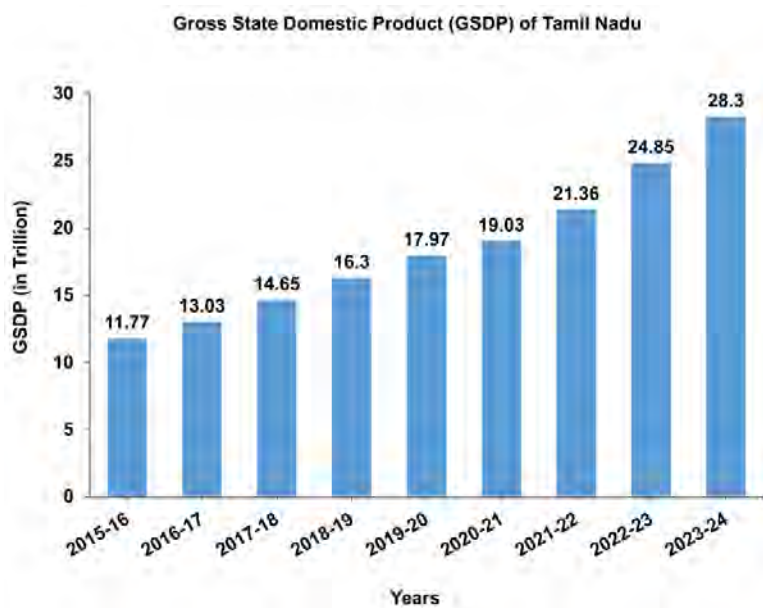


出典: JICA Expert Team based on Esri Data

Figure 1-6: GDP 分布

¹ <https://www.msmetamilnadu.tn.gov.in/why-tamilnadu.php>

² <https://www.cgijaffna.gov.in/uploads/pdf/Presentation-on-tamil-nadu-1.pdf>



出典: JICA Expert Team based on IBEF, Tamil Nadu and PRS Legislative Research

Figure 1-7: Tamil Nadu 州国内総生産(GSDP)

1.4.3 都市の交通とアクセスの容易性

Table 1-4 は、道路網の総延長 2,780km について、河川流域ごとの交通網延長を示している。道路も鉄道も、交通網は都市の中心部を起点とする放射・環状ネットワークを形成するように整備されている。

Table 1-4: 各流域の道路・鉄道網

Transportation Type	Length in km			
	Adyar	Cooum	Kovalam	Kosasthalaiyar
Road				
National Highway	80.86	46.65	8.97	121.04
State Highway	25.97	0.00	128.29	17.67
Outer ring road	19.36	10.38	0.00	30.47
Inner ring road	6.40	4.55	5.40	15.06
Chennai Peripheral Ring Road	29.32	5.58	29.29	46.79
Railway				
Railway network	38.08	41.55	17.88	166.15
Metro rail	58.24	31.36	43.45	40.75

出典: JICA Expert Team using various statistical information and projection

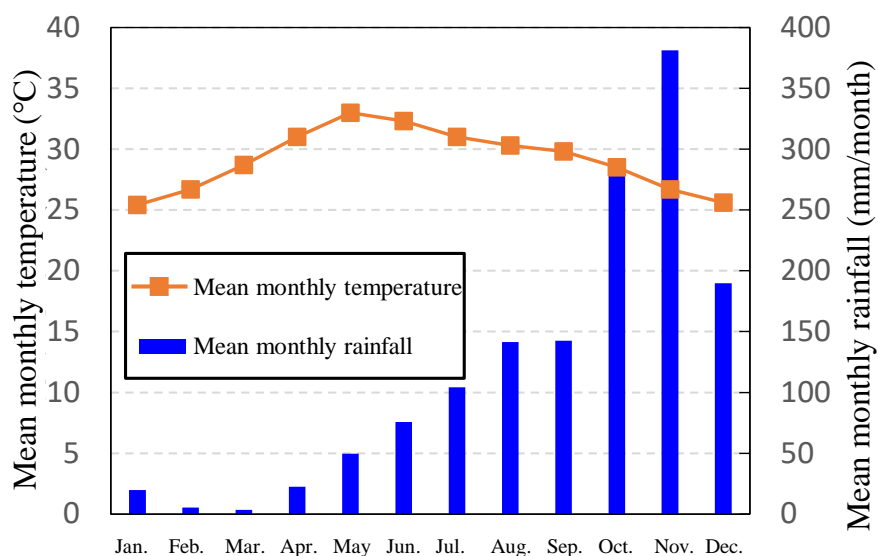
放射状道路に加え、内環状道路 (Inner Ring Road, IRR) が、放射状道路の相互接続の役割を果たしている。加えて交通渋滞を緩和するため、チェンナイ都市圏 (CMA) には、チェンナイ地下鉄 (フェーズ I)、都市交通公社 (MTC) のバス、郊外鉄道システム、大量高速輸送システム (MRTS) 等がある。

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

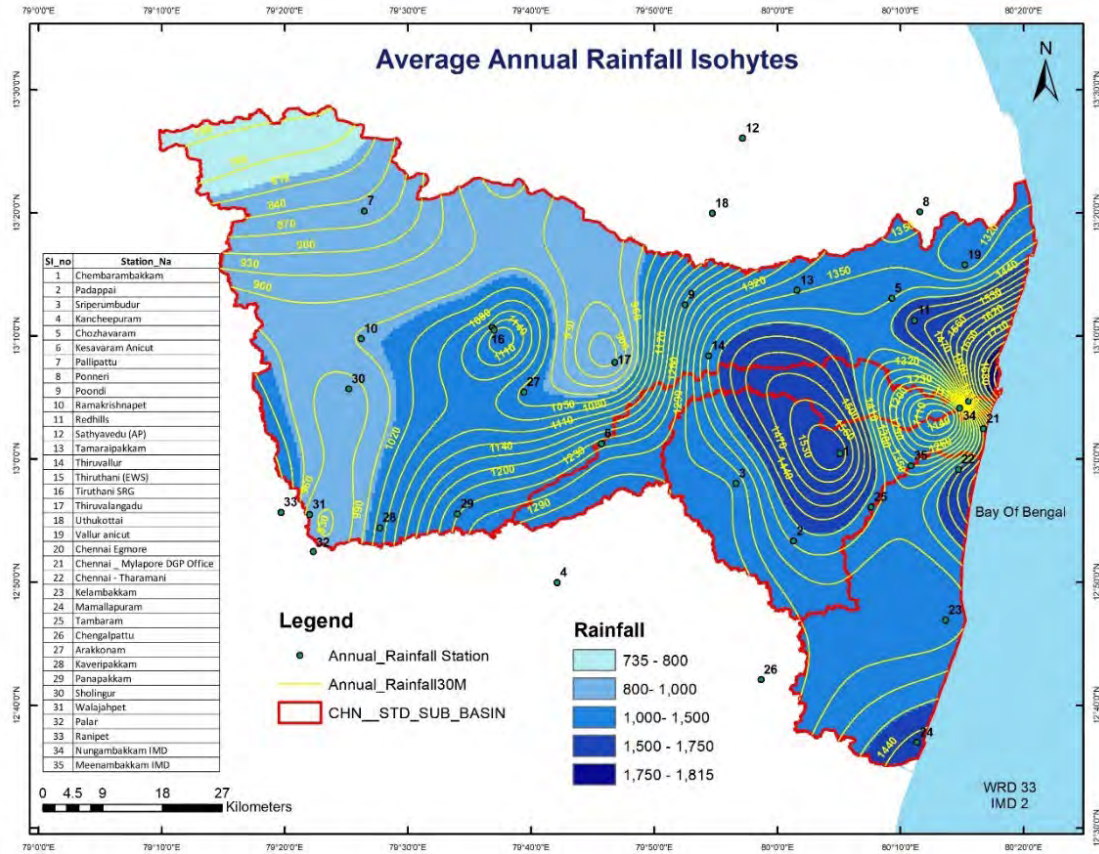
インドの南東沿岸に位置するチェンナイは、ベンガル湾の影響を受けた熱帯気候に属する。雨季は通常10～12月で、11月が最も雨が多く、Figure 1-8に示す通り雨季の降雨が年間降水量の大部分を占める。

各流域の長期(30年間)平均年間降水量は、Adyar流域が1,333.0 mm、Cooum流域が1,281.6 mm、Kovalamが流域1,302.0 mm、Kosasthalaiyar流域が1,037.7 mmである。Figure 1-9は、1991年から2021年までの年平均降水量の等値線である。ベンガル湾に近い地域、Adyar流域(Chembarambakkamダム)とCooum流域の中央部では降雨量が多い。Kosasthalaiyar流域では、Poondiダム上流域は下流域に比べて降水量が非常に少ない



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

Figure 1-8: 主要都市の月平均降水量と月平均気温

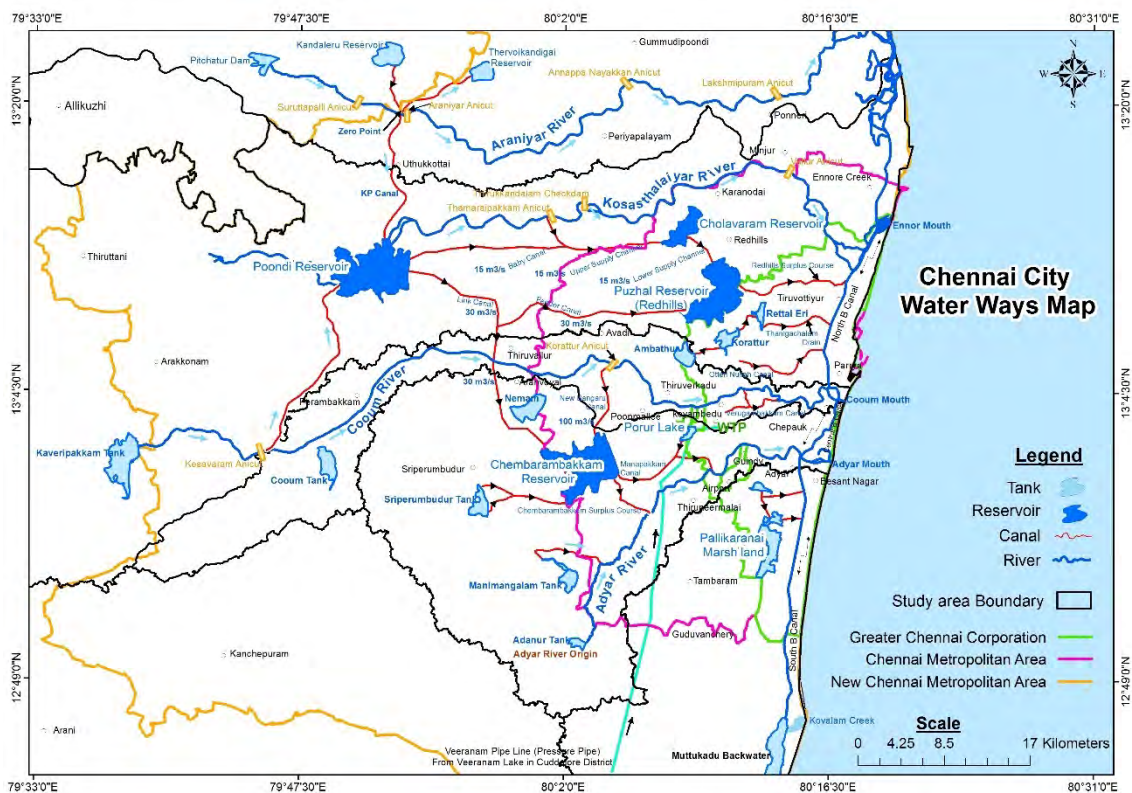


出典:JICA Expert Team using WRD and IMD Stations

Figure 1-9: 年平均降水量 (1991年~2021年)

1.5.2 水域と排水システム

調査地域の主要河川、自然に形成された水路、人工水路、排水システムが複雑に絡み合っている。Figure 1-10 は、調査地域の主要河川、運河、排水システム、ダム、水域とタンク（小規模な池沼・ため池等の呼称）の概要を示している。



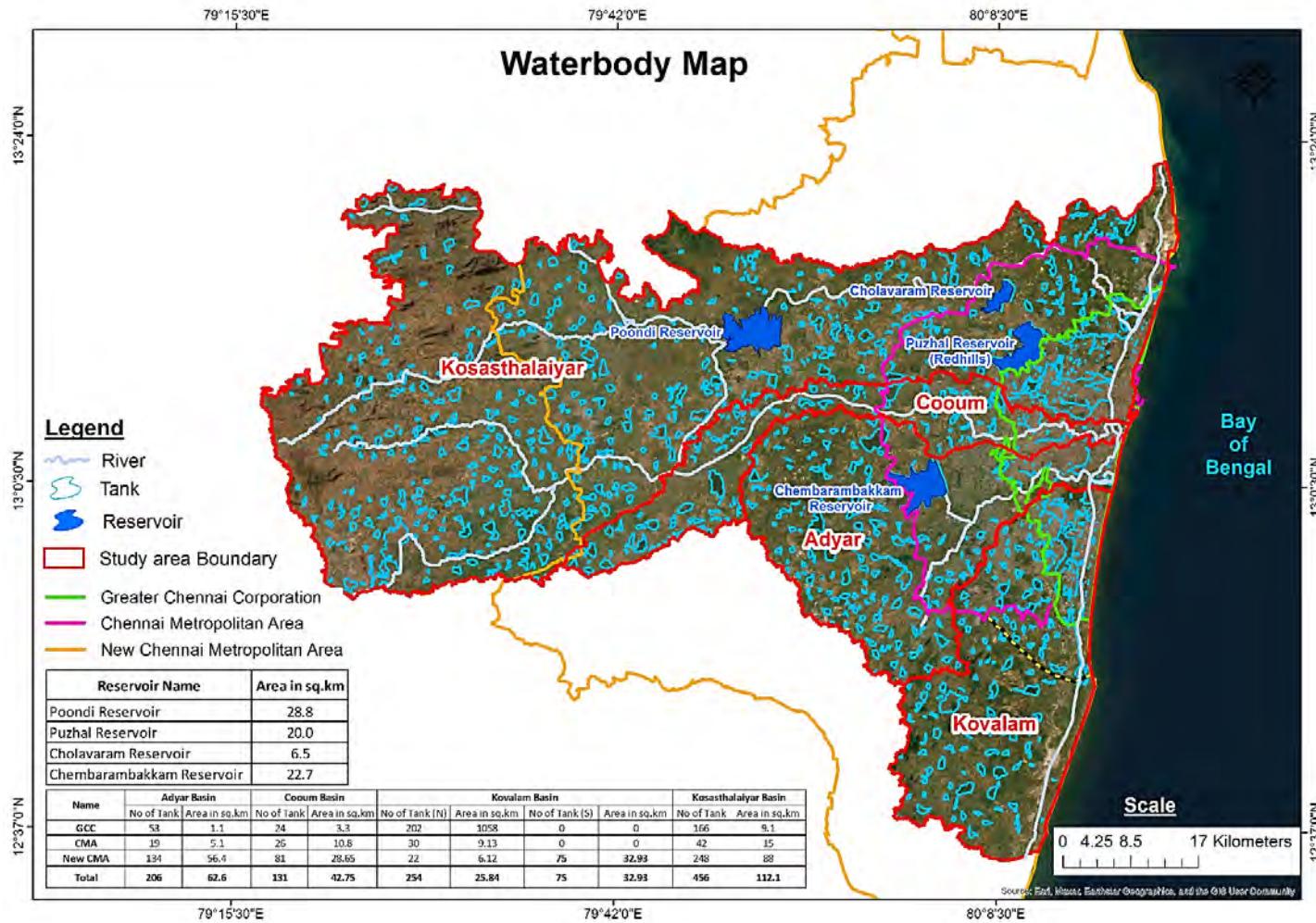
出典: JICA Expert Team using WRD and IMD Stations

Figure 1-10: 流域内のインフラと水路の特徴

チェンナイにはさまざまな水域、湖、タンクがあり、地域の水資源と環境バランスに大きく貢献している。かつて街の景観を彩っていた、「Ery」と呼ばれる伝統的な水域やタンクがあった。都市化の拡大、水域への浸食の結果、数多くの Ery が住宅地や商業地に姿を変え、消滅または劣化した。この変貌は、チェンナイの水収支に深刻な影響を及ぼし、洪水に対する脆弱性の増大などの問題を引き起こした。Figure 1-11 は、TNWRD から収集した情報に基づき、現地ではタンクと呼ばれる残された水域の位置とその他の水域を示している。

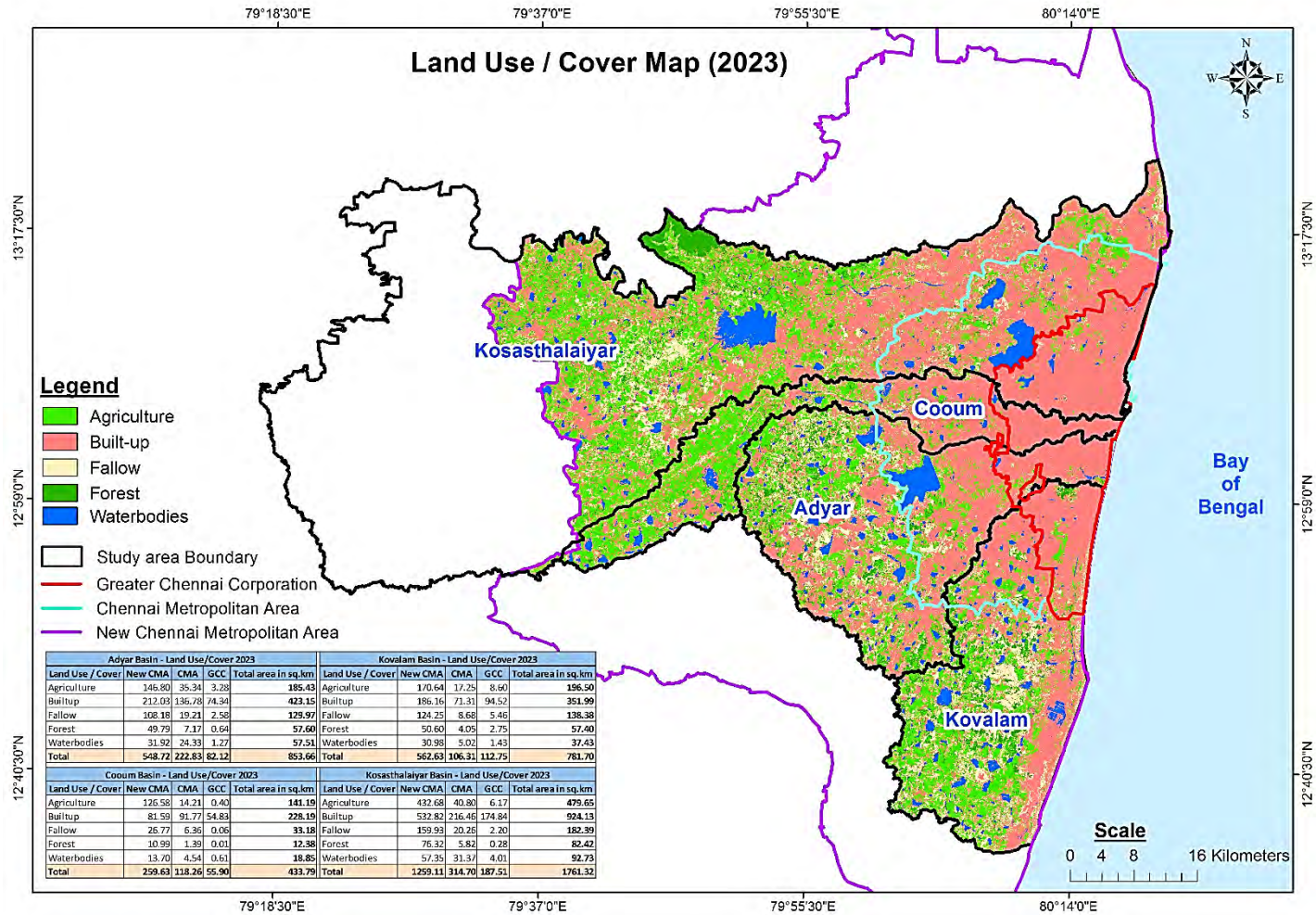
1.5.3 土地利用・土地被覆 (LULC) と重要インフラ

Figure 1-12 は、2023 年時点の新 CMA を中心とした調査地域の土地利用／土地被覆図を示している。Figure 1-13 は、重要な交通インフラを示している。



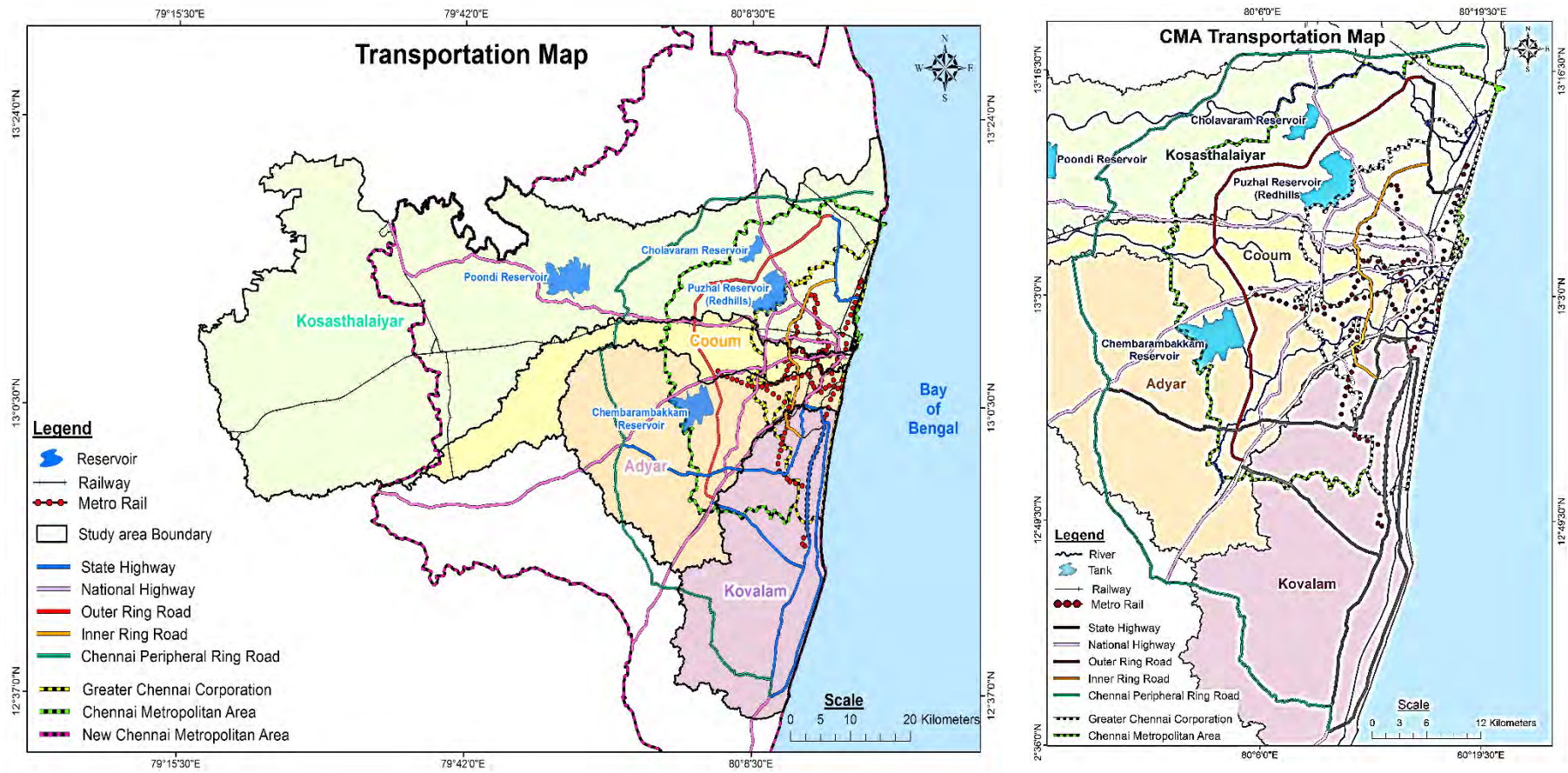
出典: JICA Expert Team using TNWRD data

Figure 1-11: 調査流域内の水域図



出典: JICA Expert Team using CMDA land use GIS data

Figure 1-12: 2023年における新CMAの調査地域の土地利用



出典:JICA Expert Team using ADB study data

Figure 1-13: 調査地域の交通インフラ

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 1-5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 1-5: 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

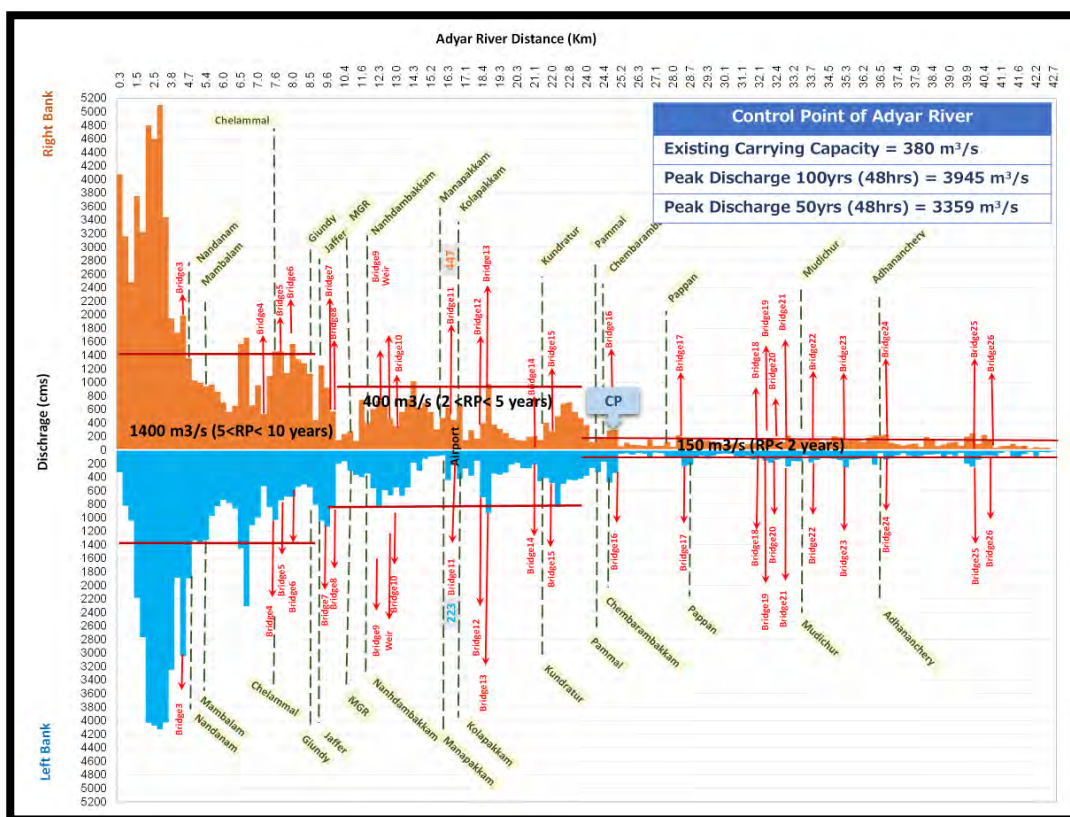
チェンナイは、河川洪水対策と都市洪水対策の双方に関連するさまざまな課題に直面しており、包括的なマスタープランで対処する必要がある。これらの課題には、体系的な問題だけでなく、河川洪水対策と都市洪水対策に関連する特定の問題も含まれ、これらが一体となって都市の洪水リスクを高めている。以下では、主な制度的問題に続いて、河川洪水と都市洪水に特に関連する問題を示す。

- 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た。この断片的アプローチのため、最適な資源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、都市の成長と不透透面の増加により、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、洪水予測や予防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。

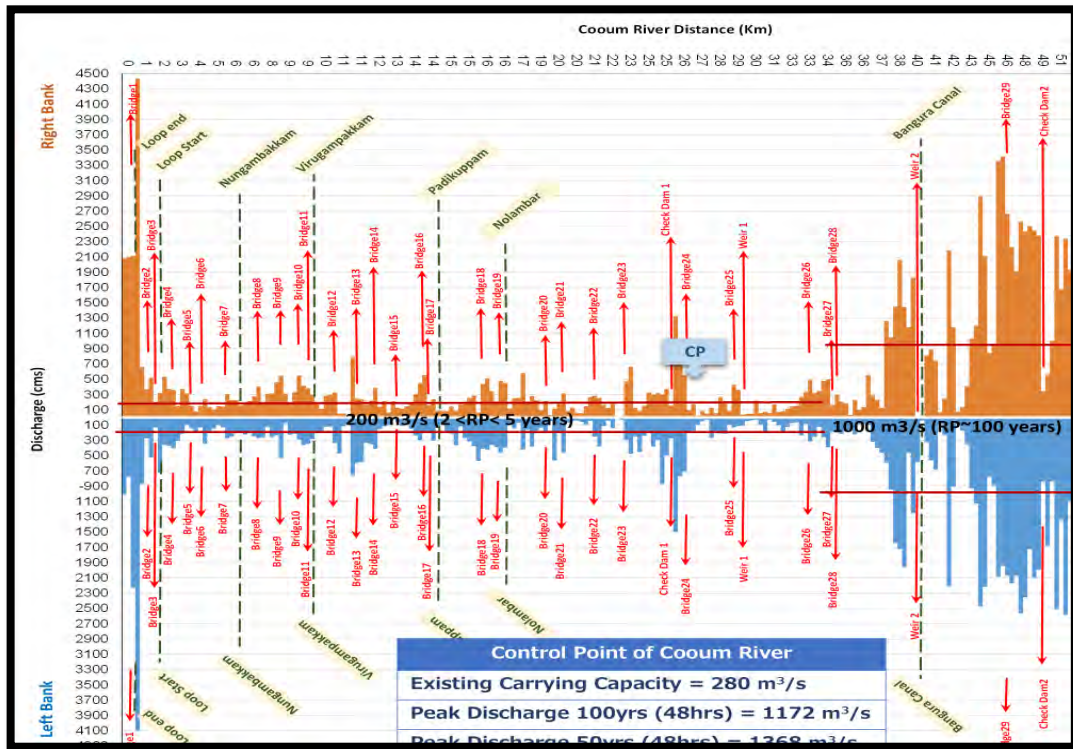
Figure 1-14 から Figure 1-16 は、3つの主要河川の流下能力を示しており、これらの河川では全川を通じての流下能力が不十分であることがわかる。このような不十分な流下能力の根本的な原因は、急速な都市化である。都市化は、河川幅の減少、流下能力の低下を引き起こすだけでなく、流出を増加させ、問題をさらに悪化させている。

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 1-17)。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。



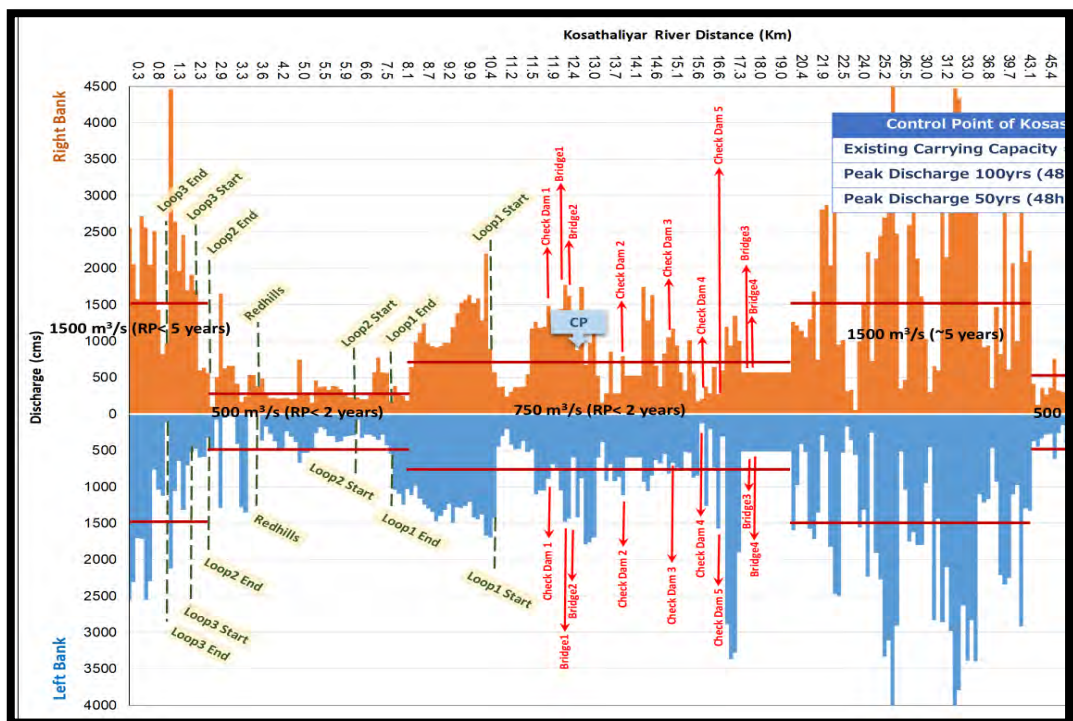
出典: JICA Expert Team

Figure 1-14: Adyar 川の流下能力図



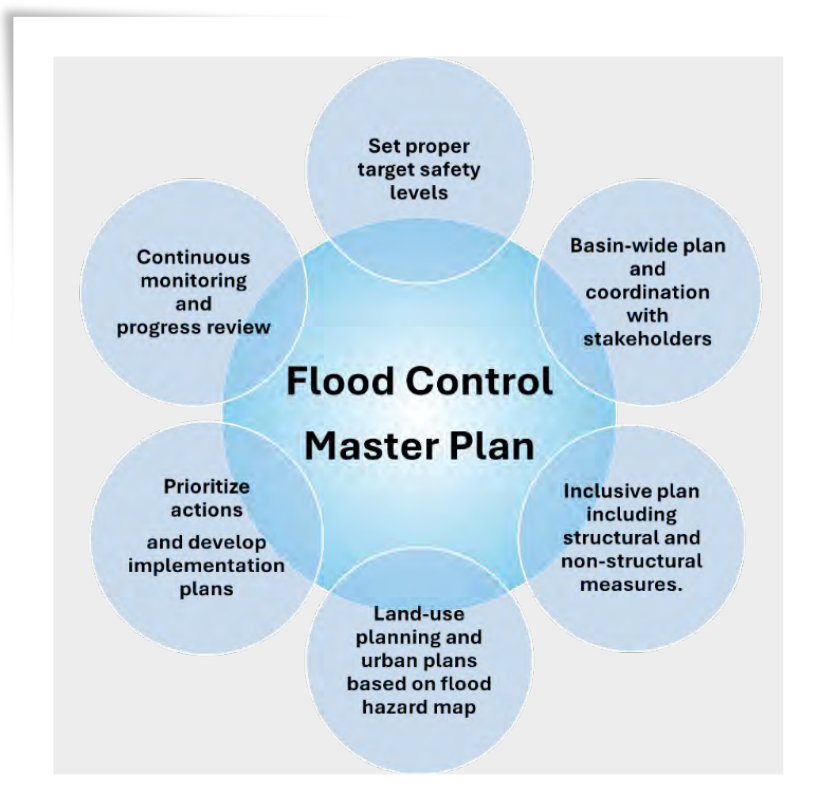
出典: JICA Expert Team

Figure 1-15: Cooum 川の流下能力図



出典: JICA Expert Team

Figure 1-16: Kosasthalaiyar 川の流下能力図



出典: JICA Expert Team

Figure 1-17: 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 既存の構造物による治水対策

タミル・ナードゥ州水資源局（TNWRD）は、タミル・ナードゥ州内の水管理のうち、洪水管理を統括する統括する機関である。2017年～2023年間の Adyar, Cooum, Kosasthalaiyar, Kovalam を管轄する Palar 流域における TNWRD の年間予算は Figure 2-1 に示した通りである。この図は、チェンナイ地域の河川事業に対する支出に限定したものであり、TNWRD の総予算はこの図の金額を大きく上回っていることに留意することが重要である。Figure 2-2 は、Figure 2-1 のうち、洪水管理と水資源開発に分類したものである。

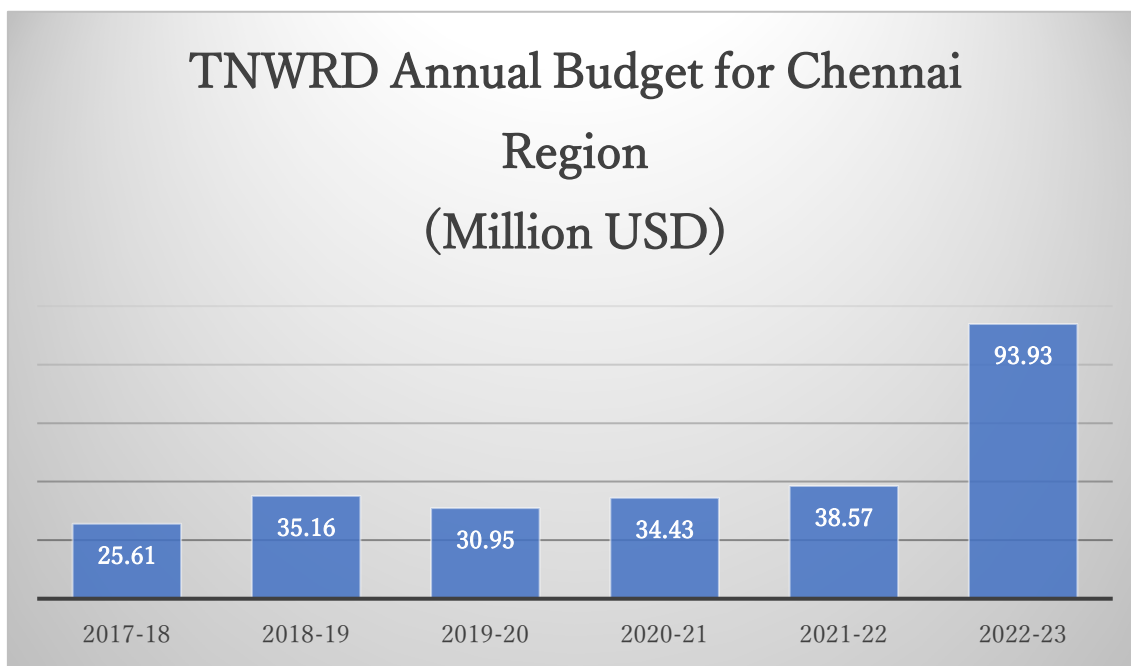
2.1.1 河川治水に関する TNWRD の主要プロジェクト

いわゆる「TNWRD による包括的洪水管理計画」には、洪水対策として3つの主要な事業が含まれている。すなわち、構造物対策（河川工事や洪水貯留施設整備など）、非構造物対策（地域の防災管理計画（DDMPs）の策定、洪水予測、早期警戒システムなど）、行政・管理面での変更（管理体制の改善、モンスーン前の部局間の調整など）である。

TNWRD の構造物対策は、以下の3つのカテゴリーに分類されている。

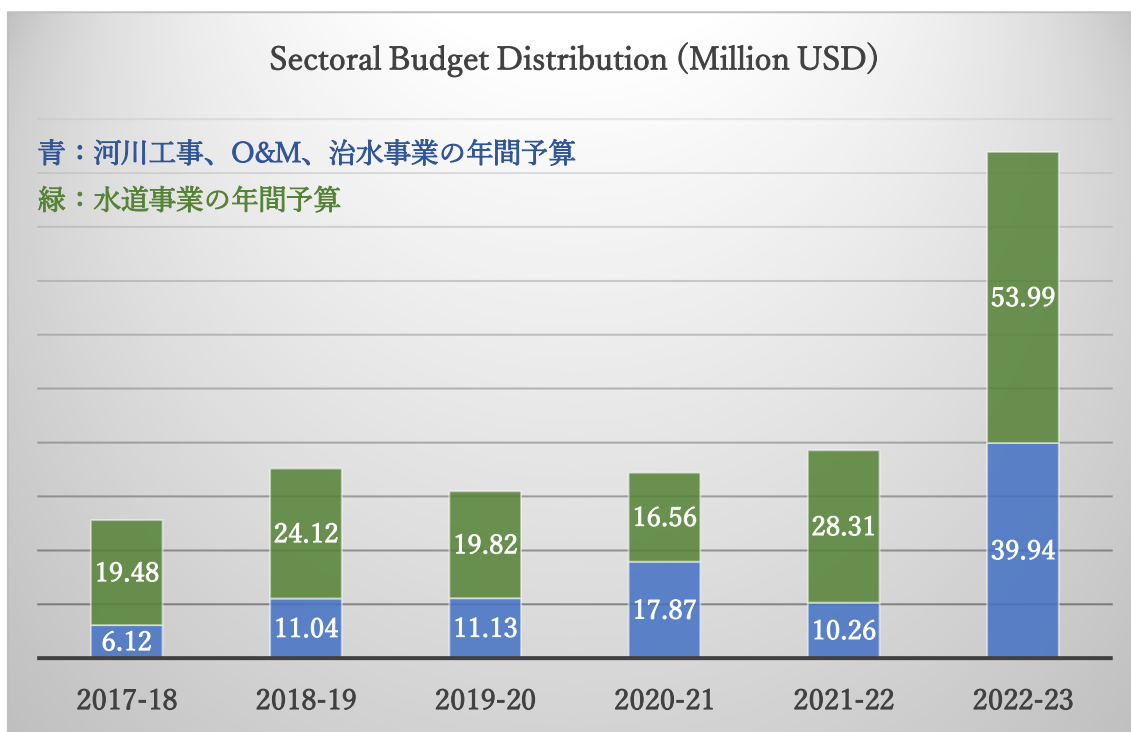
- ・ 河川改修による洪水被害軽減：都市排水網の改善、水路や分水路の新設、土堤・パラペットの整備である。河川管理として、河道拡幅、浚渫、障害物の撤去による流下脳の力の確保や、護岸等による河岸浸食対策が挙げられる。
- ・ 洪水貯留施設整備：治水ダムやタンクの新設、既設ため池や貯水地の容量拡大による洪水貯留能力を強化、ため池と河川の接続水路の整備、河川流域間連携による効率的な水資源管理が挙げられる。
- ・ 気候変動適応策：流量管理、地下水涵養の改善、ため池や河川の洪水管理、豪雨時の河川・水路の貯水容量向上を目的とした堰の整備が挙げられる。

以降において、TNWRD が 2022 年から 2024 年にかけて実施または計画した、主要プロジェクトを示す。



出典: JICA Expert Team based on TNWRD data

Figure 2-1: Palar 流域管区 (チェンナイ地区河川を管理) の TNWRD 年間予算の変遷 (USD)



出典: JICA Expert Team based on TNWRD data

Figure 2-2: チェンナイ地域の TNWRD 予算の分類 (USD)

本業務対象 3 河川での洪水対策事業のうち最も重要なものとして、Adyar 川の

Chembarambakkam 川合流点から下流約 2km 区間の河道拡幅事業（堤間長約 60m～120 m）、および Kosasthalaiyar 川最下流の護岸強化事業が挙げられる。TNWRD は、Adyar 川の事業では土地収用費 113 万 USD（9,000 万 INR）を含む増額 150 万 USD（1.2 億 INR）を 1,800 m の河道拡幅事業に投資した。また、Kosasthalaiyar 川では、Vellivoyal 村から Manali New Town の 7 km 区間にて左右岸の護岸整備と取水口の新設により洪水流下能力が約 1,700 m³/s（60,000 cusecs）まで向上した。

この他の主な洪水対策関連事業は以下の通りである：

- Cooum 川上流域の Pudumavilangai 村での Cooum 川での湛水域の創出：事業費 95 万 USD（80.3 万 INR）、地下水位帯水層の涵養とモンスーン期の取水を強化するため、チェックダムを新設。
（このチェックダムは現在計画段階であり、TNWRD は計画を確定する前に JICA 治水マスタープランとの整合を図りたいと考えている。JICA 治水マスタープランの河床高と河道整備計画は TNWRD と共有済み。）
- Cooum 川上流域の Korattur 堰の再建：2015 年洪水時の決壊を受けて Korattur 堰を再建。堰幅は 140 m、最大放流量 103m³/s（3,627cusec）を管理。
- Nagari 川の Illupur チェックダムの建設：事業費約 223 万米ドル（1786 万インドルピー）で、Thiruvallurt 地区 Thiruthani Taluk 郡 Illupur 村付近に建設。地下水涵養機能に加えて、年間 85 万 m³（30Mcf）の貯水能力を持ち、295 ha（730 acres）の耕作地へ安定的に水を供給。
- Cooum 川 Athigathur 村でのチェックダムの建設：事業費約 221 万米ドル（1,770 万インドルピー）で、灌漑目的で Athigathur 村に幅 200m、高さ 1.5m の堰を建設（洪水調節機能はほぼ無し）。
- Kosasthaliyar 流域の強化：灌漑目的のため、Poondi ダムの FRL（Full Reservoir Level、サーチャージ水位のこと）の 2 フィート嵩上げによるダム容量増加を実施。
- チェンナイ流域の水収支と水資源の確認、および B 運河の修復と改善に関する研究。
- ダム貯水池運営システムの開発：事業費 400 万 USD（3.4 億 INR）で Adyar 流域において 4 つのダムや 66 のタンクに対して貯水池運営システムの開発と SCADA によるゲート開閉自動化を実施。本システム中央制御室は WRD の Chief Engineer 事務所内に設置され、モンスーン期の重要な意思決定支援システムとして機能。現時点でこのプロジェクトは完了しておらず進行中（現時点では 1 時間ごとの降雨量を監視するための自動気象システム（AWS）が数台、5 台の自動水位記録計（AWLR）が設置された段階。2024 年 8 月、地元のコンサルティング会社「Canarys」が TNWRD と、より詳細な調査を更新するための初期段階の議論を進めている状況）。
- 2023-2024 年は、排水システムおよび支流路の改良、水路拡幅、河床掘削等に総額 85.63 億 INR（約 101.3 万 USD）の予算を割り当て。

2.2 河川洪水管理計画策定の基本方針

2.2.1 検討の進め方と基準

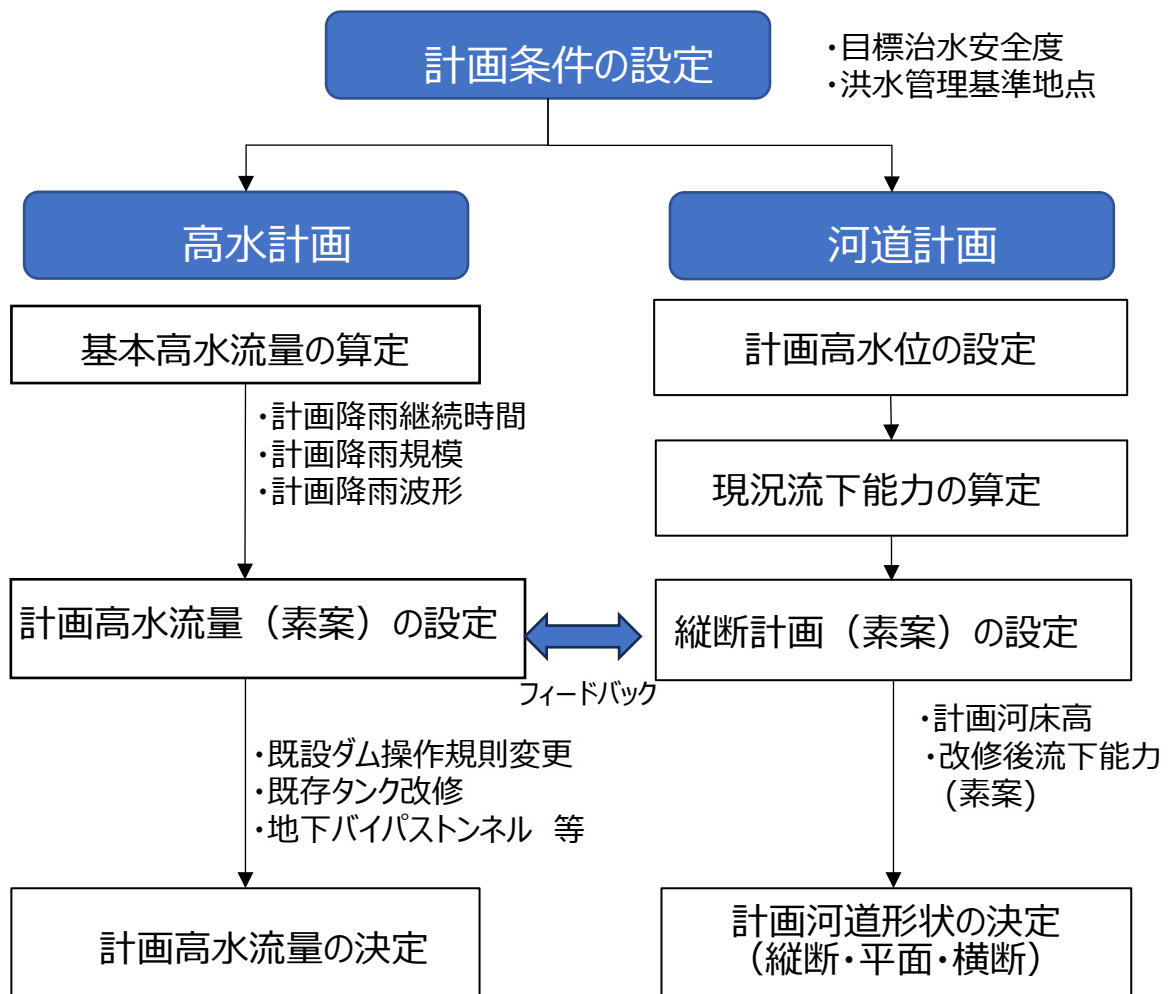
前述の通り、検討対象3河川はこれまでに流域単位での高水計画、河道計画が立案されていない。これらを進めていくには、目標とする安全度（何年に一度の洪水に対応するか）、その治水対策の方向、段階的な整備も踏まえた整備期間などについて現地カウンターパート(CP)と妥当性について協議し、合意しながら進めていく必要がある。

従って、検討は、CPとの協議により合意を取りながら進めている。

チェンナイ都市圏ではため池が数多く存在し、このため池の貯留機能を増大させる対策を進めていることから、これも踏まえ、Figure 2-3の通り、高水計画と河道計画を並行して検討し、ため池の効果も考慮しながら適切な計画高水流量を設定している。

尚、技術検討に当たっては以下に示した日本の技術基準などが参考となることから、これを利用した。

- ・河川砂防技術基準（案）、国土交通省
- ・高水計画検討の手引き（案）、財団法人国土開発技術センター
- ・河道計画検討の手引き、山海堂

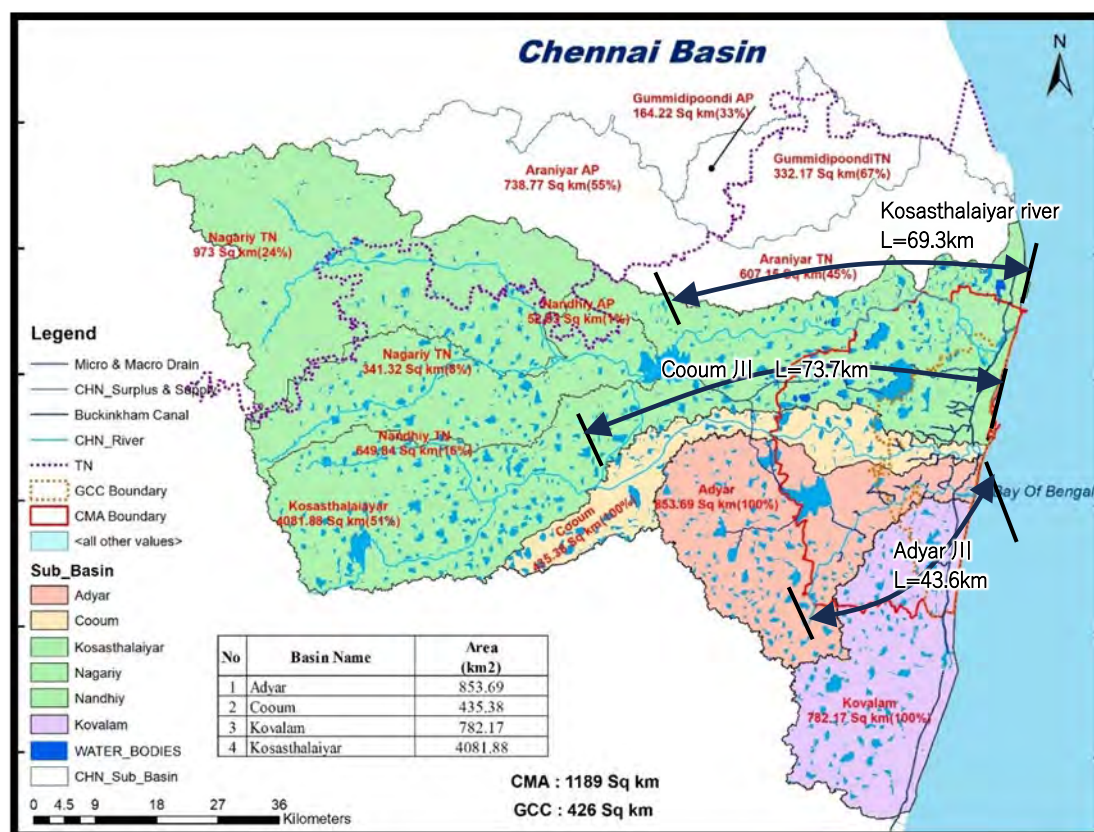


出典: JICA Expert Team

Figure 2-3: 治水計画立案の流れ

2.2.2 対象地域とこれまでの課題、検討要件

検討対象とする流域は Adyar 川(43.6 km)、Cooum 川(73.7 km)、Kosasthalaiyar 川(69.3 km) であり、Figure 2-4 の通りである。尚、流域の詳細は 1 章の通りである。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-4: 河川洪水管理計画検討対象流域

チェンナイ都市圏は平坦な地形であり、Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川の上流域と下流域での標高差はほとんどない。Adyar 川、Cooum 川流域は都市化が急速に進んでおり、また Kosasthalaiyar 川も支川 Redhill 川沿いを中心に農地の都市化が進んでいる状況にある。流域の都市化は、流域本来の雨水の貯留・浸透機能の低下を引き起こし、その結果として降雨時の流出量増加が危惧される。これに加えて、近年の地球温暖化に伴う降雨規模の増加も相まって、チェンナイ都市圏の降雨に対する安全度は低下傾向にあるものと考えられる。

このような中、Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川では 2.1.1 に示した通り局所的な改修は行われているものの、流域全体での一貫した治水計画は策定されていない。

チェンナイ都市圏全体での治水安全度を向上させるためには、いつまでに、どのような規模で、どのような対策を実施するかを包括的に定めたマスタープランを策定する必要がある。その際、チェンナイ都市圏の市街化進行を鑑み、河川の拡幅や掘削といった改修だけでなく、流域の貯留施設の活用や、土地利用も含めた、流域全体での治水対策を考えてゆく必要がある。

このような現状認識を鑑み、本マスタープランでは、チェンナイ都市圏の治水対策や都市

計画を所管する組織間の連携による包括的な洪水対策が必要である。

チェンナイ都市圏の3河川に係る洪水対策で求められる要件は以下の通りである。

- 河口から上流部までの河川全体の一貫した治水計画の策定
 - 河口から上流部までの現況流下能力の評価と治水上のボトルネックの特定
- 流域内の貯留を踏まえた計画高水流量の設定
 - 既設ダムの治水利用や既存タンクの改修による洪水調節効果を踏まえた流量配分（計画高水流量）の設定
 - 河道沿い湿地の遊水地利用の可能性の検討
- 本川の流下能力向上のための基本的対策と計画立案
 - 流下能向上に向けた河道横断計画（拡幅範囲）：河岸高設定（堀込河道/築堤）、縦断形状（計画高水位/計画河床高）、拡幅幅
 - 河道平面線形の設定
 - 河岸防護の必要性（護岸等）
 - 計画断面の維持可能性の評価（河口砂州、土砂堆積/維持浚渫）
- 本川改修による水位低減効果を踏まえた合流支川の排水対策
 - 接続排水路の改善、逆流防止施設（ゲート、ポンプ、監視装置等）設置の必要性、ミッシングリンクの補完等
- 治水対策の概算費用、優先順位付け、および実施

2.2.3 計画洪水規模

計画洪水規模とは、計画対象地域の洪水に対して確保する安全度を示すものであり、この安全度を確保するために河川改修等の治水事業を行うものである。計画洪水規模は、対象河川の重要度、すなわち治水計画の対象とする河川流域の大きさ、対象流域の社会的経済的重要性、想定される被害の量と質、過去の災害の履歴等を考慮して設定する必要がある。

チェンナイ都市圏の Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川は、流域面積が 400km² 以上であり、また流域内人口は3河川が流下する CMA (Chennai Metropolitan Area) で 1,100 万人に達するなど、人口・資産が集積しており、社会的経済的な重要性は高い。また過去に洪水浸水被害が頻発しており、抜本的な治水対策が必要とされている。

都市の重要性を鑑み、本マスタープランでの計画規模は C/P と降雨確率で 100 年確率規模の洪水計画とすることを合意した。

尚、これらの河川は、日本において一級水系に該当する大規模な流域スケールであり、日本の治水計画においても以下に示したように国（国土交通省）管理の河川の計画規模は 100 年確率以上となり、この計画規模設定は妥当と判断している。

日本では、国土交通省が発行する技術基準（河川砂防技術基準（計画編））において河川の重要度に応じた計画対象洪水規模設定の目安が示されている（Figure 2-5）。表中にあるA～B級河川は、国土交通省が管理する重要な河川であり、その計画洪水規模は洪水の生起確率は100年規模以上とされている。

チェンナイ都市圏の3河川は、流域面積・資産集積度から日本のA～B級河川に該当する規模であることから、将来的な洪水計画規模を100年以上とするのが妥当と判断される。

河川の重要度	計画の規模(対象降雨の降雨量の超過確率年) ※
A級	200以上
B級	100～200
C級	50～100
D級	10～50
E級	10以下

(※)年超過確率の逆数

一般に、河川の重要度は一級河川の主要区間においてはA級～B級、一級河川のその他の区間及び二級河川においては、都市河川はC級、一般河川は重要度に応じてD級あるいはE級が採用されている例が多い。

出典：河川砂防技術基準（計画編）

Figure 2-5: 河川の重要度に応じた治水計画規模設定の目安

Table 2-1: 検討対象3河川流域の流域面積および流域内人口

	Adyar	Cooum	Kosasthalaiyar
流域面積[km2]	854	435	4,082
流域内人口[人]	3,524,000	2,095,000	5,107,000

出典：JICA Expert Team

2.2.4 整備対象期間

本マスタープランの整備対象期間は、現地CPとの協議により、当面（Phase1）を10年、その後の最終（Phase2）は10年程度として合計20年で整備する。

但し、当面以降の整備期間は資産や経済状況の変化、用地取得に要する時間などにより変更となる可能性が高く、ここでは一応の目安として10年とした。

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

計画降雨とは、検討対象流域において計画洪水規模の流出量を設定する際に用いる降雨条件のことである。計画対象流域において過去からの流出量（河川での通過流量）の観測記録がある場合には流出量から洪水の生起確率を算定することができる。しかしながら検討対象3河川では流量観測記録がないためこの方法を用いることができない。そのため、検討

対象河川の洪水に成因となる降雨を計画外力として、所定の計画規模に対する計画降雨を定め、その計画降雨より流出計算により計画対象流量規模を定めることとなる。

計画降雨は、降雨量、降雨量の時間分布及び降雨量の地域分布の3要素から構成される。

降雨量 : 1つの降雨事象で対象流域に生じる降水量の総量

降雨の時間分布 : 1つの降雨事象が継続する時間

降雨の地域分布 : 1つの降雨事象での降雨量の空間分布

計画降雨を定めるにあたり、チェンナイ都市圏での降雨データ観測状況を整理した。

チェンナイ都市圏における雨量観測は、インド気象局 IMD (India Meteorological Department)、TNWRD (Tamil Nadu Water Resources Department) と CRA (Commissionerate of Revenue Administration) により実施されている。Table 2-2 に各機関による観測内容、Figure 2-6 に観測地点位置図を示す。

IMD の観測は毎時雨量データであり、統計期間も長く、降雨の時系列変化を捉えることが可能である。しかしながら観測所は Adyar 川と Cooum 川下流域の合計2カ所となっており、流域全体での降雨の空間分布を時系列で把握することは困難である。

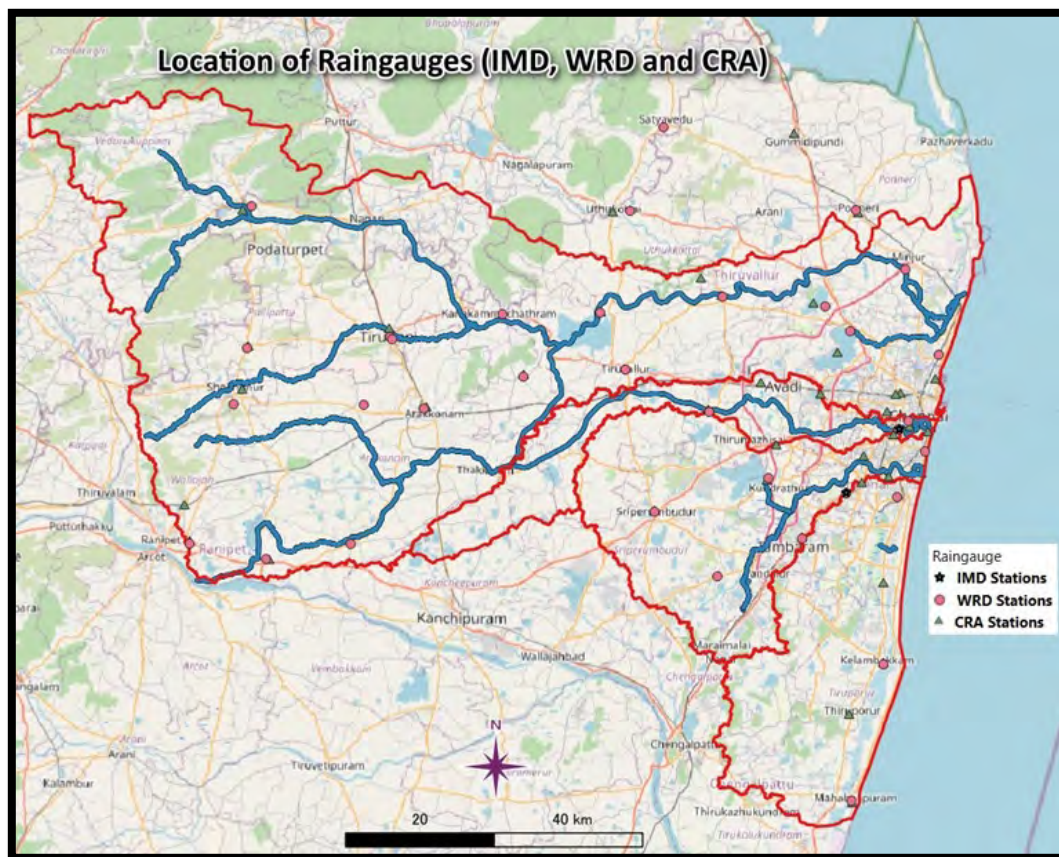
TNWRD や CRA の観測データは日雨量データである。これらは IMD の雨量データに比べて観測期間が短かつ毎時の降雨量の変化は把握できないものの、流域全体に観測所が配置されている。これらのデータを用いることで日雨量 (24 時間雨量) 単位での空間分布を考慮した流域平均雨量の算出が可能となる。

以降の 2.3.1.2 節では、これらの日雨量データによる降水量の確率評価を行い、降雨の空間分布を考慮した流域平均確率雨量を算定した。

Table 2-2: 雨量観測所と観測内容

観測機関	観測所数 (対象流域内)	観測期間	データ種別
IMD	2 (対象流域内 2)	1969-2021	時刻雨量
TNWRD	46 (対象流域内 35)	1991-2021	日雨量
CRA	37 (対象流域内 34)	1991-2021	日雨量

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-6: 降雨観測地点位置図

2.3.1.1. 降雨量と水位の時間分布

降雨は時々刻々変化し、また降雨流出に応じて流出先の河川水位も変化する。各河川流域での降雨に対する河川水位の応答を把握するためには、降雨と河川水位の関係を整理し、検討対象河川の洪水ピーク水位・流量を評価するために必要となる降雨の時間分布、すなわち降雨継続時間を把握することが求められる。

チェンナイ都市圏における時刻雨量データはFigure 2-6に示したIMDによる2観測所に限られ、流域の空間分布を考慮した評価は難しい。また、水位観測についてはTable 2-3の通り2010年以降に実施されているが、対象3河川で大きな被害をもたらした2010年以前の主要洪水時のデータは含まれていないため、大規模洪水時の実績降雨と水位・流量との比較評価はできない。

Table 2-3: 検討対象流域における河川水位・流量観測所の設置状況一覧

管轄機関	観測期間	観測手法	観測項目	概要
TNWRD	2010年-2021年	手動	水位 流量	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川のチェックダムで季節的な水位及び流量観測を実施。 ➢ 流量は水位、チェックダム横断面から算出。 ➢ 流量観測データは月平均値として記録。
IITM	2019年-現在 2020年-現在	自動	水位	<ul style="list-style-type: none"> ➢ IITM のパラジ教授の指導の下、合計 6 台の自動水位記録計を設置。 ➢ 6 観測所のうち 2 観測所の自動水位記録計は機能していない。残りの 4 観測所は稼働中。
CWC	2022年-現在	自動	水位	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Adyar 川に 4 箇所、Cooum 川に 1 箇所自動水位記録計を設置。
JICA	2022年-現在	自動	水位	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 本プロジェクトで 15 箇所に自動水位記録計を設置。

出典: JICA Expert Team

このような状況を踏まえ、本検討では、日本の技術基準（高水計画検討の手引き（案）、平成 12 年、(財)国土開発技術研究センター）に基づき、毎時雨量、水位データが確保できない場合の手法より検討対象 3 河川の洪水流出に影響を及ぼす降雨継続時間を検討した。その結果を Table 2-4Table 2-2 示す。この結果より、安全側を見て継続時間を長い方を採用すると、3 河川とも 48 時間以内となる。前節の検討より降雨の空間分布は日雨量（24 時間雨量）単位でしか評価できないことを勘案すると、降雨の時間分布である降雨継続時間は 2 日間（48 時間）と設定することが妥当と考えられる。

手法 1：合理式での到達時間計算式

手法 2：モデル降雨波形による洪水到達時間

Table 2-4: 降雨継続時間算定結果

観測機関	手法 1	手法 2
Adyar	20 hr	36hr
Cooum	38 hr	36hr
Kosasthalaiyar	46 hr	36hr

出典: JICA Expert Team

1) 合理式での洪水到達時間計算式からの評価

手法 1 として、合理式（Rational 式）による流出計算で用いる洪水到達時間による評価を行う。合理式では、流域最遠点から評価地点までの流路延長と地形勾配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を洪水到達時間として算定する。洪水到達時間とは、流域の降雨開始から洪水ピーク流量が発生する時間に相当する値であり、この時間より洪水ピーク発生までに最低限必要となる降雨継続時間を推定することができる。

本検討では一般的に用いられている 4 つの洪水到達時間算定式より算定した。Table 2-5

は算定のための流域諸元であり、3流域ごとに流域最遠点および流域重心 (Kosasthalaiyar 川は Poondi ダム地点) の2地点に対し算定した (Table 2-6)。

Table 2-6 の算定結果の通り、Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川の洪水到達時間は流路延長に応じてそれぞれ 20 時間、38 時間、46 時間と評価された。

Table 2-5: 洪水到達時間算定のための流域諸元一覧

Basin		Highest Elevation (m)	Lowest Elevation (m)	Distance (Km)	Flow Path Slope (m/m)	Basin Area (Km ²)	Basin Slope (m/m)
Adyar	Longest Path	50	0	51.1	0.0010	855	0.0374
	Centroid	25	0	35.0	0.0007	855	0.0374
Cooum	Longest Path	95	0	90.8	0.0010	435	0.0337
	Centroid	43	0	52.3	0.0008	435	0.0337
Kosasthalaiyar	Longest Path	174	0	161.4	0.0011	4082	0.0709
	Poondi	38	0	75.4	0.0005	1072	0.0383

出典: JICA Expert Team

Table 2-6: 合理式での経験式による洪水到達時間

Basin		Concentration Time (hrs.)				Max Tc (hrs.)
		Kirpich	Passini	Bransby Williams	Chow	
Adyar	Longest Path	20	20	19	18	20
	From Centroid	17	17	13	16	17
Cooum	Longest Path	30	20	38	28	38
	From Centroid	22	17	22	20	22
Kosasthalaiyar	Longest Path	46	35	46	43	46
	From Poondi Dam	34	24	28	32	34

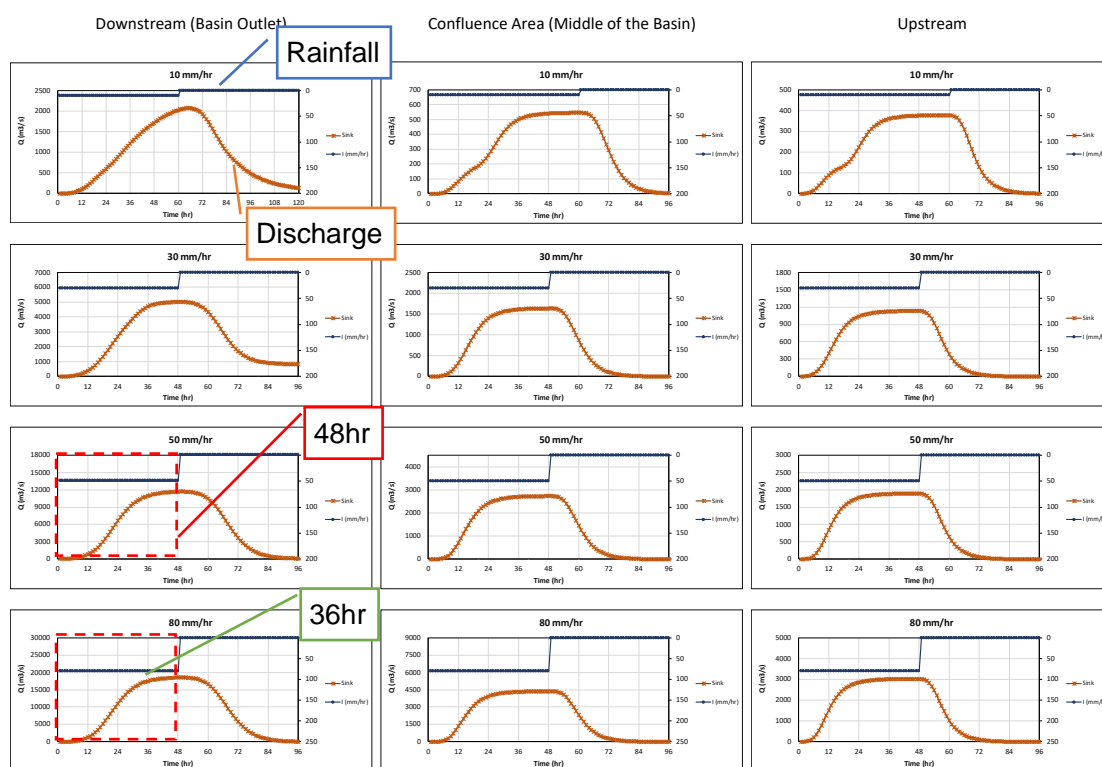
出典: JICA Expert Team

2) モデル降雨波形による洪水到達時間の評価

日本での国管理河川における計画高水流量立案時の技術基準に基づき、モデル降雨波形を用いた洪水到達時間の評価を行った。この手法は、流出計算モデル (HEC-HMS モデル) を用いて流域全体に一律の降雨を連続的に与えた場合に流出量ピークとなるまでの時間より各流域で必要な洪水継続時間を推定するものである。

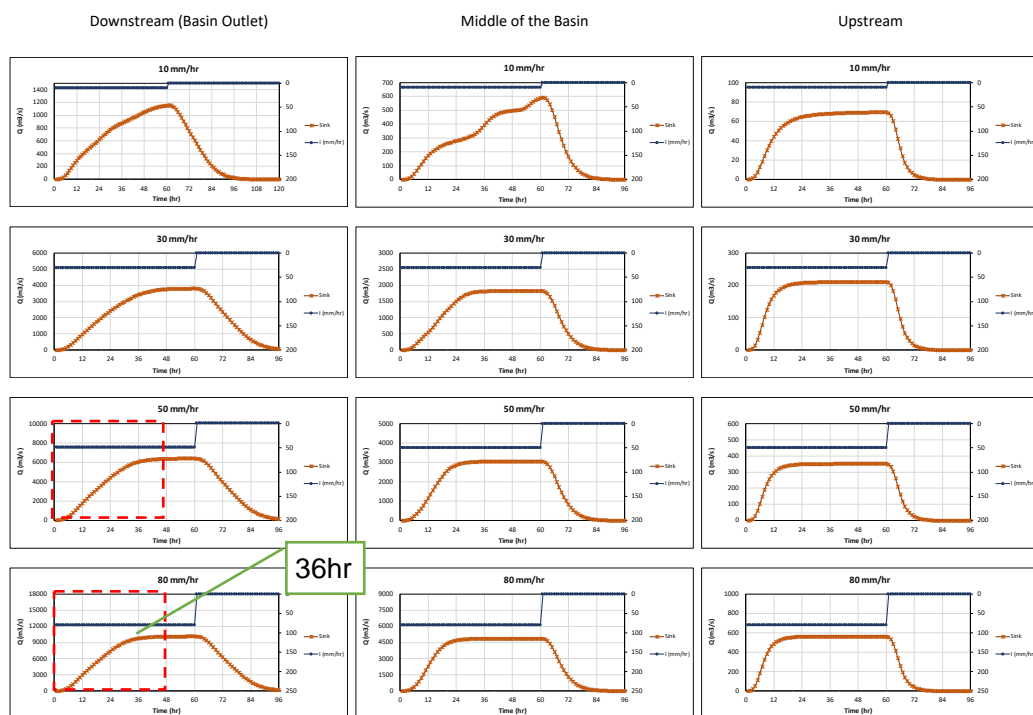
対象3河川の検討結果をFigure 2-7~Figure 2-9に示す。本検討では、下流端（河口部）、流域中央部、最上流部を評価地点として、時間雨量10mm、30mm、50mm、80mmの4ケースが流域一様に連続的に生じた場合の流出波形を算出した。

計画洪水規模が生起確率100年と大きいため大規模降雨時の影響評価の必要があることから降雨規模の大きな50mm/hr、80mm/hrを対象に、治水上の懸案箇所である都市化の進んだ最下流部に到達する洪水流出に寄与する洪水波形を検討する必要があることを踏まえ、流域最下端（河口部）での算定結果に着目し、必要な洪水継続時間を評価した。Figure 2-7~Figure 2-9中の赤枠は降雨開始から48時間以内を示している。各河川の流出波形より降雨開始48時間以内に流出量の増加ピークに達しており、Adyar、Cooum、Kosasthalaiyar共に降雨開始36時間付近で洪水流出増加割合が減少している。これより洪水流出のピークに寄与する時間は降雨開始より36時間程度と読み取ることができる。



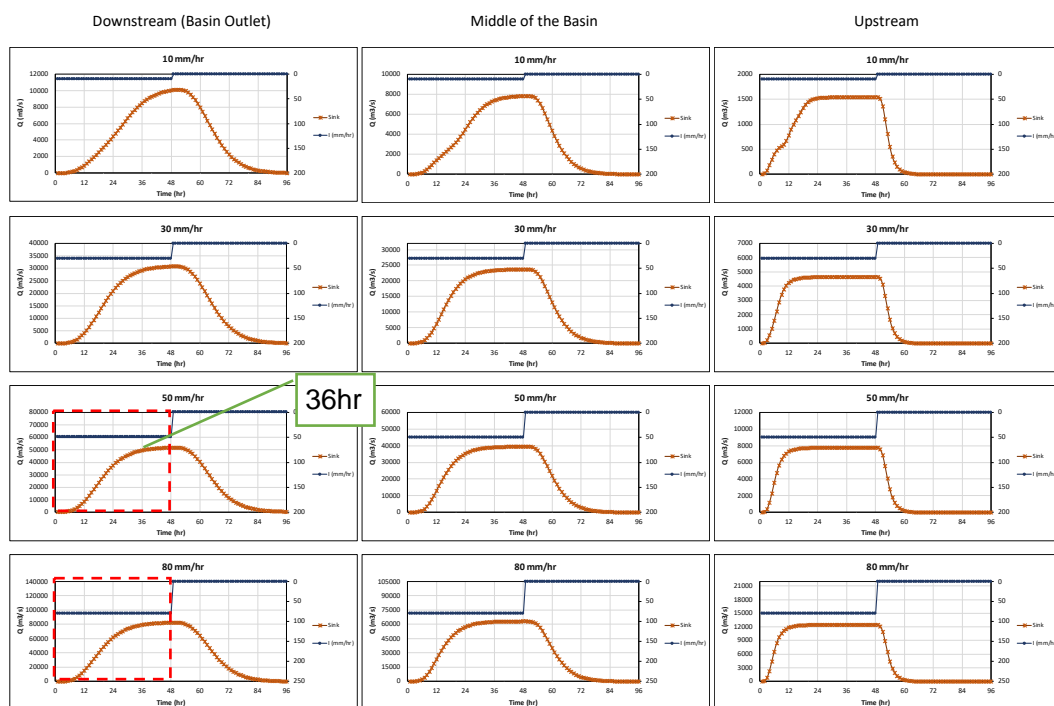
出典: JICA Expert Team

Figure 2-7: モデル降雨波形による到達時間 (Adyar 川)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-8: モデル降雨波形による到達時間 (Cooum 川)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-9: モデル降雨波形による到達時間 (Kosasthalaiyar 川)

2.3.1.2. 確率降雨量の算定

降雨観測データより各河川流域平均雨量を算定し、確率統計解析により降雨継続時間 48 時間に対する確率降雨量を算定した。

流域平均雨量は、Figure 2-6 に示した雨量観測所を対象に年最大 2 日雨量を Table 2-7 に示した条件で算定した。なお、時間雨量についてはチェンナイ都市圏に IMD の 2 観測所が存在しないため空間分布の分析は難しいことから流域平均雨量の算定対象から除外している。

算定した流域平均雨量を基に、日本国内での降雨統計解析で一般的に用いられるソフトウェア「水文統計ユーティリティー」を用いて確率降雨量を算定した。対象 3 河川の確率 2 日雨量を Table 2-9～Table 2-11 に示す。この結果より、計画洪水規模 1/100、降雨継続時間 48hr に対する確率降雨量は以下の通りとなる。

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

Table 2-7: 降雨確率解析の条件

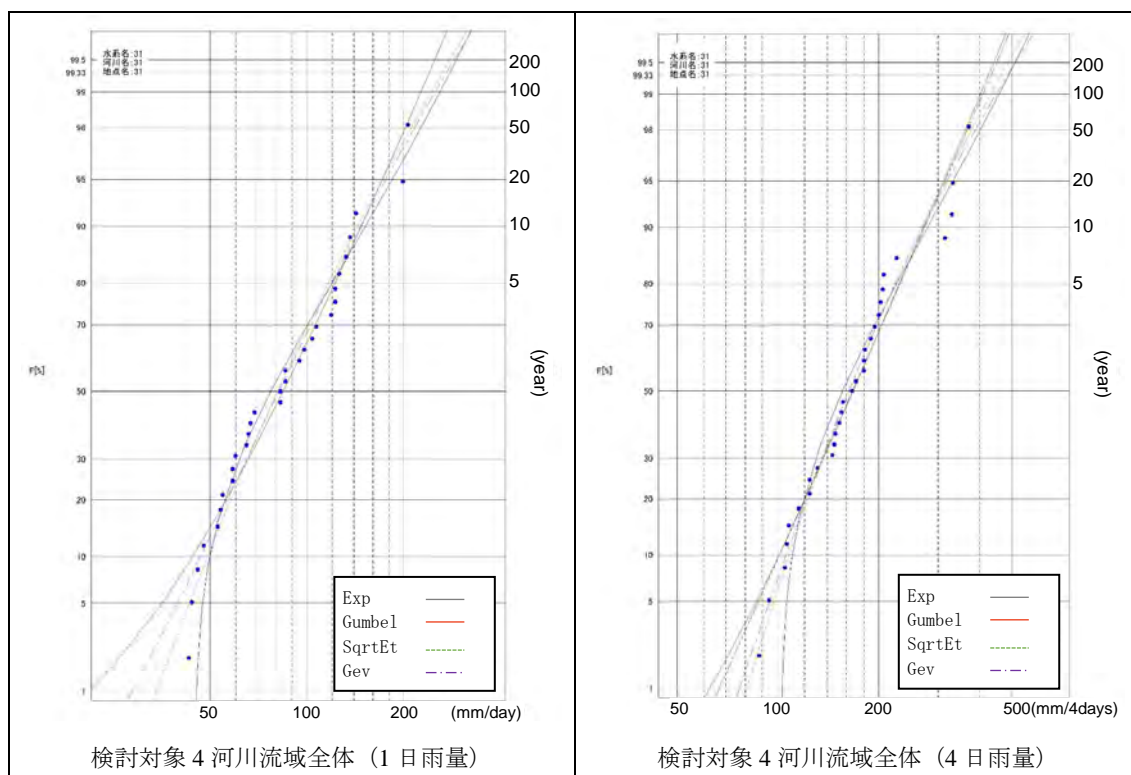
使用データ	IMD、TNWRD、CRA の雨量観測所
データの集計期間	1991 年～2021 年 (21 年間)
計算対象観測所数	最大 45 箇所 (観測状況により年毎に異なる)
降雨の算定手法	ティーセン分割法を用いて流域平均雨量を算定
ティーセン分割パターン	一年毎に固定
確率解析範囲	Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川
降雨継続期間	1 日、2 日、3 日、4 日、5 日、6 日

出典: JICA Expert Team

Table 2-8: 確率分布モデル

No.	確率分布モデル	
1	Exp	指数分布
2	Gumbel	グンベル分布
3	SqrtEt	平方根指数型最大値分布
4	Gev	一般化極値分布

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-10: 降雨確率解析結果の一例

Table 2-9: 確率降水量算定結果 (Adyar 川流域)

Return Period (year)	Probable Rainfall in Adyar					
	24 hrs. (mm)	48 hrs. (mm)	72 hrs. (mm)	96 hrs. (mm)	120 hrs. (mm)	144 hrs. (mm)
2	109.2	157.4	203.1	227.6	248.8	266.5
3	139.1	192.2	240.6	267.4	291.8	313.6
5	176.8	236.1	282.4	311.9	337.9	363.1
10	228.0	295.6	335.0	367.7	393.6	421.2
20	279.1	355.1	385.4	421.3	444.6	472.8
30	309.0	389.9	414.4	452.1	472.9	500.8
50	346.7	433.8	450.6	490.6	507.3	534.1
80	381.4	474.1	483.8	525.8	537.9	563.1
100	397.8	493.3	499.5	542.5	552.0	576.3
150	427.7	528.1	528.0	572.8	577.2	599.6
200	449.0	552.8	548.2	594.3	594.7	615.5
400	500.1	612.3	596.9	646.0	635.4	651.9

出典: JICA Expert Team

Table 2-10: 確率降水量算定結果 (Cooum 川流域)

Return period (year)	Probable Rainfall in Cooum					
	24 hrs. (mm)	48 hrs. (mm)	72 hrs. (mm)	96 hrs. (mm)	120 hrs. (mm)	144 hrs. (mm)
2	96.4	145.4	174.4	195.8	212.8	226.4
3	114.7	174.0	207.2	232.1	252.3	269.4
5	136.7	205.8	243.6	272.5	296.3	317.2
10	166.8	245.7	289.4	323.2	351.6	377.3
20	198.2	284.1	333.4	371.9	404.7	435.0
30	217.3	306.1	358.7	399.9	435.2	468.2
50	242.4	333.7	390.3	434.9	473.3	509.6
80	266.4	358.9	419.2	467.0	508.2	547.6
100	278.1	370.9	432.9	482.1	524.7	565.6
150	300.0	392.6	457.7	509.7	554.7	598.2
200	316.0	407.9	475.4	529.2	576.0	621.3
400	356.0	444.9	517.8	576.1	627.2	676.9

出典: JICA Expert Team

Table 2-11: 確率降水量算定結果 (Kosasthalaiyar 川流域)

Return period (year)	Probable Rainfall in Kosasthalaiyar					
	24 hrs. (mm)	48 hrs. (mm)	72 hrs. (mm)	96 hrs. (mm)	120 hrs. (mm)	144 hrs. (mm)
2	77.1	109.6	128.9	135.2	157.1	161.7
3	94.6	133.5	155.6	160.9	187.8	189.3
5	114.2	160.2	185.4	193.5	222.1	222.4
10	138.7	193.7	222.7	241.1	265.2	267.2
20	162.3	225.8	258.6	294.8	306.5	313.7
30	175.8	244.3	279.2	329.9	330.2	342.0
50	192.8	267.4	305.0	378.5	359.9	378.9
80	208.3	288.6	328.6	428.2	387.1	414.2
100	215.6	298.6	339.8	453.6	400.0	431.5
150	228.9	316.8	360.1	503.1	423.3	463.6
200	238.4	329.7	374.4	541.0	439.9	486.9
400	261.1	360.7	409.0	642.9	479.7	545.4

出典: JICA Expert Team

2.3.2 洪水管理基準地点の設定

検討対象 3 河川において、洪水流出量を管理するための基準地点を設定した。基準地点とは治水計画において洪水時の水位や流量を管理する代表地点を意味するものであり、以下の考え方のに基づき設定する。

- ▶人口や資産が集積し、洪水による被害の発生が懸念される重要な区域の上流に位置すること。
- ▶ダムなどの主要な貯留施設の下流部に位置すること。
- ▶水位や流量の管理が可能なこと。

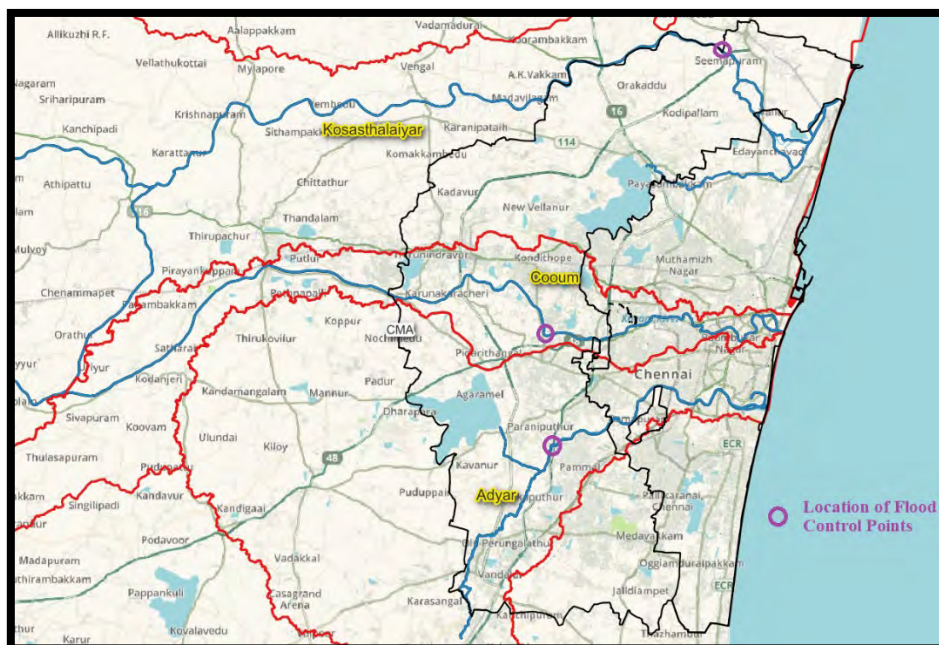
この考え方にに基づき、検討対象 3 河川の基準地点を Table 2-12、それぞれの位置図を Figure 2-11~Figure 2-14 に示す。

Adyar 川については、Chembarambakkan ダム放流路の合流点下流部とした。Cooum 川および Kosasthalaiyar 川については、既設堰地点とした。

Table 2-12: 洪水管理基準地点

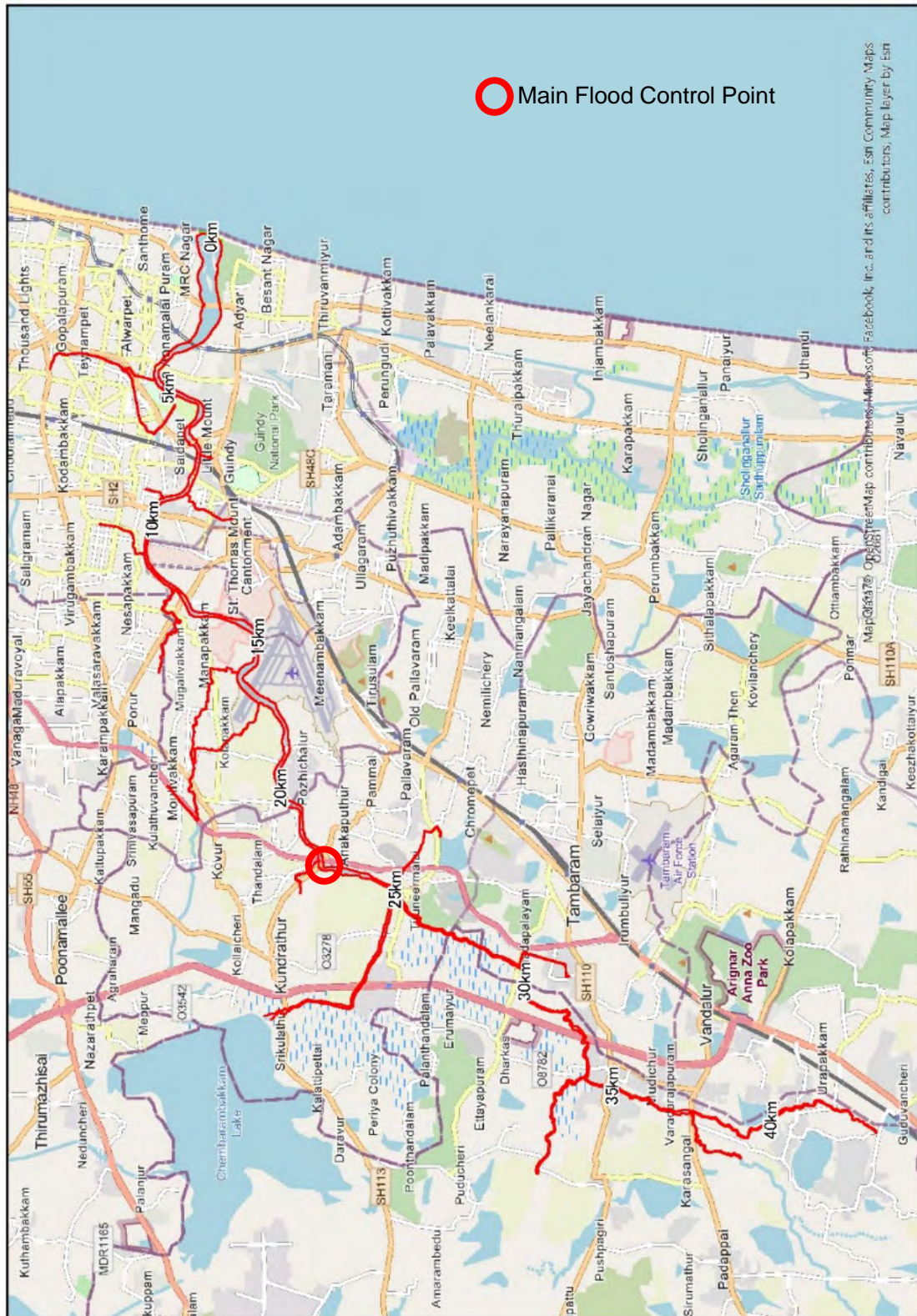
Basin	Control Point	Location
Adyar	Main	Anakaputhur Bridge Downstream of Chembarambakkan Junction to Adyar
Cooum	Main	Kaduvetti Check Dam
Kosasthalaiyar	Main	Vallur Anicut

出典: JICA Expert Team



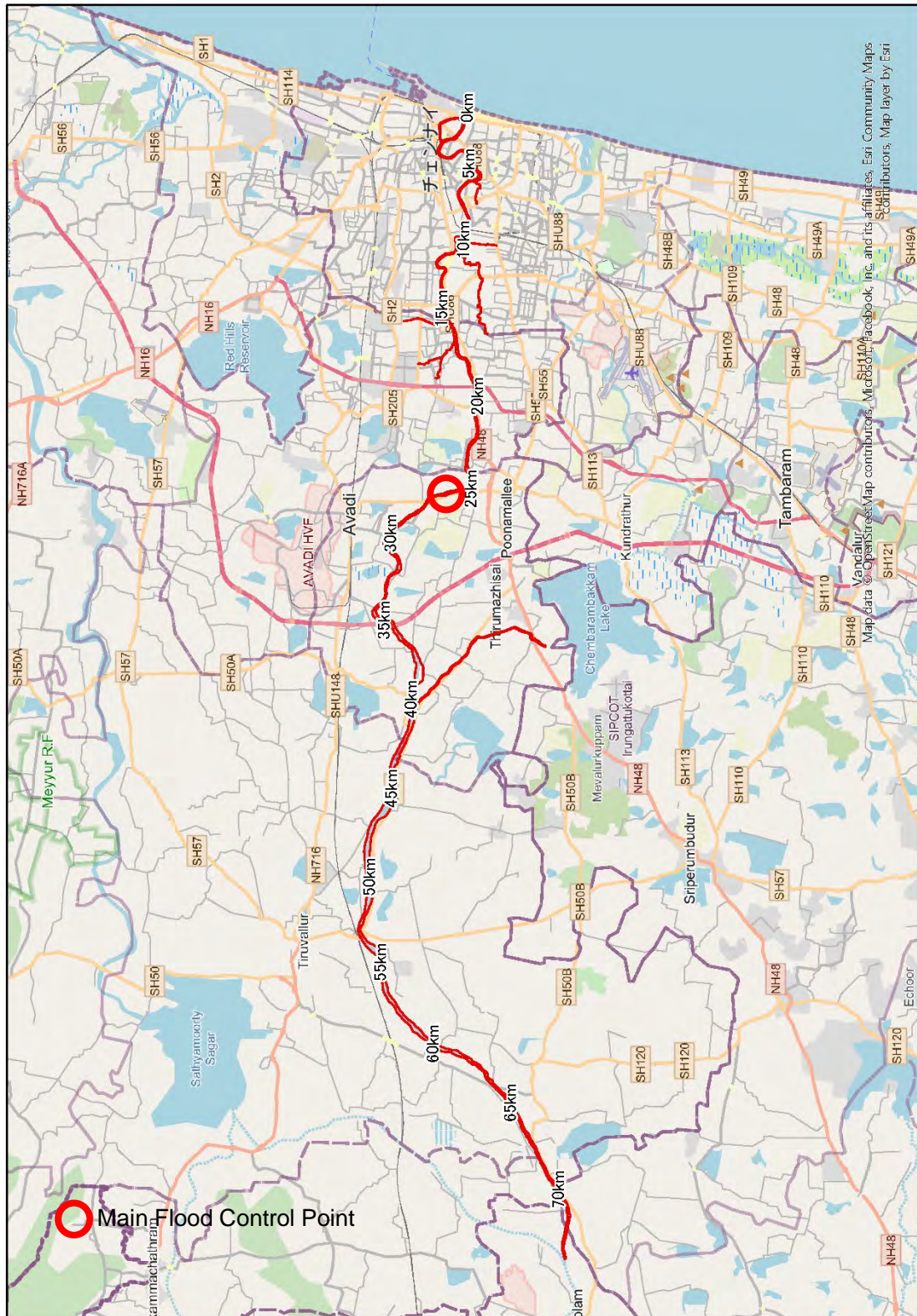
出典: JICA Expert Team

Figure 2-11: 洪水管理基準地点位置図



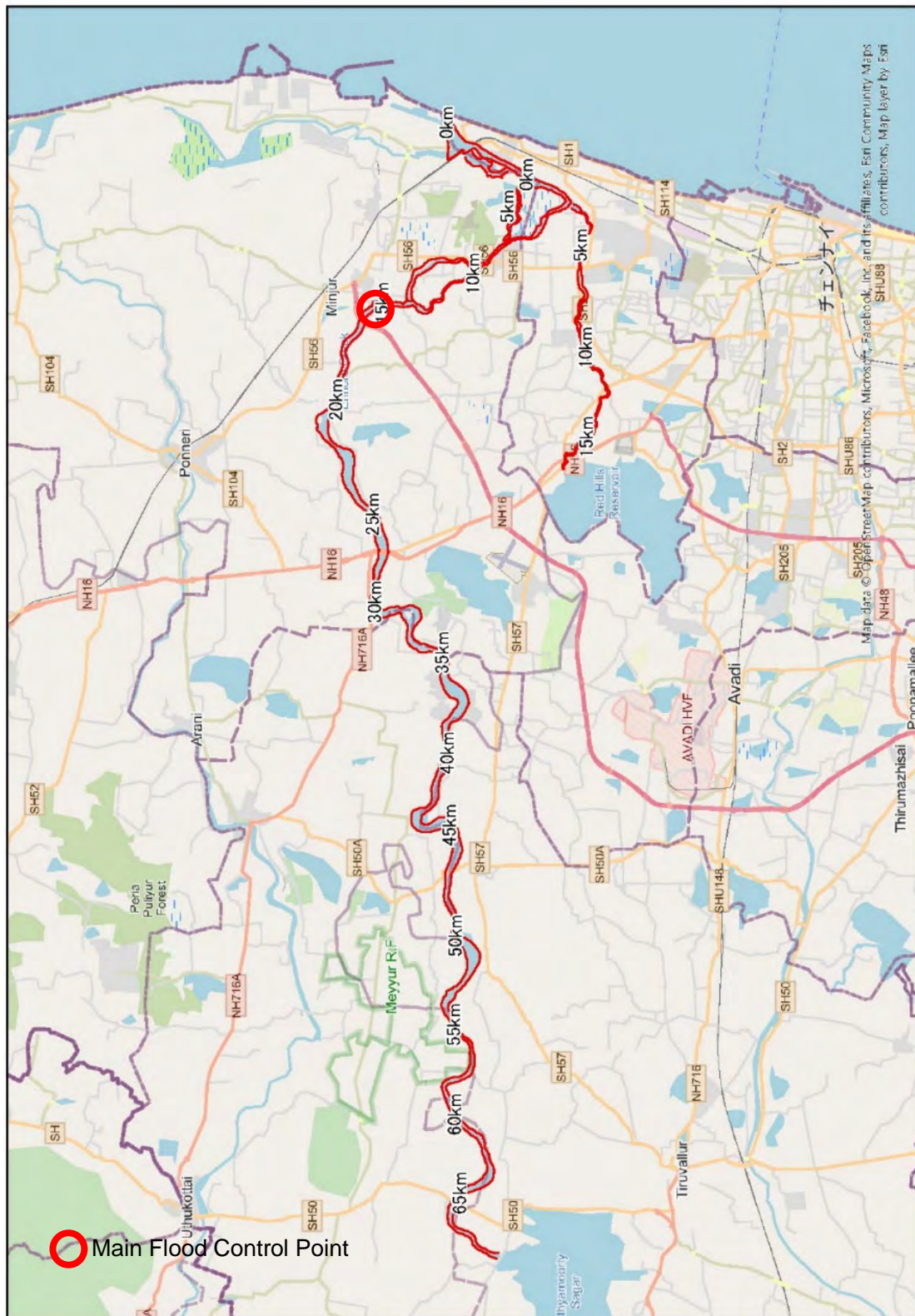
出典: JICA Expert Team

Figure 2-12: 洪水管理基準地点位置図 (Adyar 川)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-13: 洪水管理基準地点位置図 (Cooum 川)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-14: 洪水管理基準地点位置図 (Kosasthalaiyar 川)

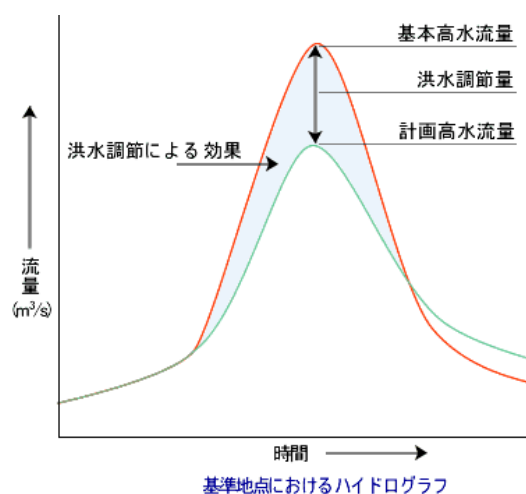
2.3.3 基本高水流量の推定

2.3.3.1. 基本高水流量とは

本節では、先に設定した計画降雨に対し、基本高水流量を算定する。

基本高水流量とは、河川の治水対策を検討する上での基本となる流量で、現況の流域の土地利用状況において流域内の洪水貯留施設を考慮しない場合に想定される洪水流出波形のことである。これに対して、計画高水流量はダムや遊水地、ため池等の洪水貯留施設による洪水流出減少を考慮した洪水流出波形である。Figure 2-15 に基本高水流量と計画高水流量のイメージを示す。

治水計画立案においては、基本高水流量を算定し想定される流出量を把握した上で、各種流域貯留施設の配置を比較検討し、計画高水流量を設定するという流れで検討を進めることが一般的である。

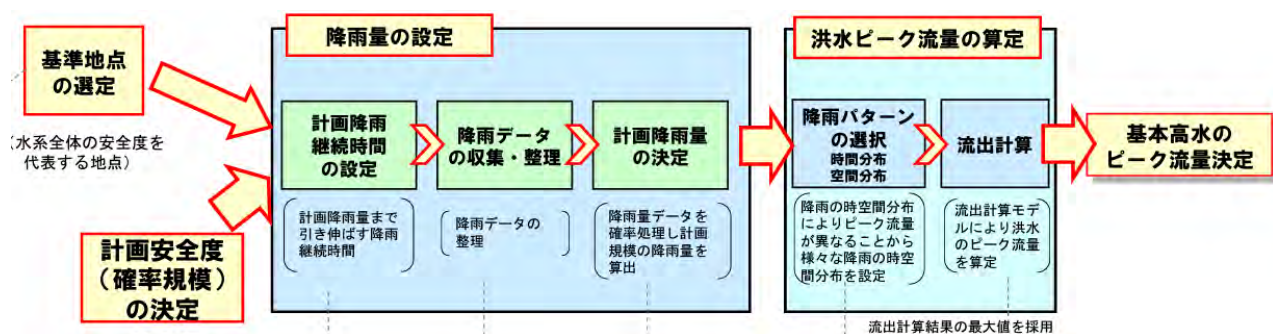


出典：国土交通省東北地方整備局 HP

Figure 2-15: 基本高水流量と計画高水流量の関係

2.3.4 対象降雨波形の選定

基本高水流量算定の流れはFigure 2-16 に示した通りである。前段の検討において、基準地点、計画洪水規模、降雨継続時間、確率降雨量までを設定していることから、本節では検討対象降雨波形を選定する。



出典：国土交通省資料（球磨川水系河川整備基本方針）

Figure 2-16: 基本高水流量算定までの流れ

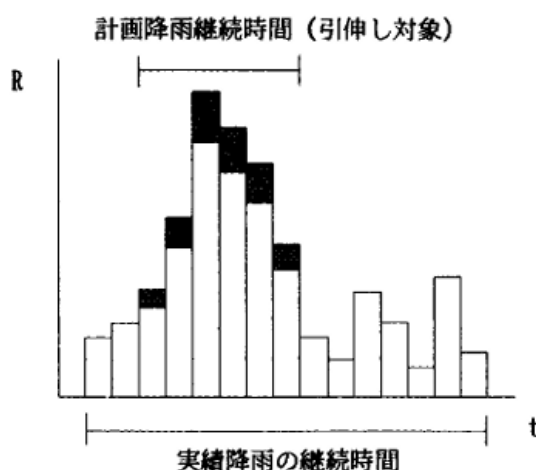
降雨継続時間 48 時間に対し、既往実績洪水降雨波形を生起確率 1/100 まで引き延ばし、現況流域条件における洪水流出量を算出した。

実績降雨波形パターンは、過去にチェンナイ都市圏に浸水被害をもたらした 1976 年～2020 年までの主要 10 洪水とした。これらの洪水について、IMD による毎時雨量データより降雨波形を作成し、これに対して計画降雨継続時間 48 時間内の流域平均雨量と 100 年確率雨量を比較し、48 時間雨量が 100 年確率雨量となるように 48 時間雨量を同一比率で拡大（引き延ばし）を行った。引き延ばしイメージを Figure 2-17 に示す。

降雨量を 100 年確率雨量に引き延ばした雨量波形を用い、HEC-HMS 流出計算モデルを用いて流出計算を行い、降雨波形による洪水ピーク流量を算定した。

その結果、各河川で洪水ピーク流量が最大となる以下の降雨波形を検討対象降雨波形として選定した。

- Adyar : 2005 型洪水
- Cooum : 2015 型洪水
- Kosasthalaiyar : 1996 型洪水



出典：中小河川計画の手引き（案）

Figure 2-17: 降雨引き延ばしイメージ

2.3.4.1. Adyar 川

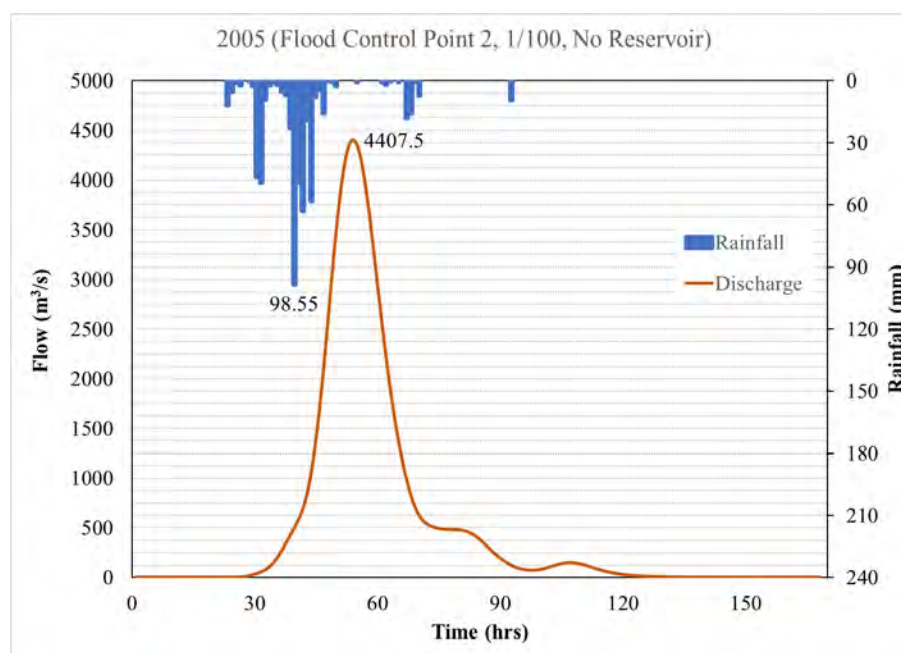
基準点である Chembarambakkan ダム合流後のピーク流量は 2005 年型洪水波形で最大となる (Table 2-13)。当該洪水の降雨・流出波形は Figure 2-18 に示す通りである。尚、図中の雨量は 1/100 年確率規模で引き延ばしたハイレトグラフである。

Table 2-13: 100 年確率規模洪水時の洪水ピーク流量 (Adyar 川)

Flood Year	Peak Discharge [m3/s]		Peak Hourly Rainfall [mm]		Total Runoff Volume [MCM]	
	Confluence D/S. (CP)	Outlet	Confluence Downst. (CP)	Outlet	Confluence Downst. (CP)	Outlet
2020	1,897	2,147	62.98	65.85	260.40	334.11
2015	4,029	4,408	58.02	57.35	317.60	389.24
2008	1,587	1,944	51.24	49.15	320.75	394.40
2005	4,408	4,644	98.55	96.96	317.78	391.49
2002	2,119	2,403	81.20	80.98	303.84	377.56
1998	2,026	2,184	68.57	72.02	316.19	389.53
1996	2,651	3,066	29.60	29.34	317.62	391.23
1991	1,959	2,153	73.88	71.09	315.37	389.08
1985	2,262	2,494	33.50	33.56	314.30	396.38
1976	4,120	4,495	58.67	58.61	320.96	394.69

CP=Flood Control Point=Downstream of confluence of CBM Adyar at the upstream of Tiruneermalai

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-18: 2005 年型洪水_100 年確率時の降雨量と流出量の関係 (Adyar 川)

2.3.4.2. Cooum川

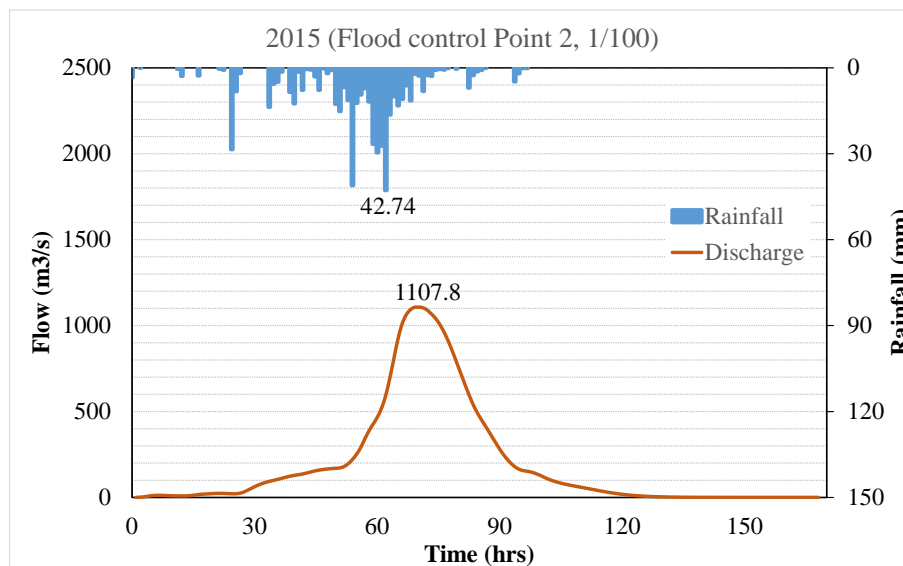
基準点である Paruthippattu 堰地点のピーク流量は 2015 年型洪水波形で最大となる (Table 2-14)。当該洪水の降雨・流出波形は Figure 2-19 に示す通りである。尚、図中の雨量は 1/100 年確率規模で引き延ばしたハイレトグラフである。

Table 2-14: 100 年確率規模洪水時の洪水ピーク流量 (Cooum 川)

Flood Year	Peak Discharge [m ³ /s]		Peak Hourly Rainfall [mm]		Total Runoff Volume [MCM]	
	Paruthipatu Weir D/S. (CP)	Basin Outlet	Paruthipatu Weir (CP)	Basin Outlet	Paruthipatu Weir (CP)	Basin Outlet
2020	848	1,043	45.17	44.49	116.05	166.60
2015	1,108	1,592	42.74	42.44	115.97	166.37
2008	698	922	72.12	70.23	116.01	166.56
2005	1,046	1,606	36.84	36.76	116.02	166.57
2002	790	1,132	95.28	90.30	116.02	165.01
1998	749	908	86.72	82.55	115.89	164.68
1996	953	1,314	30.66	28.18	116.01	166.55
1991	713	875	36.41	30.49	115.04	165.48
1985	902	1,015	51.77	46.38	113.41	163.47
1976	1,026	1,557	52.14	51.85	116.04	166.58

CP=Flood Control Point=Downstream of Paruthipatu

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-19: 2015 年型洪水_100 年確率時の降雨量と流出量の関係 (Cooum 川)

2.3.4.3. Kosasthalaiyar 川

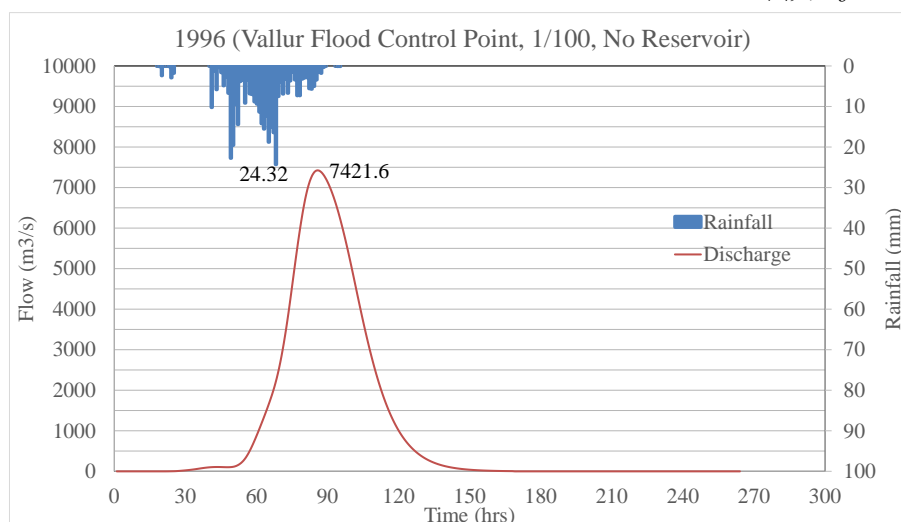
基準点である Vallur 堰地点のピーク流量は1996年型洪水波形で最大となる (Table 2-15)。当該洪水の降雨・流出波形は Figure 2-20 に示す通りである。尚、図中の雨量は 1/100 年確率規模で引き延ばしたハイレトグラフである。

Table 2-15: 100 年確率規模洪水時の洪水ピーク流量 (Kosasthalaiyar 川)

Flood Year	Peak Discharge [m3/s]		Peak Hourly Rainfall [mm]		Total Runoff Volume [MCM]	
	Vallur Flood Control Point (CP)	Basin Outlet	Vallur Flood Control Point (CP)	Basin Outlet	Vallur Flood Control Point (CP)	Basin Outlet
2020	7,201	7,765	34.46	37.91	765.33	919.58
2015	6,338	7,080	35.06	25.88	692.02	834.56
2008	5,291	5,721	30.97	26.31	745.07	920.65
2005	4,989	5,245	46.97	44.47	768.34	920.84
2002	7,019	7,459	73.28	75.75	767.28	921.89
1998	5,786	6,066	68.61	67.97	761.66	912.58
1996	7,422	8,102	24.32	24.42	770.04	922.55
1991	4,799	5,560	27.76	27.22	754.33	919.74
1985	5,362	4,988	19.45	20.14	725.86	909.50
1976	5,730	6,491	33.42	35.23	768.42	923.77

CP=Flood Control Point=Downstream of Vallur Anicut

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-20 1996 年型洪水_100 年確率時の降雨量と流出量の関係 (Kosasthalaiyar 川)

2.3.5 気候変動の影響

近年の地球温暖化による降水量の増大に対し、本計画への反映方法について現地 CP との議論を通じて計画降雨量を 1.1 倍して適用した (Adyar 川 : 543mm、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。

尚、この計画降雨量を基にしたハイエトグラフの設定については Table 2-2 に示した通り、2 箇所 の時間雨量観測所から設定している。このため、流域での降雨パターンは現実には異なり、近年新たに設置した時刻雨量観測所のデータ蓄積を持って更新していく事も重要である。

2.3.6 基本高水流量の算定

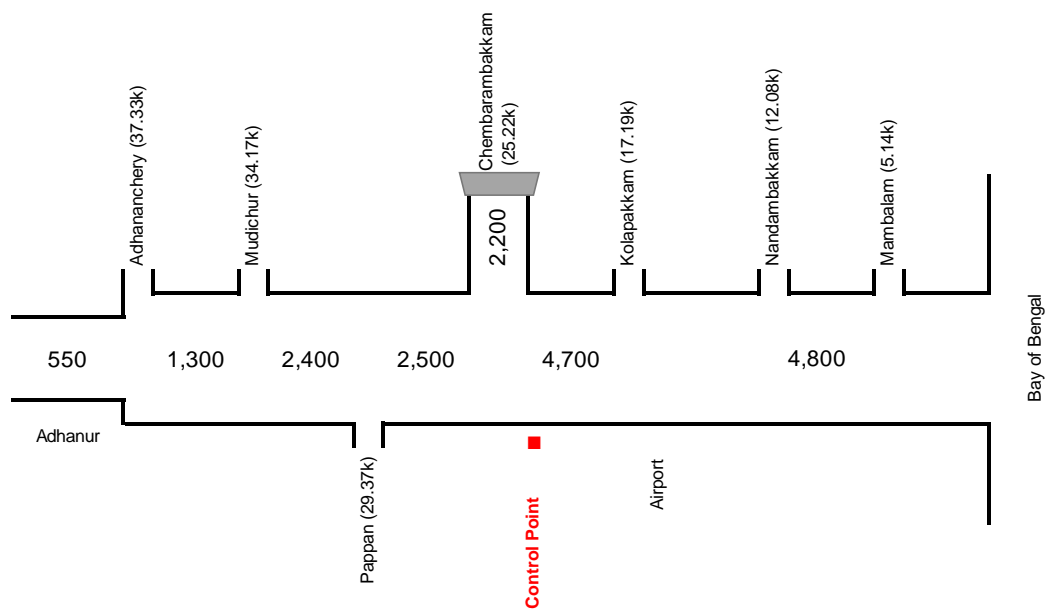
前節で選定した洪水波形を対象に、降雨継続時間 48 時間雨量を各河川の 100 年確率規模値に引き延ばした雨量を用いて HEC-HMS により流出解析を行い、3 河川の河道区間ごとのピーク通過流量を算定した。流出解析条件は以下の通りとした。

Table 2-16: 流出計算条件一覧

	Adyar	Cooum	Kosasthalaiyar
計画洪水規模	1/100		
計画降雨継続時間	48 [hr]		
降雨継続時間内雨量 (現況)	493 [mm/48hr]	371 [mm/48hr]	299 [mm/48hr]
計画降雨波形	2005 年型	2015 年型	1996 年型
気候変動の影響	現況の降雨継続時間内量を一律 10% 割り増し		
降雨継続時間内雨量 (気候変動考慮)	543 [mm/48hr]	408 [mm/48hr]	329 [mm/48hr]
洪水調節施設	なし		

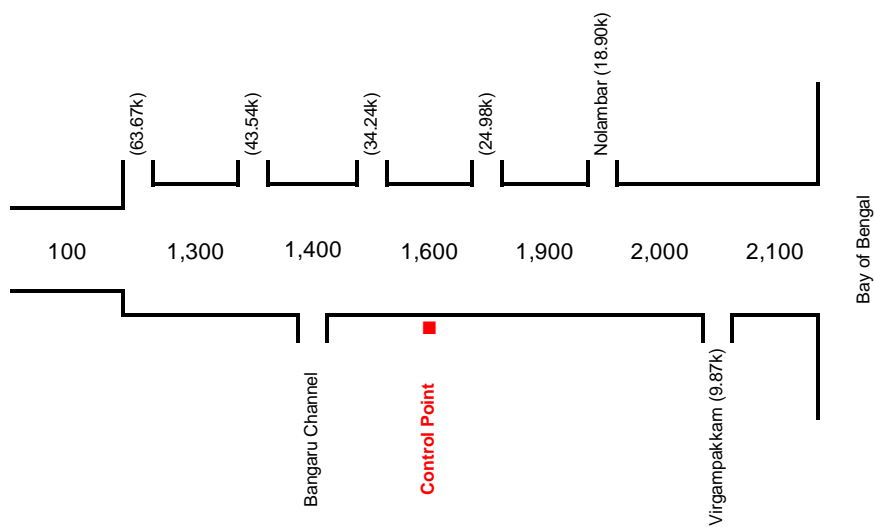
出典: JICA Expert Team

上記の条件での流出解析結果より、各河川の基本高水流量を設定した。基本高水流量は流出計算結果に対し、計算値が 1000m³/s 以上の場合は 100m³/s 単位で、100m³/s 以上 1000m³/s 未満の場合は 10m³/s 単位で切り上げ設定を行うこととした。



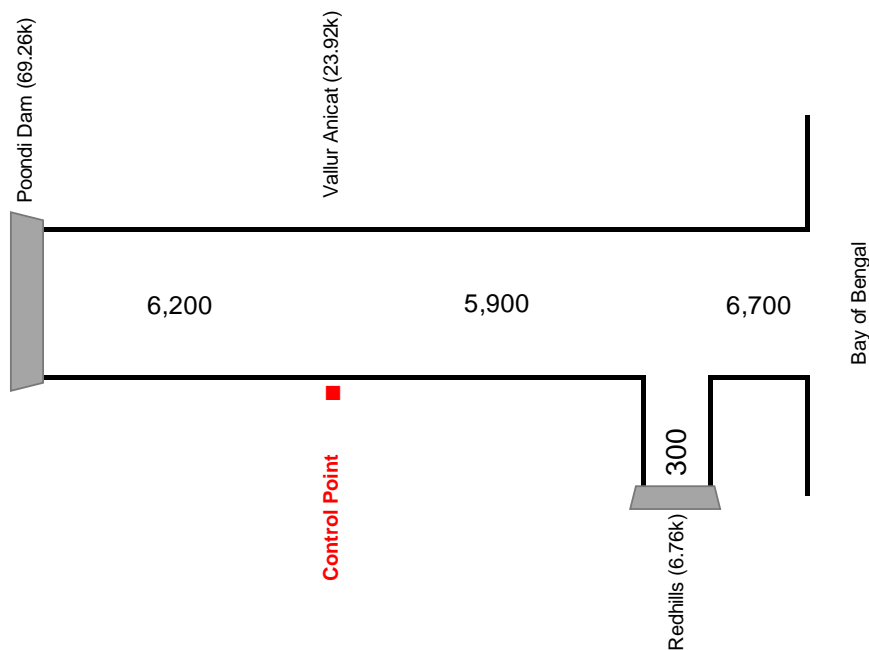
出典: JICA Expert Team

Figure 2-21: Adyar 川 基本高水流量配分図 (W=1/100)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-22: Cooum 川 基本高水流量配分図 (W=1/100)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-23: Kosasthalaiyar 川 基本高水流量配分図 (W=1/100)

2.3.7 防護区域の設定

治水計画における防護区域は、人口・資産の集積する都市域を基本に、治水対策実施に伴う被害軽減効果の高い地区を対象にすることが望ましい。

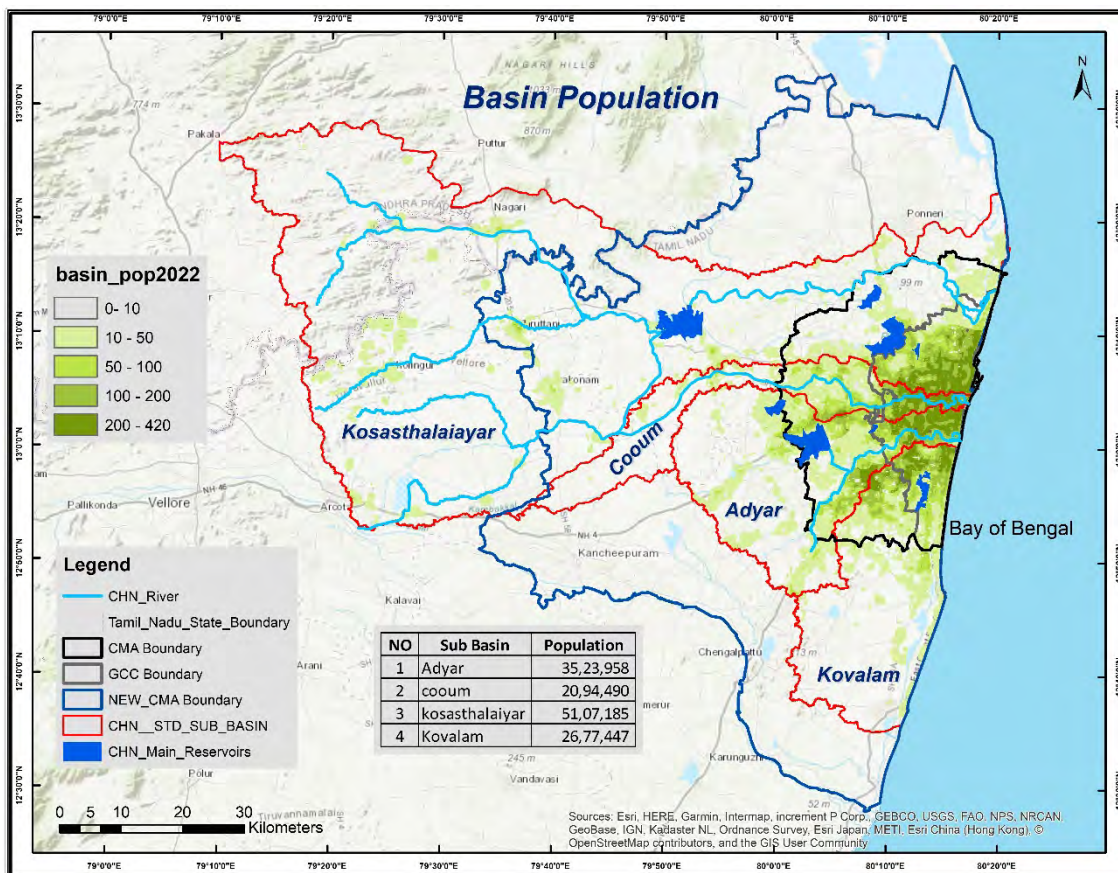
現状のチェンナイ都市圏のゾーニングは Figure 2-24 に示したとおりであり、現状では GCC エリアはほぼ全域が市街地として開発されており、GCC エリアの外側にあたる CMA エリアに市街地が拡大している状況にある。特に Adyar、Cooum 流域は CMA エリアまで概ね市街化が進展しており、治水対策による被害軽減効果が期待される状況にある。

一方、このままチェンナイ都市圏の拡大が進むと New CMA エリアまで市街地が拡大する可能性も考える必要がある。

このような状況を踏まえ、洪水防護区域は以下の考え方にに基づき設定することとする。

当面 (段階整備 Phase1) : CMA エリアの洪水被害軽減を目指す。

将来 (段階整備 Phase2) : NEW CMA エリアも含めた洪水被害軽減を目指す。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-24: 検討対象流域の人口分布とゾーニングの関係

2.3.8 計画高水位 (High Water Level : HWL)、計画堤防高の設定

(1) 計画高水位の設定

計画高水位とは河川管理を行う上で、堤防や護岸、橋梁の桁下高などの設計、洪水管理などで用いられる。

計画高水位は、以下の点などから通常は現況河川の河岸高程度として設定される。

- ・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
- ・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。

本マスタープランの検討対象河川である Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川は、ともに全延長を通じて河岸沿いに堤防が整備されていない掘込河川であり、日本の河川で多く見られる連続盛土による築堤区間はほとんど見られない(Figure 2-25)。

特に市街地が進展している GCC エリアでは、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。そのため、河岸沿いに築堤する場合、道路全体の嵩上げ、これに合わせて橋梁改築と取付道路の整備といった問題が発生する。

そのため、本マスタープランの検討対象河川においても築堤による河岸高の嵩上げは社会的制約も考慮して計画高水位は現況河岸高以下の高さに設定する。

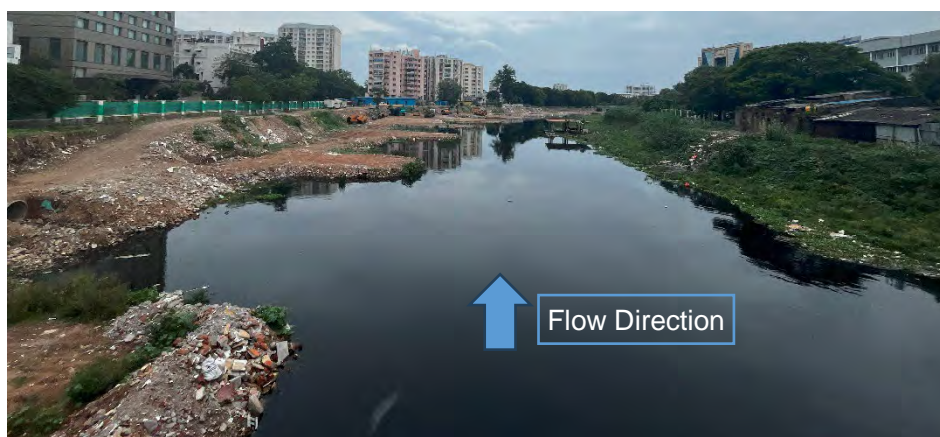
尚、具体の計画高水位の設定は以下の点に配慮して設定した。

- ・ 河口部 (0k) : ベンガル湾の朔望平均満潮位 (Mean High Water Spring) DL+0.5m (気候変動による海面上昇については以下で記載した通り、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 : 計画高水位の勾配変化点 : 支川流入や堰などを考慮

【気候変動時における海面上昇の影響について】

過去に観測された海面上昇の傾向については、2つの主要な研究で過去の海面上昇は最小限であったことが示されている。The Center for Science and Technology Policy and Research (CSTEP) による最近のレポート (2024年) によれば、チェンナイの海面は1987年から2021年の間に0.68cm上昇し、平均して年間0.066cm上昇となっている。また、the Center for Climate Risk Assessment and Adaptation Planning (CCCDM) は、過去100年間 (1916~2015年) にチェンナイ沿岸で相対的に5.5cmの海面上昇があったと報告している (2017年)。これらの観測結果は、海面上昇がこの地域において小さいことを示している。

また、予測については、the Centre for Climate Change and Disaster Management (CCCDM) によるレポート「Tamil Nadu州の気候リスク評価と適応計画—沿岸生態系」によると、2050年までにTamil Nadu州全体の海岸線で予測される平均海面上昇は19.71cmである。ただし、最も影響を受けるのはチェンナイから南に300~350km離れたTiruvarur、Nagapattinam、Thanjavurといった地域であり、チェンナイでは平均より海面上昇は小さいと予測されている。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-25: チェンナイ市内の河川状況 (Cooum 川 College Bridge)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-26: チェンナイ市内の既設橋梁 (Cooum 川 College Bridge)

2.3.8.2. 余裕高と計画堤防高の設定の考え方

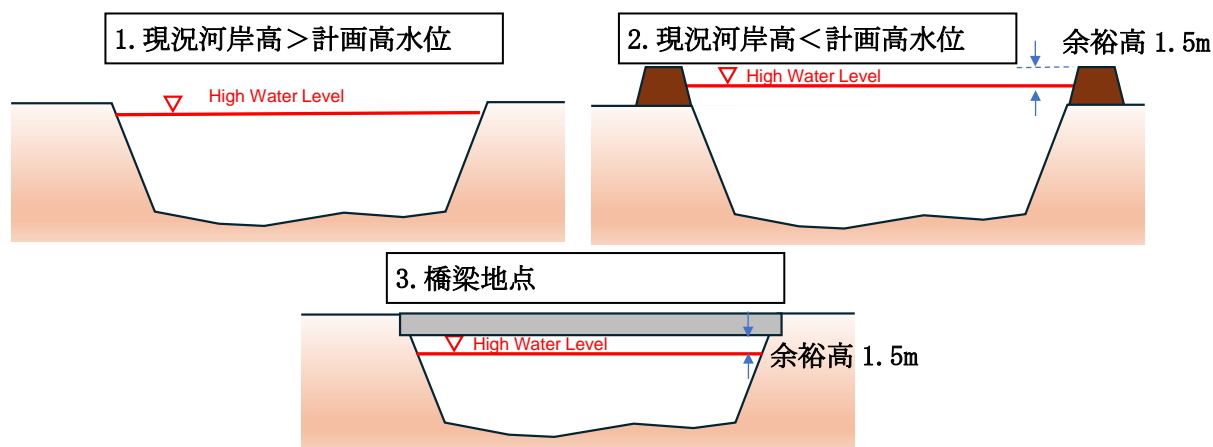
インドの国内基準 (CWC Guideline) では計画堤防高は計画高水流量を流下させる水位からうねりなどに対応できる高さとして 1.5m 余裕高を考慮することが記載されている。

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良いこととなっている。

以上から、具体的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、計画高水位に余裕高（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 2-27: 計画高水位・計画堤防高設定の概念図

2.3.9 計画高水位の設定

各河川の計画高水位を以降に整理した。

なお、ここで設定した計画高水位は、以降での河道計画結果を踏まえ、2.3.15 節において修正を行い、最終的な計画高水位を設定している。

2.3.9.1. Adyar 川

Adyar 川の計画高水位を Table 2-17 及び Figure 2-28 に示す。また図中の縦断位置は Figure 2-29 に示した通りである。

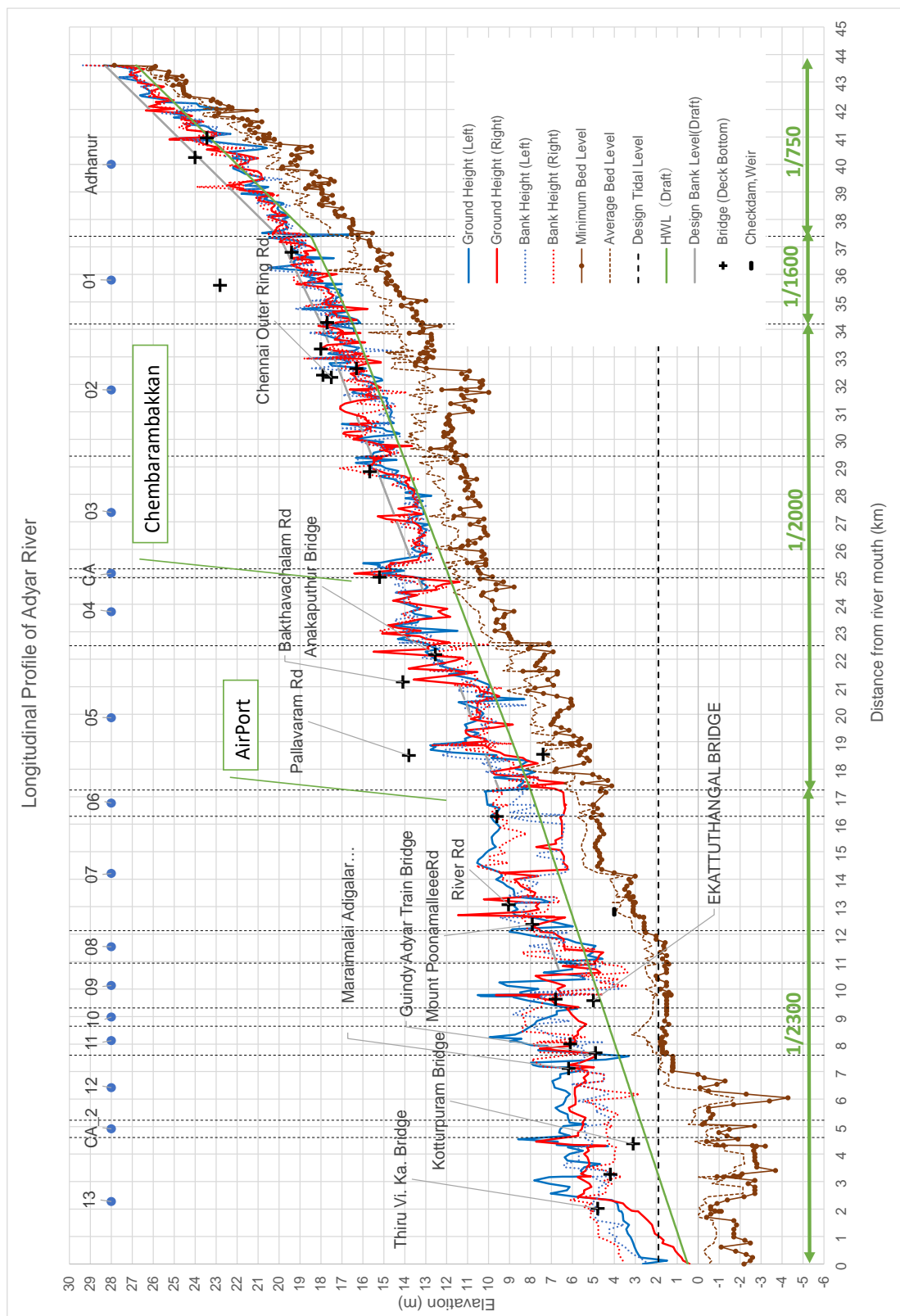
Chennai 空港通過部は当面の施工が困難と考えられるため、空港地点をコントロールポイントとして下流側を勾配 1/2300、上流側は現況地形勾配見合いで設定した。

計画高水位は、全区間で概ね現況河岸高以下となっており、築堤区間はほぼ発生しない。

Table 2-17: Adyar 川 計画高水位縦断計画

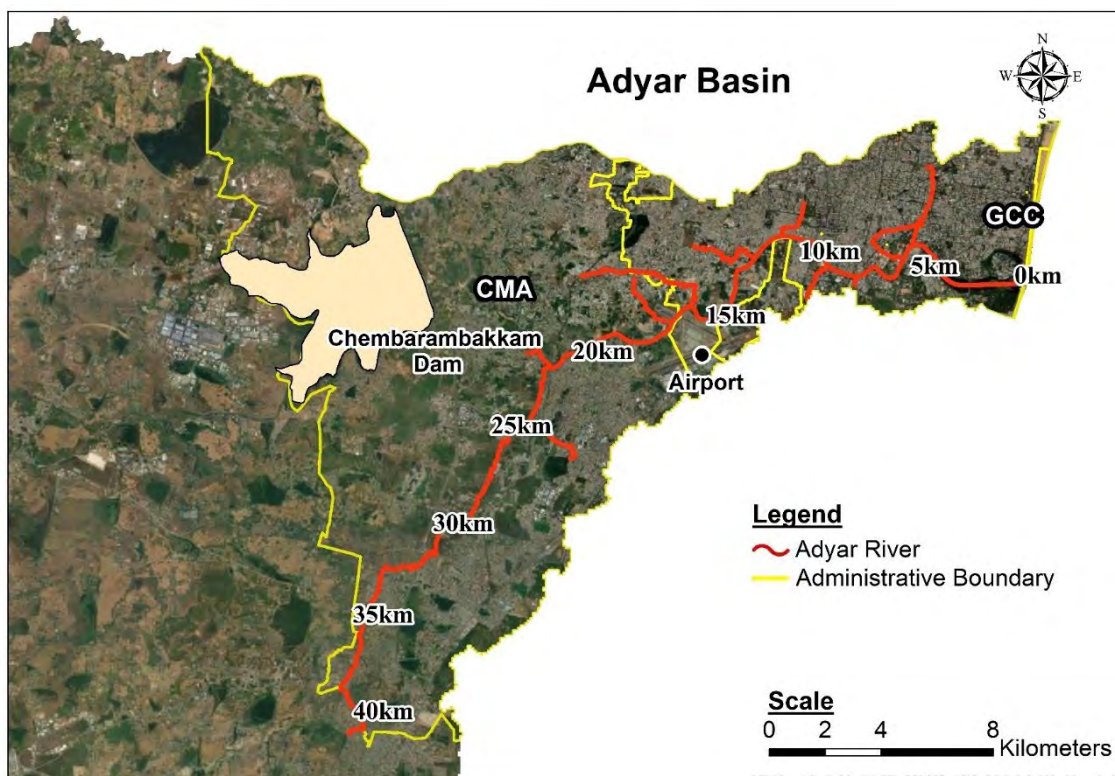
Section Name (HEC-RAS)	Cross Section No.	Distance From Sea (km)	HWL (Draft) (DL+m)	HWL Gradient 1/n	Design Bank Level (Draft) (DL+m)	Design Bank Level Gradient 1/n
Adyar13	0	0.00	0.50	2300	2.00	2300
Adyar_CA2	4794	4.66	2.53		4.03	
Adyar12	5512	5.32	2.81		4.31	
Adyar11	7800	7.64	3.82		5.32	
Adyar10	8873	8.72	4.29		5.79	
Adyar9	9466	9.34	4.56		6.06	
Adyar8	11078	10.98	5.27		6.77	
Adyar7	12270	12.17	5.79		7.29	
Adyar6	16380	16.34	7.60		9.10	
Adyar5	17294	17.29	8.03		9.53	
Adyar4	22445	22.53	10.64	12.14		
Adyar_CA	24766	25.00	11.88	13.38		
Adyar3	8446	25.35	12.06	13.56		
Adyar2	12525	29.41	14.08	15.58		
Adyar1	17300	34.23	16.50	1600	1600	
Adhanur	20520	37.44	18.59	750	20.09	750
	26754	43.61	26.81		28.31	

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-28 Adyar 川 計画縦断図 (素案)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-29: Adyar 川平面図

2.3.9.2. Cooum 川

Cooum 川の計画高水位を Table 2-19 及び Figure 2-30 に示す。また図中の縦断位置は Figure 2-31 に示した通りである。

Cooum 川において、Adyar 川と同様に現況河岸高・地形勾配見合いで計画高水位を設定した。従って、計画高水位は、全区間で概ね現況河岸高以下となっており、築堤区間はほぼ発生しない。

Cooum 川では、Table 2-18 に示した 2 カ所の堰が計画高水位のコントロールポイントとなる。Pudthuchattiram Dam は Cooum 川から Chembarambakkam Dam への導水、Kaduvetti Check Dam も Thiruverkadu Lake 等の Tank への導水に重要な施設であり、水資源管理の観点からこれらの堰高を変更することは難しい。そこで平常時の運用を勘案し、これらの堰の現況堰高に対して 30cm の余裕高を取った位置を計画高水位高（暫定案）として設定した。なお、これらの堰は現況では固定堰であるが、洪水流下能力確保の観点から将来的には可動堰への改築が必要となる。

Table 2-18: Cooum川取水堰地点計画高水位

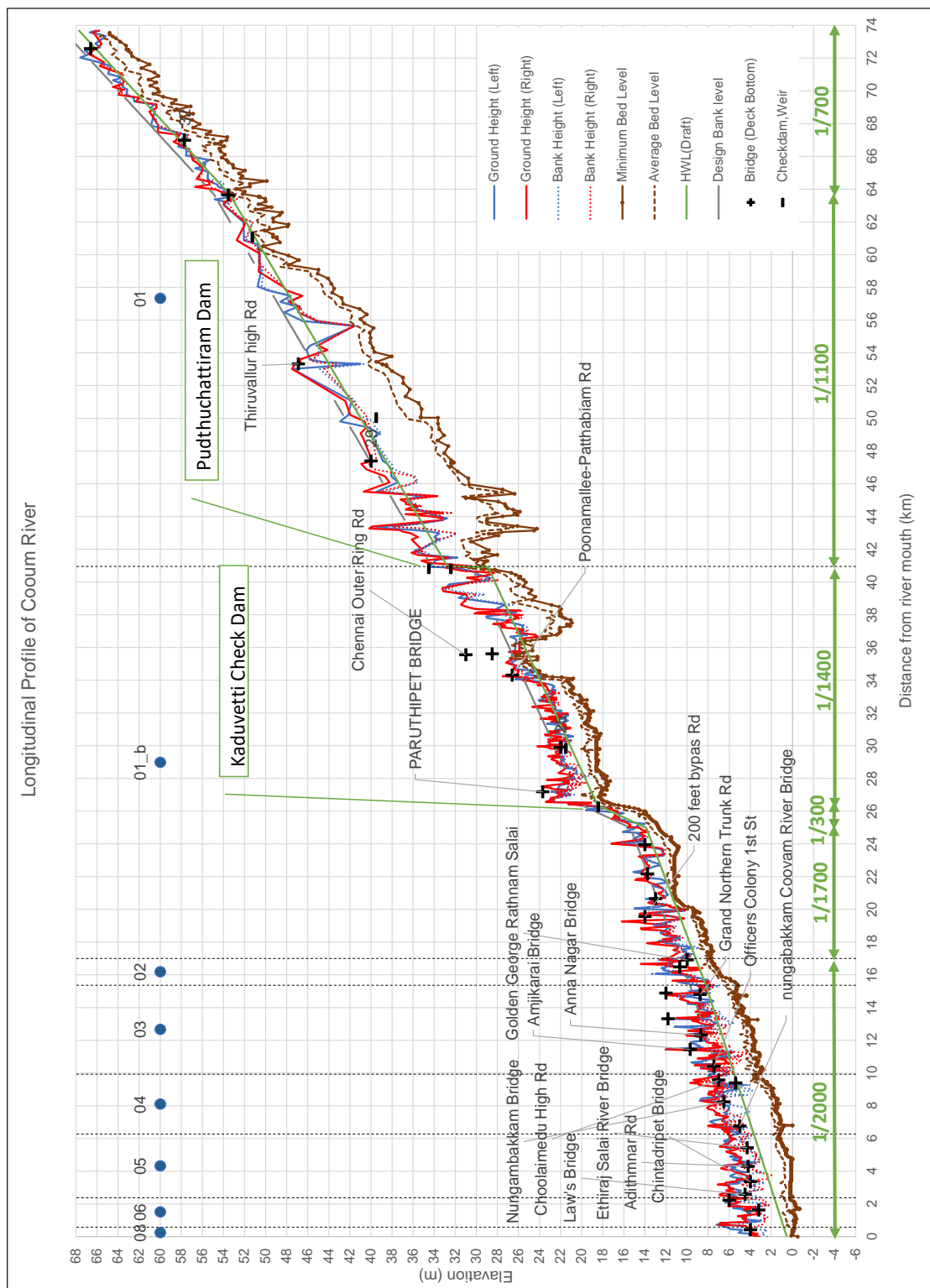
Name	Distance from Sea [km]	Dam Height [DL+m]	HWL(Draft) [DL+m]
Kaduvetti Check Dam	26.426	18.347	18.547
Pudthuchattiram Dam	40.928	32.420	32.720

出典: JICA Expert Team

Table 2-19: Cooum川 計画高水位縦断計画

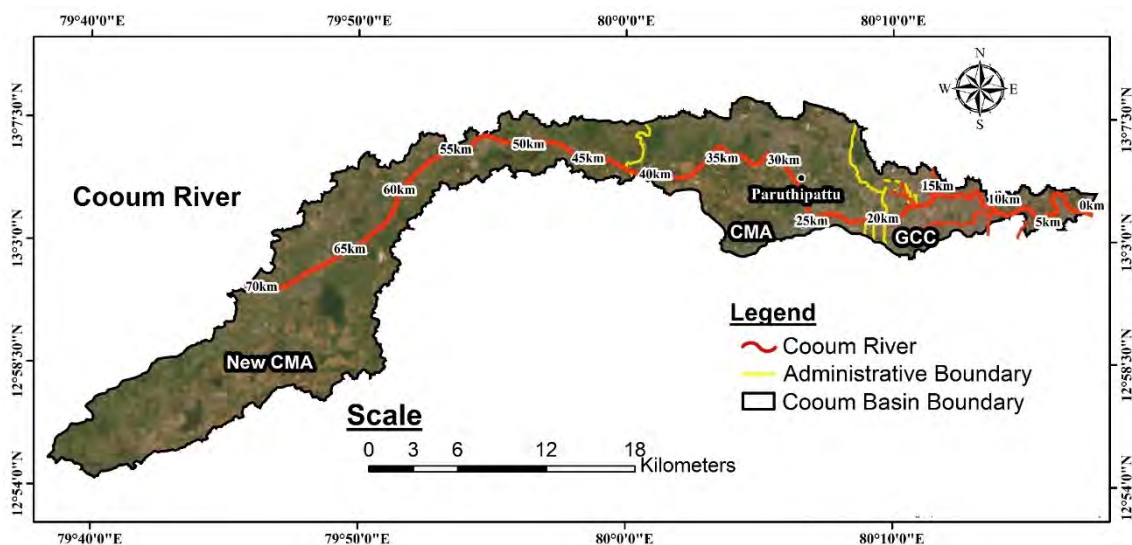
Section Name (HEC-RAS)	Cross Section No.	Distance From Sea (km)	HWL (Draft) (DL+m)	HWL Gradient 1/n	Design Bank Level (Draft) (DL+m)	Design Bank Level Gradient 1/n
Cooum08	60	0.000	0.50	2000	2.00	2000
Cooum06	720	0.664	0.87		2.37	
Cooum05	2460	2.405	1.74		3.24	
Cooum04	6390	6.315	3.69		5.19	
Cooum03	10020	9.988	5.53		7.03	
Cooum02	15421	15.393	8.24	1700	9.74	1700
Cooum01_b	17402	17.024	9.19		10.69	
	19321	18.957	10.33	11.83		
	25290	25.037	14.07	300	15.57	300
	26668	26.426	18.55	1400	20.05	1400
34652	34.303	24.17	25.67			
Cooum01	41349.39	40.958	32.75	1100	34.25	1100
	43864.28	43.785	35.32		36.82	
	63207.30	63.829	53.62	700	55.12	700
	73030.68	73.678	67.69		69.19	

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-30: Cooum川 計画縦断面図 (素案)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-31: Cooum 川平面図

2.3.9.3. Kosasthalaiyar 川

Kosasthalaiyar 川の計画高水位を Table 2-20 及び Figure 2-32 に示す。また図中の縦断位置は Figure 2-33 に示した通りである。

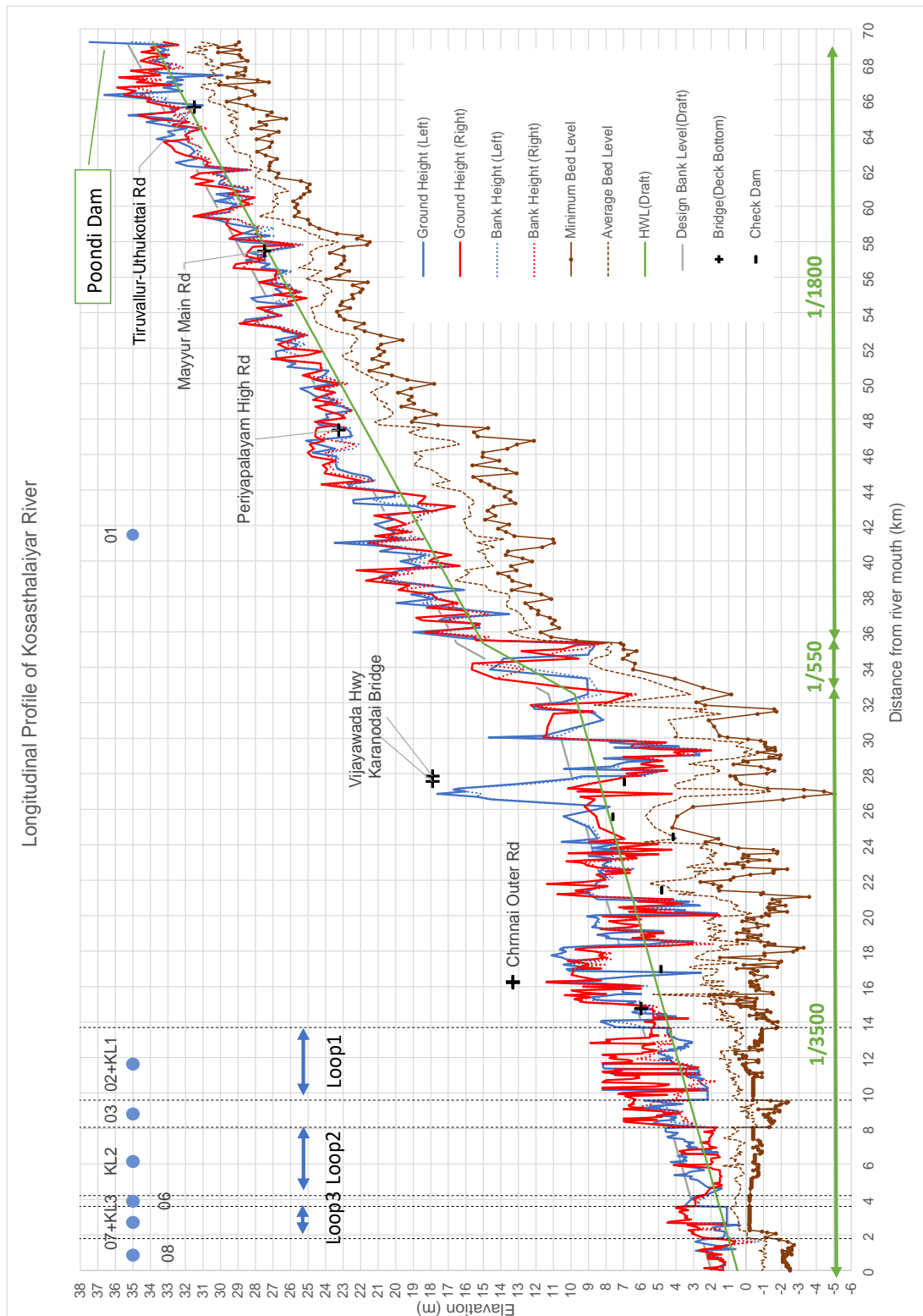
Kosasthalaiyar 川では Cooum 川のように取水堰周辺において現況河岸高が急変する箇所は見られないため、現況河岸高・地形勾配見合いで計画高水位を設定した。従って、計画高水位は、全区間で概ね現況河岸高以下となっており、築堤区間はほぼ発生しない。

Kosasthalaiyar 川では 33k~36k 区間で地形勾配が急変区間であるため、ここを勾配変化点として計画高水位では 3 区間の縦断勾配を設定した。

Table 2-20: Cooum 川 計画高水位縦断計画

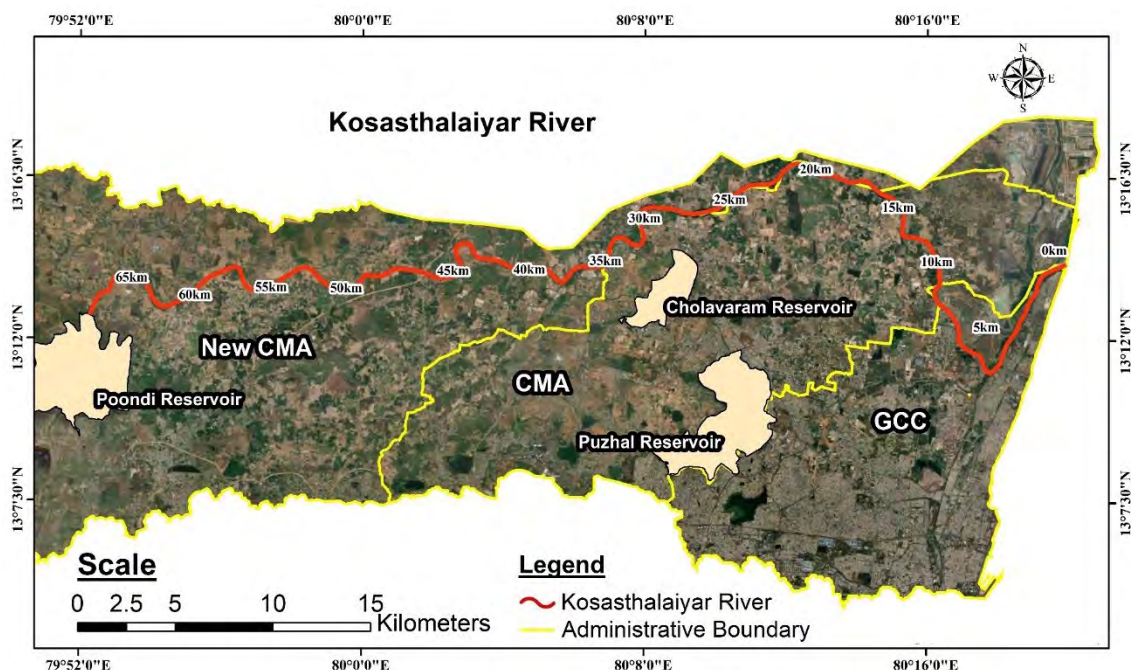
Section Name (HEC-RAS)	Cross Section No.	Distance From Sea (km)	HWL (Draft) (DL+m)	HWL Gradient 1/n	Design Bank Level (Draft) (DL+m)	Design Bank Level Gradient 1/n
Kosas08	2	0.00	0.50	3500	2.00	3500
Kosas07+KL3	493	1.85	1.03		2.53	
Kosas06	185	3.63	1.54		3.04	
KL2	274	4.24	1.71		3.21	
Kosas03	102	8.08	2.81		4.31	
Kosas02+KL1	160	9.63	3.25		4.75	
Kosas01	152	13.72	4.42	5.92	550	
	18245	31.87	9.60	11.10		
	19517.5	32.86	10.47	15.11	1800	
	22174	35.52	15.11	16.61		
	56344	69.26	33.85		35.35	

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-32: Kosasthalaiyar 川 計画縦断面図 (素案)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-33: Kosasthalaiyar 川・Redhill 川 平面図

2.3.10 計画高水流量の検討

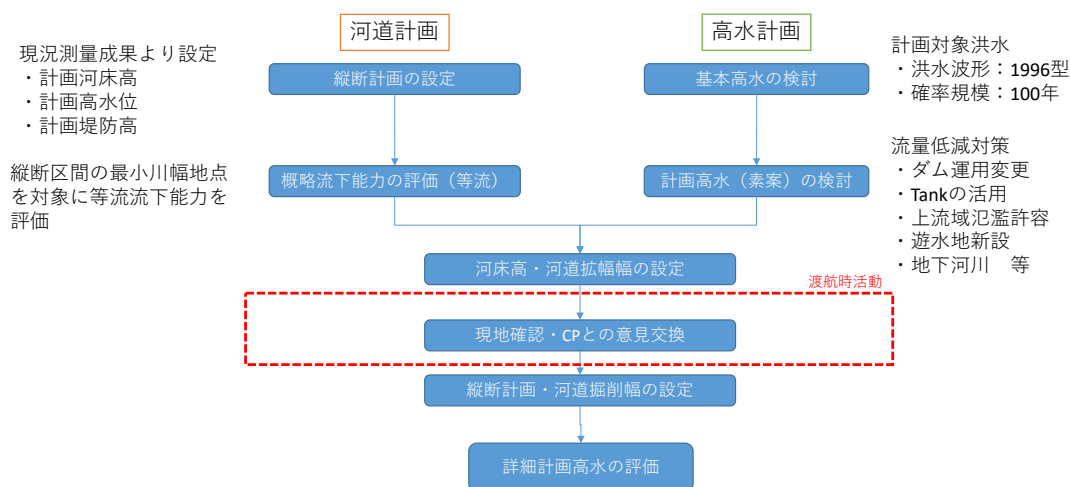
2.3.10.1 計画高水流量検討の流れ

治水計画立案においては、流域側でのダムやTankの貯留機能向上と、洪水流出を流下させる対象3河川の流下能力向上を組み合わせる計画洪水規模である100年確率規模での安全度を確保する必要がある。

流出側の計画条件である計画高水流量は、前述のFigure 2-15の通り、今後のダムやTank等の貯留施設の整備による洪水流出抑制量を設定すると共に、河川改修により確保可能な最大流下能力を踏まえ、適切なバランスを考慮して設定する必要がある。

特にTNWRDはこれまで、タンクの機能増強を進めており、今後も推進していく方向であることから、主要なタンクの改良を前提とした計画高水とする必要がある。この点は、日本において河道で流下できる限界を踏まえ、不足する流量を貯留施設で対処するのは検討手順が異なっている。

Figure 2-34は上記に記した検討の流れを模式的に整理したものである。



出典：JICA Expert Team

Figure 2-34: 治水対策検討の流れ

2.3.11 将来流出量の算定

2.3.11.1. 算定条件の整理

将来計画である W=1/100 規模洪水に対する流出量を先に構築した HEC-HMS モデルを用いて算定した。将来的な流出量の算定においては、先に算定した基本高水流量時の設定に対して、流域貯留施設（既設ダムの治水活用、Tank 改築による貯留効果付与）による影響を考慮した。

2.3.11.2. 既設ダムの治水活用

チェンナイ都市圏の既設ダム (Chembarambakkam, Poondi, Puzhal 等) は利水ダムであり、現状で治水効果は付与されていない。これらの既設ダムへの将来的な治水機能付与の可能性に整理した。

既設ダムへの洪水調節容量の付与については、出水期間中に長期的にダム湖水位を下げて洪水調節量確保する方法、洪水の直前の事前放流により一時的にダム湖水位を下げる方法が考えられる。

出水期間中にダム湖水位を下げる方法については、出水期中の利水容量低下や、出水期後のダム湖水位回復ができない場合の利水機能低下に対して現地 CP から懸念が示されており、確実な利水機能の担保ができない現状では既設ダムへの治水容量確保に対して否定的な見解が示されたことから本マスタープランでの検討対象から除外した。

洪水直前の事前放流による一時的な洪水貯留容量確保については、現地 CP が世界銀行ダム運用検討を進めているところであるが、100年確率規模のような大規模出水時に着実に予測通りのダム調節機能を発揮できるかは現状、技術的に確実ではない。治水計画はどのよう

な状況においても計画規模の洪水の流下が可能となる安全サイドの計画とすべきであるため、本マスタープランではダム事前放流による治水容量確保は考慮しないものとした。

これを踏まえ、本マスタープランでは、既設ダムではダム湖による調節を無いものとして、ダム流入量＝ダム放流量として取り扱うこととする。ただし Chembarambakkam ダムについては、現況放流施設能力が最大 820m³/s であることから、これを放流量の上限として設定した。

2.3.11.3. 既存タンクの改修による洪水貯留

流域の農業ため池 (Tank) については、面積拡大・掘削により流域での流出量を一時貯留することにより河道への流出ピークの遅延・洪水ピーク流量の低減が期待される。

既存タンクの改修については TNWRD が毎年改善してきており、現地 CP が現実的な対応として考えている案である (2024 年における TNWRD による事業は以下の通り)。

- ・Improvement to Porur Tank Surplus Course and Regulator Arrangements: 34 INR crore
- ・Improvement and deepening of the existing tank bed of Kolathur Tank: 7.3 INR crore
- ・Providing flood regulator arrangements in Ambattur Tank (Both Weirs): 0.98 INR crore
- ・Rehabilitation of Cholavaram Tank Bund: 40 INR crore

このタンクの改修については、本資料の 2.4.1 節にて詳細検討を行っている。流出計算では、前述の検討で想定される候補 Tank の改修後の新規貯留容量全体を 100%として Tank の段階整備状況を考慮するため新規貯留容量の 10%、20%、50%、75%、90%が改修された場合を想定した流出量を算定した。

2.3.11.4. その他流量低減施設

上記の既設ダムや既存タンクにより流域から河道に到達する洪水流量の算定を行った上で、さらに流量低減が必要な場合には以下の手法によりその効果を表現した。

a) 放水路

河道を流下する流量を低減させる方法として、放水路設置により河道流量の一部を分派させ、分派点下流の洪水流量を低減させる方法がある。本検討では、Adyar 川にて地下放水路整備による流量低減効果を評価した。

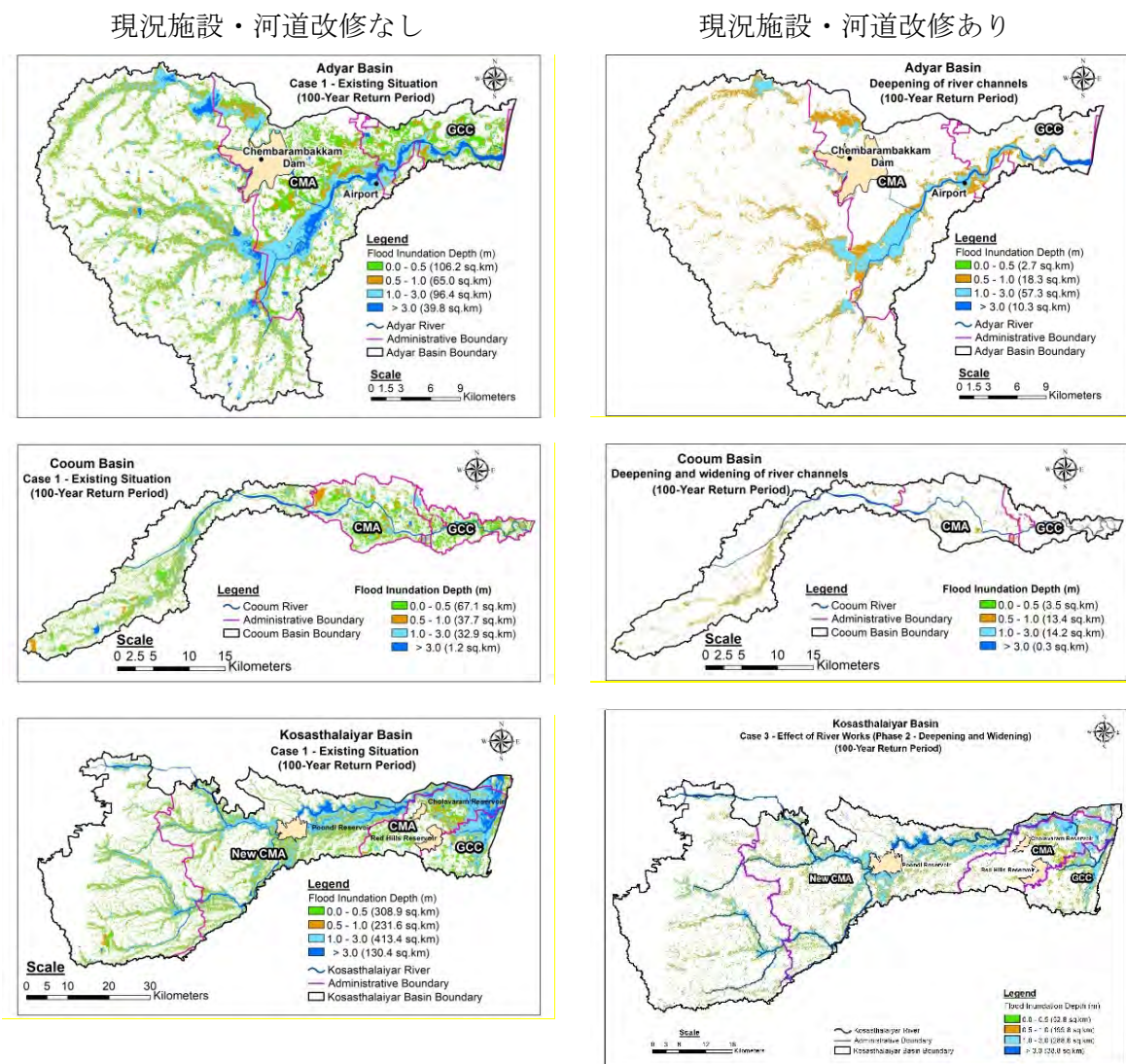
b) 河道沿い遊水地・調節池

放水路以外の調節方法として、河道沿いに遊水地・調節池を整備し、洪水流量を一時的に

貯留することで施設下流の洪水ピーク流量の低減を図るものである。これについては、河道沿いの土地利用状況や浸水状況から適地を検討することとなる。

後述する河道拡幅・掘削の制約から、Adyar 川では最下流地点で 2400m³/s (現況: 4800m³/s ⇒Phase2: 2500m³/s)、Cooum 川では 400m³/s (現況: 2100m³/s ⇒Phase2: 1700m³/s、Kosasthalaiyar 川では 4600m³/s (現況: 6700m³/s ⇒Phase2: 2100m³/s) の洪水調節機能が必要となる。この洪水調節容量を河道沿いの遊水地で対応するためには複数個所で相当な大きさの遊水地整備が必要となる。遊水地整備を行う河川沿いは 100 年確率規模洪水時の浸水状況及び河道拡幅・掘削後の浸水状況は Figure 2-35 の通りであり、各河川とも河川沿いで広範囲に浸水が残り、河道沿い遊水地でこれらの流出量を処理するためにはここで示した浸水範囲と同等の貯留機能を有する施設が必要となり、用地確保を勘案すると現実的ではない。

これらの点から、河道沿い遊水地等の整備は現実的ではないと判断して、検討対象から除外した。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-35: 河道改修による浸水区域の変化 (現況状態・100年確率規模洪水時)

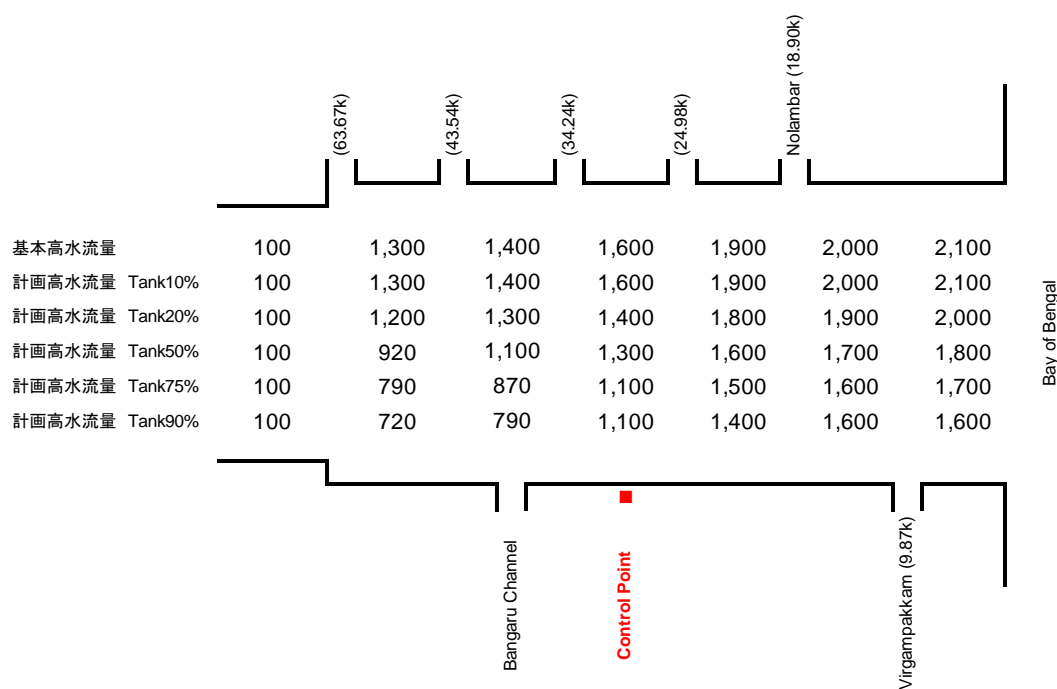
2.3.11.5. 流域貯留施設を考慮した流出量

既設タンク改修効果を考慮した流出量を Figure 2-36~Figure 2-38 に示す。計算条件は基本高水流量算定時の条件を基本に、既存タンクの改修割合毎に算定した。なお、図中の数値は 1000m³/s 以上は 100m³/s 単位、1000m³/s 未満は 10m³/s 単位で切り上げている。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-36: Adyar 川流出計算結果 (既設 Tank 改修量との関係)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-37: Cooum 川流出計算結果 (既設 Tank 改修量との関係)



出典: JICA Expert Team

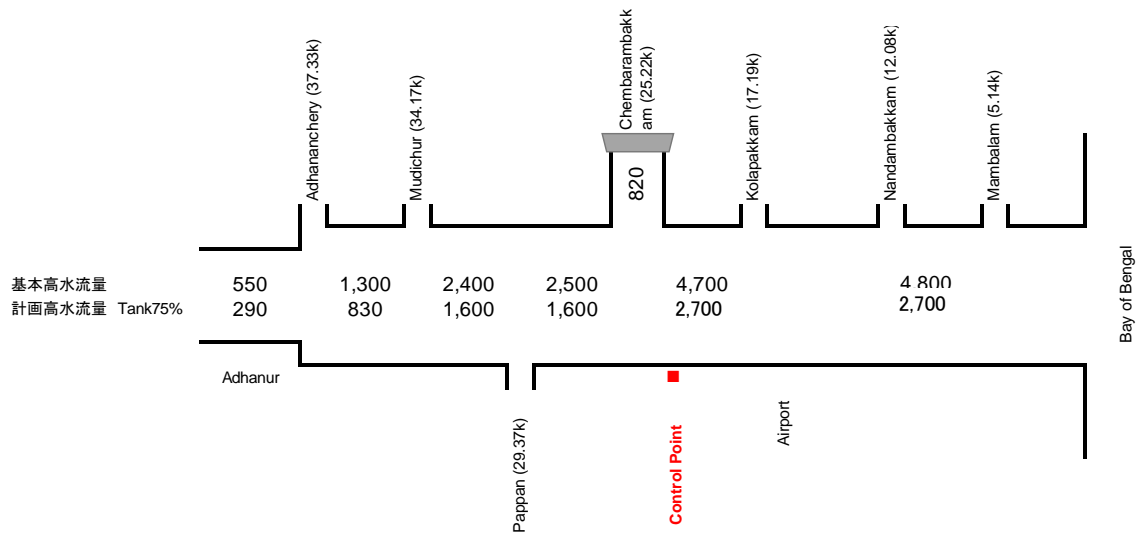
Figure 2-38: Kosasthalaiyar 川流出計算結果 (既設 Tank 改修量との関係)

2.3.11.6. 計画高水流量 (素案) の設定

計画高水流量は、本マスタープランにおいて実施可能な既存タンク改修量に留意することが必要である。TNWRD との意見交換において、将来的には既設タンクの改修により現施設容量の 75%以上を新規に開発していく意向であることを確認できたことから、本マスタープランでは既設タンクの 75%が改修により洪水貯留効果を有することを前提として計画高水流量 (素案) を設定する。

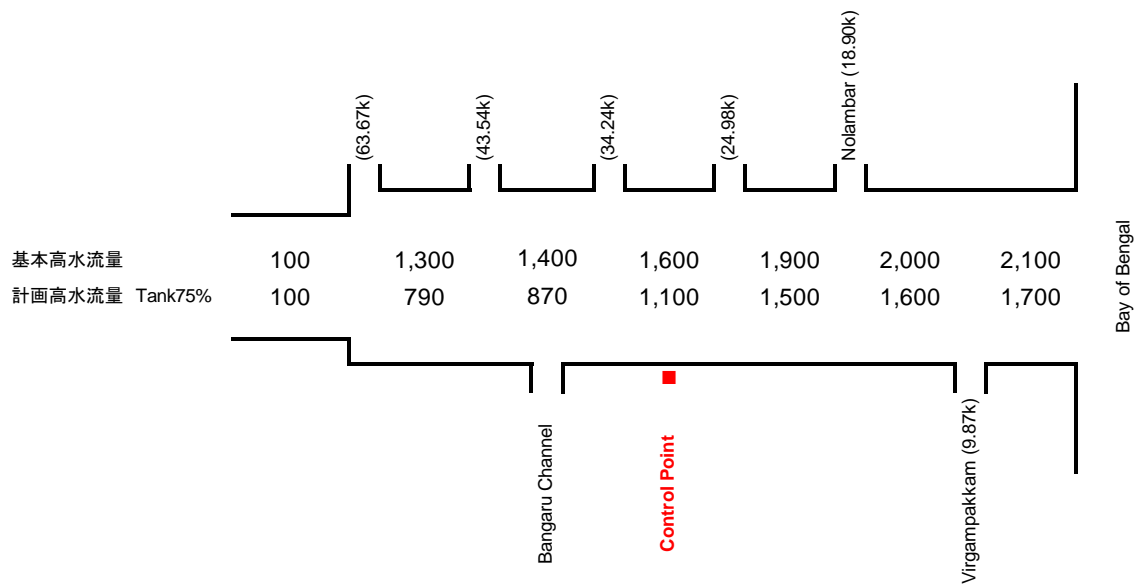
なお、ここで (素案) とするのは、河道計画側での河道拡幅・河床掘削の制限により計画高水流量 (素案) を安全に流下できる断面確保が困難な場合に、地下放水路等による洪水ピーク流量低減施策を考慮することでの変更が生じる可能性があるためである。

各河川の計画高水流量 (素案) を Figure 2-39~Figure 2-41 に示す。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-39: Adyar 川 計画高水流量 (素案)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-40: Cooum 川 計画高水流量 (素案)

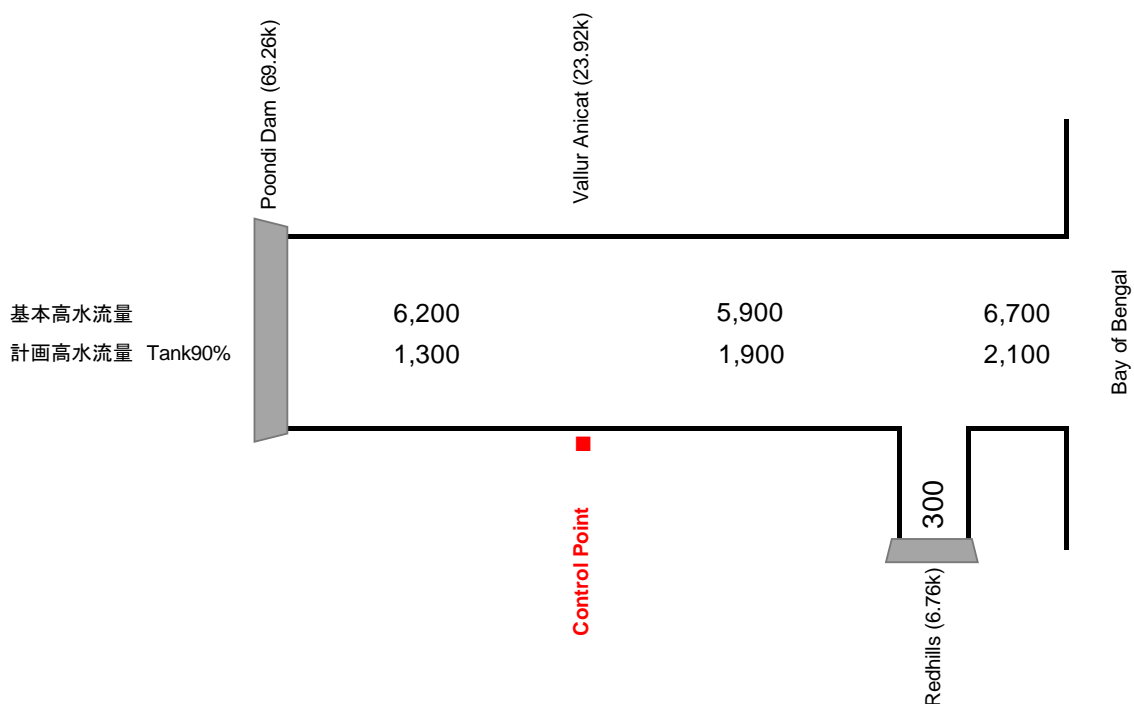


Figure 2-41: Kosasthalaiyar 川 計画高水流量 (素案)

2.3.12 現況流下能力の算定

現況河道の流下能力を HEC-RAS モデルでの不等流計算結果より評価した。HEC-RAS モデルによる流下能力算定方法については Appendix に別途記載したので、詳細についてはそちらを参照されたい。

本節では、Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川の現況河道での流下能力の特徴より、治水上問題となる箇所を整理した。

2.3.12.1. Adyar 川

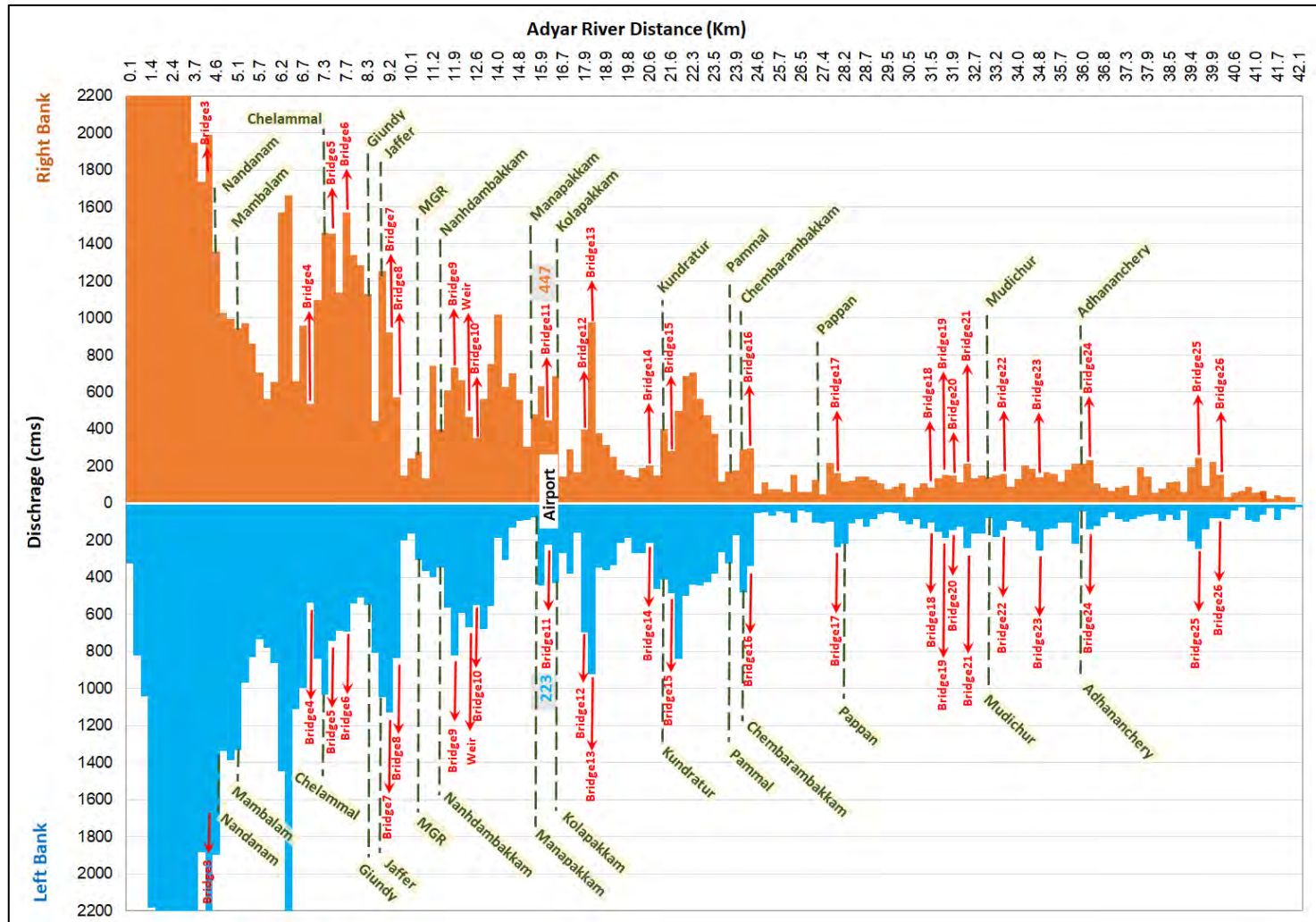
Adyar 川の現況流下能力図を Figure 2-42 に示す。この図の通り、Adyar 川では計画高水流量 (素案) に対して全川の的に流下能力が不足している状況にある。河口から 7k 付近のメトロ橋梁下流は比較的河床高が低く流下能力が大きい、7k 上流は大きく不足している。そのため、局所的なネック箇所の解消ではなく、河口部から上流域にかけ全川での河道拡幅・掘削による抜本的な流下能力向上が必要である。

2.3.12.2. Cooum 川

Cooum 川の現況流下能力図を Figure 2-43 に示す。この図の通り、Cooum 川では計画高水流量（素案）に対して河口部から Bangaru Canal 分派点付近までは現況流下能力が 200m³/s 程度の区間が多く、分派点上流は 1000m³/s 以上と計画高水流量（素案）を上回る流下能力の区間が多い。そのため、Cooum 川では Bangaru Canal 分派点から河口部までの区間での河道拡幅・掘削による抜本的な流下能力向上が必要である。

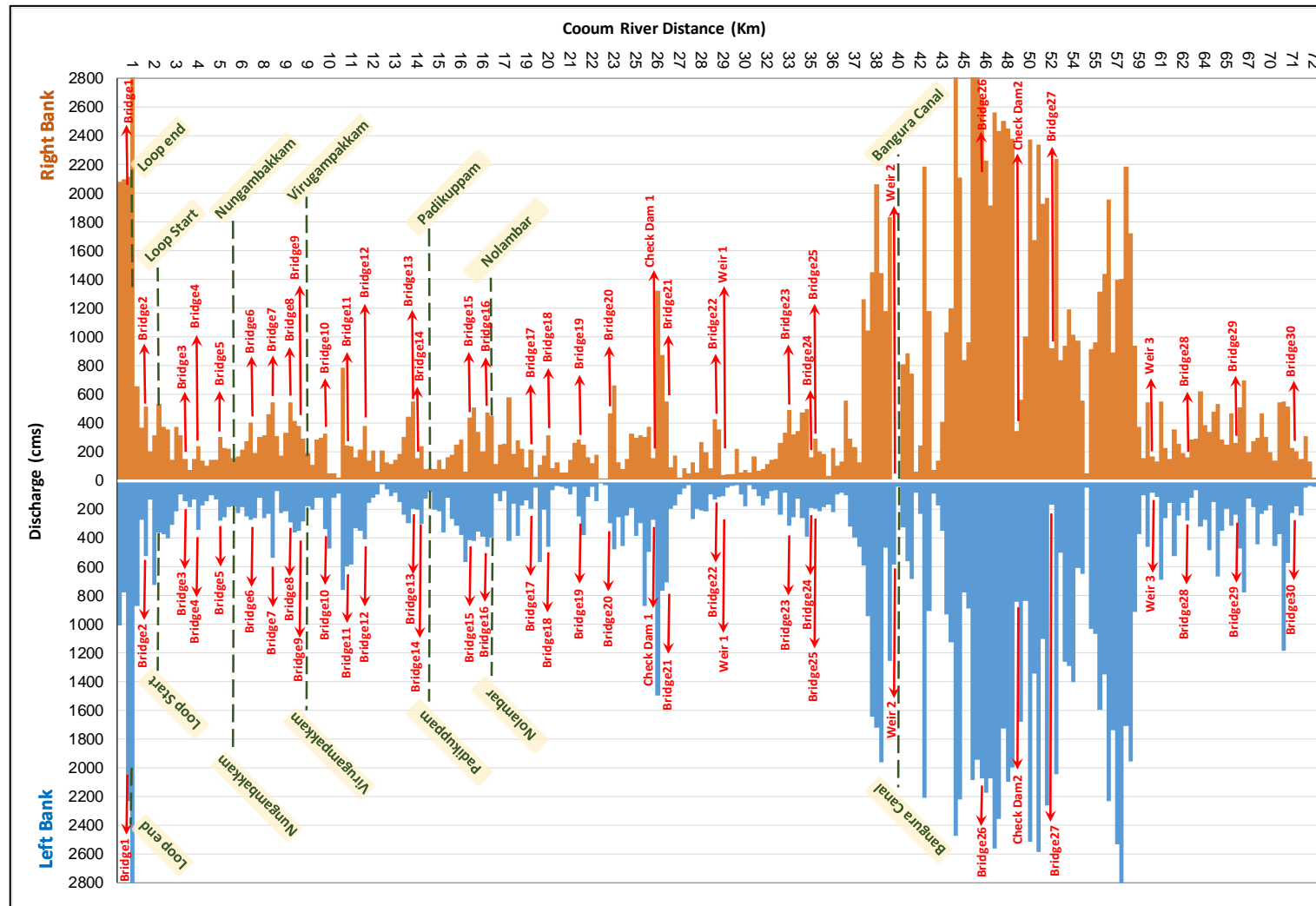
2.3.12.3. Kosasthalaiyar 川

Kosasthalaiyar 川の現況流下能力図を Figure 2-44 に示す。この図の通り、Kosasthalaiyar 川では計画高水流量（素案）に対して流下能力不足区間が散在している。特に最下流の Loop3 区間の上流端から Loop1 区間の上流端付近までは 200m³/s 程度と流下能力が小さい。Kosasthalaiyar 川は Adyar 川、Cooum 川に比べて都市化が進んでいないが、Loop2 と Loop3 区間の間にあたる 10k 付近に家屋や工場等の資産が集積していることから、この区間も含めた流下能力確保が必要となる。そのため、Kosasthalaiyar 川においても河口部までの区間での河道拡幅・掘削による抜本的な流下能力向上が必要である。



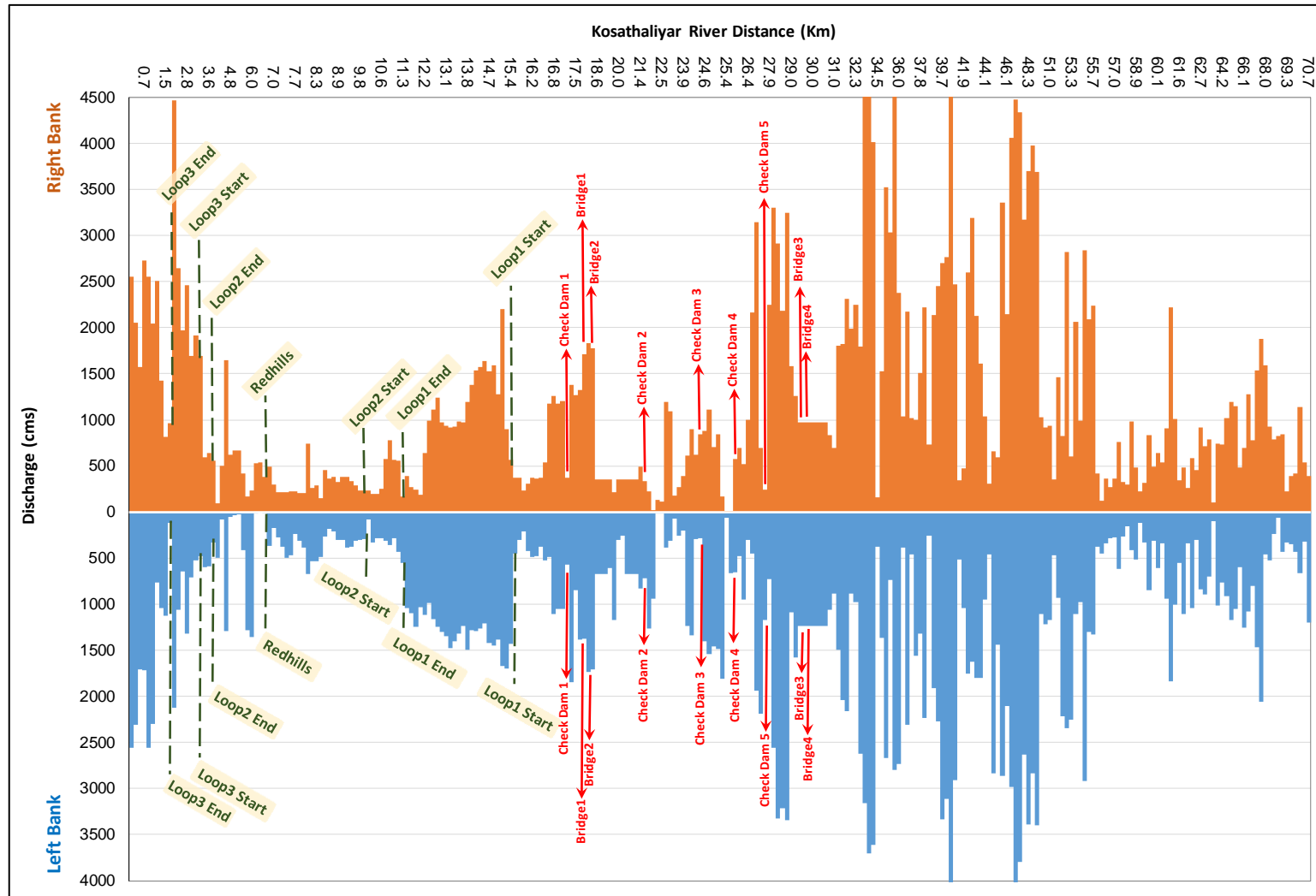
出典: JICA Expert Team

Figure 2-42: 現況流下能力図 (Adyar 川)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-43: 現況流下能力図 (Cooum 川)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-44: 現況流下能力図 (Kosasthalaiyar 川)

2.3.13 将来計画河道（案）の検討方針

2.3.13.1. 治水対策の基本的な方向の検討

計画河道の設定においては、以下の様な基本的な方向がある。チェンナイにおいては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るが、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ของ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その対策の基本的な方向を整理したものである。表から、基本は、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、放水路の組み合わせにより対策することとした。

また、これらの組み合わせの内、貯留施設は雨の降り方や洪水の発生期間が短い場合には調節容量が計画まで確保できなくなる恐れがあり、確実に効果を期待できるのは河道改修である。河道改修については段階整備でも記述しているが、拡幅には家屋等の移転が多く、現況河道幅での掘削が優先される。尚、築堤については用地買収が生じることや排水不良が新たに生じること等から、一部堤内地盤高が低い区間のみでの対応とした。

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 2-21: 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 ³ /s程度であり、現況流下能力(500m ³ /s)まで下げることとは困難【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 ³ ・用地面積:3.6百万m ² ・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 ³ ・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 ³ ・用地面積:11百万m ² ・別途、橋梁架け替え費用が必要【評価:△】	・掘削土量:0.32百万m ³ 【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 2-22: 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 ³ /s を WB で検討中	・3000m ³ /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 ³ /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 ³ ・用地面積：11 百万 m ² ・放水路渡河部での橋梁新設が必要【評価：×】	・200m ³ /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

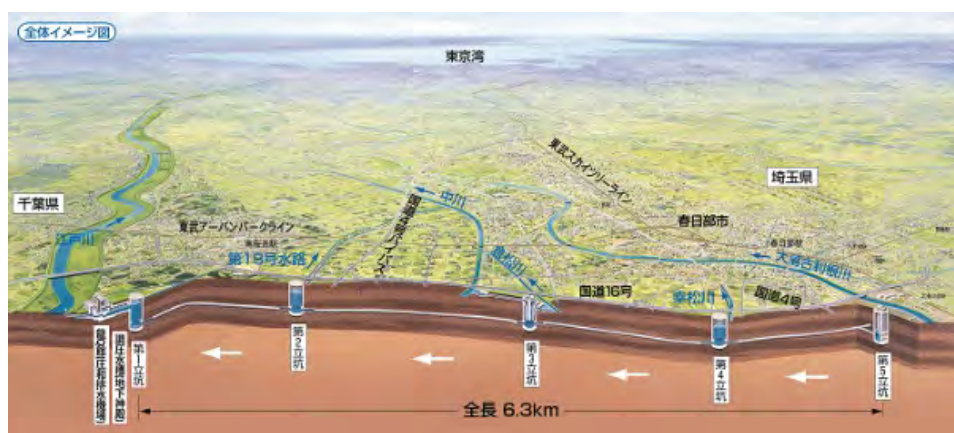
出典：JICA Expert Team

2.3.13.2. 参考：地下バイパストンネル

地下バイパストンネルは都市域で開水路による放水路建設が困難な場合に整備される。日本国内では国土交通省による首都圏外郭放水路（Figure 2-45）や東京都による環状七号線地下広域調節池等の複数の整備事例が存在する。

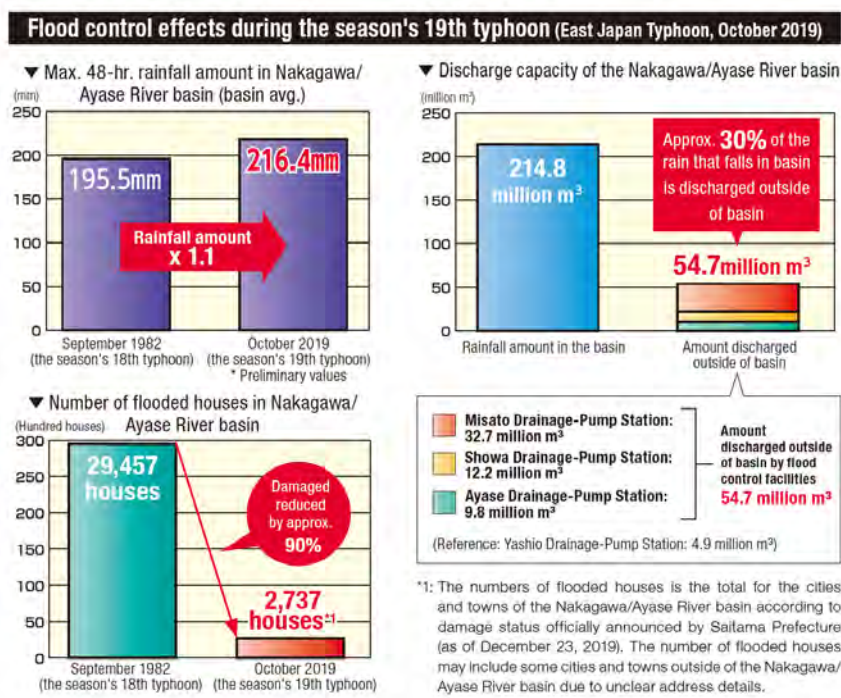
外郭放水路周辺は内水被害常襲地区であったが、整備により Figure 2-46 の通り、被害が10%程度まで減少しており、内水被害解消としての効果は高い。

チェンナイ都市圏は都市化が進んでいることから Adyar 川からのバイパス効果を期待できる他、トンネルルート上の Kovalam Basin の様な内水常襲地区にも効果が期待できる。



出典：国土交通省

Figure 2-45: 首都圏外郭放水路 全体図



出典：国土交通省

Figure 2-46: 首都圏外郭放水路 整備効果

2.3.13.3. 一次案の設定方針

現況河道に対する流下能力は Figure 2-42～Figure 2-44 に示した通りであり、かなりの区間で 500m³/s を下回っており、流域貯留施設により流出抑制を行ったとしても Figure 2-39～Figure 2-41 に示した計画高水流量（素案）を流下させることは困難であり、河道拡幅・掘削による流下断面拡大により流下能力を向上させる必要がある。

そのため、以下では現況河道断面を基本に河道拡幅・掘削量に応じた概略流下能力を算定し、河川側で処理できる最大流量を算定した。

(1) 算定条件の整理

A) 河道断面設定条件

将来計画河道を設定する際の考え方は以下の通りとした。

①河道拡幅

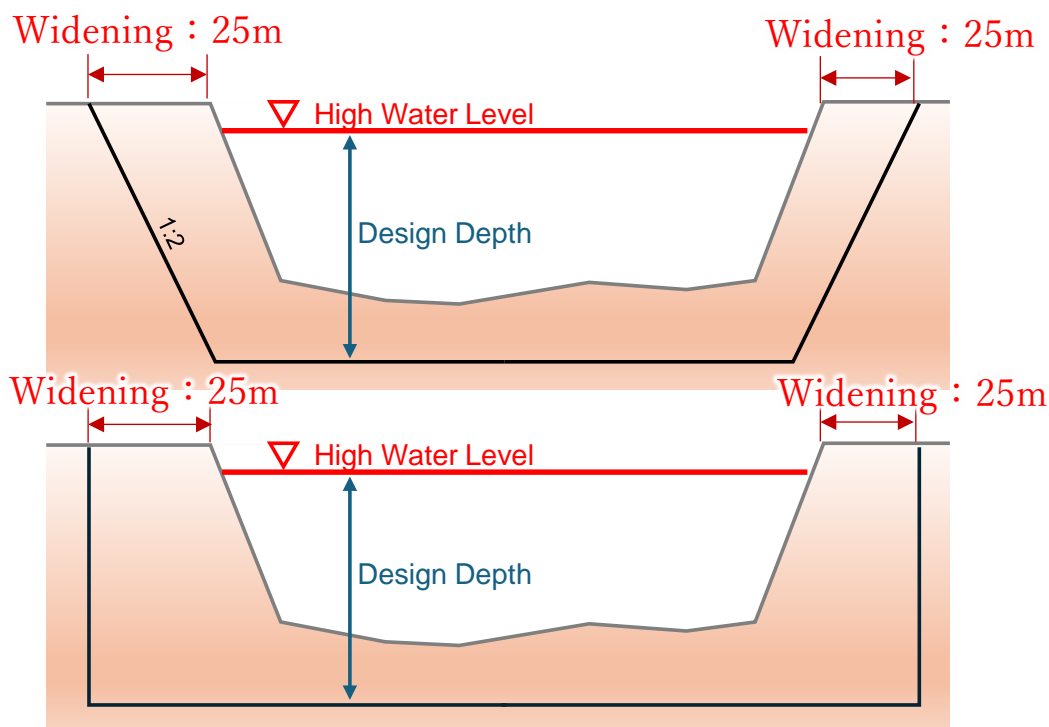
- 現況河岸位置から左岸・右岸方向にそれぞれ 25m（合計 50m）とする。
 - TNWRD より、現況河岸位置から 15～30m 幅を河川用地として指定する方向であることを確認（今後本検討成果を受けて CP 側は詳細を詰めていくことを考えていることから、本検討では最大幅の 30m で検討）
 - 管理用通路 5m を左右岸に確保するため、片岸 25m に設定

②河道掘削

- 先に設定した HWL（案）に対して計画水深 1m 刻みで設定する。
 - 現地 CP から掘削深さについての制約はないことを確認
※橋梁については基礎高などの諸元が不明なことや拡幅も控えていることから、根継ぎで対応できる可能性もあるが、架け替えを前提として取り扱うこととした。
 - 所定の流下能力を確保可能な計画水深（HWL-掘削後河床高）を設定

③河道断面形状

- 河岸法面勾配は、日本での土堤や自然河岸区間の事例を基に、1 : 2（2割勾配）を基本とする（Figure 2-47）
- 但し、現況河川幅が狭く 2割勾配断面では必要な流下能力確保が困難な区間については、河岸を鉛直壁とした場合の最大限確保可能な流下能力を算定する。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-47: 将来計画河道断面イメージ図

(2) 一次案設定に向けた流下能力の算定

改修後断面における流下能力は、複数河川において概略の必要断面形状把握が目的であることから、等流計算により算定した。算定条件は以下の通りである。

- 計算手法: 等流計算
- 検討対象区間: 支川合流点間等で河道状況が同様の一連区間単位ごとに算定する。
 - 一連区間の全測線の平均川幅に対し、河道拡幅幅（現況、現況から 25m、現況から 50m）と河床掘削（各河川の現況断面に応じて、計画水深を 2m~7m で 1m ピッチの設定）の組合せにより計画断面を設定し、それぞれの流下能力を算定する。
 - 河床勾配は HWL 勾配と同等として設定する。

2 割勾配断面における各河川の流下能力の算定結果は以下の通りである。このうち Adyar 川については、先に整理した計画高水流量（素案）(Figure 2-39) に対して 7.64k~12.08k 区間および 29.41k~34.17k 区間で不足することから、当該区間を直壁護岸とした場合の流下能力を更に算定している。

Table 2-23: Adyar 川 流下能力算定表 (全区間 2 割勾配断面)

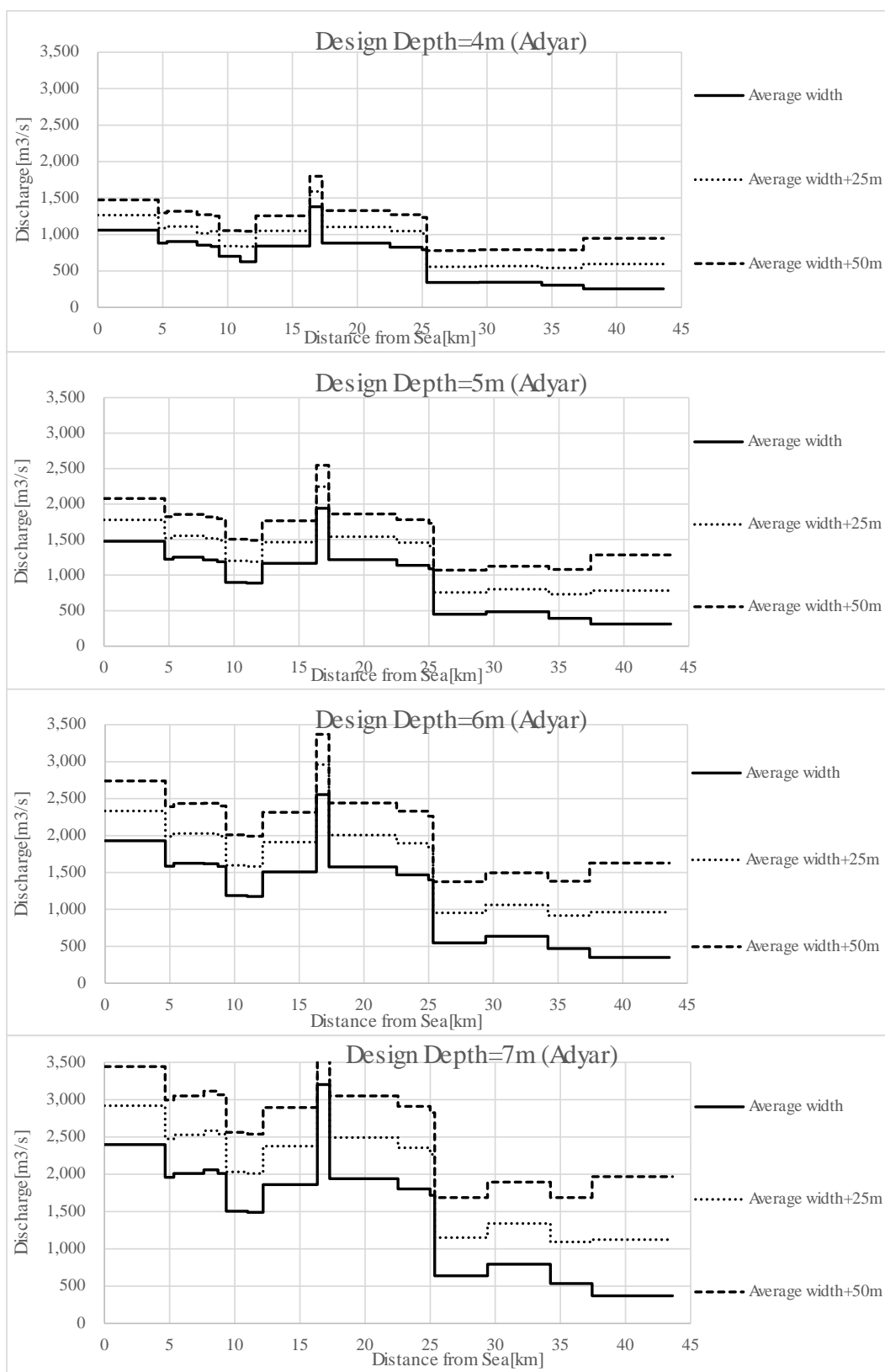
River Section (HEC-RAS)	Distance from Sea[km]			Carrying Capacity (Average Section Width + Widening) [m ³ /s]												Average River Width [m]
				Design Depth=4m			Design Depth=5m			Design Depth=6m			Design Depth=7m			
				0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	
Adyar13	0.00	~	4.54	1,059	1,267	1,476	1,478	1,779	2,081	1,928	2,333	2,740	2,399	2,920	3,443	147
Adyar_CA2	4.66	~	5.14	882	1,089	1,298	1,223	1,522	1,823	1,584	1,987	2,392	1,958	2,475	2,996	125
Adyar12	5.32	~	7.56	903	1,111	1,319	1,253	1,553	1,854	1,625	2,029	2,434	2,011	2,528	3,050	128
Adyar11	7.64	~	8.58	750	957	1,165	1,034	1,332	1,632	1,331	1,731	2,135	1,634	2,146	2,665	110
Adyar10	8.72	~	9.29	731	938	1,146	1,007	1,305	1,604	1,294	1,694	2,098	1,587	2,099	2,617	107
Adyar9	9.34	~	10.91	700	739	948	720	1,017	1,318	910	1,307	1,711	1,097	1,603	2,120	83
Adyar8	10.98	~	12.08	526	731	938	713	1,007	1,305	901	1,294	1,694	1,086	1,587	2,099	82
Adyar7	12.17	~	16.24	842	1,049	1,258	1,166	1,465	1,765	1,507	1,910	2,315	1,860	2,375	2,896	121
Adyar6	16.34	~	17.19	1,380	1,589	1,798	1,942	2,244	2,547	2,553	2,961	3,370	3,203	3,728	4,255	185
Adyar5	17.29	~	22.46	881	1,104	1,327	1,219	1,540	1,862	1,575	2,006	2,440	1,941	2,494	3,051	118
Adyar4	22.53	~	24.92	825	1,048	1,271	1,139	1,459	1,780	1,467	1,897	2,330	1,803	2,354	2,910	112
Adyar_CA	25.00	~	25.22	791	1,013	1,236	1,089	1,409	1,731	1,401	1,830	2,263	1,719	2,268	2,824	108
Adyar3	25.35	~	29.37	342	558	778	448	755	1,071	548	955	1,376	638	1,150	1,687	57
Adyar2	29.41	~	34.17	251	463	682	320	620	933	380	775	1,191	429	923	1,451	46
Adyar1	34.23	~	37.33	305	544	789	392	730	1,080	470	915	1,382	535	1,093	1,686	48
Adhanur	37.44	~	43.61	257	595	948	312	783	1,286	351	961	1,629	372	1,125	1,967	34

出典: JICA Expert Team

Table 2-24: Adyar 川 流下能力算定表 (2 割勾配断面: 緑ハッチ部は直壁断面)

River Section (HEC-RAS)	Cross Section			Distance from Sea			Carrying Capacity (Average Section Width + Widening) [m ³ /s]												Average River Width [m]
							Design Depth=4m			Design Depth=5m			Design Depth=6m			Design Depth=7m			
							0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	
Adyar13	-2088	~	4678	0.00	~	4.54	1,059	1,267	1,476	1,478	1,779	2,081	1,928	2,333	2,740	2,399	2,920	3,443	147
Adyar_CA2	4794	~	5310	4.66	~	5.14	882	1,089	1,298	1,223	1,522	1,823	1,584	1,987	2,392	1,958	2,475	2,996	125
Adyar12	5512	~	7746	5.32	~	7.56	903	1,111	1,319	1,253	1,553	1,854	1,625	2,029	2,434	2,011	2,528	3,050	128
Adyar11	7800	~	8753	7.64	~	8.58	853	1,018	1,272	1,216	1,518	1,821	1,619	2,028	2,437	2,059	2,585	3,113	110
Adyar10	8873	~	9420	8.72	~	9.29	834	1,043	1,252	1,188	1,490	1,793	1,582	1,990	2,400	2,011	2,537	3,065	107
Adyar9	9466	~	11010	9.34	~	10.91	700	842	1,054	896	1,200	1,505	1,188	1,598	2,010	1,504	2,031	2,562	83
Adyar8	11078	~	12180	10.98	~	12.08	626	834	1,043	887	1,188	1,490	1,176	1,582	1,990	1,489	2,011	2,537	82
Adyar7	12270	~	16292	12.17	~	16.24	842	1,049	1,258	1,166	1,465	1,765	1,507	1,910	2,315	1,860	2,375	2,896	121
Adyar6	16380	~	17914	16.34	~	17.19	1,380	1,589	1,798	1,942	2,244	2,547	2,553	2,961	3,370	3,203	3,728	4,255	185
Adyar5	17294	~	22378	17.29	~	22.46	881	1,104	1,327	1,219	1,540	1,862	1,575	2,006	2,440	1,941	2,494	3,051	118
Adyar4	22445	~	24690	22.53	~	24.92	825	1,048	1,271	1,139	1,459	1,780	1,467	1,897	2,330	1,803	2,354	2,910	112
Adyar_CA	24766	~	24990	25.00	~	25.22	791	1,013	1,236	1,089	1,409	1,731	1,401	1,830	2,263	1,719	2,268	2,824	108
Adyar3	8446	~	12505	25.35	~	29.37	342	558	778	448	755	1,071	548	955	1,376	638	1,150	1,687	57
Adyar2	12525	~	17251	29.41	~	34.17	347	568	791	486	803	1,124	636	1,061	1,494	795	1,339	1,896	46
Adyar1	17300	~	20405	34.23	~	37.33	305	544	789	392	730	1,080	470	915	1,382	535	1,093	1,686	48
Adhanur	20520	~	26754	37.44	~	43.61	257	595	948	312	783	1,286	351	961	1,629	372	1,125	1,967	34

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-48: Adyar 川改修後河道流下能力図 (2割勾配:一部区間直壁断面)

Table 2-25: Cooum 川 流下能力算定表

River Section (HEC-RAS)	Distance from Sea[km]			Carrying Capacity (Average Section Width + Widening) [m ³ /s]												Average River Width [m]
				Design Depth=4m			Design Depth=5m			Design Depth=6m			Design Depth=7m			
				0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	
Cooum08	0	~	0.483	1,380	1,604	1,828	1,939	2,262	2,586	2,544	2,980	3,418	3,184	3,746	4,311	174.11
Cooum06	0.664	~	2.342	1,018	1,241	1,464	1,415	1,737	2,060	1,839	2,272	2,707	2,279	2,835	3,395	133.50
Cooum05	2.405	~	6.225	449	667	888	599	911	1,229	747	1,162	1,588	887	1,414	1,958	68.94
Cooum04	6.315	~	9.872	463	682	903	620	932	1,250	774	1,191	1,617	922	1,450	1,995	70.62
Cooum03	9.988	~	15.333	450	669	890	602	914	1,231	750	1,166	1,592	892	1,419	1,962	69.14
Cooum02	15.393	~	16.964	605	843	1,084	818	1,160	1,507	1,034	1,491	1,956	1,246	1,828	2,423	81.47
Cooum01_b	17.024	~	18.897	729	969	1,210	996	1,340	1,688	1,271	1,733	2,200	1,547	2,136	2,736	94.48
	18.957	~	24.977	708	948	1,189	966	1,310	1,658	1,231	1,693	2,160	1,497	2,085	2,684	92.33
	25.037	~	26.366	1,779	2,350	2,925	2,433	3,255	4,083	3,109	4,210	5,324	3,789	5,196	6,624	96.42
	26.426	~	34.243	732	996	1,262	996	1,374	1,757	1,265	1,771	2,285	1,532	2,178	2,836	87.75
Cooum01	34.303	~	40.928	1,955	2,223	2,492	2,759	3,147	3,535	3,637	4,160	4,685	4,574	5,248	5,925	202.67
	40.958	~	43.539	2,294	2,597	2,899	3,240	3,678	4,116	4,275	4,866	5,459	5,382	6,144	6,907	209.97
	43.785	~	63.667	2,223	2,525	2,828	3,137	3,574	4,012	4,135	4,726	5,318	5,202	5,963	6,726	204.05
	63.829	~	73.678	1,306	1,681	2,058	1,796	2,336	2,879	2,307	3,032	3,763	2,827	3,754	4,693	105.89

出典: JICA Expert Team

Table 2-26: Kosasthalaiyar 川 流下能力算定表

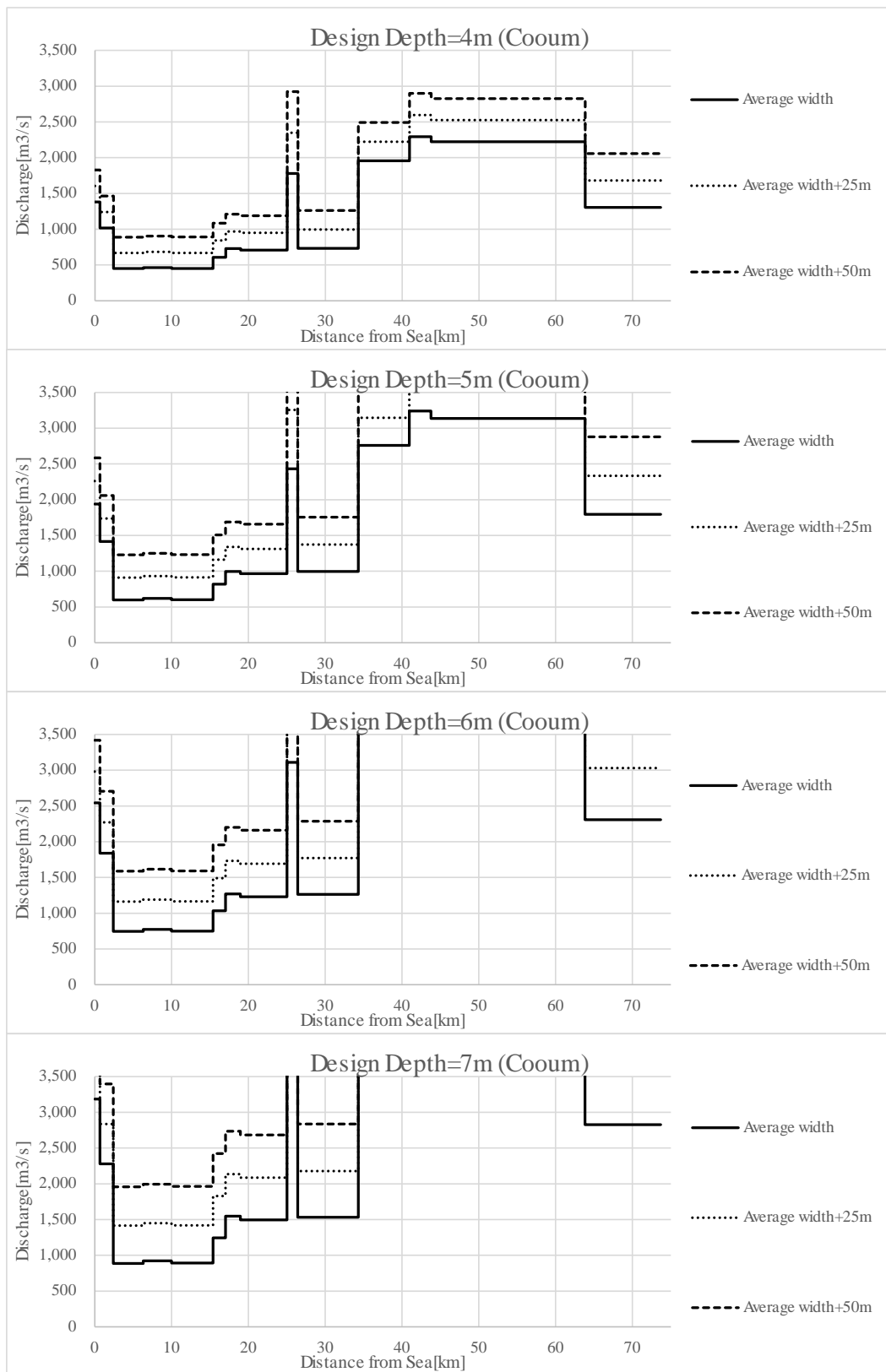
River Section (HEC-RAS)	Distance from Sea[km]			Carrying Capacity (Average Section Width + Widening) [m ³ /s]												Average River Width [m]
				Design Depth=3m			Design Depth=4m			Design Depth=5m			Design Depth=6m			
				0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	
Kosas08	0.00	~	1.74	2,419	2,525	2,630	3,871	4,041	4,211	5,562	5,809	6,055	7,465	7,800	8,134	589.99
Kosas07+KL	1.85	~	3.58	2,063	2,169	2,274	3,296	3,466	3,636	4,728	4,975	5,222	6,336	6,671	7,005	505.56
Kosas06	3.63	~	4.18	865	970	1,075	1,362	1,531	1,701	1,926	2,171	2,417	2,545	2,876	3,209	221.13
KL2	4.24	~	8.05	401	506	610	616	784	952	849	1,090	1,334	1,093	1,418	1,745	110.62
Kosas03	8.08	~	9.57	423	528	632	651	819	988	899	1,142	1,385	1,161	1,486	1,814	115.88
Kosas02+KL	9.63	~	13.66	1,153	1,258	1,364	1,827	1,997	2,167	2,599	2,845	3,091	3,455	3,788	4,121	289.62
Kosas01	13.72	~	31.65	1,100	1,206	1,311	1,742	1,911	2,081	2,476	2,722	2,968	3,287	3,620	3,953	277.07
	31.87	~	32.86	2,306	2,412	2,517	3,689	3,859	4,029	5,297	5,544	5,791	7,107	7,442	7,776	563.21
	33.37	~	35.37	2,963	3,229	3,495	4,696	5,125	5,554	6,684	7,305	7,926	8,887	9,727	10,567	294.74
	35.52	~	69.26	1,521	1,668	1,815	2,407	2,644	2,881	3,421	3,764	4,107	4,542	5,006	5,471	274.81

出典: JICA Expert Team

Table 2-27: Redhill 川 流下能力算定表

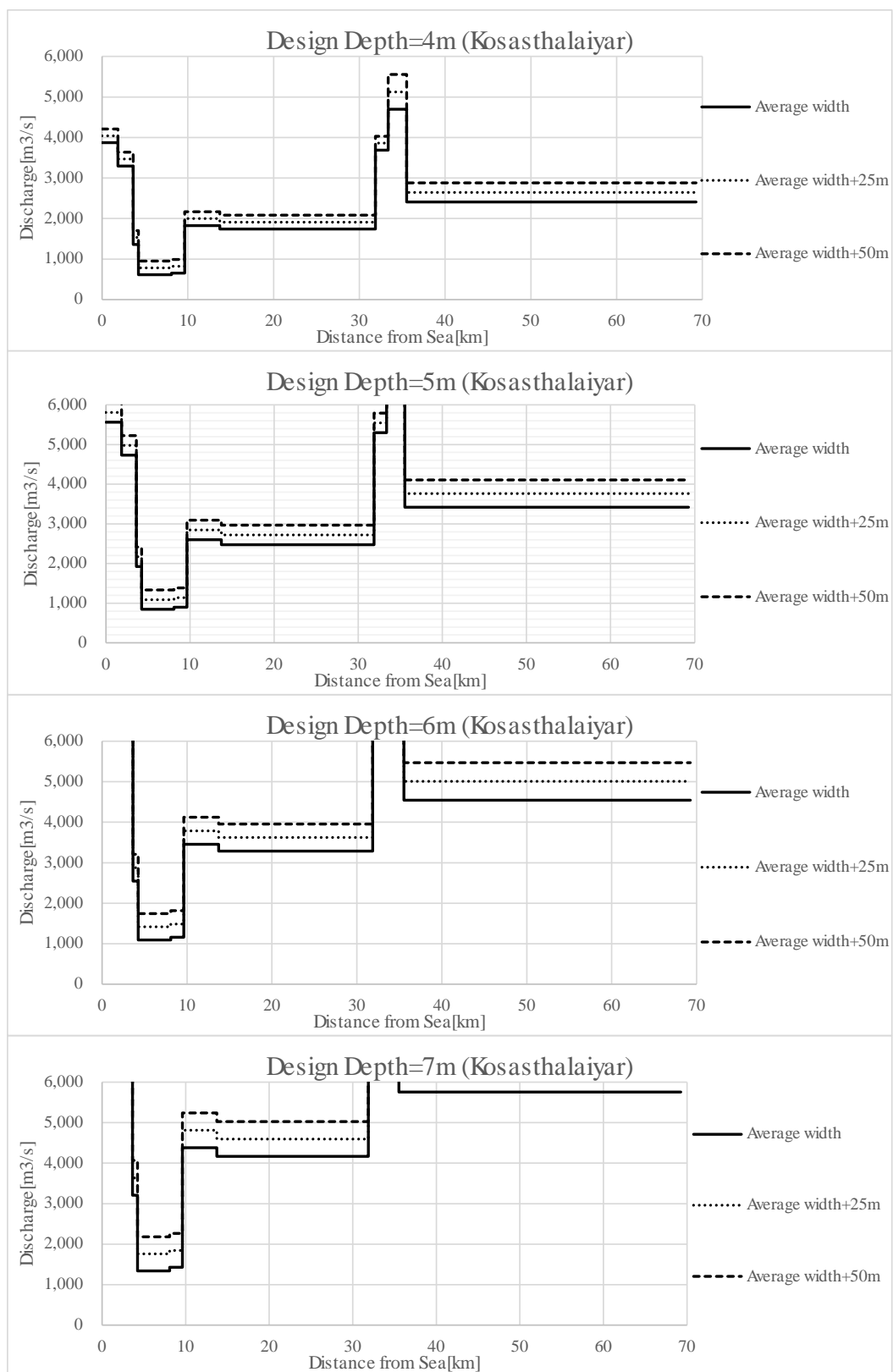
River Section (HEC-RAS)	Distance from Sea[km]			Carrying Capacity (Average Section Width + Widening) [m ³ /s]												Average River Width [m]
				Design Depth=2m			Design Depth=3m			Design Depth=4m			Design Depth=5m			
				0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	0m	+25m widen	+50m widen	
Kosas05	0.00	~	2.31	165	185	205	316	355	394	497	560	624	702	794	886	216.13
Redhills	2.54	~	2.88	162	182	202	311	350	389	489	552	616	691	782	874	212.95
Redhills	3.06	~	6.07	18	38	58	30	67	106	40	98	159	48	129	216	32.12
Redhills	6.13	~	11.81	269	339	410	501	639	778	767	989	1,211	1,054	1,373	1,695	105.23
Redhills	11.98	~	16.64	205	296	387	371	547	725	550	831	1,116	732	1,133	1,543	66.30
Redhills	16.71	~	17.10	548	748	948	1,004	1,393	1,784	1,510	2,131	2,758	2,037	2,928	3,830	78.73

出典: JICA Expert Team



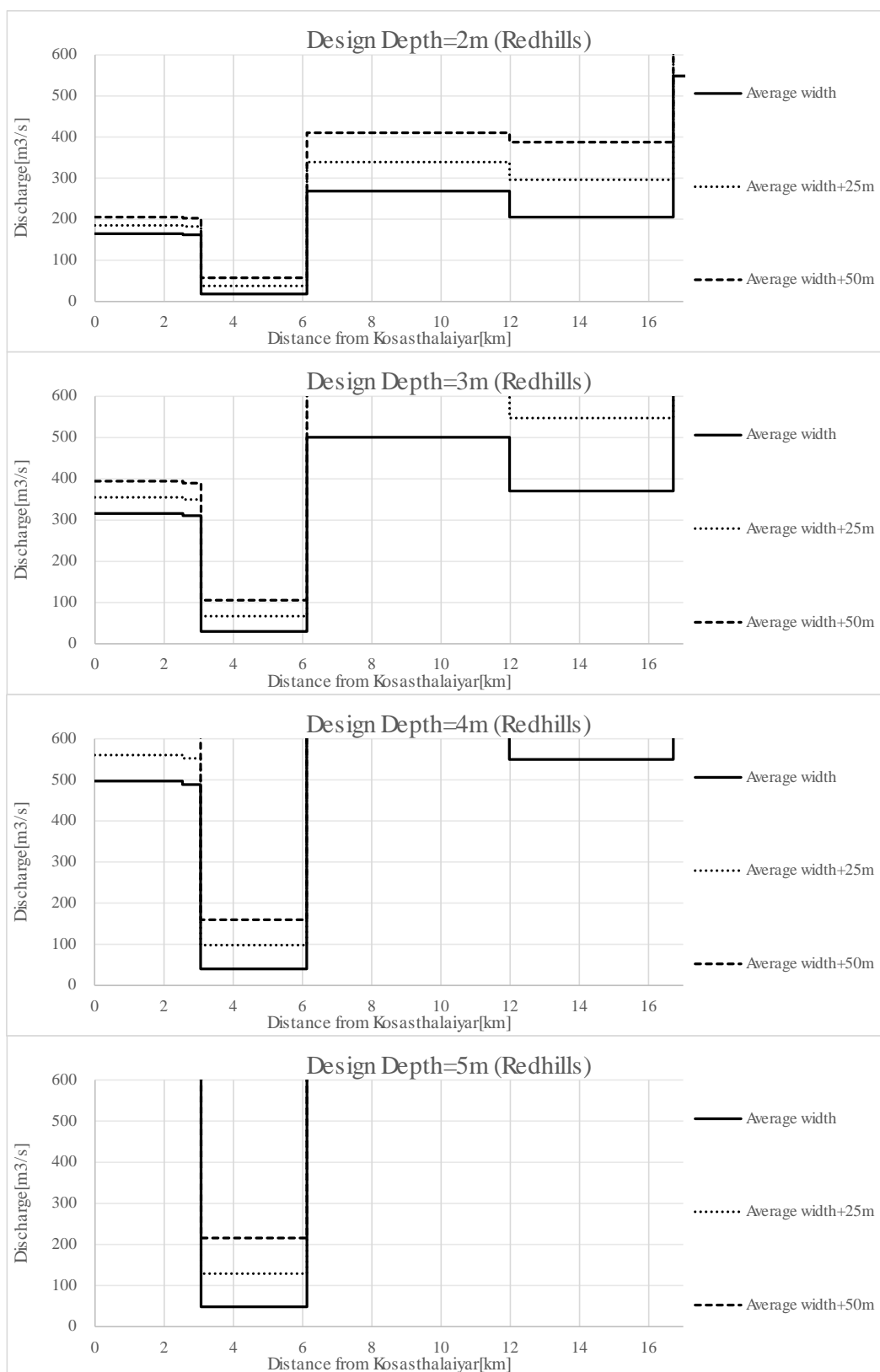
出典: JICA Expert Team

Figure 2-49: Cooum川改修後河道流下能力図 (2割勾配断面)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-50: Kosasthalaiyar 川改修後河道流下能力図 (2割勾配断面)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-51: Redhill 川改修後河道流下能力図 (2割勾配断面)

2.3.14 将来計画河道（案）の設定

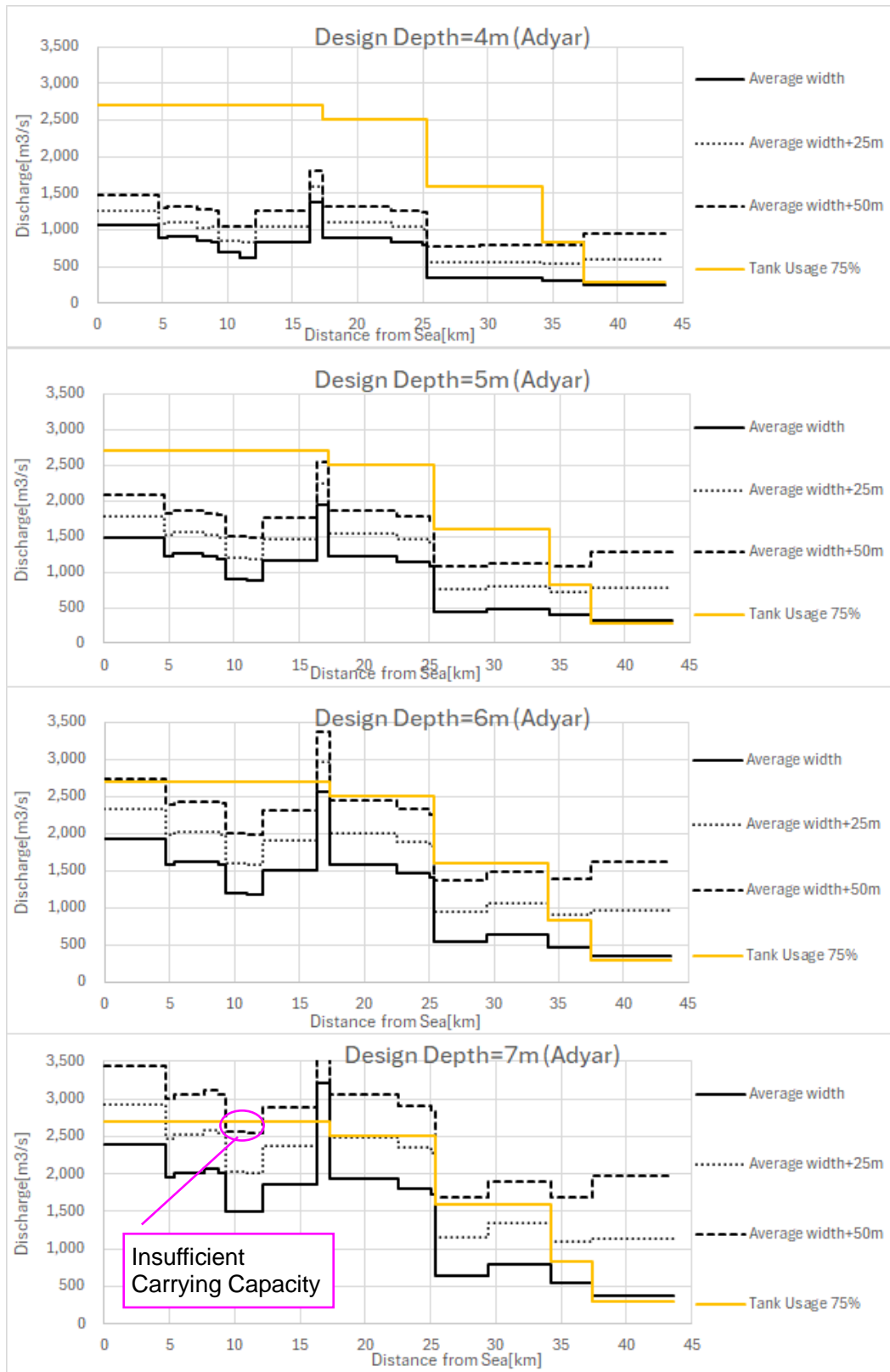
先に算定した各河川の計画高水流量（素案）と概略流下能力を比較し、将来河道計画（案）を設定した。また計画高水流量（案）を流下するために必要な計画河床高（素案）を Figure 2-55 に示す。

2.3.14.1. Adyar 川

Adyar 川の計画高水流量（素案）と改修後断面の流下能力を Figure 2-52 で比較した。図中の橙色のラインが計画高水流量（素案）である。この図において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、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。チェンナイ空港アンダーパス部は現況川幅が広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（計画縦断諸元：Table 2-28、計画河床高縦断図：Figure 2-55 参照）。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-52: Adyar 川 計画高水流量 (素案) と改修後流下能力の比較

Table 2-28: Adyar 川 計画縦断諸元表

Section Name (HEC-RAS)	CrossSection No.	Distance From Sea (km)	Design Depth (m)	Average River Width (m)	Widening (m)	
Adyar13	3290 ~ 4678	0.00 ~ 4.54	6.0	146.73	50	
Adyar_CA2	4794 ~ 5310	4.66 ~ 5.14	7.0	125.37		
Adyar12	5512 ~ 7746	5.32 ~ 7.56		127.95		
Adyar11	7800 ~ 8753	7.64 ~ 8.58		109.53		
Adyar10	8873 ~ 9420	8.72 ~ 9.29		107.23		
Adyar9	9466 ~ 11010	9.34 ~ 10.91		91.21		
Adyar8	11078 ~ 12180	10.98 ~ 12.08		82.24		
Adyar7	12270 ~ 16292	12.17 ~ 16.24		120.60		
Adyar6	16380 ~ 17194	16.34 ~ 17.19		185.26		0
Adyar5	17294 ~ 22378	17.29 ~ 22.46		118.18		50
Adyar4	22445 ~ 24690	22.53 ~ 24.92		111.87		
Adyar_CA	24766 ~ 24990	25.00 ~ 25.22		59.46		
Adyar3	8446 ~ 12505	25.35 ~ 29.37		56.54		
Adyar2	12525 ~ 17251	29.41 ~ 34.17		45.65		
Adyar1	17300 ~ 20405	34.23 ~ 37.33	48.30			
Adhanur	20520 ~ 26754	37.44 ~ 43.61	5.0	34.12	0	

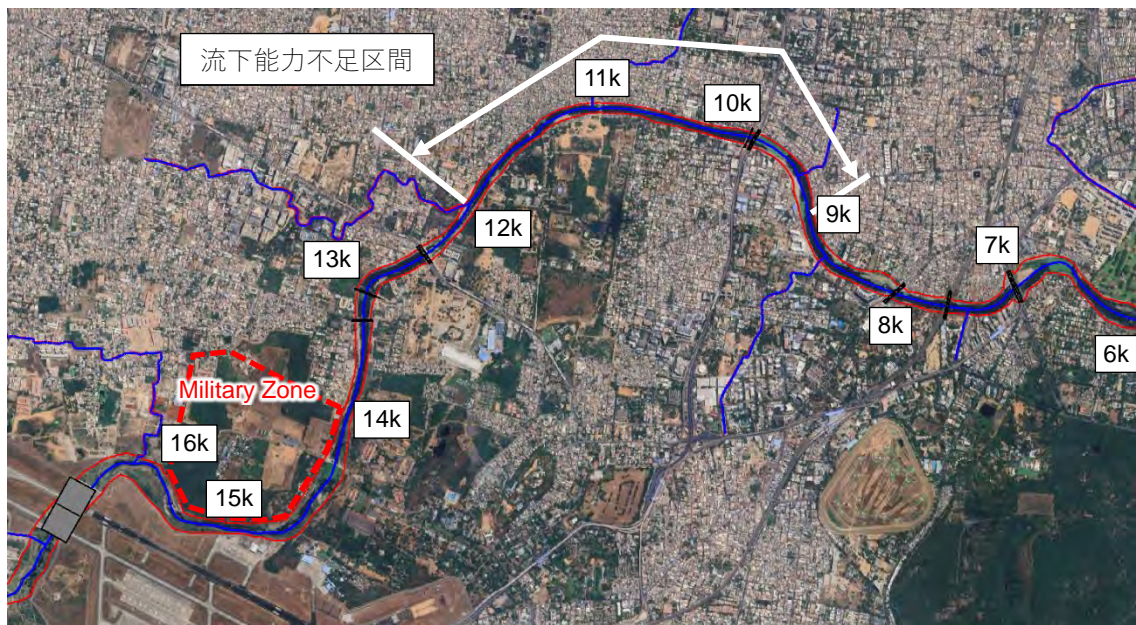
出典: JICA Expert Team

Table 2-29: Adyar 川 河道拡幅による影響物件等

Distance from Sea [km]	Phase2					
	拡幅幅 [m]	掘削深 [m]	用地取得面積[ha]	概算影響物件数		橋梁
				住戸棟	商業棟	
0.00 ~ 4.54	50	1.1	22.7	5000~6000	3000~4000	3
4.66 ~ 5.14	50	1.7	3.0			0
5.32 ~ 7.56	50	2.8	12.1			1
7.64 ~ 8.58	50	4.4	5.1			2
8.72 ~ 9.29	50	4.3	3.6			0
9.34 ~ 10.91	50	4.1	8.1			2
10.98 ~ 12.08	50	4.0	5.9			0
12.17 ~ 16.24	50	4.8	20.8			2
16.34 ~ 17.19	0	4.7	0.0	800~1000	600~800	1
17.29 ~ 22.46	50	5.3	26.3			4
22.53 ~ 24.92	50	6.1	12.3			0
25.00 ~ 25.22	50	6.6	1.5			500~600
25.35 ~ 29.37	50	6.1	20.7	400~500	200~300	1
29.41 ~ 34.17	50	5.4	24.0	200~300	100~150	5
34.23 ~ 37.33	50	3.3	15.8	120~160	40~80	3
37.44 ~ 43.61	0	3.6	0.0	0	0	2
Total	700	68	182	7000~8600	4200~5700	27

出典: JICA Expert Team

但し、Chennai 空港下流の 9.34k~12.08k 区間 (Figure 2-52 参照) では、計画水深 7m・
拡幅 50m としても HWL 以下での流下能力が計画高水流量 (素案) の 2700m³/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する条件としているが
(Table 2-24)、なおも流下能力が不足する。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-53: Adyar 川ネック区間位置図

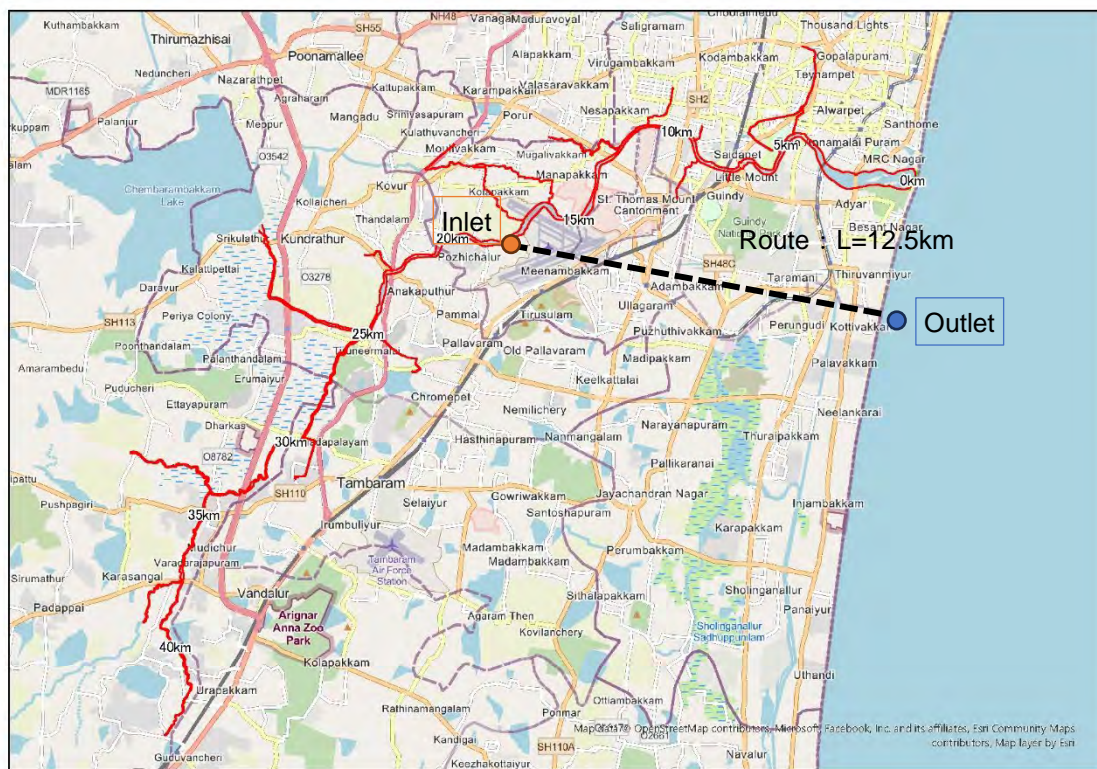
Table 2-30 は、この不足分の対応の方向を更なる拡幅と地下バイパストンネルの2案で比較したものである。表から、コストは地下バイパストンネルの方が高くなるが、それによる、社会的な影響や空港などの経済的な影響を踏まえると、地下バイパストンネルが妥当と判断した。

尚、地下バイパストンネルの詳細は2.4.4節にて整理した。

Table 2-30: 9.34k~12.08k 区間の流下能力不足対応案比較

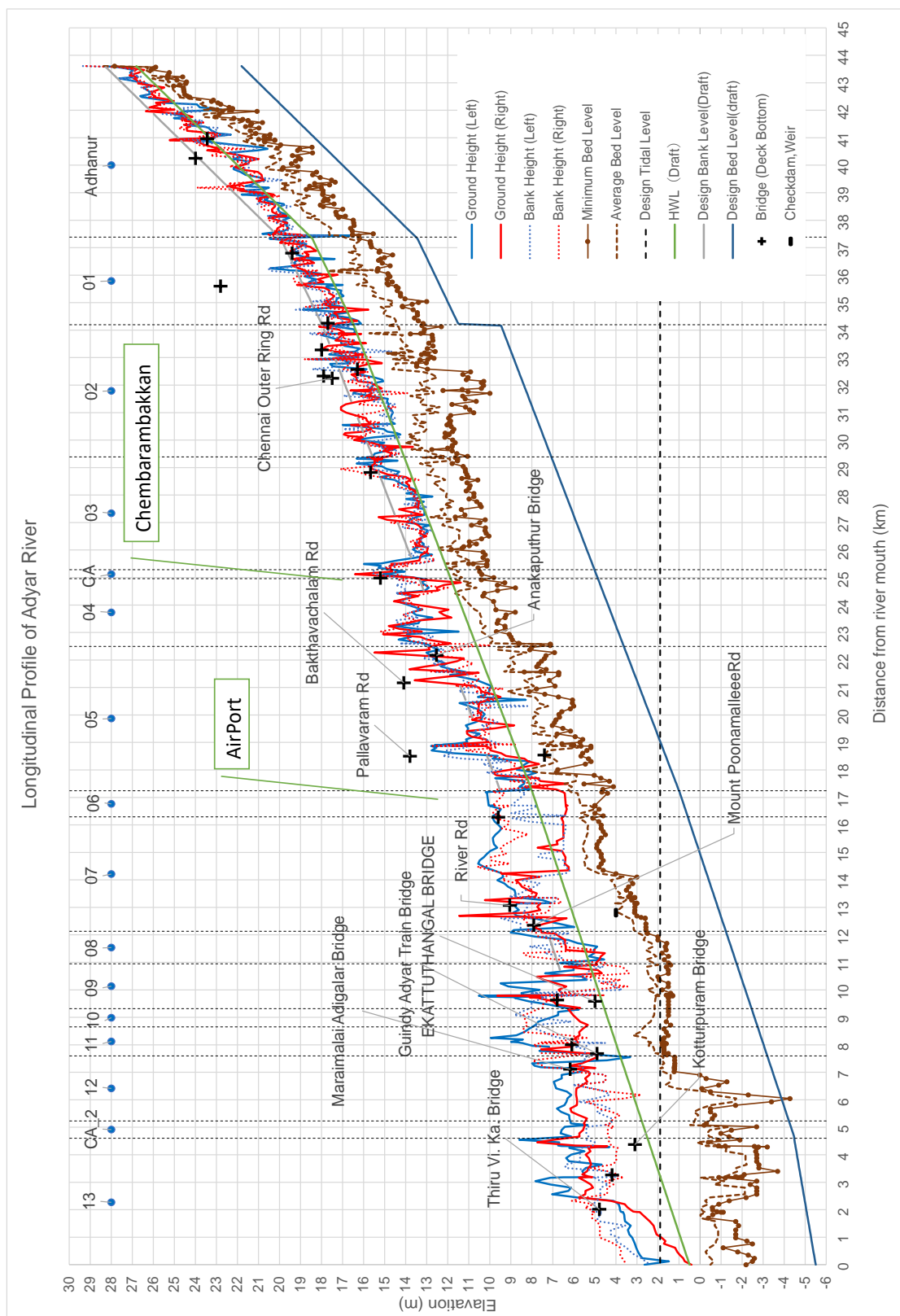
	更なる拡幅	地下バイパストンネル
対策の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・区間: 9.34k~12.08k (2.74km) ・拡幅幅 10m: 計 60m 	<ul style="list-style-type: none"> ・200m³/s を空港直上流の 18.3km で分水 (Figure 2-54 参照)
対策の確実性	<ul style="list-style-type: none"> ・確実に流下可能【評価: ○】 	<ul style="list-style-type: none"> ・確実に流下可能【評価: ○】
社会的影響	<ul style="list-style-type: none"> ・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) ・空港下流の軍用地では拡幅しづらい 【評価: △】 	<ul style="list-style-type: none"> ・分派地点下流では、200m³/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)。 ・空港下流の軍用地の拡幅を低減 【評価: ○】
洪水による空港閉鎖に対する整備効果	<ul style="list-style-type: none"> ・下流側から順次整備となるため、効果の発現は遅くなる。 【評価: △】 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 【評価: ○】
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"> ・事業費: 5 (3.6) ・準備費: 450 (54) ・計: 460 (58) 【評価: ○】 	a. 地下バイパストンネル事業 <ul style="list-style-type: none"> ・事業費: 8,000 (960) ・準備費: 200 (24) ・計 8,200 (990) b. 18.3k 下流の拡幅幅 10m 縮小効果 <ul style="list-style-type: none"> ・事業費: -30 (-3.6) ・準備費: -4,400 (-530) ・計: -4,500 (-540) c. 拡幅幅縮小効果を考慮したコスト <ul style="list-style-type: none"> ・事業費: 7,900 (950) ・準備費: -4,200 (-500) ・計: 3,700 (450) 【評価: △】
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



出典: JICA Expert Team

Figure 2-54: 地下バイパストンネルルート案位置図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-55 Adyar 川 計画河床高縦断図 (素案)

2.3.14.2. Cooum 川

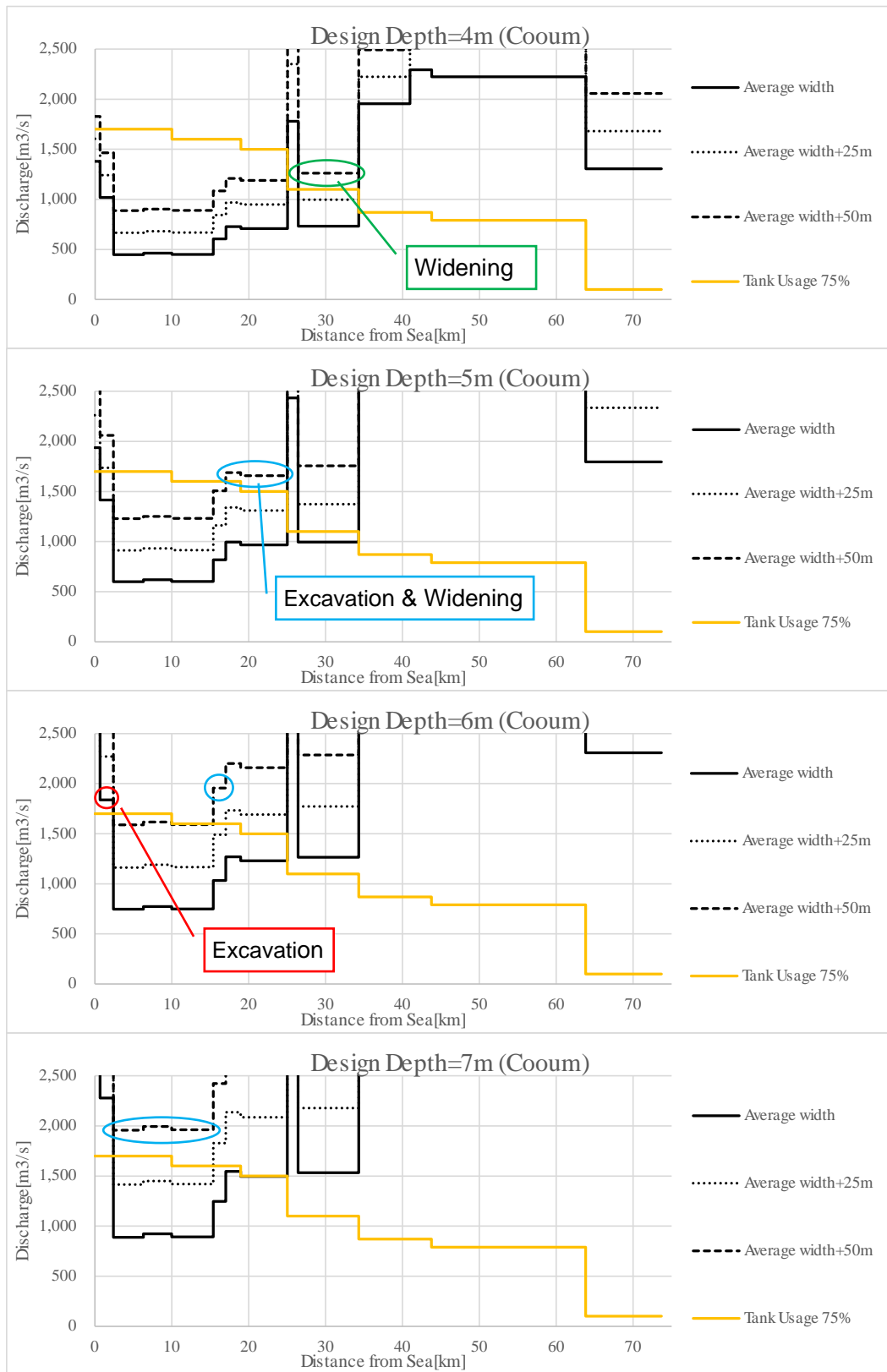
Cooum 川の計画高水流量（素案）と改修後断面の流下能力を Figure 2-56 で比較した。

この結果より、Cooum 川では 34.3k 地点より上流区間では十分な流下能力を有しているため河川改修は不要であることが確認できる。

34.3k 地点下流区間のうち、河口から 24.98k までの区間で河道拡幅・河床掘削が必要となる。当該区間においては、最下流部の Loop 区間（2.34k）より下流は河床掘削のみ、Loop 区間上流は一律 50m の拡幅が必要となる。

また、26.43k～34.24k 間については、現況河川幅のまま河床掘削を行う方法と現況河床高見合いで河道拡幅する 2 通りの方法が考えられる。当該区間は勾配急変区間（25.04k～26.37k）の直上流にあたり、河床掘削による土砂移動特性の変化が将来的な河道の安定性に影響を及ぼすことが懸念される。この区間は河岸沿いに農地が主体であることから、河道拡幅により流下能力を確保する方針とした。

これらの条件を基に計画縦断諸元を Table 2-31 に、計画河床高縦断図を Figure 2-58 に整理した。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-56: Cooum 川 計画高水流量 (素案) と改修後流下能力の比較

Table 2-31: Cooum 川 計画縦断諸元表

Section Name (HEC-RAS)	CrossSection No.	Distance From Sea (km)	Design Depth (m)	Average River Width (m)	Widening (m)
Cooum08	60 ~ 570	0.00 ~ 0.48	4.0	174.11	0
Cooum06	720 ~ 2400	0.66 ~ 2.34	6.0	89.42	
Cooum05	2460 ~ 6300	2.41 ~ 6.23	7.0	68.94	50
Cooum04	6390 ~ 9930	6.32 ~ 9.87		70.62	
Cooum03	10020 ~ 15401	9.99 ~ 15.33		69.14	
Cooum02	15421 ~ 16980	15.39 ~ 16.96	6.0	81.47	
Cooum01_b	17402 ~ 19261	17.02 ~ 18.90	5.0	94.48	
	19321 ~ 25230	18.96 ~ 24.98		92.33	
	25290 ~ 26608	25.04 ~ 26.37	4.0	96.42	0
	26668 ~ 34593	26.43 ~ 34.24		87.75	50
	34652 ~ 41140	34.30 ~ 40.93		202.67	
Cooum01	41349 ~ 43607	40.96 ~ 43.54	-	209.97	-
	43864 ~ 63040	43.79 ~ 63.67		204.05	
	63207 ~ 73031	63.83 ~ 73.68		105.89	

出典: JICA Expert Team

Table 2-32: Cooum 川 河道拡幅による影響物件等

Distance from Sea [km]	Phase2						
	拡幅幅 [m]	掘削深 [m]	用地取得面積[ha]	概算影響物件数		橋梁	
				住戸棟	商業棟		
0.00 ~ 0.48	0	2.0	0.0	1200~1500	500~800	1	
0.66 ~ 2.34	50	2.6	9.3			2	
2.41 ~ 6.23	50	3.0	19.4			4	
6.32 ~ 9.87	50	4.2	18.2			4	
9.99 ~ 15.33	50	4.9	27.3	3500~4500	1500~2000	6	
15.39 ~ 16.96	50	4.7	8.2			2	
17.02 ~ 18.90	50	3.8	9.7			0	
18.96 ~ 24.98	50	4.2	30.4	700~850	300~400	4	
25.04 ~ 26.37	0	0.0	0.0	0	0	0	
26.43 ~ 34.24	50	0.0	39.4	0	0	3	
34.30 ~ 40.93	0	0.0	0.0	0	0	0	
40.96 ~ 43.54	0	0.0	0.0	0	0	0	
43.79 ~ 63.67	0	0.0	0.0	0	0	0	
63.83 ~ 73.68	0	0.0	0.0	0	0	0	
Total	400	29	162	5200~6900	2300~3200	26	

出典: JICA Expert Team

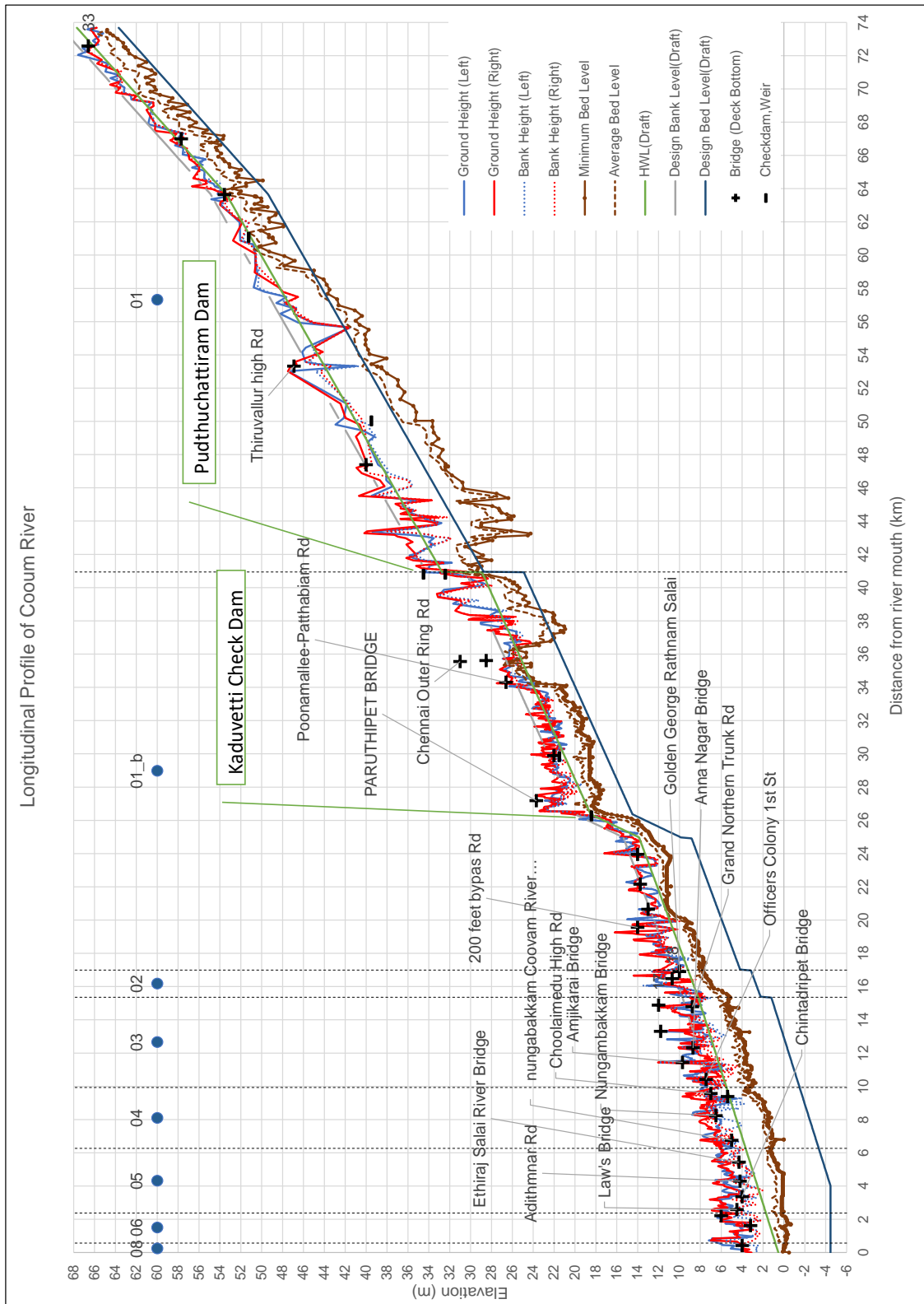
尚、Cooum 川での地下バイパストンネルの適用は、以下の通り実現性は低いと判断した。

- ・河道線形的に 25k 地点上流部から分派しベンガル湾に放流するルートが考えられるが、直線延長で 20.5km と長く、コストが高いこと (Figure 2-57)。
- ・放流先の海岸付近に Chennai Port があり放流設備の整備が困難であること
- ・河道拡幅、掘削で十分流下能力確保が可能なこと



出典: JICA Expert Team

Figure 2-57: Cooum 川地下バイパストンネル (案)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-58: Cooum 川 計画河床高縦断図 (素案)

2.3.14.3. Kosasthalaiyar 川

Kosasthalaiyar 川の計画高水流量（素案）と改修後断面の流下能力を Figure 2-59 で比較した。

この結果より、Kosasthalaiyar 川では 31.87k 地点より上流区間では十分な流下能力を有しているため河川改修は不要であることが確認できる。

31.87k 地点下流区間のうち、3つの Loop 区間のうち最上流の Loop 区間より上流部(9.63k～31.65k)は計画水深 5m までの河床掘削のみで計画高水流量（素案）を流下可能である。

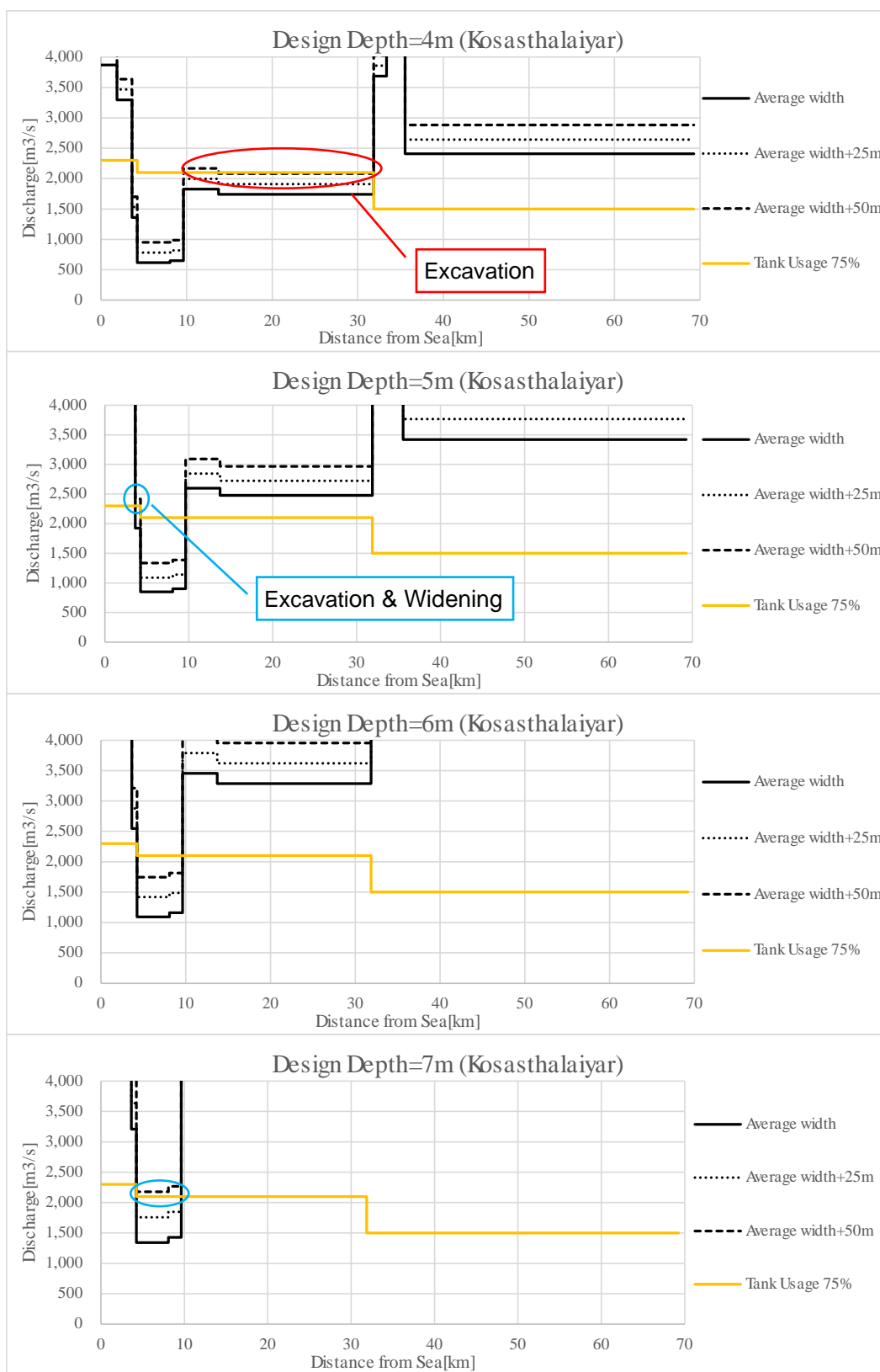
また河口から最下流の Loop 区間上流端 (0k～3.58k) までは河床掘削のみ、1.18k～9.57k 区間は河床掘削と河道拡幅を組み合わせた改修が必要となる。このうち最下流と2つ面 Loop 区間 (3.63k～4.18k) については右岸側に Buckingham Canal の背割堤があるため左岸側への 50m 拡幅と計画水深 5m の河床掘削が必要となる。

また2つ目と最上流の Loop 間 (8.08k～9.57k) は周辺よりも地盤高が高く家屋や工場等が密集しているため拡幅幅は 50m を限度として計画水深を 7m まで掘り下げて流下断面を確保する必要がある。

2つ目の Loop 区間 (4.24k～8.05k) については、2つの流路に分かれて流下し、Buckingham Canal 背割堤の山手側の低平地に広がることにより Redhill 川を含む Kosasthalaiyar 川下流域の浸水を助長しているものと考えられるため、Figure 2-60 の通り改修する計画とする。

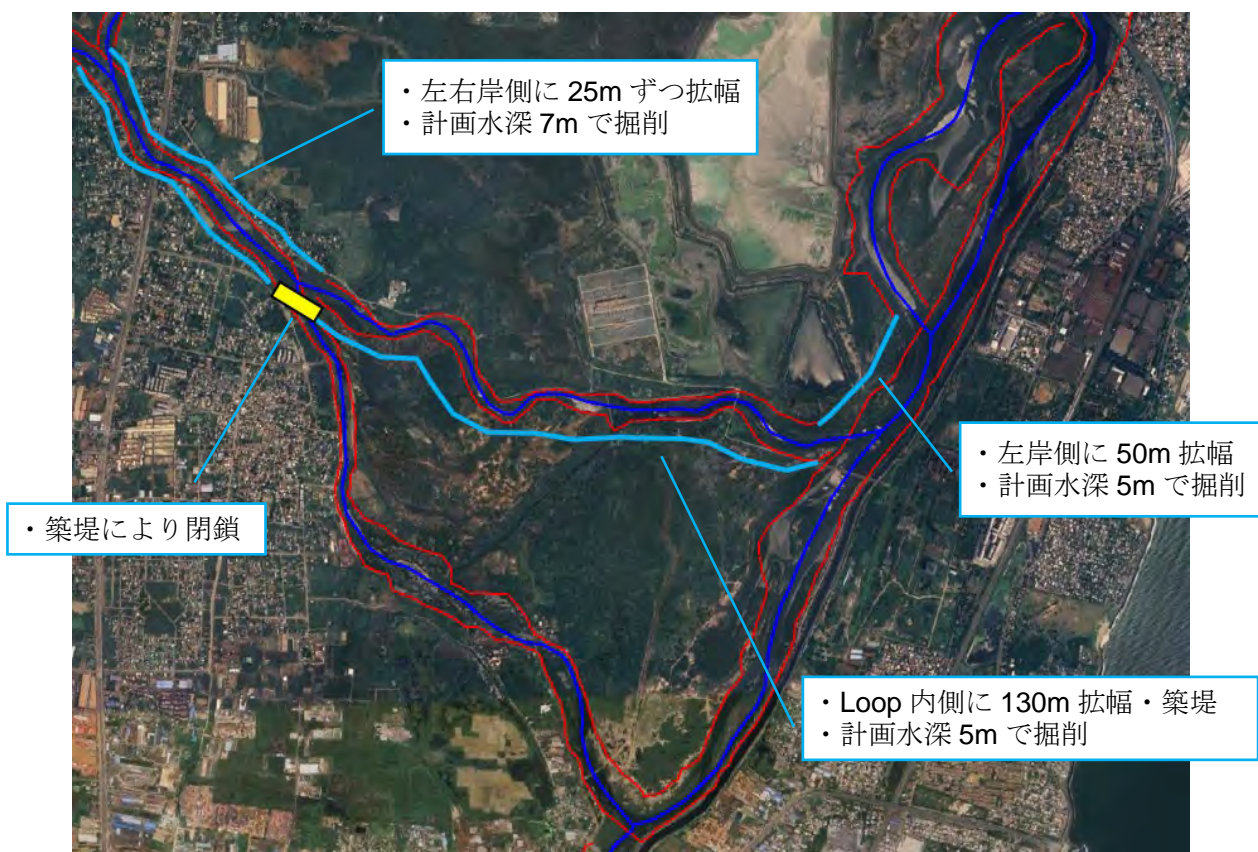
- 2又の流路のうち、流路延長の短い左側流路を Kosasthalaiyar 川とする。
- 右側流路は上流の分派地点を築堤により閉鎖し、Kosasthalaiyar 川の洪水流を流さないものとする。
- 左岸流路は現況平均河岸幅を基本に 50m 拡幅、計画水深 7m の断面確保により計画高水流量（素案）を流下可能であるが、この場合の最深河床高が DL-4m よりもさらに深くなるため、河道断面の維持可能性の観点から現実的ではない。Loop 内は未利用地であることから、計画水深を下流区間と同等の 5m として右岸側の Loop 内に現況河岸から 130m の位置に築堤することで必要な断面確保を行う。
- 閉鎖した右岸流路は内水の排水先や遊水地として活用する。

これらの条件を基に計画縦断諸元を Table 2-33 に、計画河床高縦断図を Figure 2-62 に整理した。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-59: Kosasthalaiyar 川 計画高水流量 (素案) と改修後流下能力の比較



出典: JICA Expert Team

Figure 2-60: Kosasthalaiyar 川 Loop2 区間周辺改修平面図

Table 2-33: Kosasthalaiyar 川 計画縦断諸元表

Section Name (HEC-RAS)	CrossSection No.	Distance From Sea (km)	Design Depth (m)	Average River Width (m)	Widening (m)
Kosas08	2 ~ 1727	0.00 ~ 1.74	3.0	589.99	0
Kosas07+KL3	493 ~ 2198	1.85 ~ 3.58	4.0	505.56	0
Kosas06	185 ~ 489	3.63 ~ 4.18	5.0	221.13	50
KL2	274 ~ 3477	4.24 ~ 8.05	7.0	110.62	130
Kosas03	102 ~ 1442	8.08 ~ 9.57		115.88	50
Kosas02+KL1	160 ~ 4134	9.63 ~ 13.66	5.0	289.62	0
Kosas01	152 ~ 18014	13.72 ~ 31.65	-	277.07	-
	18245 ~ 19009	31.87 ~ 32.48		563.21	
	19518 ~ 21670	32.86 ~ 35.37		294.74	
	22174 ~ 56344	35.52 ~ 69.26		274.81	

出典: JICA Expert Team

Table 2-34: Kosasthalaiyar 川 河道拡幅による影響物件等

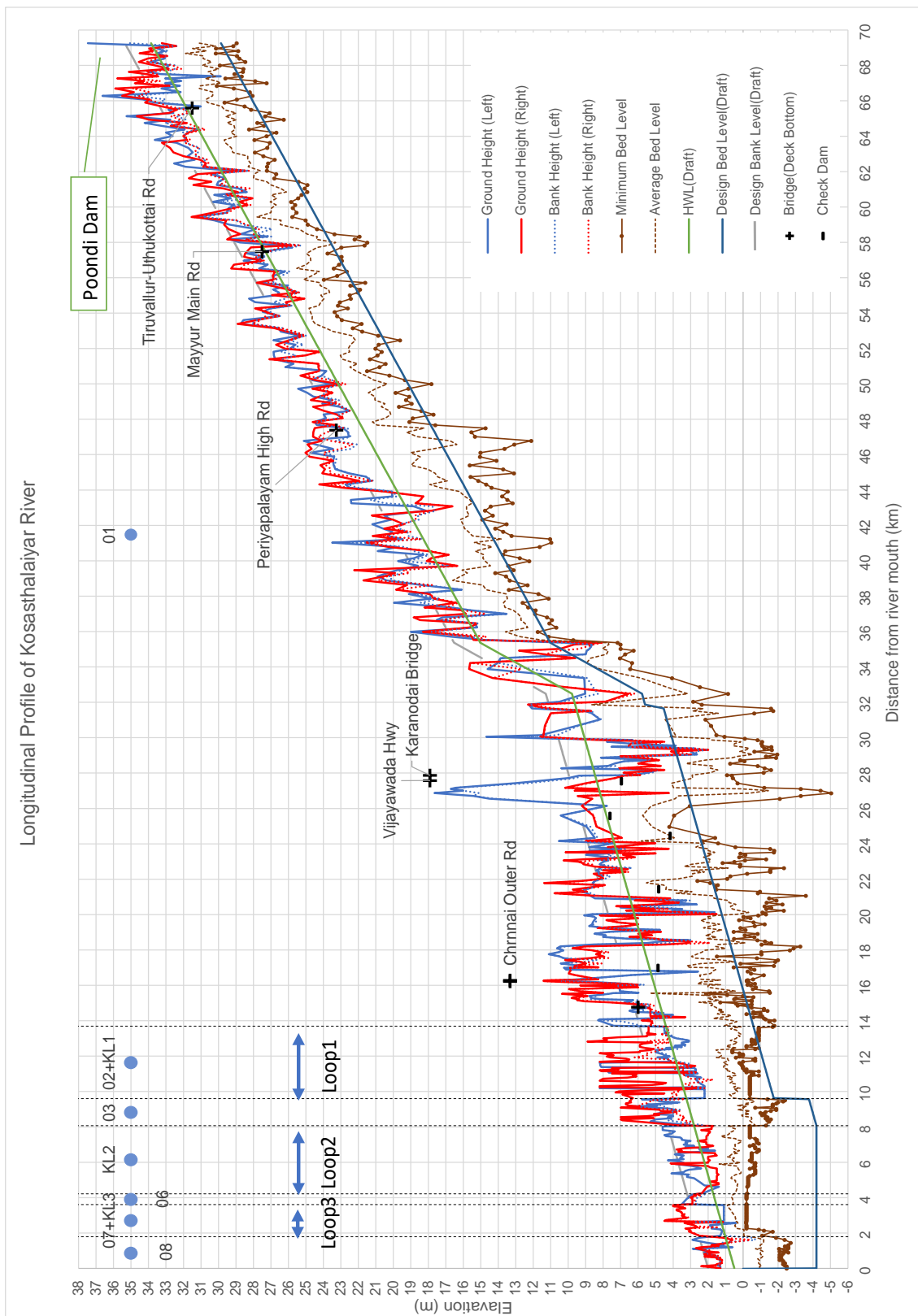
Distance from Sea [km]	Phase2					
	拡幅幅 [m]	掘削深 [m]	用地取得面積[ha]	概算影響物件数		橋梁
				住戸棟	商業棟	
0.00 ~ 1.74	0	0.0	0.0	200~250	30~50	0
1.85 ~ 3.58	0	2.6	0.0			0
3.63 ~ 4.18	50	3.0	19.4			0
4.24 ~ 8.05	130	4.2	47.4	300~400	200~300	0
8.08 ~ 9.57	50	4.9	27.3			0
9.63 ~ 13.66	0	4.7	0.0			0
13.72 ~ 31.65	0	0.0	0.0	0	0	0
31.87 ~ 32.48	0	0.0	0.0	0	0	0
32.86 ~ 35.57	0	0.0	0.0	0	0	0
35.52 ~ 69.26	0	0.0	0.0	0	0	0
Total	230	19	94	500~650	230~350	0

尚、Kosasthalaiyar 川での地下バイパストンネルの適用は、住居などの移転数が Adyar 川や Cooum 川よりも一桁違うことから実現性は低いと判断した。

(Figure 2-61 は、参考として設置する場合のルートを示したものである。)



Figure 2-61: Kosasthalaiyar 川放水路ルート (案)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-62: Kosasthalaiyar 川 計画河床高縦断図 (素案)

2.3.14.4. Redhill 川

Redhill 川の計画高水流量（素案）と改修後断面の流下能力を Figure 2-64 で比較した。この図の通り、6.07k 上流区間は計画高水位以下の水深が 2m 上あることから計画高水流量現況河道条件で流下可能となる。また Kosasthalaiyar 川合流点から 3.06k 区間についても拡幅無し・計画水深 3m で対応可能である。

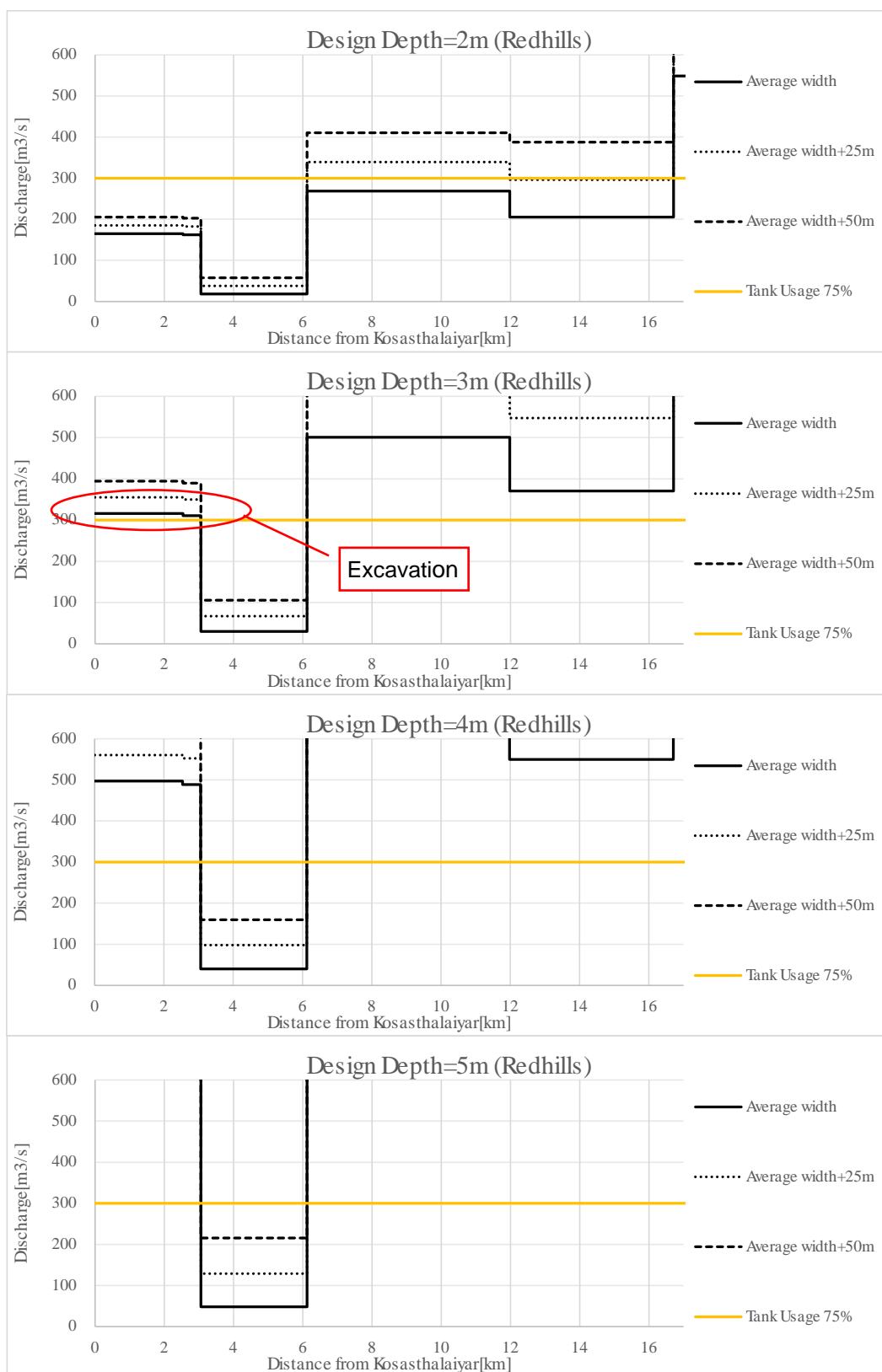
3.06k~6.07k 区間については Figure 2-63 に示した通り、現況平均川幅が 32m 程度と上下流区間に比べて極端に狭いため、現況河岸位置から 50m の範囲での河道拡幅・河床掘削では計画高水流量を流下可能な河道断面を確保できない。そのため当該区間については下流側の Kosasthalaiyar 川に接続する区間の現況川幅 210m 見合いで、右岸側河岸位置を基本に現況未利用地の範囲において左岸側に 210m の位置に新規河岸ラインを設定し、その間の河床掘削および築堤を行うことにより Redhill 川からの外水氾濫を防ぐものとした。

なお、当該区間の築堤に伴い、築堤区間周辺での内水排水が阻害される恐れがある。この対策として、Redhill 川左岸側については、Kosasthalaiyar 旧流路からの排水、Redhill 川右岸側については北 Buckingham 運河を通じた排水ができるよう、排水路網や接続箇所での逆流防止樋管等の整備が必要となる。



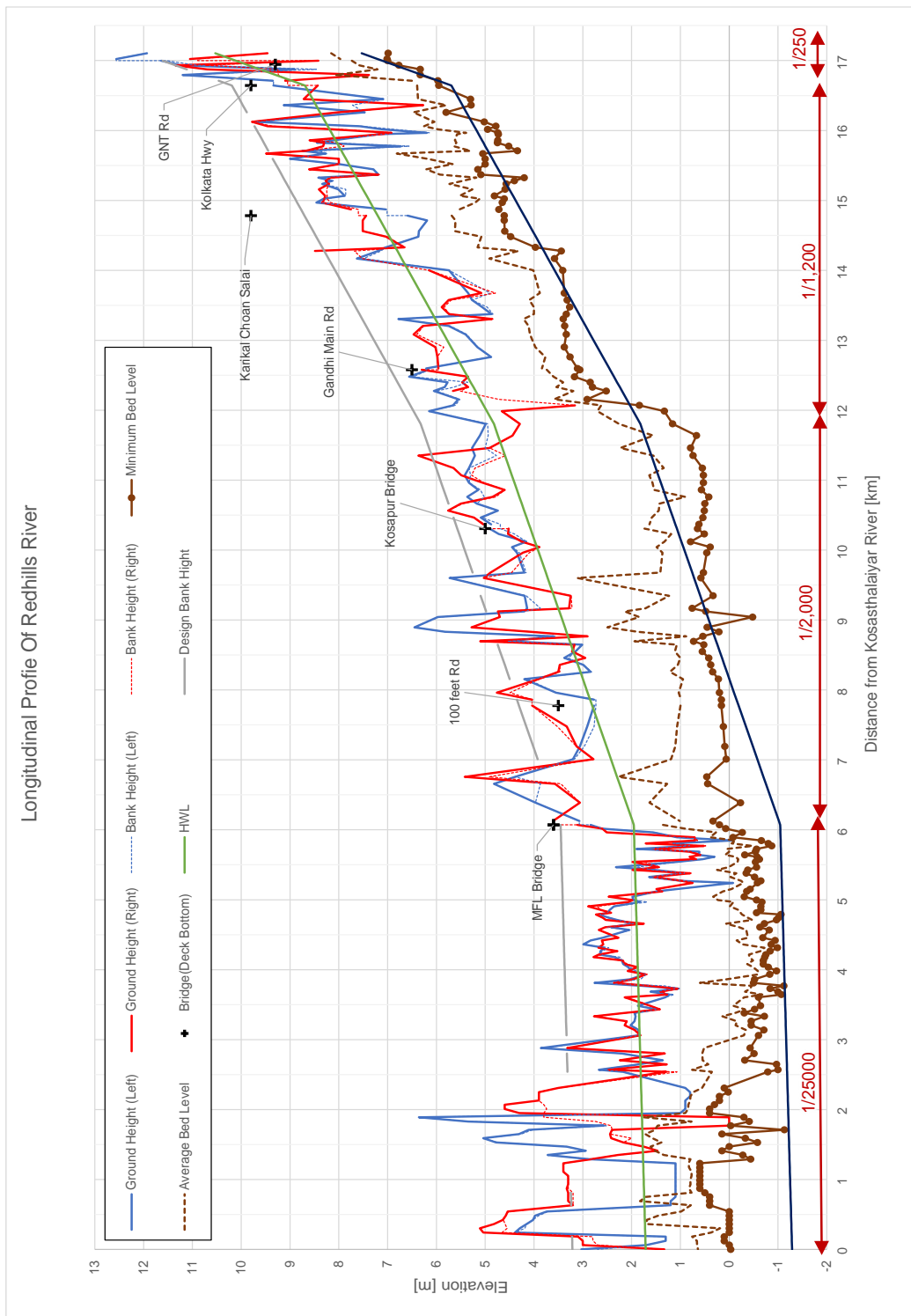
出典: JICA Expert Team

Figure 2-63: Redhill 川 築堤区間位置図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-64: Redhill 川 計画高水流量 (素案) と改修後流下能力の比較



出典: JICA Expert Team

Figure 2-65: Redhill 川 計画河床高縦断図 (素案)

2.3.15 河道計画の精査

2.3.15.1. 計画高水位の精査

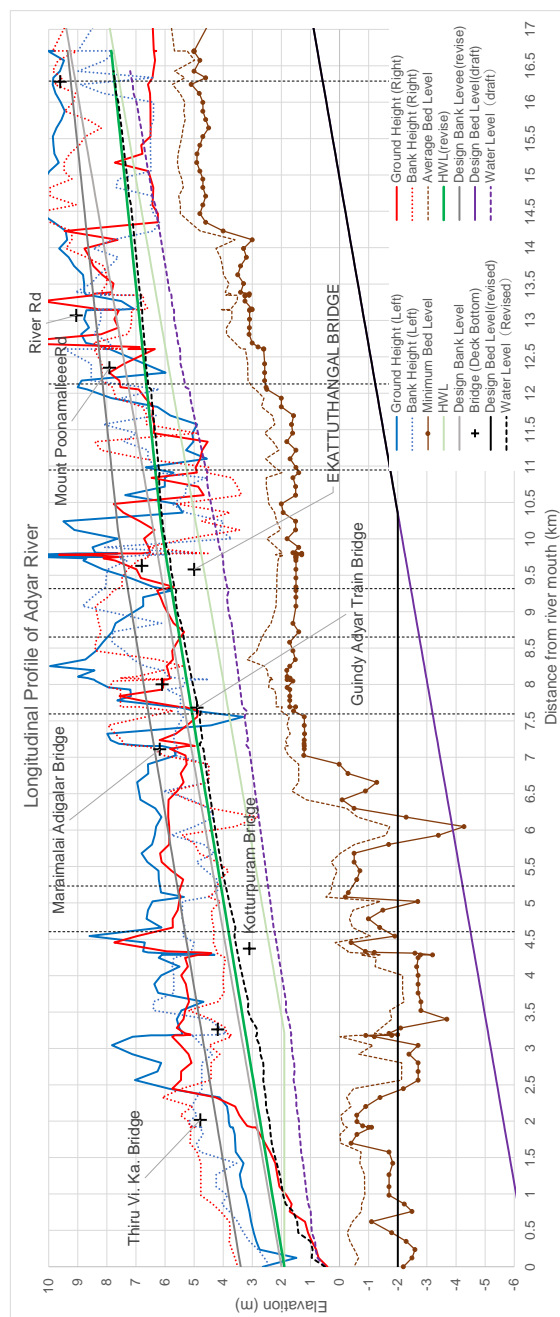
2.3.13 節では主要支川合流点間といった一連区間での平均川幅に対して等流計算での概略流下能力より必要河道形状の評価を行った。しかし実際の河川は連続する断面の縦横断形状の変化により水位の影響を受けること、特に河口部では等流計算で必要とされる計画水深が現況河床高に比べて大きくなりすぎるため、河床掘削後の土砂堆積による河床高の維持可能性に対して懸念された。そのため、本節では対象 3 河川の河口部を対象に最深河床高を現状の Adyar 川の維持浚渫高 DL-2m を下限値とした場合の河川水位・土砂移動を不等流計算モデルにより評価し、HWL、計画河床高の精査を行った。

その結果、河口部付近の計画河床高は DL-2.0m で制限し、これにより 100 年確率規模水位が計画高水位を上回る場合には、現況地盤高見合いで計画高水位を上昇させて修正した計画高水位（案）を設定することとした。なお、計画高水位（案）の変更区間は原則として掘り込み区間とする。

(1) Adyar 川

Adyar 川の現況河床高は河口から 4.5k 付近までは DL-2m 程度であり、河口から 7k 付近で DL+0m となり、その上流は DL+2m 程度で一定河床高となっている。Figure 2-55 に示した計画河床高（素案）の縦断勾配は現況河床高と同等のため全川的には土砂移動特性は変わらないが河口部付近では感潮域となるため土砂移動特性に変化が生じる可能性がある。そこで下流域河床高を現況最深河床高の DL-2m に制限した断面に対し不等流計算により 100 年確率流量時水位および土砂移動に影響を及ぼす摩擦速度の変化を整理し、河口部設定条件を精査した。

Figure 2-66 に不等流計算結果を示す。不等流計算結果によると計画河床高（素案）時には 100 年確率流量時の水位は HWL 以下となるが、計画河床高下限値を DL-2m とすると河口から 17.0k 付近まで HWL を上回る結果となったが、Adyar 川下流部は現況地盤高が高いことから計算水位は現況河岸高以下となっており氾濫は生じないものと考えられる。そこで現況河岸高見合いで 100 年確率水位を包含するよう 0k~17.0k 区間の HWL を修正することとした。



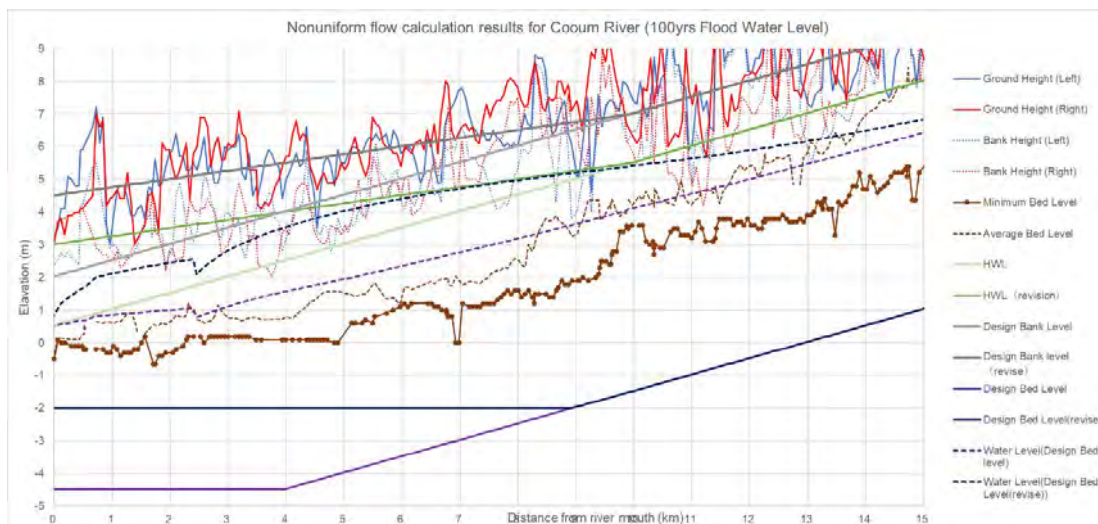
出典: JICA Expert Team

Figure 2-66: Adyar 川 河口部不等流計算結果

(2) Cooum 川

Cooum 川の現況最深河床高は DL+0m 程度であり維持浚渫は行われていない。河口部の計画河床高（素案）は DL-4.5m と現況河床高より 4m 以上掘削することから、Adyar 川と同等の DL-2m を下限値とした場合の影響評価を行った。Figure 2-67 の不等流計算結果によると計画河床高（素案）時には 100 年確率流量時の水位は HWL 以下となるが、計画河床高下限値を DL-2m とすると河口から 9.5km 付近まで HWL を上回る結果となったが、

Cooum 川下流部は現況地盤高が高いことから計算水位は現況河岸高以下となっており氾濫は生じないものと考えられる。そこで現況河岸高見合いで 100 年確率水位を包含するよう 0k~10k 区間の HWL を修正することとした。



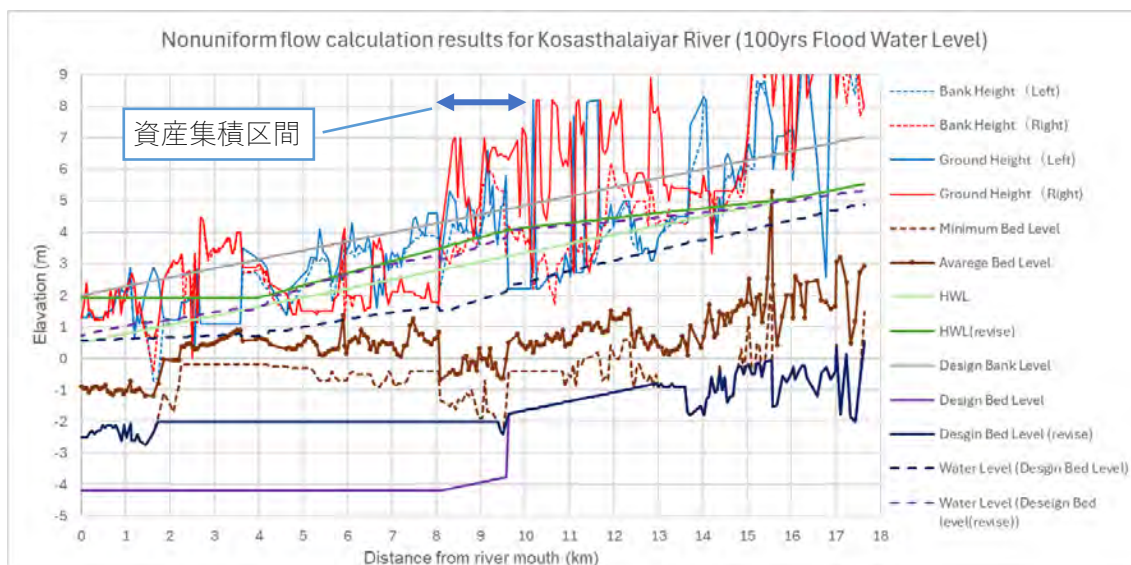
出典: JICA Expert Team

Figure 2-67: Cooum 川 河口部不等流計算結果

(3) Kosasthalaiyar 川

Kosasthalaiyar 川の現況最深河床高は河口から 2km 付近までは DL-2m 程度で、その上流区間は DL+0m 程度で 18k 付近前続いている。河口部の計画河床高（素案）は DL-4.2m と現況河床高より 4m 以上掘削することから、Adyar 川と同等の DL-2m を下限値とした場合の影響評価を行った。Figure 2-68 の不等流計算結果によると計画河床高（素案）時には 100 年確率流量時の水位は HWL 以下となるが、計画河床高下限値を DL-2m とすると河口から 15.5k 付近まで HWL を上回る結果となる。

Kosasthalaiyar 下流域では、住戸は海岸砂丘上や 8k~9.6k の標高の高い箇所に集中しており、その上下流区間は未利用地が大半である (Figure 2-69)。そこで 16k 下流区間について現況河岸高見合いで 100 年確率水位を包含するよう HWL を修正することとした。計画高水位（案）の修正に伴い資産集積区間の下流にあたる Loop2 区間の右岸側で築堤が必要となる。Loop2 内は現状では未利用地のため、築堤実施の判断は Loop2 内の今後の土地利用を勘案して行う必要がある。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-68: Kosasthalaiyar 川 河口部不等流計算結果



出典: JICA Expert Team

Figure 2-69: Kosasthalaiyar 川下流部の資産集積区間

2.3.16 河道の維持可能性検討

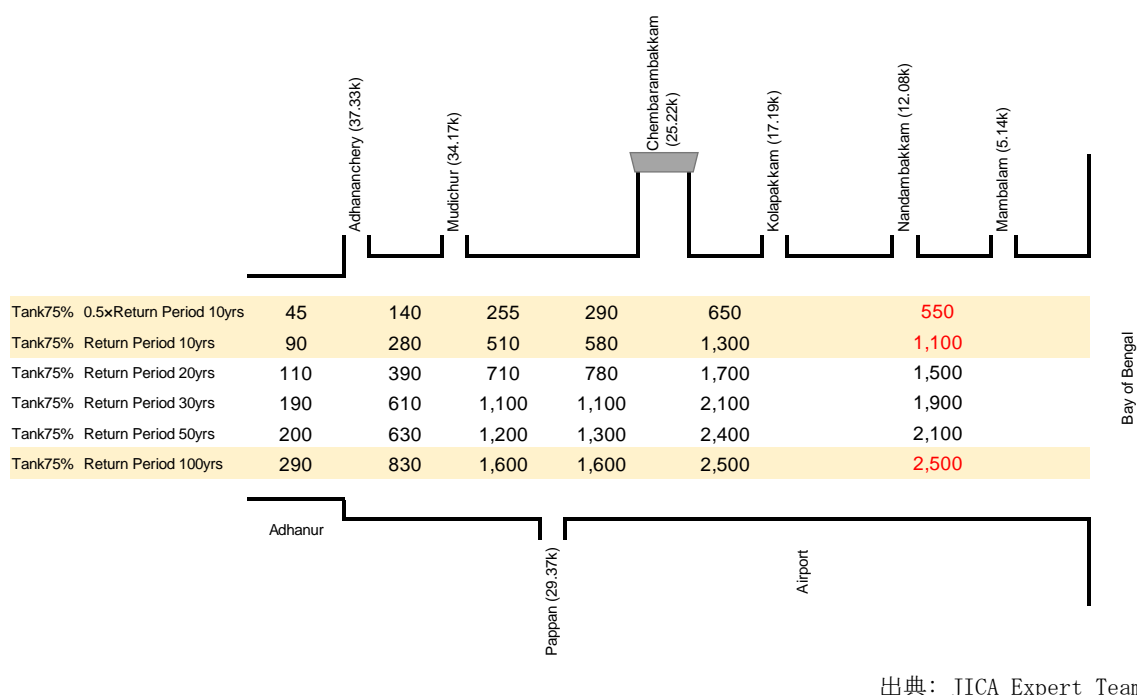
検討対象の Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar の 3 河川では 100 年確率規模洪水に対する流下能力を確保するため、大幅な河床掘削と河道拡幅を行う計画としている。前節の検討の通り、下流部の計画河床高は DL-2m を下限値としているが、それでもなお現況河床高に対して大幅に河床高を掘り下げること、河口から数 km に渡って河床高を水平としていることから、現況河道に比べて洪水時の流速が低下し、各河川上流域からの土砂が水深の大きな下流域に堆積し、所定の計画断面の維持可能性が懸念される。これを踏まえ、現況河道と計画河道での洪水時の水理量縦断分布を基に河道改修に伴う土砂移動特性の変化を分析し、河道の維持可能性を評価した。

検討の流れは次の通りである。まず各河川下流域での現況河道での最大流下能力時の土砂輸送能力を不等流計算モデルにより算定する。次に計画河道での土砂輸送能力を洪水規模別に整理し、これと現況河道での指標と比較することで土砂堆積可能性を整理した。

(1) Adyar 川

現況河道および計画河道での不等流計算水位を Figure 2-72 に示す。ここでは 100 年確率、10 年確率、10 年確率流量の 1/2 の 3 流量に対して不等流計算を実施した。不等流計算は計画河道で水深が大きく河床勾配が水平となる 11k 下流区間を対象として、Figure 2-70 の赤字の流量を用いて実施した。

Figure 2-72 に示す通り現況河道は 100 年確率規模洪水に対して流下能力が大幅に足りないため計算水位が現況地盤高を大きく上回る高さとなる。不等流計算では左右岸の河岸位置より堤内地側に水が溢れない前提のため、100 年確率規模洪水では現実的に生じえない高さの水位となっている。現実的には河川水位が左右岸地盤高を上回ると氾濫するため、計算水位は現況地盤高程度までしか上昇しない。これを踏まえると Adyar 川下流域では現況河道で 10 年確率規模洪水程度の流下能力と評価される。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-70: 確率規模別流出計算結果 (Adyar 川、Tank 利用率 75%)

Adyar 川での土砂輸送特性を摩擦速度から評価した。摩擦速度とは以下の式により算定される値であり、この値が大きいほど河川が土砂を輸送する能力が大きいことを示す。

$$u_* = \sqrt{gRi_e}$$

ここで、 u_* : 摩擦速度、 g : 重力加速度、 R : 径深、 i_e : エネルギー勾配である。

この指標を縦断的に見たときに、上流側から下流側に向けて摩擦速度の値が急減する場合には土砂輸送能力が低下するため土砂堆積が進むこととなる。

この視点に基づき確率規模別の摩擦速度縦断図 (Figure 2-73) を見ると以下の点が確認できる。

- ・ 現況河道では断面の縦断変化による局所的に水位が急変する。これによりエネルギー勾配 i_e や径深 R が縦断的に変化するため摩擦速度も縦断的に変化する。
- ・ 計画河道では河道拡幅・河床掘削により流下断面が拡大するため洪水時水位が安定することで摩擦速度の急変が解消されると共に、現況河道に比べて摩擦速度の絶対値が低下する。
- ・ 流量規模別の摩擦速度縦断図を見ると、上流からの洪水流の影響箇所が洪水規模によって変化している様子が確認できる。100 年確率規模洪水の場合は河口から 7k 付近までは自己流の影響が大きく、これに伴い摩擦速度も大きいですが、7k 下流は海域の水位の影響により摩擦速度が急激に低下するため、7k 付近で土砂堆積が生じる可能性が考えられる。洪水規模が小さくなるほど上流からの洪水流の影響が低下し、摩擦速度急減箇所、すなわち土砂堆積の可能性の高い箇所

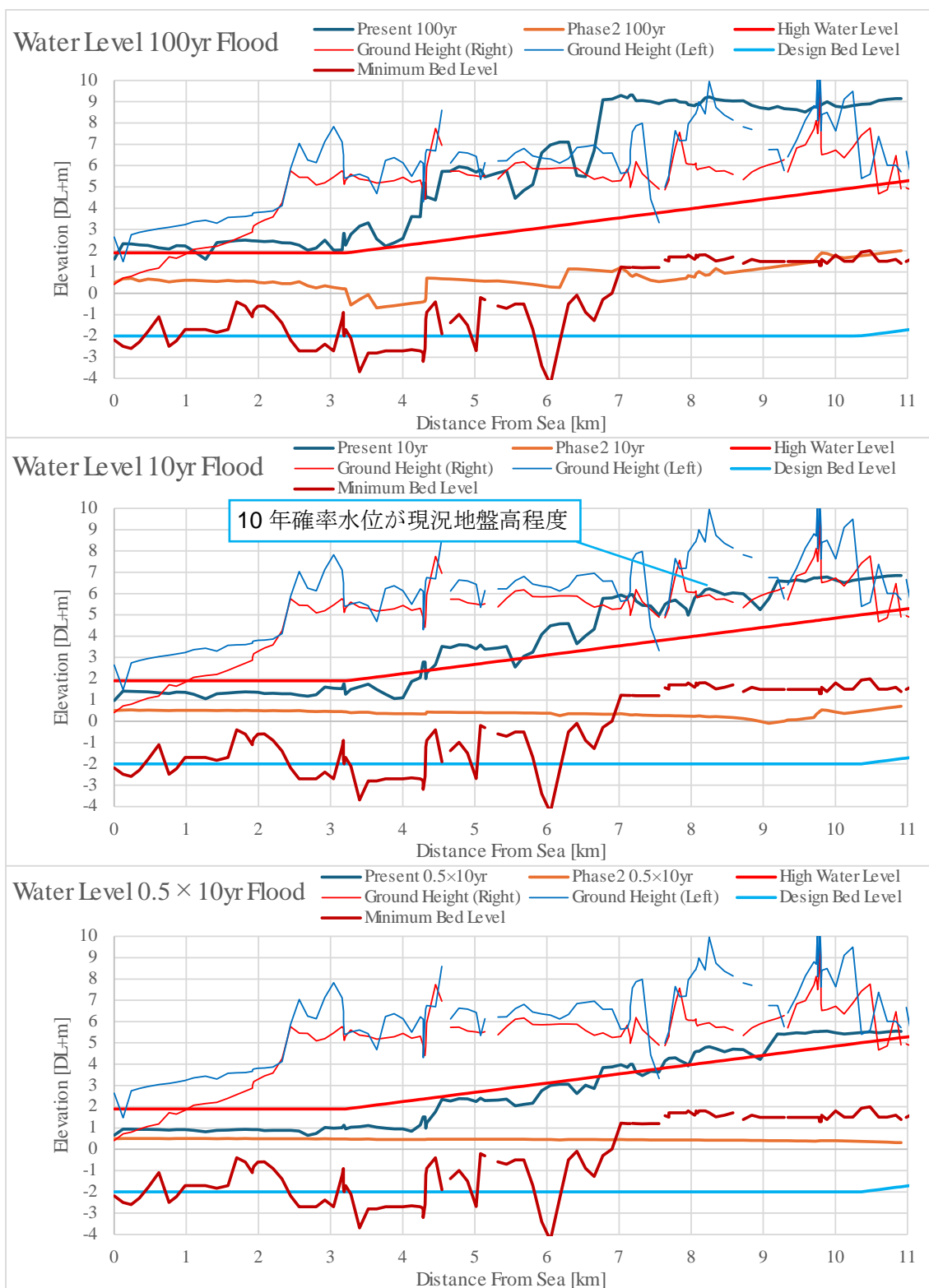
が上流に移動する。

- この結果より、洪水ピーク流量後の減衰期には縦断勾配変化点である 10k 付近を含む 7k~11k 付近で土砂堆積が生じる可能性が考えられる。
- 以上から、河道を拡大して流下能力を上げれば、洪水時の土砂輸送能力は減少する方となり、河床の維持管理はやむを得ない。そのため Figure 2-71 に示した区間において土砂堆積を考慮した水理計算により許容できる河床高（土砂堆積量）を把握すると共に、必要に応じて河床高の維持管理を行う必要がある。



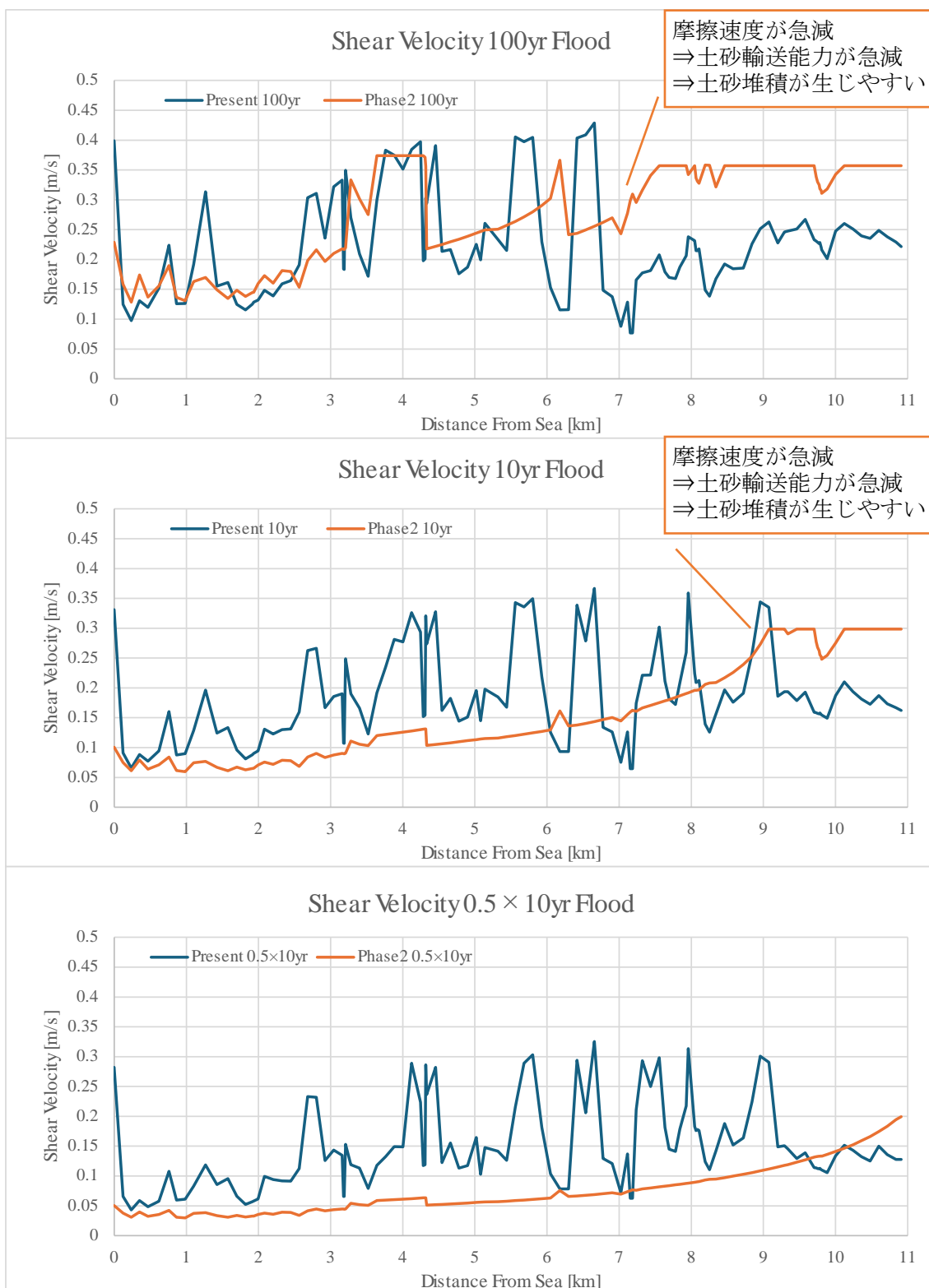
出典: JICA Expert Team

Figure 2-71: Adyar 川下流部土砂堆積監視区間



出典: JICA Expert Team

Figure 2-72: 確率規模別不等流計算水位縦断面図 (Adyar 川)



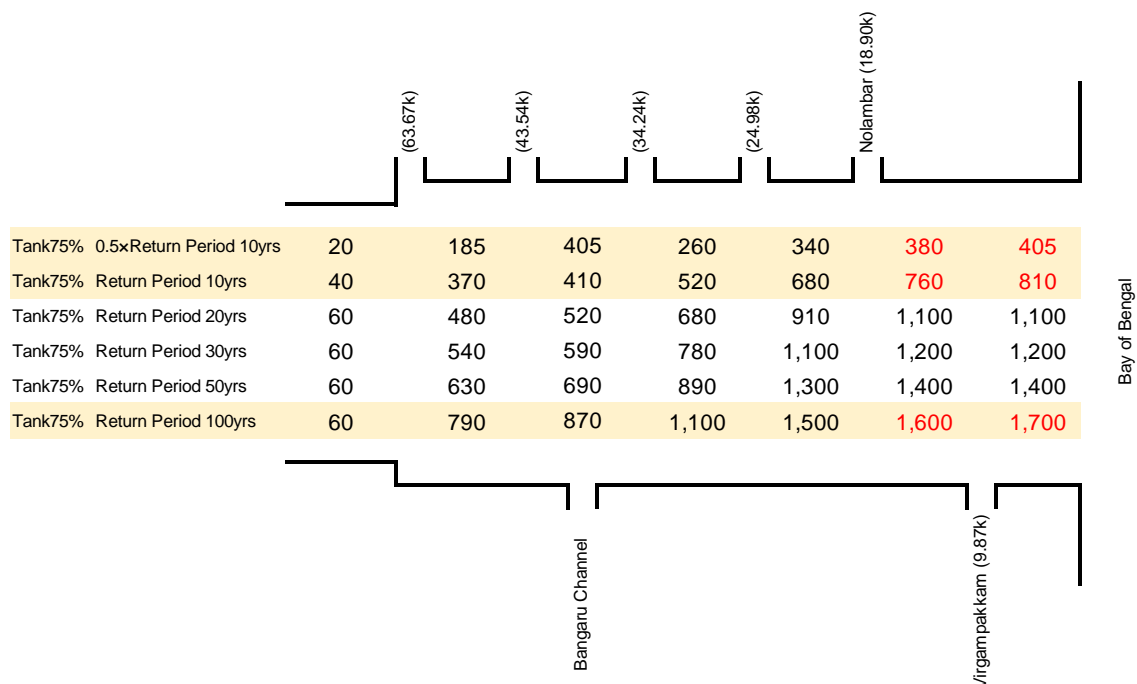
出典: JICA Expert Team

Figure 2-73: 確率規模別摩擦速度縦断面図 (Adyar 川)

2.3.16.2. Cooum川

現況河道および計画河道での不等流計算水位を Figure 2-75 に示す。不等流計算は計画河道で水深が大きく河床勾配が水平となる 9k 下流区間を含む 15k 付近までを対象として、Figure 2-74 の赤字の流量を用いて実施した。

Figure 2-75 に示す通り Cooum 川下流域では現況河道で 10 年確率規模洪水の半分程度の流下能力と評価される。

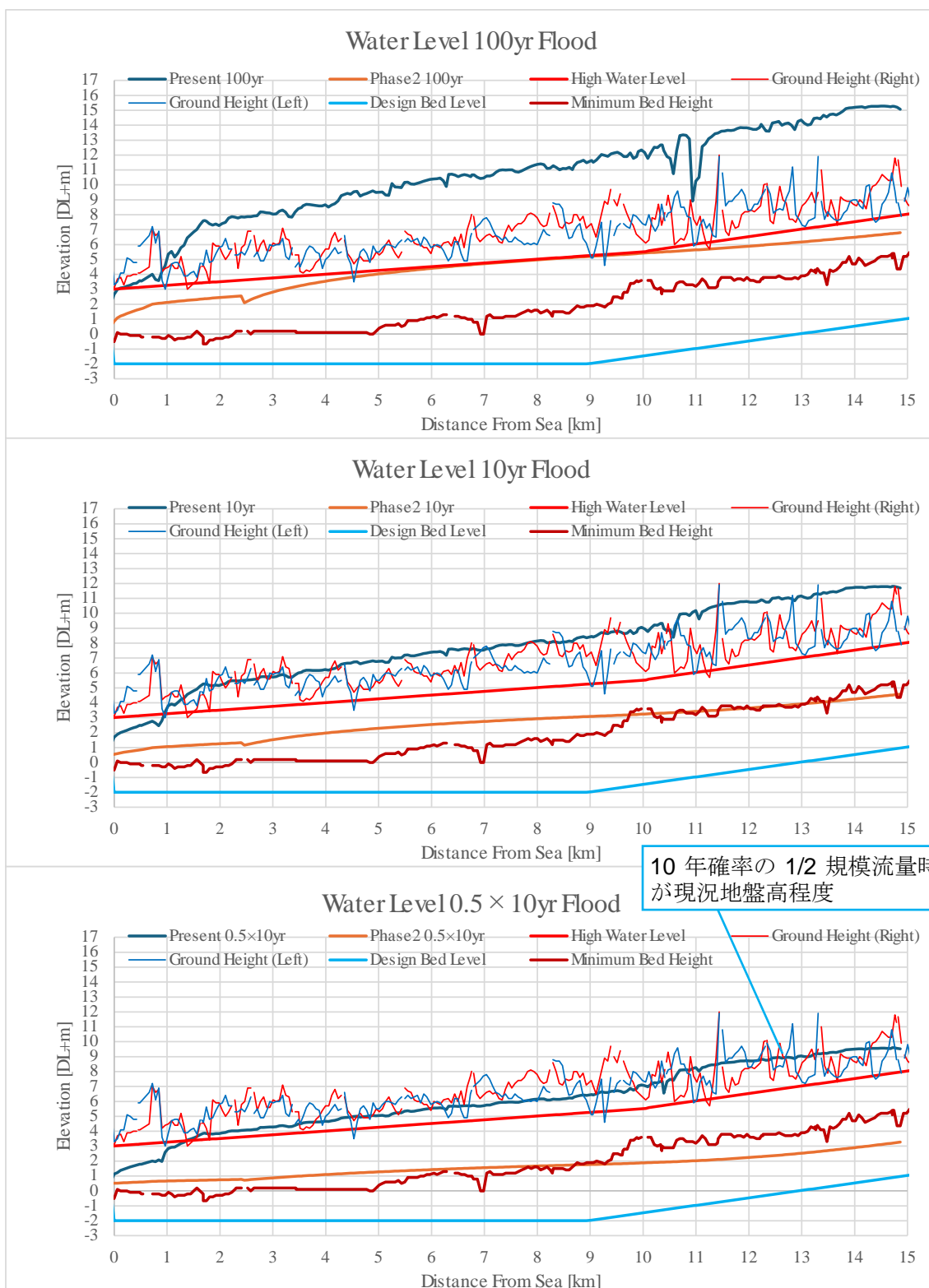


出典: JICA Expert Team

Figure 2-74: 確率規模別流出計算結果 (Cooum 川、Tank 利用率 75%)

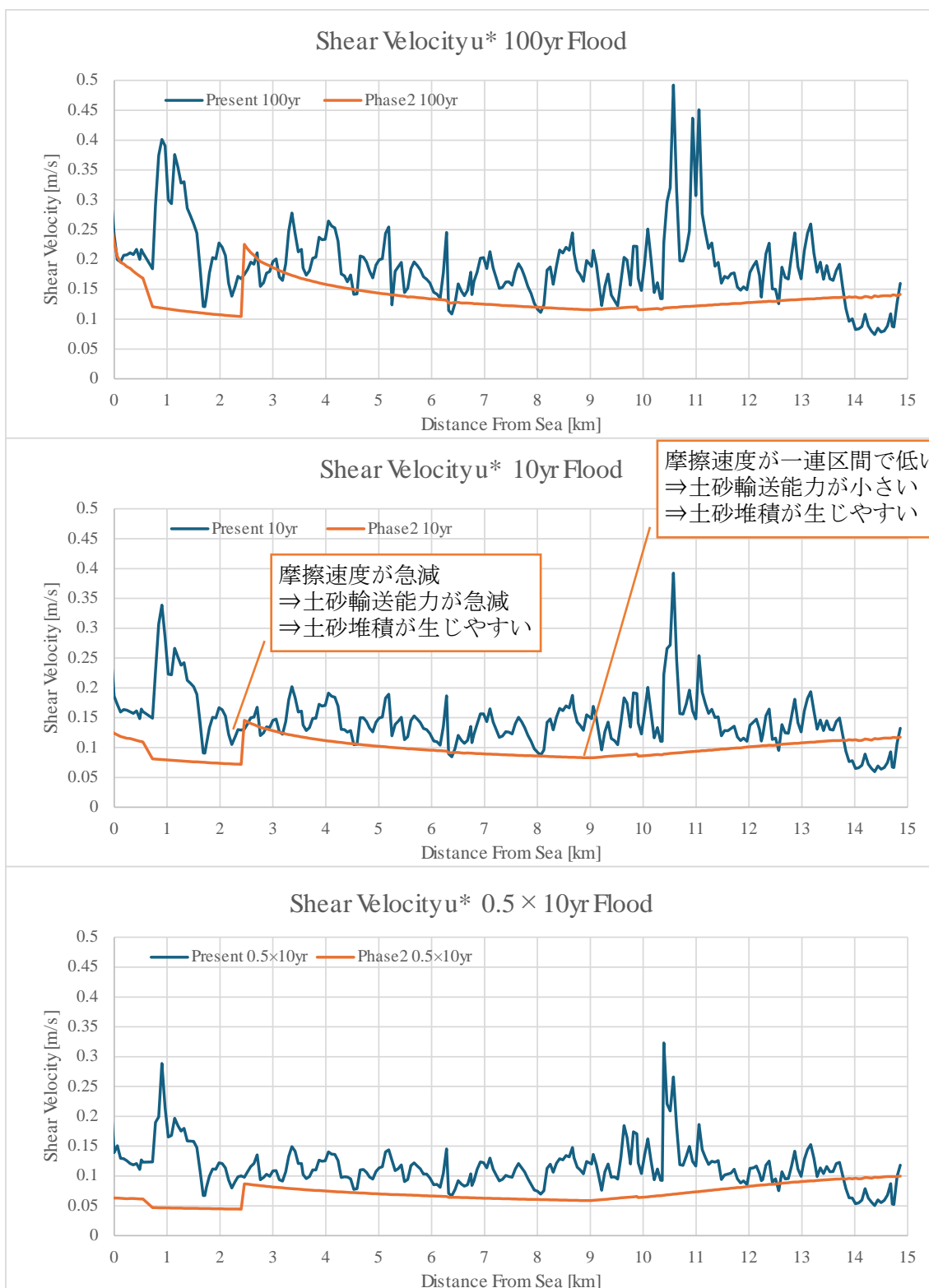
Cooum 川での土砂輸送特性を摩擦速度 u_* を用いて評価した。確率規模別での摩擦速度縦断面図 (Figure 2-76) を見ると以下の点が確認できる。

- Cooum 川では、現況河道から計画河道に改修することで摩擦速度が全体的に低下するが、全体的な傾向は変わらない。
- 計画河道では、上流側から 9k 付近まで徐々に摩擦速度が低下すること、2.5k 付近で大きく低下している。9k 付近は計画河道での縦断勾配変化点の 9k 下流で河床勾配がフラットになること、2.5k 付近は Loop 区間の分派点で流下断面が急拡大するためであり、この 2 カ所は土砂堆積の可能性が高いと考えられる。
- そのため、当該区間において土砂堆積を考慮した水理計算により許容できる河床高 (土砂堆積量) を把握すると共に、必要に応じて河床高の維持管理を行う必要がある。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-75: 確率規模別不等流計算水位縦断面図 (Cooum 川)



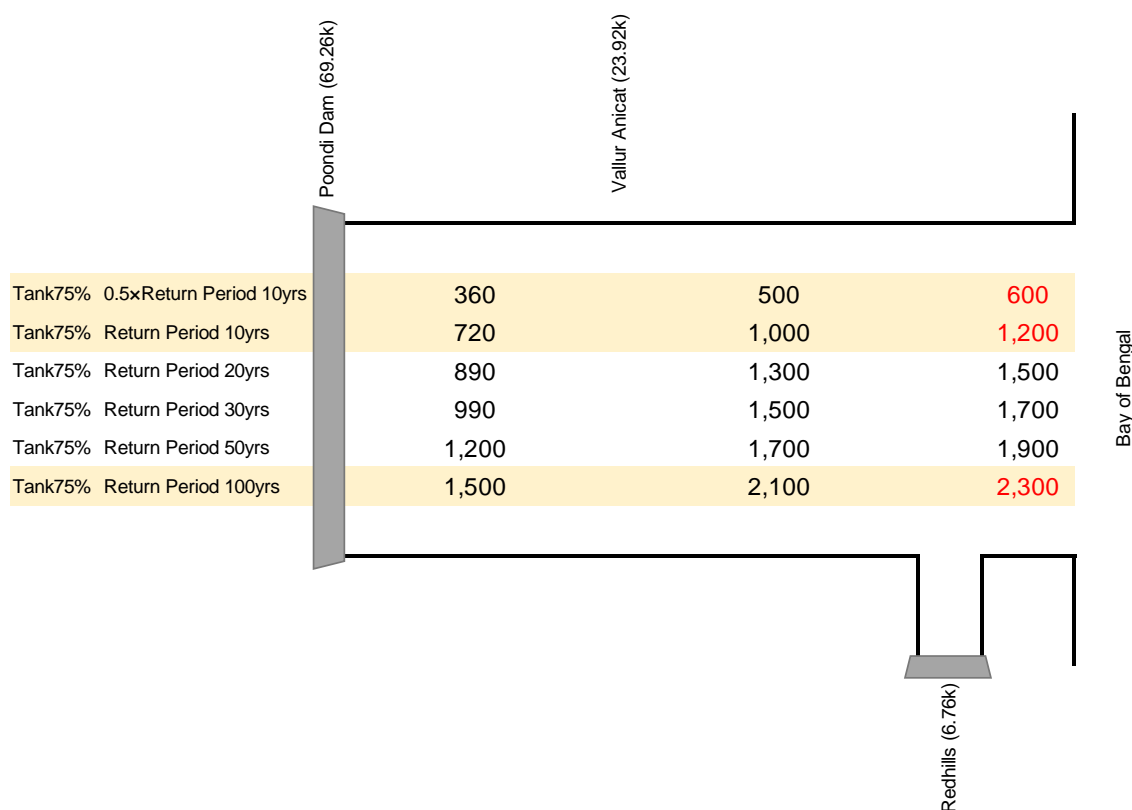
出典: JICA Expert Team

Figure 2-76: 確率規模別摩擦速度縦断図 (Cooum 川)

2.3.16.3. Kosasthalaiyar 川

現況河道および計画河道での不等流計算水位を Figure 2-78 に示す。不等流計算は計画河道で水深が大きく河床勾配が水平となる 9k 下流区間を含む 15k 付近までを対象として、Figure 2-77 の赤字の流量を用いて実施した。

Figure 2-75 に示す通り Kosasthalaiyar 川下流域では現況河道で 10 年確率規模洪水の半分程度の流下能力と評価される。



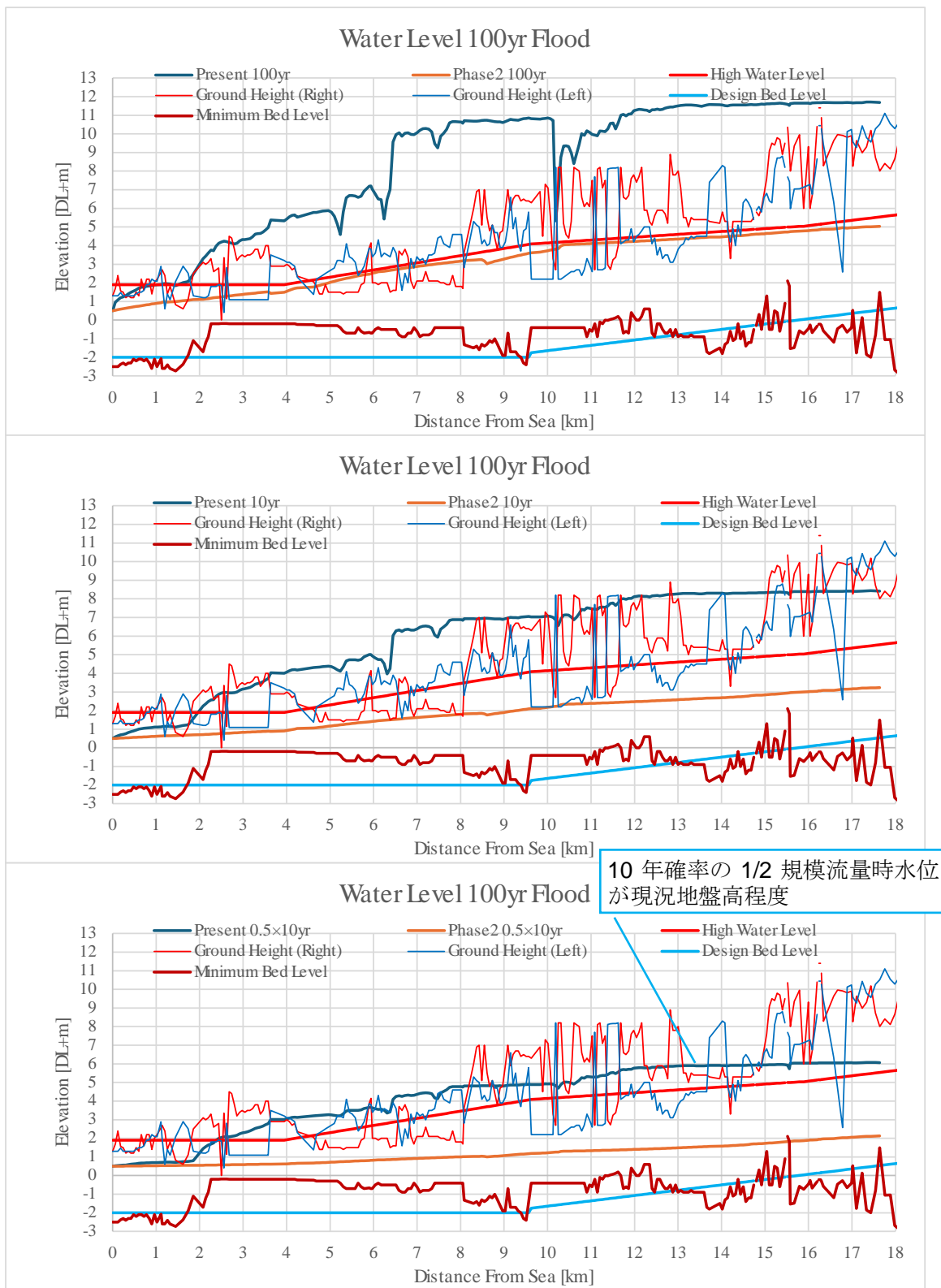
出典: JICA Expert Team

Figure 2-77: 確率規模別流出計算結果 (Kosasthalaiyar 川、Tank 利用率 75%)

Kosasthalaiyar 川での土砂輸送特性を摩擦速度 u_* を用いて評価した。確率規模別での摩擦速度縦断面図 (Figure 2-79) を見ると以下の点が確認できる。

- ・ Kosasthalaiyar 川では、現況河道から計画河道に改修することで摩擦速度が全体的に低下する傾向にある。
- ・ 計画河道では、2つの Loop 区間の接続部にあたる 8k~10k 区間が Loop 区間に比べて川幅が狭いため、上流側では水位堰上げ、下流側では川幅拡大により水面勾配が緩やかになるため、当該区間上下流で摩擦速度が低下している。また、最下流の Loop 区間分派点 (3.5k 付近) でも同様に川幅拡大により摩擦速度が低下しており、これらの 2箇所は土砂堆積の可能性が高いと考えられる。
- ・ そのため、当該区間において土砂堆積を考慮した水理計算により許容できる河床高

(土砂堆積量)を把握すると共に、必要に応じて河床高の維持管理を行う必要がある。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-78: 確率規模別不等流計算水位縦断面図 (Kosasthalaiyar 川)

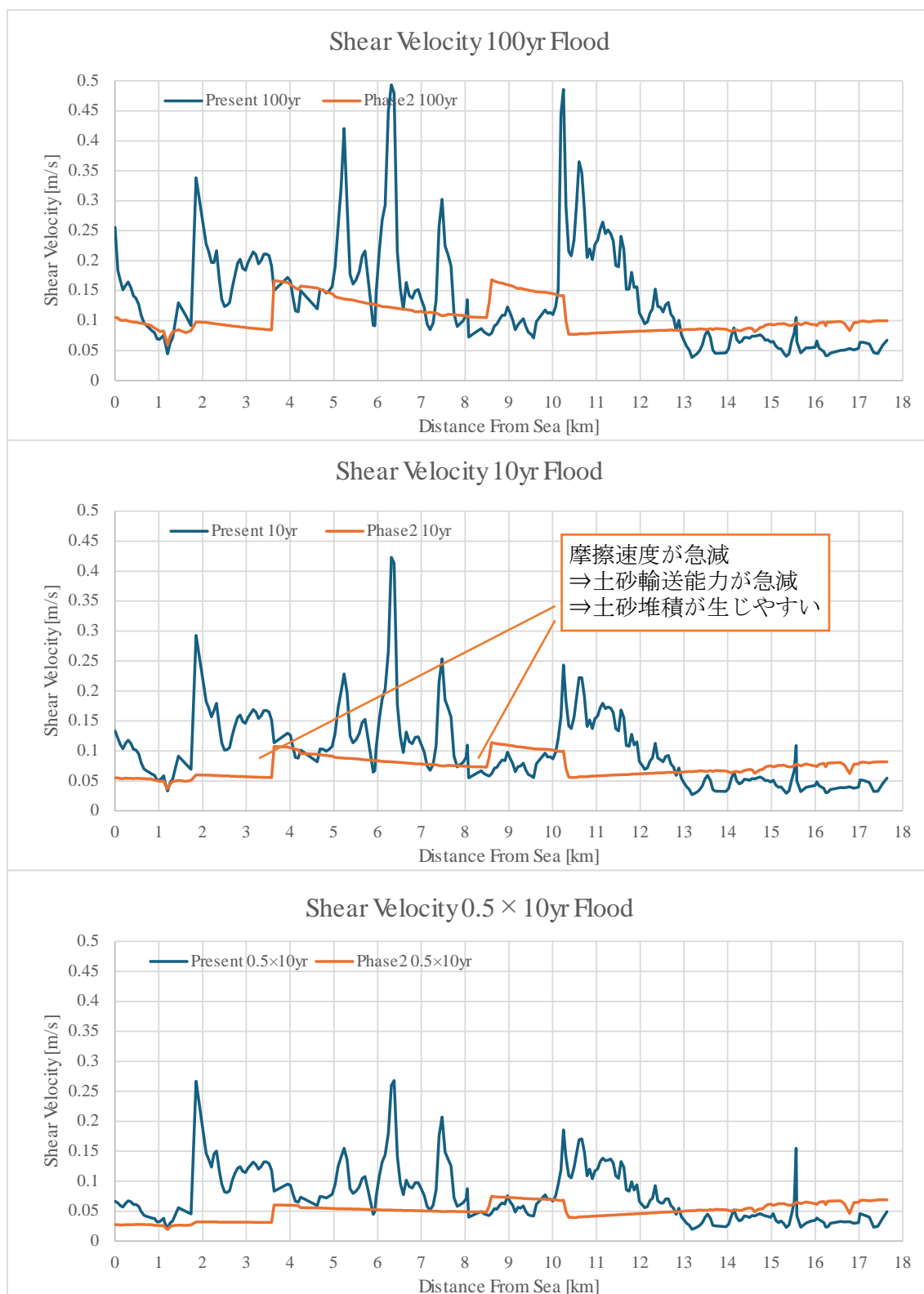


Figure 2-79: 確率規模別摩擦速度縦断面図 (Kosasthalaiyar 川)

2.4 構造物対策の検討

2.4.1 既存タンクの改修による洪水貯留

2.4.1.1. 既存タンクの状況

対象河川の流域内には「タンク」と呼ばれる貯水池が多く存在しており、灌漑用水の確保を目的としているが、洪水調節や地下水涵養、河川への土砂供給の抑制の機能も有していると考えられる。一般的にはタンクの下流側に三日月型の土堤により既存水路を堰き止めた形状をしており、モンスーン（雨季）に雨水を貯留し、モンスーン以外（乾季）に貯留水を放流する。タンクの多くは水路を介して相互に連結しており、放流水は最終的には Adyar 川や Cooum 川、Kosasthaliyar 川の本支川や Chembarambakkam ダムへ流下する。

本調査において対象とするタンクは主に TNWRD の管轄下にあるものを選定した。これは、土地の取得を最小限に抑える必要があるためであり、相手方機関との調整・協議の結果、現実的で実現可能である。尚、このアプローチは TNWRD によって相互に合意され、提案に対する整合性と支援が確保されている。

本調査では、タミル・ナードゥ州水資源局（TNWRD）から既存のタンクに関する情報を収集しており、Table 2-35 は、各河川流域におけるタンクの状況の概要である。

Table 2-35 Tanks and Waterbodies Areas

Basin	Basin Area (km ²)	Existing Tank Area (km ²)	Major Dam Area (km ²)	% 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
Kosasthaliyar (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 TNWR

尚、本調査で選定されたタンクについては、2011 年の地形図や TNWRD のデータ、衛星画像などから貯留量の可能性検討を行ったが、JICA 治水マスタープランの実施にあたっては、選定されたタンクや接続する水路についての詳細かつ最新の水深測量が不可欠である。

2.4.1.2. 既存タンクの施設概要

既存タンクの状況として、Adyar 川流域の Somangalam Big Tank を例に、タンクの諸元および現地状況を示す。本タンクは Chembarambakkam ダムの 4 km ほど南東方向に位置するが、ダムとは接続しておらず、本タンクからの放流水は、タンクの南方に位置する Adyar 川支川へと流れる。貯留水の放流に係る施設としては、取水施設（ゲート）、洪水吐、および隣のタンクとの接続水路が存在する。築堤は地盤標高の低いタンクの南東部にのみ存在する一方で、タンクへの流入水路はタンクの北西方向にあり、タンクの上流はタンクの上流は堆積土砂により浅くなっている。取水施設（ゲート）や洪水吐を含む現地写真を Table 2-37 および Table 2-38 に示す。検討にあたっては WRD による既存タンクの諸元データを参考にしたが、Somangalam Big Tank では洪水吐高さ（満水位）と取水施設のゲート敷高の差は約 3.5m 程度であり、これは現行の貯水部における平均水深 3.5m とほぼ同等であり、貯留水の大部分が取水可能である。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-80: Somangalam Big Tank の概要

Table 2-36: Somangalam Big Tank の基本諸元

Name	Somangalam Big Tank
Latitude	12° 56' 45.925" N
Longitude	80° 1' 36.652" E
Village	Somangalam
Subbasin	Adyar
Basin	Chennai
Existing Capacity	1.23 MCM
Area	1.10 km ²

出典: JICA Expert Team

Somangalam Big Tank の現地状況として、タンクの築堤部東端～隣のタンクとの接続水路～北東部の無堤箇所を以下に示す。

Table 2-37: Somangalam Big Tank の写真(1)

	
<p>タンクの築堤部東端から池方向</p>	<p>築堤状況（築堤部東端）</p>
	
<p>築堤状況（築堤部東端、池側法面）</p>	<p>タンク北東部の無堤箇所</p>
	
<p>タンク北東部の無堤箇所</p>	<p>隣のタンクとの接続水路</p>

出典: JICA Expert Team

Somangalam Big Tank の現地状況として、取水施設および洪水吐き付近の写真を以下に示す。

Table 2-38: Somangalam Big Tank の写真(2)

	
<p>取水施設（孔内にゲート有）</p>	<p>取水施設設置箇所の天端</p>
	
<p>取水施設設置個所の法面階段</p>	<p>洪水吐き（川裏）</p>
	
<p>洪水吐き（端部）</p>	<p>洪水吐き（川表）</p>

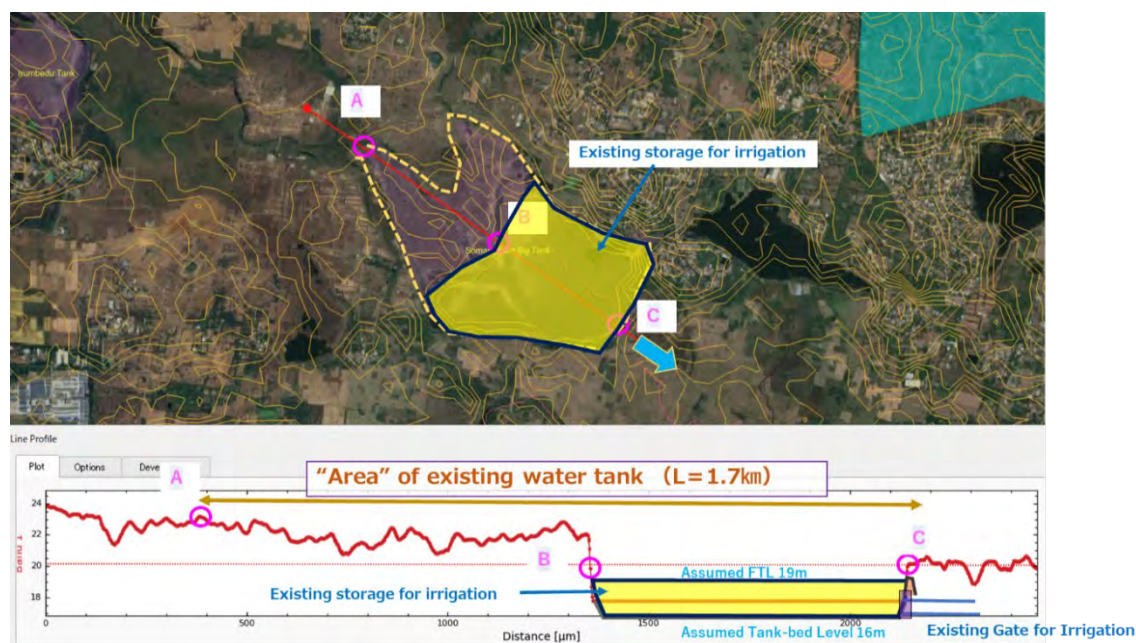
出典: JICA Expert Team

2.4.1.3. 既存タンクの改良方針

Adyar 川流域の Somangalam Big Tank を例に、既存タンクの改良方針を示す。

(1) 既存タンクの地形状況および貯水容量

Figure 2-81 に Somangalam Big Tank の DEM に基づく長手方向（北西（流入水路）-南東（取水施設）方向）の断面図を示す。タンクの範囲のうち、上流側（北西側）は堆積により地盤が高く、下流側（南東側）のみが貯水域となっていることが示唆され、これは三日月型に築堤された下流部に貯水域が集中する衛星画像および現地調査での確認結果での確認と一致する。当該タンクの既存の貯水容量は 1.23MCM、貯水部の水深は 3.5m とされているが、これは下図に示す通り、タンク下流部（ハッチ部）に一律水深で貯水した場合の貯水容量に概ね相当する。Somangalam Big Tank においては、DEM および現地状況を踏まえ、池底標高を+16.0m 程度、満水位を+19.0m 程度（=洪水吐き天端）と想定する。なお、灌漑用の取水施設の敷高は+15.5m 程度にあると考えられるが、池底の地形の変化を考慮して、現況の貯水容量の評価においては池底標高を一律+16.0m とした。なお、Figure 2-81 で示す周辺の地盤高は+19.0~20.0m であり、灌漑水路等の小規模な水路の標高は考慮されていない。



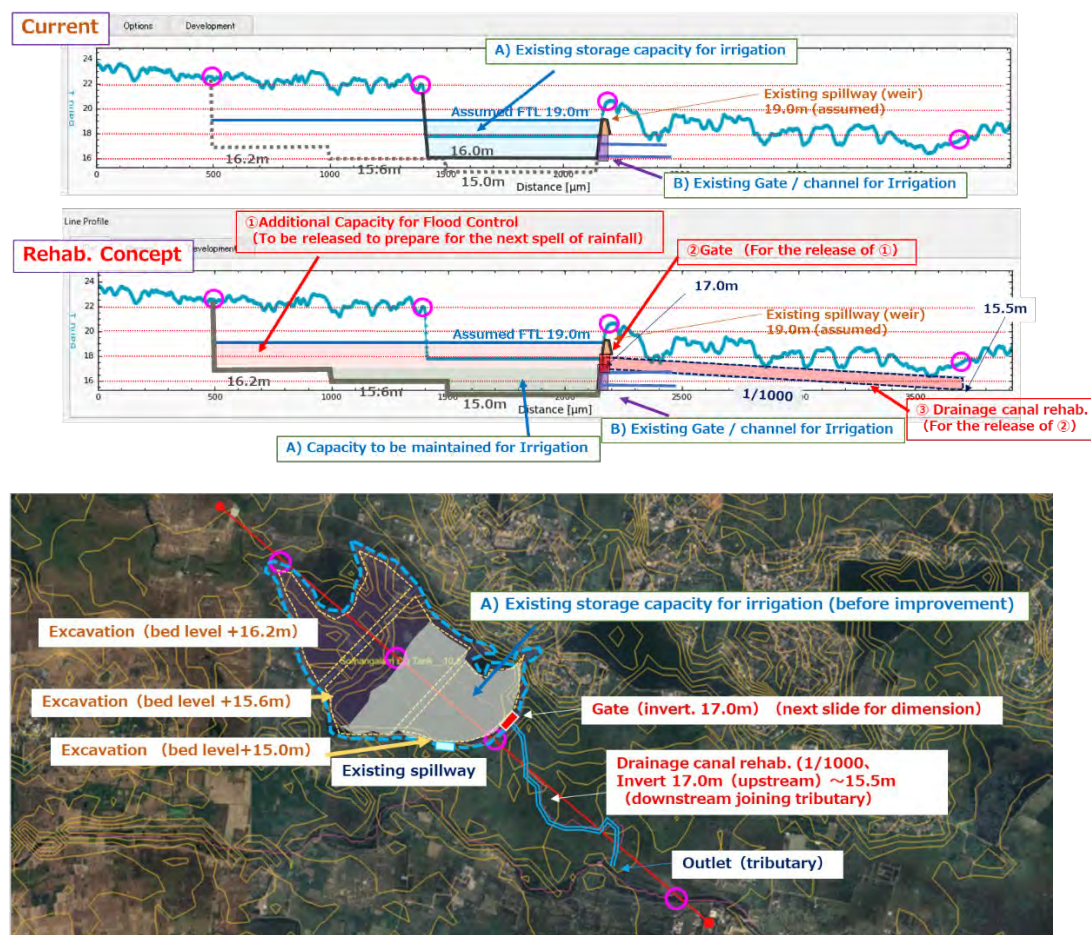
出典: JICA Expert Team

Figure 2-81: Somangalam Big Tank の平面図および断面図

(2) 既存タンクの改良の基本的な考え方

既存タンクの改良（洪水調節容量）確保は、上流部の地盤が高く、池底高の浅いエリアを掘削することで、増加した貯水容量を洪水調節に利用する。ここで既存の貯水域（下流側）と同等の水深 3～4m 程度まで一律に掘削し、堤防のかさ上げは考慮しない。これは、池底標高や最高貯水位を大きく見直した場合には、現況の構造物および附属施設（堤防・洪水吐き・取水施設・近隣タンクとの接続水路）の活用が困難になるためである。貯水域の範囲を広げることで常時貯水位が下がる場合もあるが、灌漑用の取水施設の敷高が現況の池底高程度にあることから、取水は可能であると考えられるものの、操作水位の変更等、個別のタンクの運用規則について、各タンク改良の設計時に考慮する必要がある。

また、タンクの改良にあたっては、①雨季の最初の降雨でタンクが満水位に達した場合に、次の降雨に備えて一部放流を行うための排水ゲートの設置および②排水および取水、タンクの維持管理を容易にするために、池底に地形勾配もしくは段差を設置する。

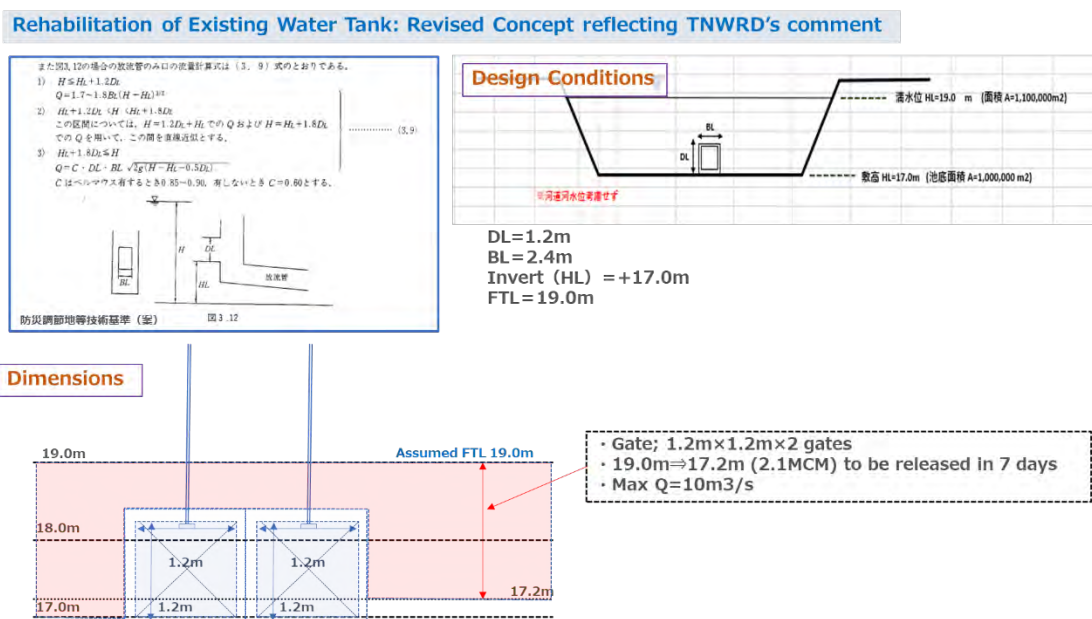


出典: JICA Expert Team

Figure 2-82: 既存タンクの改良コンセプト (Somangalam Big Tank の例)

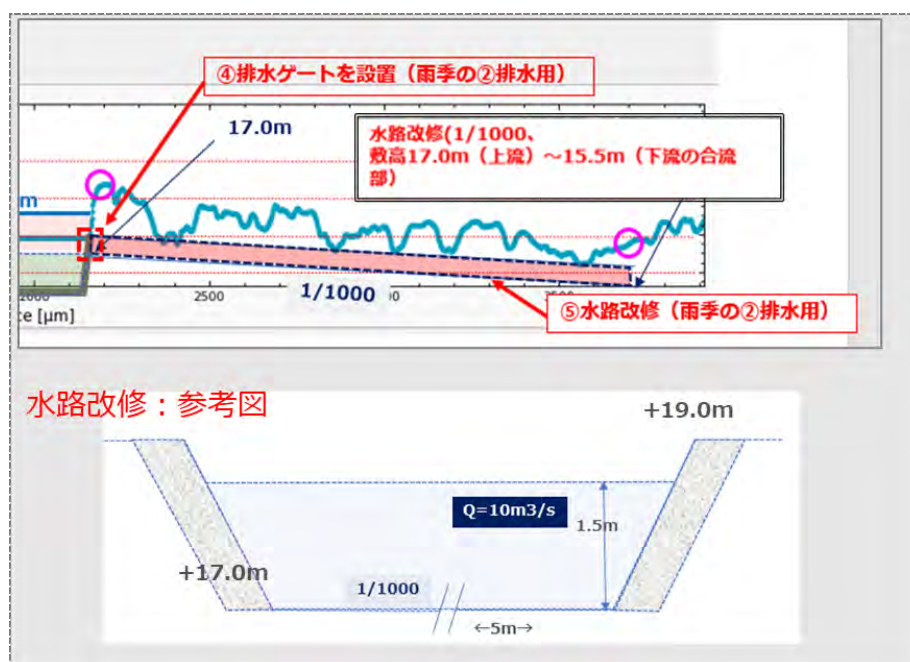
上図に示す Somangalam Big Tank における改良案のコンセプトについて、標高は既存の DEM や現地状況を踏まえた参考の数値であり、個別施設の基本設計にあたっては、既存構造物および地形の測量を行った上で、精査を行う必要がある。本コンセプトにおいては、下部部の池底標高+15.0m に対して、水深 2.0m 分の貯水量を残して、排水ゲートの敷高を +17.0 と想定する。ゲートの下流の水路としては、1/1000 程度の勾配で Adyar 川の支川に接続する計画とし、排水ゲートの敷高はそれに見合う標高とした。池底標高については、2 フィート (60 cm) の段差を考慮し、+15.0 から+16.2 まで3段での整備を考慮する。この改良により、Somangalam Big Tank では増加した約 251 万 m³ (=改良後の平均水深 3.4m × タンク面積 1.10 km²—既存容量 123 万 m³) の貯水容量を洪水調節に確保できる。

排水ゲートの諸元については、1.2m × 1.2m の 2 門を設置することで満水位 (+19.0m) から +17.2m までの 210 万 m³ を 7 日間で排水できる。また Adyar 川支川への接続水路としては、既存排水路の改修を行う。既存排水路の多くは素掘りの開水路であり、現地で確認される幅は 5m、深さは 1m 未満であるが、これを幅 5m × 深さ 2.0m 程度とすることで、必要となる 10m³/s を流すことができる。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-83: 既存タンクの改良コンセプト
(Somangalam Big Tank の例: ゲート参考諸元)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-84: 既存タンクの改良コンセプト
(Somangalam Big Tank の例: 接続水路参考諸元)

2.4.1.4. 既存タンクの改良による洪水調節容量

タンクによる施設容量の算出は、以下のステップで検討した。

- ・選定した既設タンクが家屋移転など発生しない最大限の拡大した場合に確保できる施設容量の算出
- ・施設容量に対して土砂流入などによる容量の減少 (20%程度今回想定) を考慮した有効貯水量の算出
- ・有効貯水量を基本とした洪水貯留量の設定 (有効貯水量 75%が貯留できる容量として三算出)

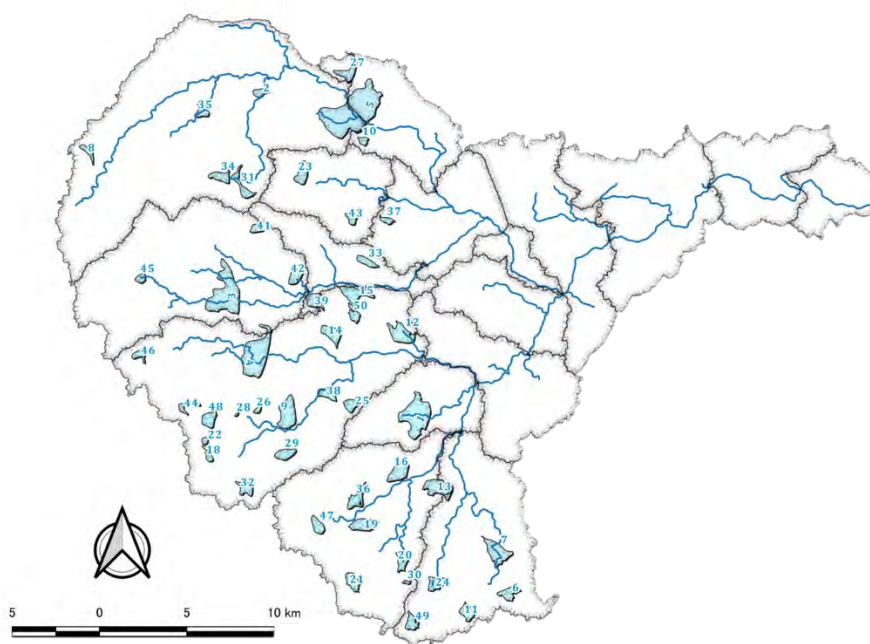
(1) Adyar 川における容量増加

Adyar 川における既存タンク一覧を以下に示す。主要 50 タンクの既存容量の合計は約 59MCM、総面積は約 43.1 km² である。

Table 2-39: Adyar 川における既存タンク一覧 (50 タンク)

NewID	Tank_Name	Cap_MCM	Area (revised)_Km2
A-1	Manimangalam Tank	6.37	2.59
A-2	Koppur Kudippi Thangal	5.60	0.29
A-3	Sriperumbudur Tank	4.93	4.02
A-4	Pillaiakkam Tank	3.45	4.30
A-5	Nemam	2.56	5.98
A-6	Perumattunallur Big Tank	2.06	0.54
A-7	Nandivaram Tank	1.69	1.22
A-8	Mappaedu Big Tank	1.53	0.30
A-9	Gunduperumbedu Tank	1.47	1.52
A-10	Padur	1.37	0.20
A-11	Kayarambedu Tank	1.33	0.57
A-12	Somangalam Big Tank	1.23	1.43
A-13	Adanur Tank	1.16	1.32
A-14	Kolathur Tank	1.07	0.98
A-15	Amarambedu Tank	1.04	1.05
A-16	Padappai Tank	0.99	0.93
A-17	Vallakottai Sundaleri	0.91	0.05
A-18	Vallakottai Maveri	0.91	0.16
A-19	Orathur Tank	0.90	0.81
A-20	Kavanoor Tank	0.84	0.51
A-21	Siruanjur Katteri	0.80	0.57
A-22	Vallakottai Alleri	0.79	0.11
A-23	Valarapuram Tank	0.79	0.89
A-24	Potheri Tank	0.73	0.55
A-25	Maganium Chitteri	0.72	0.46
A-26	Thathanur Tank	0.72	0.15
A-27	Gudapakkam	0.72	0.66
A-28	Vadakkal Vannan Thanal	0.72	0.03
A-29	Peringambakkam Tank	0.71	0.53
A-30	Kattankolathur Tank	0.69	0.06
A-31	Mannur Peria Eri	0.66	0.59
A-32	Mathur Tank	0.62	0.52
A-33	Kattrambakkam Tank	0.61	0.40
A-34	Mannur Sadai Eri	0.60	1.92
A-35	Pudupakkam Big Tank	0.59	0.32
A-36	Arambakkam Tank	0.59	0.72
A-37	Keevallore Tank	0.55	0.21
A-38	Maganium Periyaeri	0.53	0.49
A-39	Vengadu Tank	0.52	0.66
A-40	Balanallore Thumbanthaglam	0.52	0.09
A-41	Nemili Peria Eri	0.51	0.22
A-42	Pennallore Large Tank	0.49	0.53
A-43	Thandalam Manjanatheri	0.46	0.27
A-44	Balanallore Tank	0.44	0.16
A-45	Thirumanikuppam Big Tank	0.43	0.23
A-46	Thirumangalam Tank	0.42	0.33
A-47	Kanchivakkam Tank	0.41	0.47
A-48	Vallam Hissa Tank	0.41	0.83
A-49	Ninnakarai Tank	0.40	0.46
A-50	Irumbedu Tank	0.40	0.92
	Total	58.95	43.12

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-85: Adyar 川における既存タンク位置図 (50 タンク)

Adyar 川の主要 50 タンクの改良 (平均水深 3.4m) によって総貯水容量は 147MCM まで増加し、この容量分で有効貯水容量分の 75%を洪水調節に使用する。

Table 2-40: Adyar 川のタンク改良による容量増加 (洪水調節容量)

<p>(1) 既存の合計貯水容量</p> <p><u>59 MCM</u> (タンク数=50)</p> <p>※Table 2-39 の貯水容量合計値</p>	
<p>(2) 改良後の合計貯水容量</p> <p><u>146.8MCM</u> (タンク数=50)</p> <p>合計面積 43.1km² x 平均水深 3.4m =146.8MCM</p>	
<p>(3) 既存タンク改良による洪水調節容量</p> <p>有効貯水容量 : 117MCM (=146.8×0.8)</p> <p>※有効貯水量は総貯水容量の 80%で設定 (堆砂など考慮)</p> <p>洪水調節容量 : 88MCM (=117×0.75)</p> <p>※洪水調節容量は有効貯水容量の 75%を利用</p>	

出典: JICA Expert Team

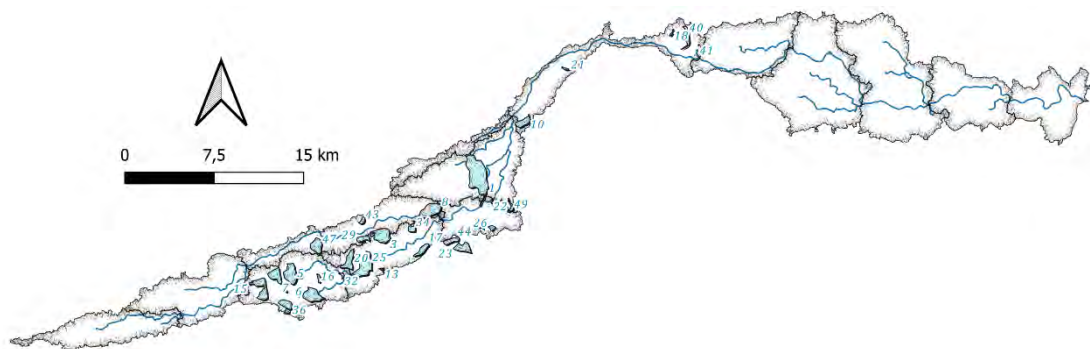
(2) Cooum 川における容量増加

Cooum 川における既存タンク一覧を以下に示す。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 km² である。

Table 2-41: Cooum 川における既存タンク一覧 (31 タンク)

New ID	Tank_Name	Cap_MCM	Area_Km2
C-1	Coovam Big Tank	5.19	4.07
C-2	Valathur Tank	1.83	1.32
C-3	Govindavadi Large Tank	1.42	1.31
C-4	Veliyur Tank	1.42	1.28
C-5	Govindavadi Chitheri	1.39	0.84
C-6	Edayarpakkam Tank	1.37	1.48
C-7	Satharai Tank	1.15	0.60
C-8	Parandur Pudueri Thangal	0.75	0.05
C-9	Thirumalpur Tank	0.72	1.19
C-10	Veliyur Chitheri	0.69	0.11
C-11	Thirur Hissa Tank	0.63	0.06
C-12	Ekanapuram Kali Eri	0.49	0.46
C-13	Kottavakkam Tank	0.48	0.85
C-14	Adigathur	0.47	0.08
C-15	Pudupattu Krishan Thangla	0.44	0.03
C-16	Parandur Large Tank	0.40	1.67
C-17	Elambakkam Tank	0.39	0.15
C-18	Peria Karumbur Malattu Thangal	0.38	0.11
C-19	Pallambakkam Tank	0.38	0.38
C-20	Parandur Kattupattur	0.32	0.09
C-21	Akkampuram Tank	0.31	0.30
C-22	Peria Karumbur Tank	0.29	0.56
C-23	Kavankolathur Tank	0.28	0.01
C-24	Veppamchittu Periya Eri	0.25	0.63
C-25	Perumalpattu Pudi Eri	0.23	0.01
C-26	Thandalam Soothiram Thangal	0.23	0.16
C-27	Kannan Thangal large tank	0.23	0.18
C-28	Pudupakkam Chitheri	0.22	0.02
C-29	Pullalur Peria Eri	0.20	0.86
C-30	Mappaedu Karai Thangal	0.20	0.01
C-31	Puddpattu Large Tank	0.20	0.13
	Total	22.94	18.99

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-86: Cooum 川における既存タンク位置図 (31 タンク)

Cooum 川の 31 タンクの改良 (平均水深 3.3m) によって総貯水容量は 61MCM まで増加し、この容量分で有効貯水容量分の 75%を洪水調節に使用する。

Table 2-42: Cooum 川のタンク改良による容量増加 (洪水調節容量)

<p>(1) 既存の合計貯水容量 22.9 MCM (タンク数=31) ※Table 2-41 の貯水容量合計値</p>	
<p>(2) 改良後の合計貯水容量 60.8MCM (タンク数=31) 合計面積 19.0km² x 平均水深 3.3m =62.7 MCM</p>	
<p>(3) 既存タンク改良による洪水調節容量 有効貯水容量 : 50MCM (=62.7×0.8) ※有効貯水量は総貯水容量の 80%で設定 (堆砂など考慮) 洪水調節容量 : 38MCM (=50×0.75) ※洪水調節容量は有効貯水容量の 75%を利用</p>	

出典: JICA Expert Team

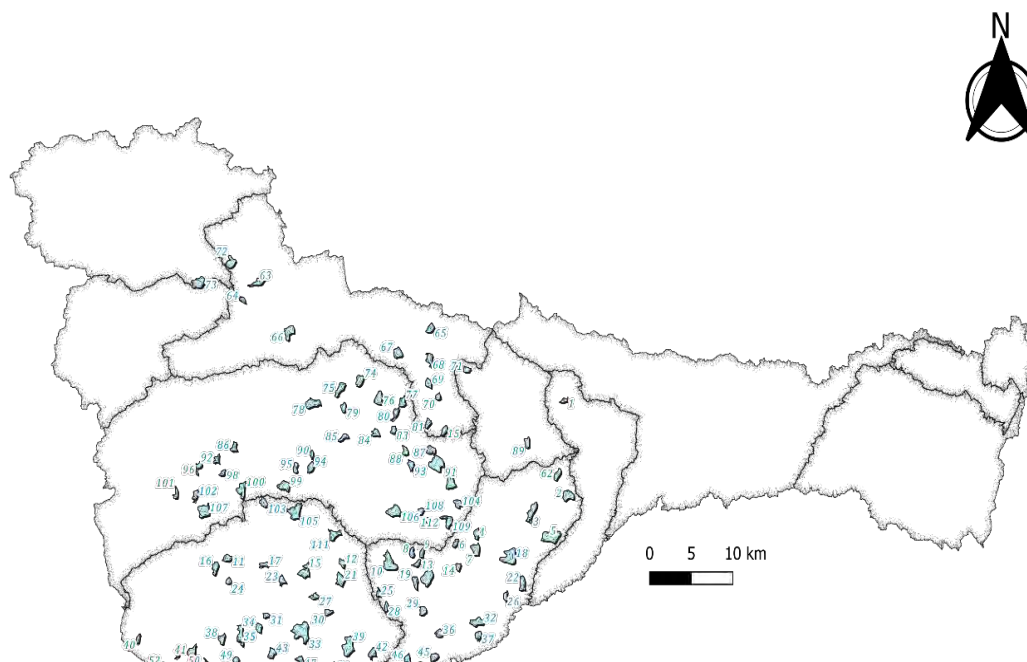
(3) Kosasthalaiyar 川における容量増加

Kosasthalaiyar 川における既存タンク一覧を以下に示す。112 タンクの既存容量の合計は 115.2MCM、総面積は約 81.3 km² である。

Table 2-43: Kosasthalaiyar 川における既存タンク一覧 (112 タンク)

NewFID	Tank_Name	Cap_MCM	Area_Km2	NewFID	Tank_Name	Cap_MCM	Area_Km2
K-57	Thuraiyur Tank	0.96	0.60	K-1	Senrampalayam Tank	0.54	0.28
K-58	Valluvampakkam Tank	0.94	0.51	K-2	Pandur Tank	2.36	1.08
K-59	Peruvalayam Tank	0.91	0.64	K-3	Palaiyanur Betha Cheruvu	0.97	1.17
K-60	Nangamangalam Tank	0.77	0.64	K-4	Mosur Nammaneri	0.50	0.49
K-61	Jaderi	0.53	1.05	K-5	Manavur Hissa Tank	2.76	2.03
K-62	Manjakuppam Tank	0.72	0.58	K-6	Puliyamangalam Tank	0.47	0.35
K-63	Kolathur Tank	0.79	0.77	K-7	Mosur Big tank	0.98	0.92
K-64	Perumanallur Tank	0.65	0.32	K-8	Melpakkam Big Tank	0.52	0.44
K-65	Chivada Tank	1.08	0.59	K-9	Ammanur Vadakkeri	0.50	0.34
K-66	Panderavedu Tank	2.39	1.09	K-10	Nagavedu Tank	3.00	1.82
K-67	Ponnimangadu Big Tank	1.28	0.86	K-11	Pulivalam Tank	0.78	0.55
K-68	Nemili Tank	0.69	0.70	K-12	Avadam Big tank	0.54	0.44
K-69	Arungulam Big Tank	0.64	0.54	K-13	Ammanur Therkkeri	0.56	0.33
K-70	Mamandur Periya Eri	0.58	0.34	K-14	Cheyur Tank	0.45	0.36
K-71	Arumbakkam Tank	0.41	0.38	K-15	Kunnathur Tank	1.13	1.09
K-72	Pallipattu Tank	1.48	0.93	K-16	Nandhimangalam Tank	0.54	0.67
K-73	Veliagaram Cheruvu	2.05	1.26	K-17	Polipakkam tank	0.51	0.39
K-74	Alamelumangapuram Tank	0.85	0.79	K-18	Beddekalakattur Big Tank	4.44	1.96
K-75	Maddur Big Tank	1.28	0.84	K-19	kilandurai Tank	0.69	0.60
K-76	Murukampattu Tank	0.94	0.96	K-20	Perumuchi Banal Eri	1.92	1.59
K-77	Satheranajapuram Tank	0.62	0.59	K-21	Melkathur tank	1.28	0.95
K-78	Krishnasamudram Tank	2.00	1.23	K-22	Uriyur tank	0.67	0.81
K-79	Suriyanagaram Tank	0.78	0.47	K-23	Palayapalayam Tank	0.51	0.48
K-80	Velanjeri Tank	0.60	0.49	K-24	Soorai Tanki	0.41	0.32
K-81	Perungalathur	0.44	0.44	K-25	Ochalam Tank	0.41	0.31
K-82	Kunnathur Tank	1.14	0.46	K-26	Anathapuram Tank	0.71	0.33
K-83	Nachiyarkuppam Tank	0.43	0.38	K-27	Kattupakkam Big Tank	0.45	0.42
K-84	Tirutani Big Tank	0.72	0.50	K-28	Sirumalli Tank	0.58	0.32
K-85	Agoor Big Tank	0.55	0.44	K-29	Illupaitthandalam Tank	0.65	0.59
K-86	Chellathur Tank	0.51	0.49	K-30	Velithangipuram tank	0.49	0.40
K-87	Valarpuram tank	0.70	0.70	K-31	Banavaram Tank	0.75	0.28
K-88	Kilanthur periya eri	0.62	0.47	K-32	Takkolam Big tank	1.06	0.95
K-89	Athipattu	0.42	0.51	K-33	Mahendravadi Tank	5.13	2.61
K-90	Cherukkanur Chitteri	0.63	0.25	K-34	Mangalam big Tank	0.73	0.52
K-91	Mudhur hissa tank	3.32	2.01	K-35	Govindacheri Tank	1.38	1.07
K-92	Vilakkampudi Tank	0.62	0.38	K-36	Pinnavaram Tank	0.42	0.51
K-93	Kilanthur chitheri	0.55	0.51	K-37	Murungai Tank	0.68	0.50
K-94	Cherukkanur Big Tank	1.08	0.58	K-38	Vangur tank	0.76	0.56
K-95	S.Agraharam Tank	0.68	0.45	K-39	Kilveethi big Tank	2.01	1.83
K-96	Srikaligapuram Big & Sma	0.54	0.46	K-40	Melakuppam Tank	0.45	0.29
K-97	Vellur hissa tank	2.93	1.32	K-41	Olugur Tank	1.18	0.80
K-98	Vellathur Tank	0.63	0.27	K-42	Punnai Tank	0.84	0.61
K-99	Paravathur tank	0.78	1.03	K-43	Pudur Tank	1.21	0.62
K-100	Ayyaneri Tank	1.89	1.07	K-44	Chittathur Tank	0.62	0.34
K-101	Veeramangalam Tank	0.69	0.36	K-45	Pallur Chitteri	0.65	0.57
K-102	Erumbi Tank	0.68	0.51	K-46	Synapuram Big Tank	0.83	1.18
K-103	Vengapattu tank	0.65	0.62	K-47	Karnavoor Tank	0.93	0.44
K-104	Kilpakkam tank	0.77	0.59	K-48	Pallur Big Tank	1.40	1.15
K-105	Paranji tank	1.42	1.65	K-49	Ponnappnthangal Tank	0.43	0.44
K-106	Polur big tank	1.83	1.37	K-50	Pandiyapakkam Tank	0.58	0.55
K-107	Sholinghar tank	3.52	1.39	K-51	Uliyanallur Tank	2.21	1.27
K-108	Mambakkam	0.53	0.37	K-52	Ammoor Aliikulam Tank	0.82	0.34
K-109	Kavanoor tank	0.67	0.70	K-53	Sengadu Tank	1.18	0.65
K-110	Uthurkannigal tank	0.44	0.29	K-54	Siruvalayam Tank	1.45	1.15
K-111	Minnal periya eri	0.65	0.87	K-55	Asanallikuppam Tank	0.74	0.73
K-112	Kavanur chitheri	0.44	0.16	K-56	Vettankulam Tank	1.07	0.75
	Total	115.24	81.31				

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-87: Kosasthalaiyar 川における既存タンク位置図 (112 タンク)

Kosasthalaiyar 川の 112 タンクの改良 (平均水深 3.3m) によって総貯水容量は 270MCM まで増加し、この容量分で有効貯水容量分の 75%を洪水調節に使用する。なお、平均水深 3.3m については、既存タンクの水深と大きく異なる範囲で、必要な貯水容量に応じて設定した。

Table 2-44: Kosasthalaiyar 川のタンク改良による容量増加 (洪水調節容量)

<p>(1) 既存の合計貯水容量</p> <p><u>115.2 MCM</u> (タンク数=112)</p> <p>※Table 2-41 の貯水容量合計値</p>	<p>① Existing Capacity</p>
<p>(2) 改良後の合計貯水容量</p> <p><u>268.3 MCM</u> (タンク数=112)</p> <p>合計面積 81.3 km² x 平均水深 3.3m</p>	<p>② Total Capacity after Improvement</p>
<p>(3) 既存タンク改良による洪水調節容量</p> <p>有効貯水容量 : 215MCM (=268.3×0.8) ※有効貯水量は総貯水容量の 80%で設定 (堆砂など考慮)</p> <p>洪水調節容量 : 161MCM (=215×0.75) ※洪水調節容量は有効貯水容量の 75%を利用</p>	

出典: JICA Expert Team

2.4.1.5. 新規タンクの設置による洪水調節容量

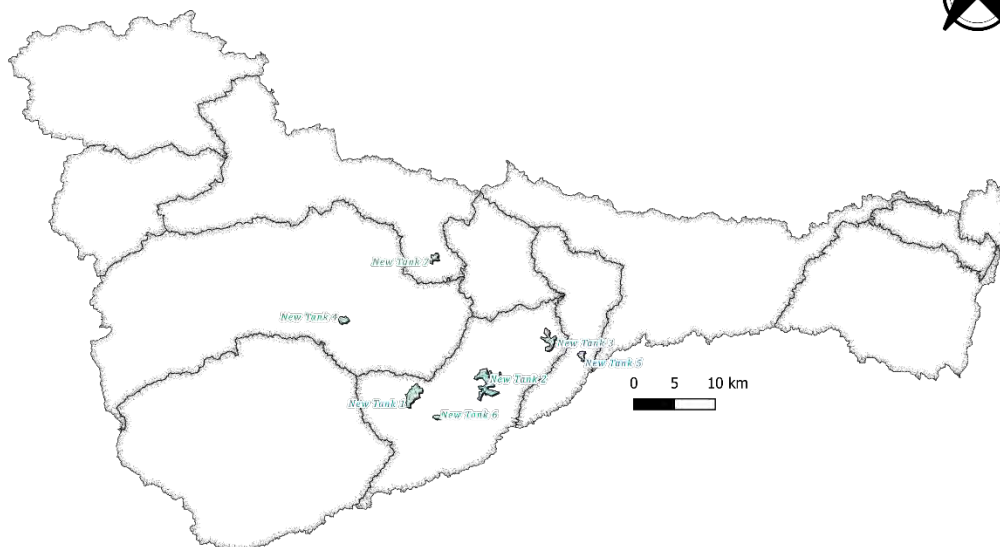
(1) Kosasthalaiyar 川における容量増加

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て、治水目的とした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箇所を特定した。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する。以下の7箇所の新規タンクの合計面積は 12.25 km²である。

Table 2-45: Kosasthalaiyar 川における新規タンク候補箇所一覧 (7タンク)

Sl no	Latitude	Longitude	Peremeter Length Km	Area_Sq km
New Tank 1	13.058	79.656	9.179	2.966
New Tank 2	13.072	79.740	23.195	4.678
New Tank 4	13.140	79.577	4.216	0.804
New Tank 3	13.119	79.810	10.334	2.033
New Tank 5	13.102	79.847	4.144	0.644
New Tank 6	13.033	79.683	2.850	0.366
New Tank 7	13.210	79.679	4.958	0.765
				12.257

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-88: Kosasthalaiyar 川における新規タンク候補箇所位置図 (112タンク)

新規タンクについては、既存タンクよりも深く設定することが可能と考えられ、既存タンクよりも1m深くして平均水深4.3m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。

Table 2-46: Kosasthalaiyar 川の新規タンクによる容量増加 (洪水調節容量)

<p>新規タンク改良による洪水調節容量</p> <p>52.7 MCM (タンク数=7)</p> <p>総貯水容量: 52.7MCM (合計面積 12.25 km² x 平均水深 4.3m)</p> <p>有効貯水容量: 42MCM (=52.7×0.8)</p> <p>※総貯水容量の80% (堆砂を考慮)</p> <p>洪水調節容量: 31.6MCM (=42.1×1.0)</p> <p>※新規タンクは洪水調節容のみ</p>	
---	--

出典: JICA Expert Team

2.4.1.6. 既存及び新規のタンクによる洪水調節容量

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 2-47: 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	Kosasthalaiyar 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 ²)	31 (19km ²)	112 (81.3 km ²)
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 ² *3.4m=146.6)	60.8 MCM (19km ² *3.2m=60.8)	276.5 MCM (81.3km ² *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 ²) (12.25km ² *3.4m=41.7)
Total flood storage capacity in tanks and waterbodies (a+b)	88 MCM	38 MCM	203MCM

出典: JICA Expert Team

2.4.1.7. 既存及び新規のタンクにおける洪水調節効果の検討

本検討では、HEC-HMS モデルを用いて5つのシナリオに対し、タンクにおける洪水貯留効果の影響を算定し、その効果を比較した。5つのシナリオは以下の通りである。なお、ここでの洪水貯留容量の増加とは、前節で整理した各河川のタンクの最大開発容量に対する割合を示している。

これらの条件に基づき 2.2 章で流出解析を行い、本マスタープランでの計画高水流量として 100 年確率規模洪水での治水安全度を確保するためには洪水貯留容量 75%増加するものとして設定した。

- ・シナリオ1: 基本条件 (現況状態: 改修なし)

現況状態での流出量を算定した。本ケースではタンクの改修は考慮せず。

- ・シナリオ2: 洪水貯留容量 25%増加
- ・シナリオ3: 洪水貯留容量 50%増加
- ・シナリオ4: 洪水貯留容量 75%増加
- ・シナリオ5: 洪水貯留容量 90%増加

上記の5つのシナリオに基づき、検討対象3河川の治水基準点における洪水ピーク流量(100年・50年確率規模)の算定結果をそれぞれTable 2-48~Table 2-50に示す。

Table 2-48: 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 m3/s	3510 m3/s	3027 m3/s	2530 m3/s	2251 m3/s
100	4417 m3/s	4167 m3/s	3687 m3/s	3194 m3/s	2894 m3/s

出典: JICA Expert Team

Table 2-49: 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 2-50: 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

2.4.2 New CMA 地区外側の Kosasthalaiyar 流域での洪水貯留対策

Kosasthalaiyar 川流域の上流部の内、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。この地域のタンクの大半は自然の地形に基づいて築造されており、通常管理が行われていない。この内、いくつかは農業用に用いられている。

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抑制が必要である。本調査団の計画では、100年確率洪水に対する流出量を 945m³/s から 400m³/s に減少させる必要があった。その方策として3つの案を検討した。

第1案は、ダムやタンクの新設である。これについて 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について懸念が示されており、解決策の選択肢は除外した。

第2案は、NewCMA の境界線に沿った洪水防御のための連続盛土の新設である。この連続盛土構造物は、上流側からの氾濫流が New CMA 区域に防ぐバリアとして機能するだけでなく上面を道路利用できるため洪水防護と交通利用の両面から TNWRD から歓迎されたが、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対して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。

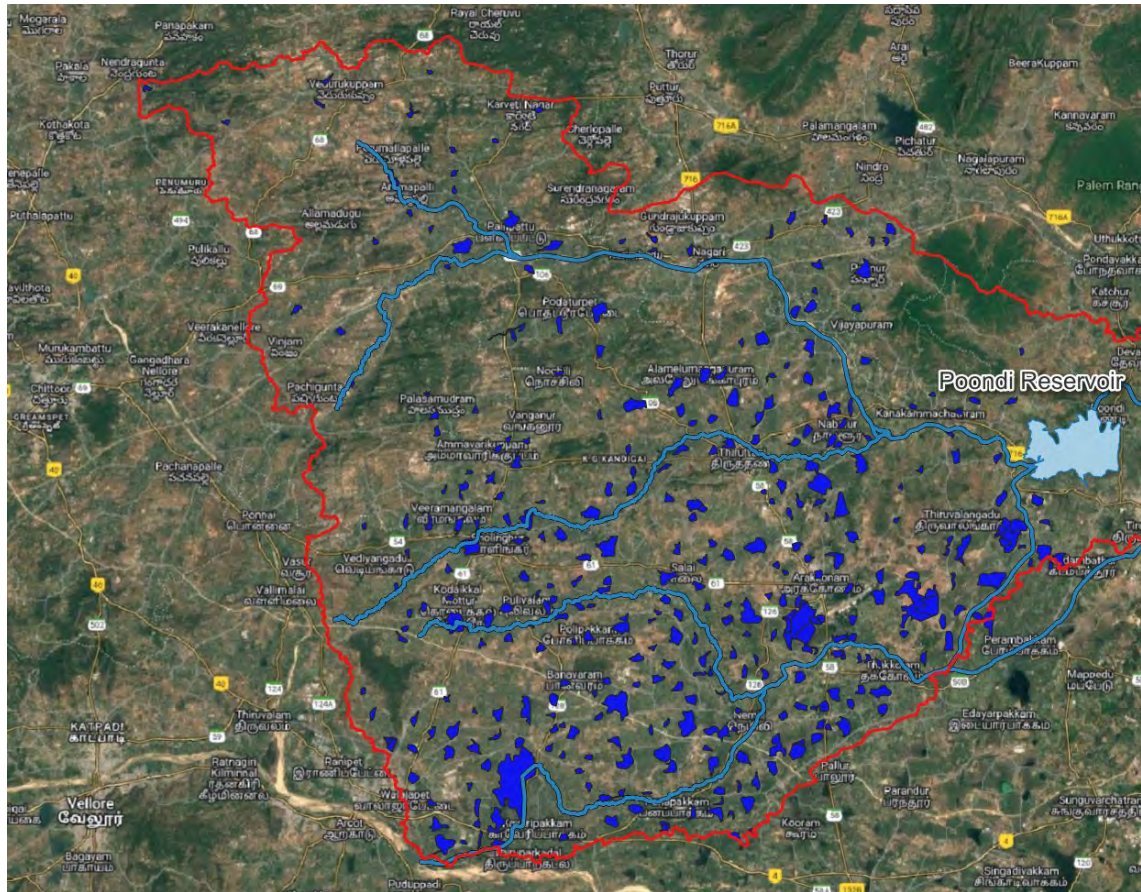
第3案は、既存のタンクの活用である。Poondi ダム上流域には 380 箇所が特定されている (Figure 2-89)。HEC-HMS モデルでのシミュレーションにより、100年確率規模洪水に対して、これら 360 箇所のタンクの水深を洪水調節用として 0.5m 加えることにより Poondi ダムへの流出量を抑制することに寄与することが確認できた。

現在、これらのタンクは、洪水貯留地として自然に機能している。しかし、長期的な保全と保護のためには、2つの重要な懸念に対処しなければならない。

1つ目は、現在のチェンナイ都市圏が NewCMA 地区に拡大するにつれて、これらの水域が開発に伴い減少する危険性である。開発によりこれらのタンクや水域の消滅や大幅な減少につながる可能性があるため、洪水流出を効果的に削減し続けるためには、現状のタンクや水域を維持・保全することが極めて重要である。

2つ目の問題は堆積で貯留量に影響を与える。堆積はまだ差し迫った問題ではないが、定期的な点検と維持管理を通じて監視する必要がある。水中測量を実施することで洪水貯留と堆積パターンの理解がより明確になる。地方自治体は、定期的な維持管理調査を優先的に実施し、洪水管理における長期的な有効性を確保するために詳細な検討を実施すべきである。

これらのタンクと水域の位置は、下図に示されている。これらのタンクや水域では、0.5mの洪水貯留能力を維持することが確認されている。地元当局は、チェンナイが新CMAに拡張されても、これらを保護することを目指している。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-89: Poondi ダム上流域における Tank 等位置図

2.4.3 河川改修

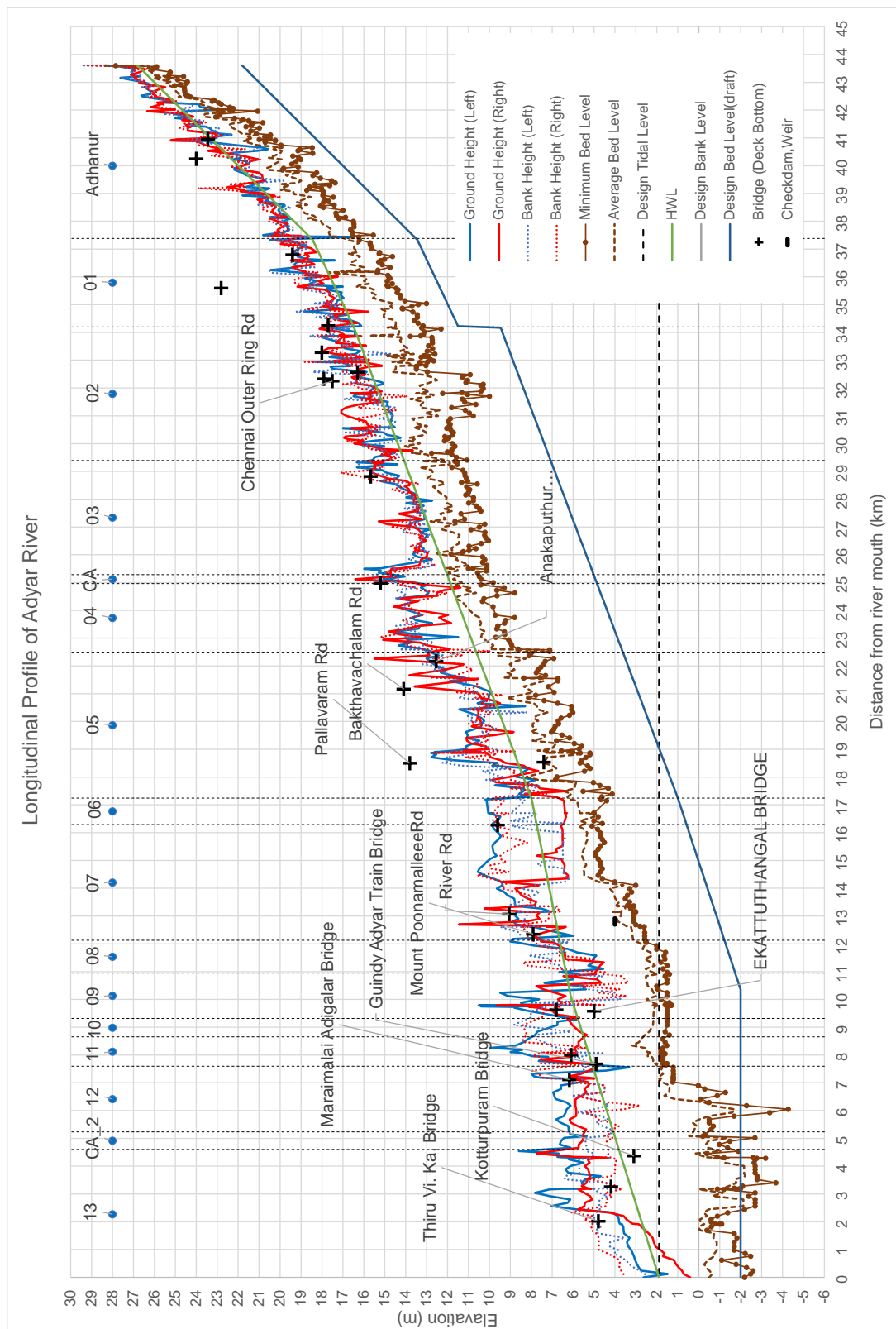
(1) 縦断計画

対象河川の計画高水位、計画河床高、計画堤防高を Figure 2-90～Figure 2-93 に整理した。

計画高水位は 2.3.8 節で記載したとおり、ベンガル湾の朔望平均満潮位 DL+0.5m を起点に現況河岸高・背後地盤高を包絡する位置に設定しており、基本的に築堤を考えない掘込河道で計画した。その上で、ベンガル湾での計画高潮位 DL+1.9m および 2.3.15 で精査した河口部最低河床高を踏まえた不等流計算水位を踏まえ修正している。

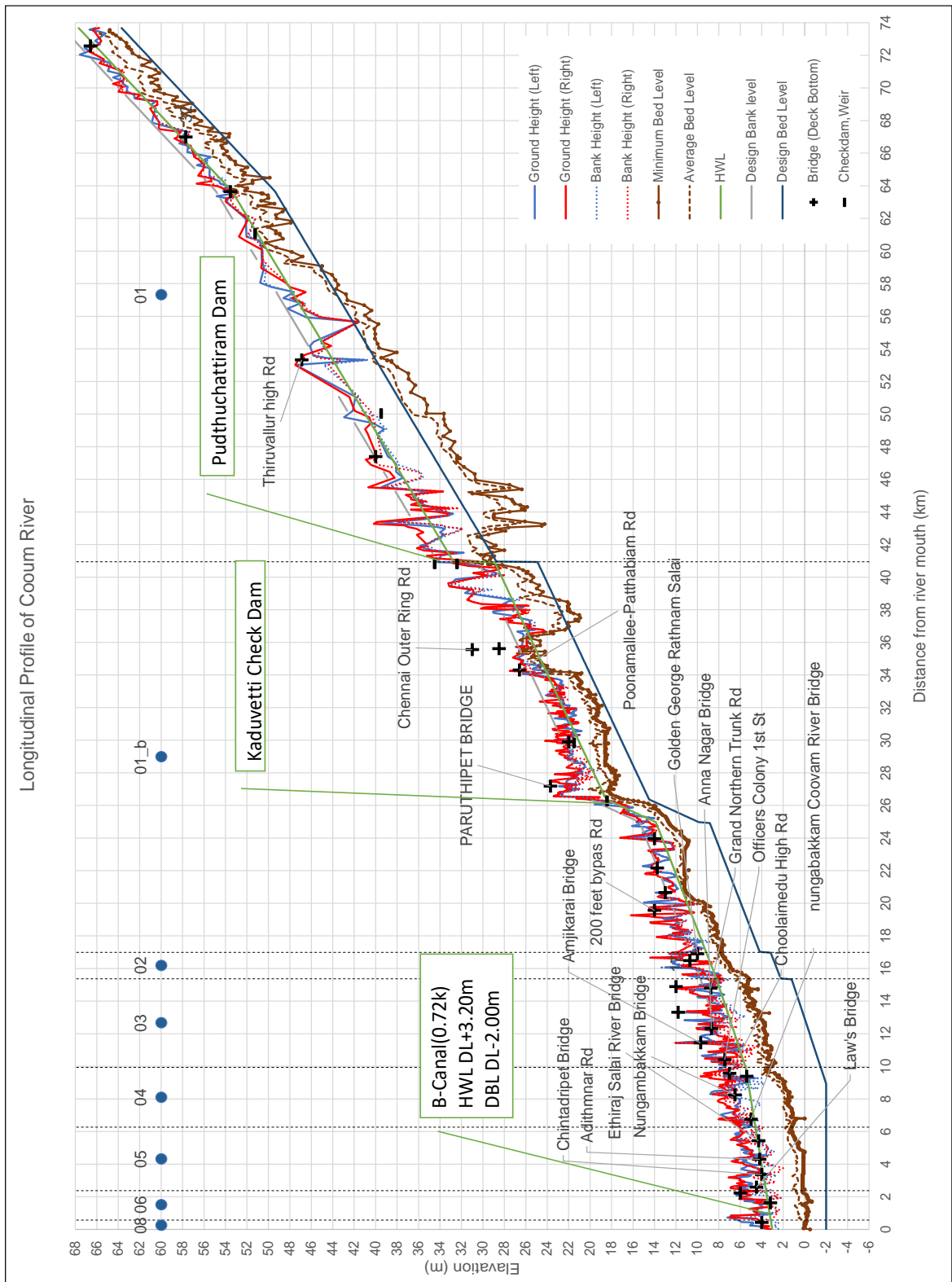
一部の現況河岸高・背後地盤高が低い区間については築堤が必要となる。築堤区間は堤防越流時の決壊可能性が懸念されることから計画堤防高まで築堤する必要がある。なお堤防余裕高はインド国内の基準に従い 1.5m としている。

計画河床高は 2.3.10 節で整理した等流計算での計画水深より設定し、河口部の維持可能性を踏まえ、最低河床高 DL-2m と設定した。



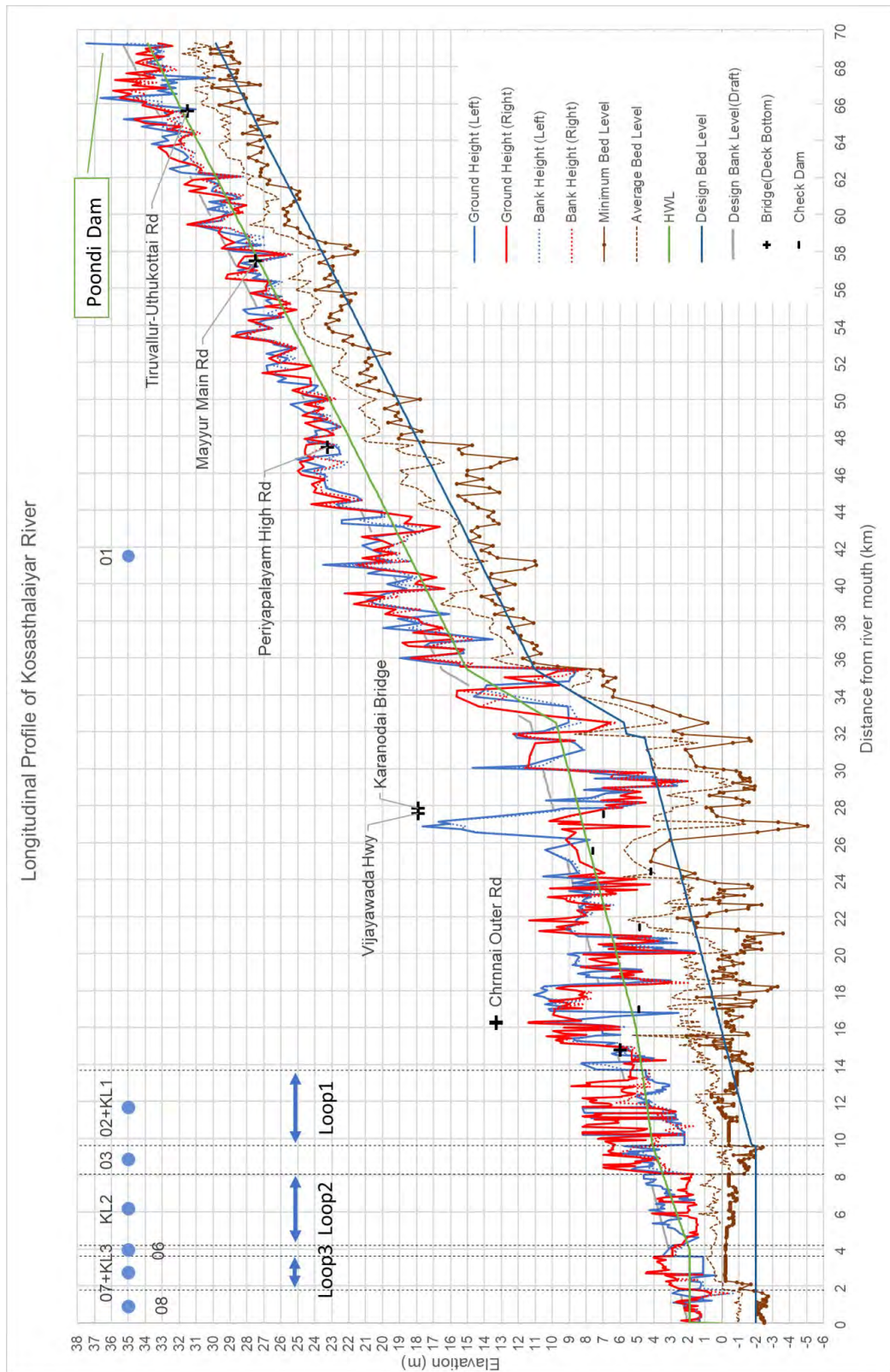
出典: JICA Expert Team

Figure 2-90: Adyar 川計画縦断図



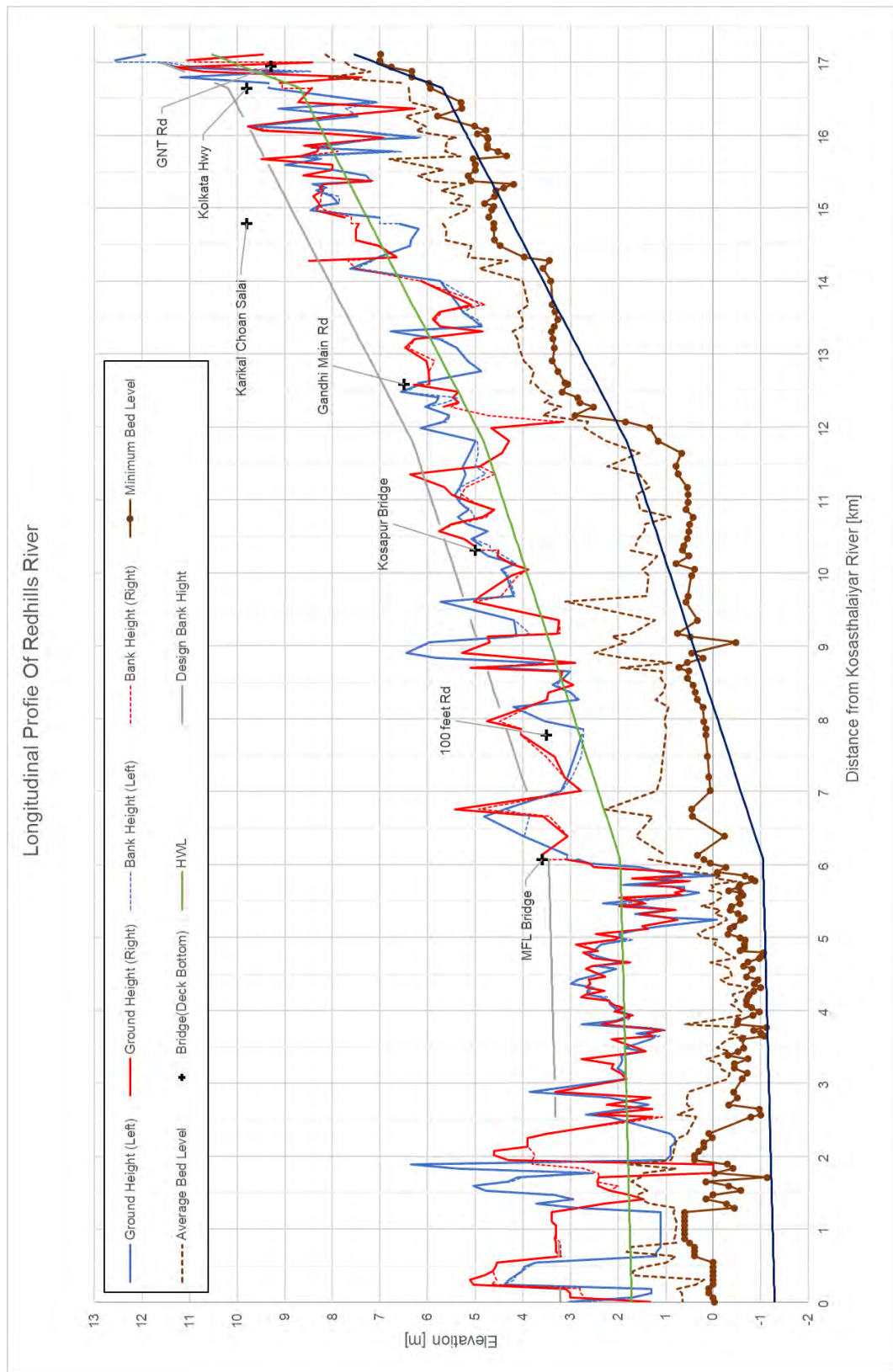
出典: JICA Expert Team

Figure 2-91: Cooum 川計画縦断面図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-92: Kosasthalaiyar 川計画縦断図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-93: Redhill 川計画縦断図

(2) 平面計画

河道横断形状は、2.3.13 節で整理した通り、支川合流点間等で河道状況が同様の一連区間の平均川幅に対して計画高水流量を流下させるために必要な河川幅より設定した。各河川の一連区間別の必要拡幅幅は2.3.14 節で整理したとおりである。

Figure 2-94 に Cooum 川での計画河道平面線形のイメージを示す。図中のピンク線が現況河岸位置、オレンジ線が必要川幅を確保した際の河岸位置にあたる。このように将来河道拡幅ラインを設定し、これを基に各種事業費の算定を行った。

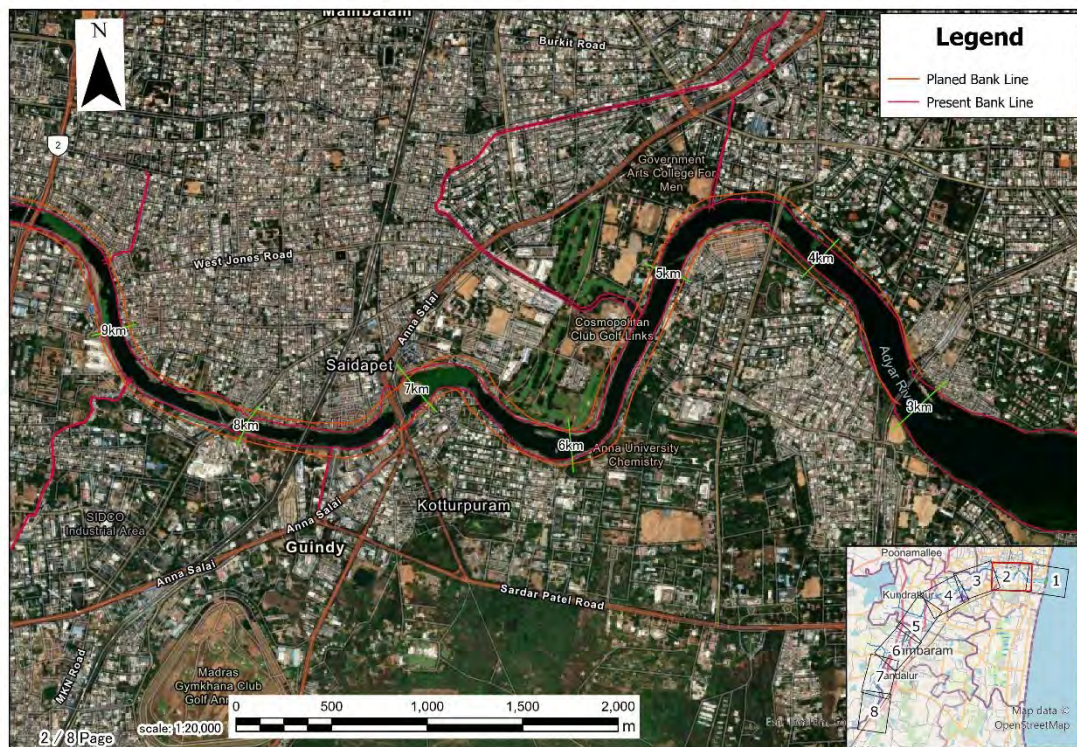
先に示した通り、本検討では一連区間毎に等流計算を用いて概略必要河道幅を検討している。今後、具体的な河道設計を行う際には、不等流計算等により上下流断面の影響を考慮した水位計算を用い、河道平面線形や拡幅幅の調整等の検討を行う必要がある。

次ページ以降に各河川での平面計画図を示す。



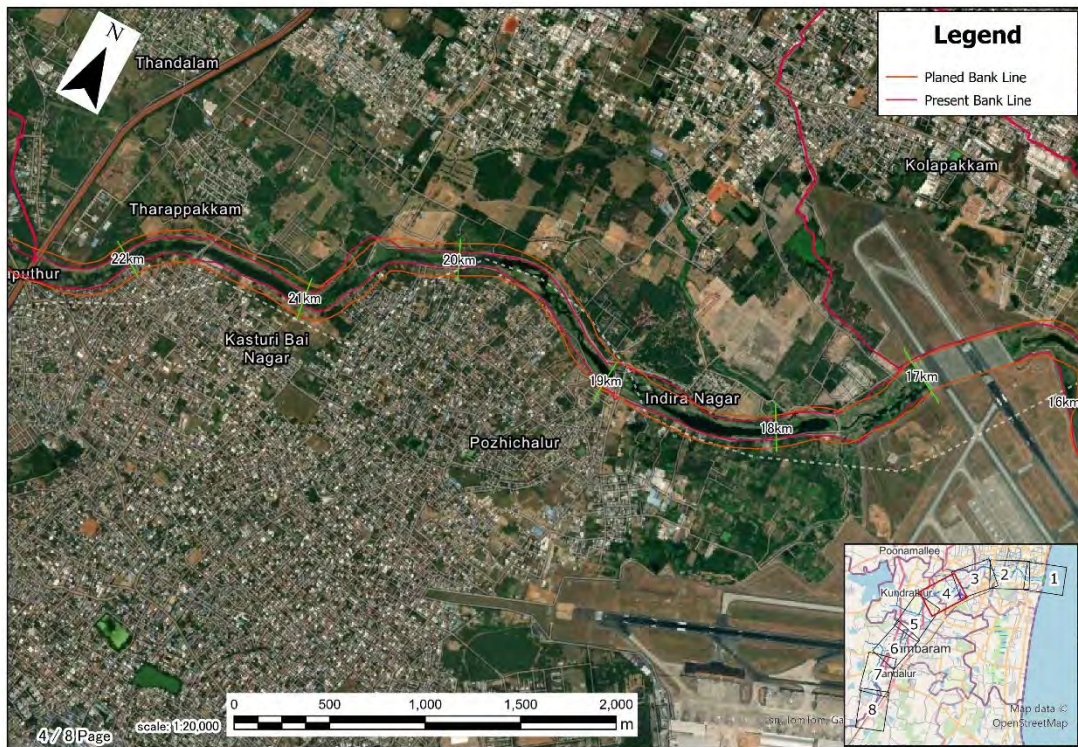
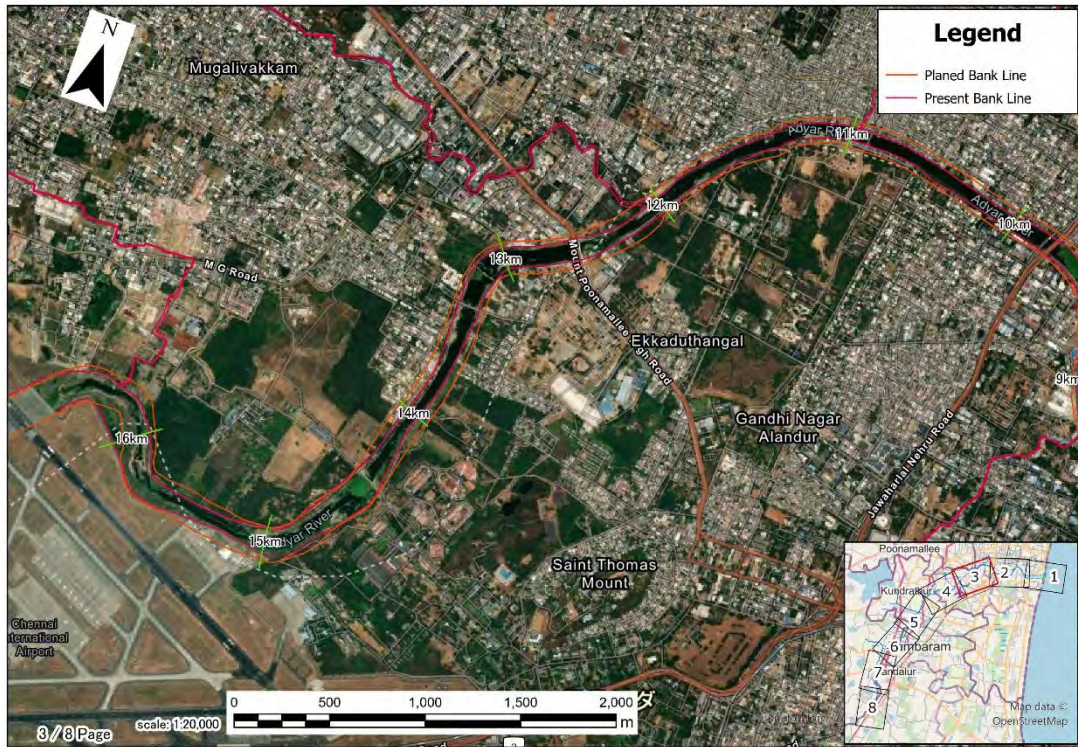
出典: JICA Expert Team

Figure 2-94: 河道拡幅ラインイメージ (Cooum 川)



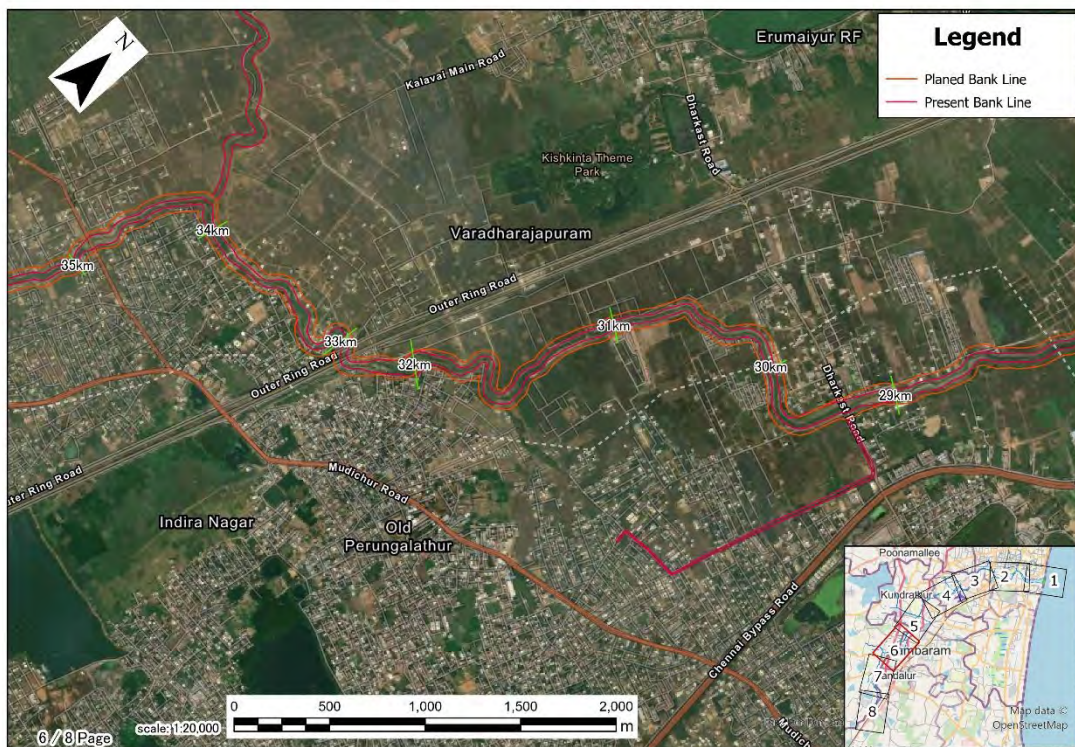
出典: JICA Expert Team

Figure 2-95: Adyar 川掘削河道平面図 (1/4)



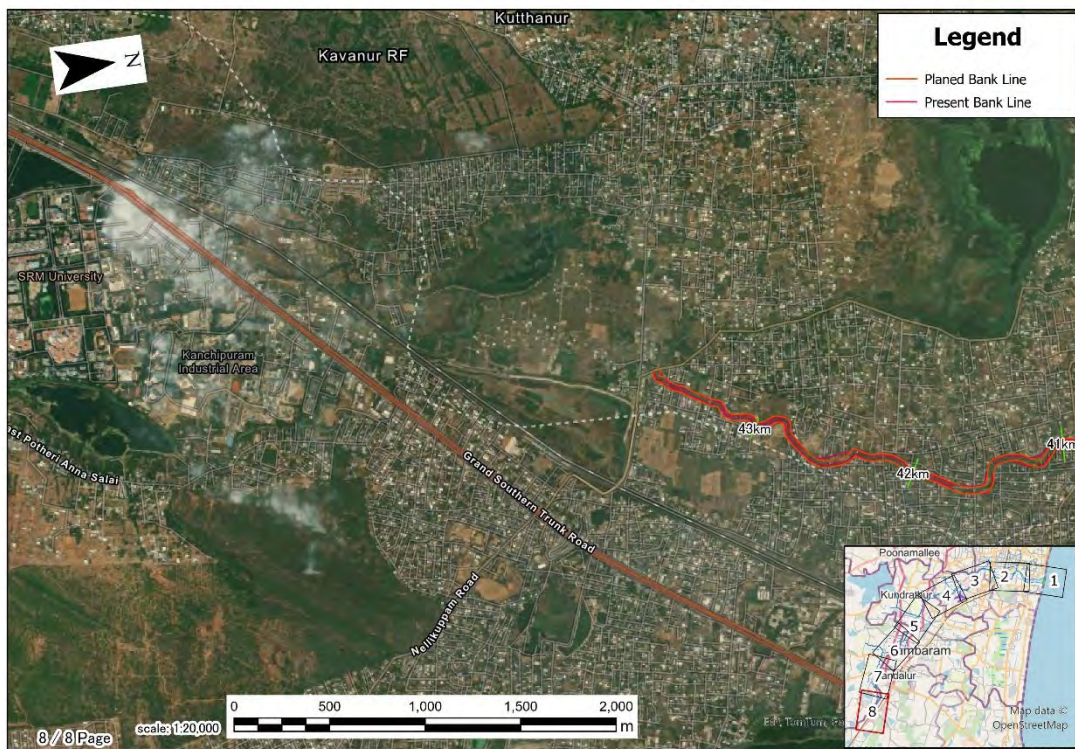
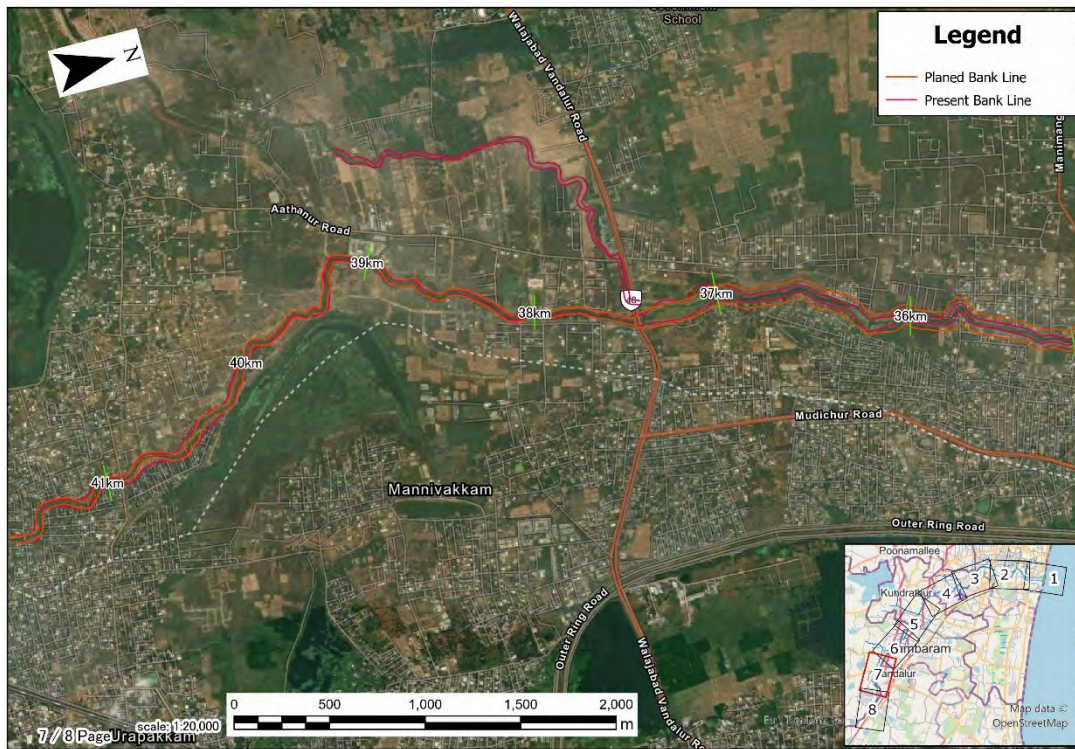
出典: JICA Expert Team

Figure 2-96: Adyar 川掘削河道平面図 (2/4)



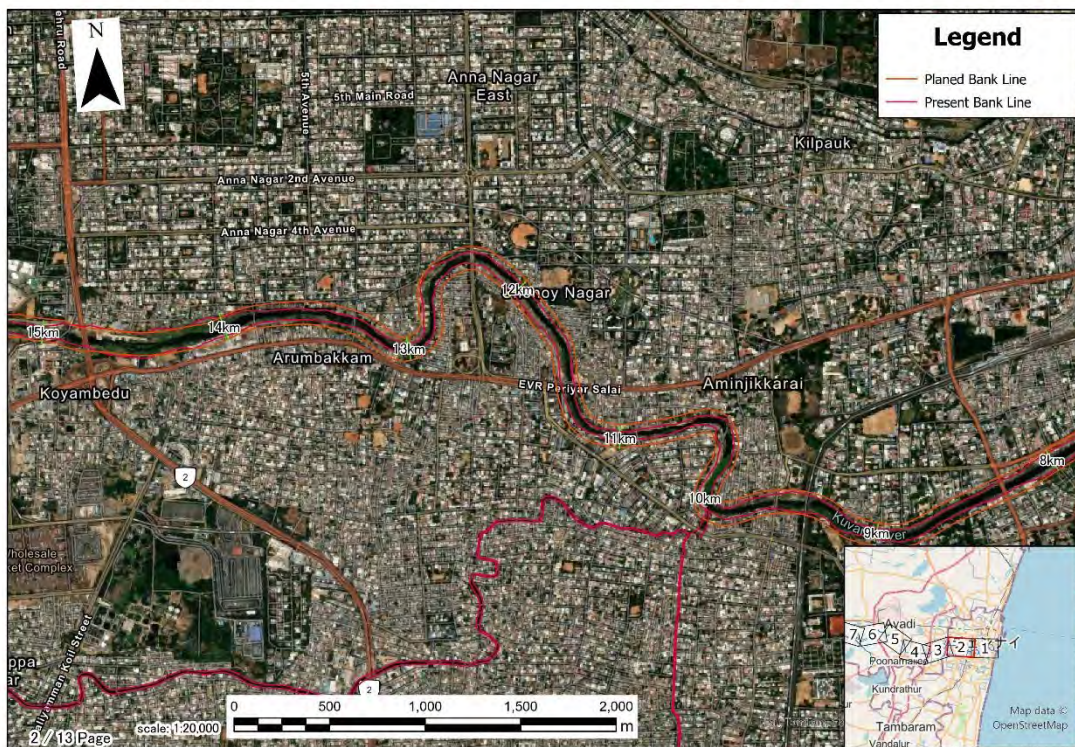
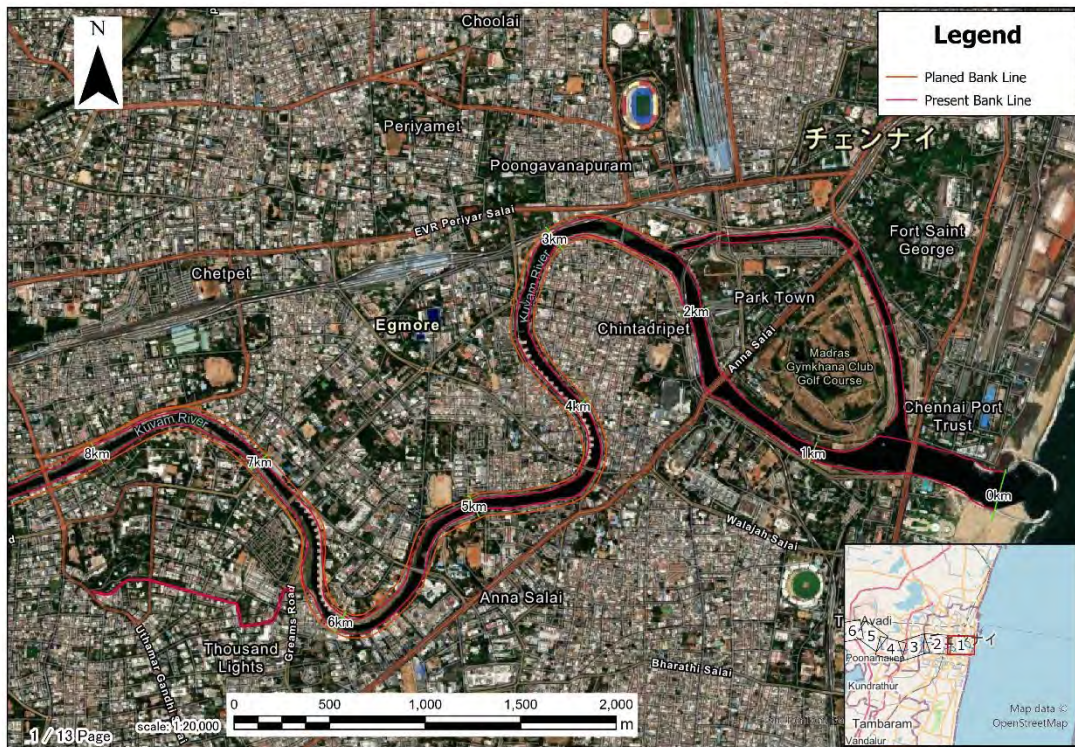
出典: JICA Expert Team

Figure 2-97: Adyar 川掘削河道平面図 (3/4)



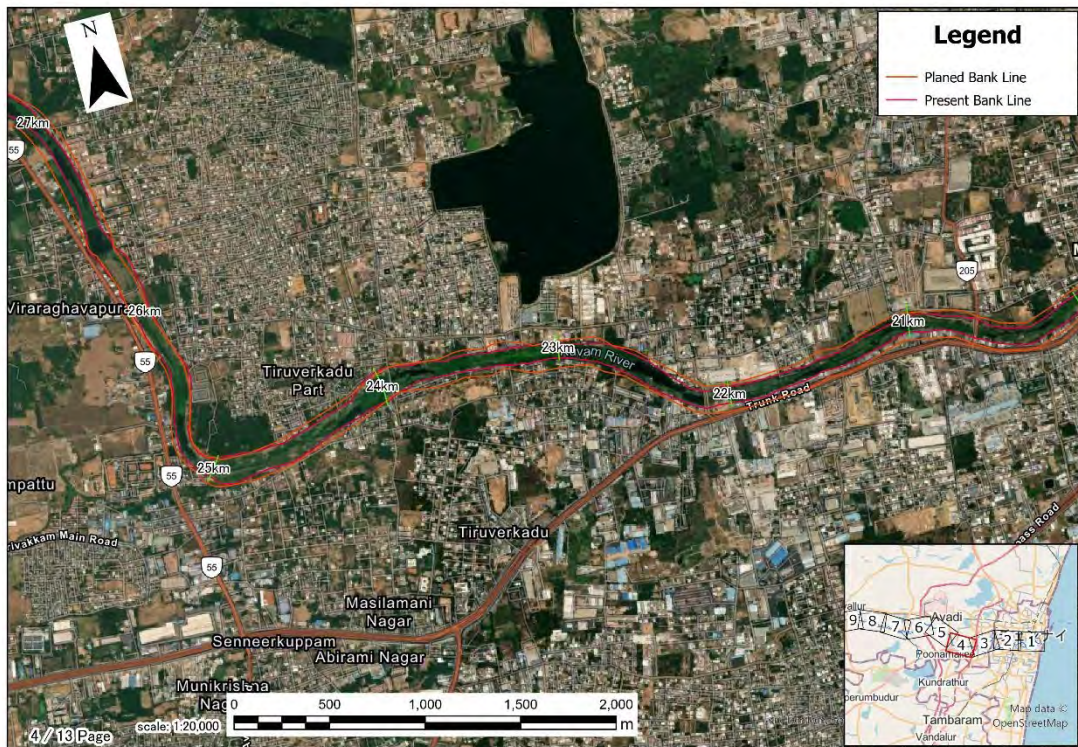
出典: JICA Expert Team

Figure 2-98: Adyar 川掘削河道平面図 (4/4)



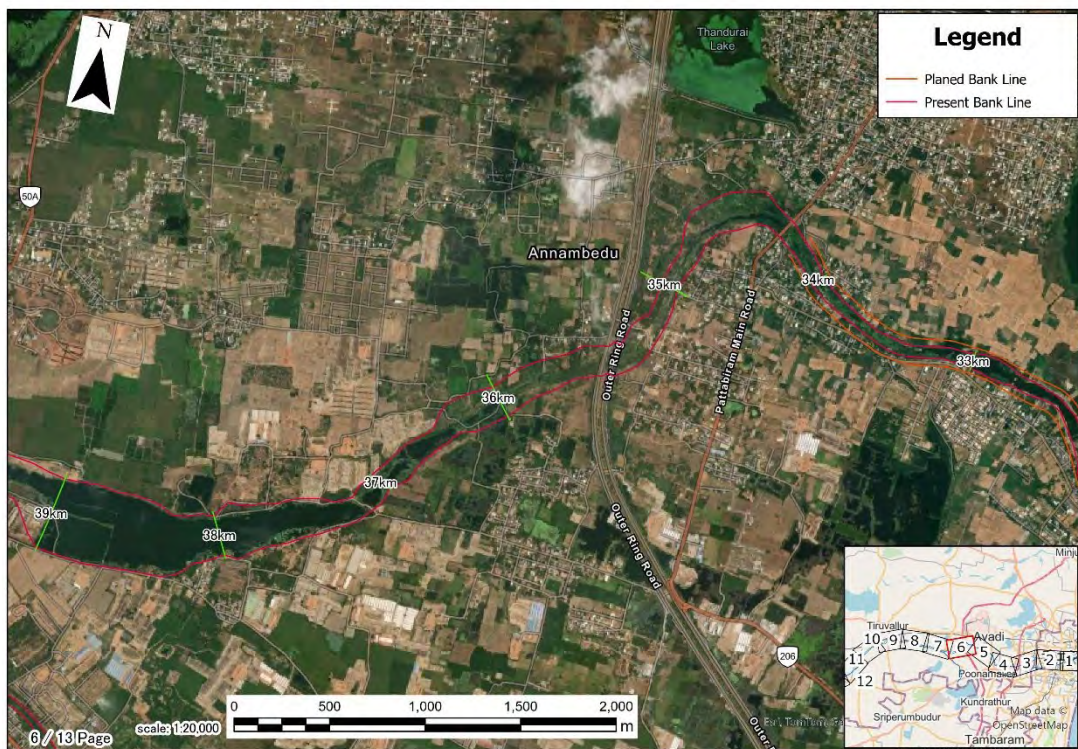
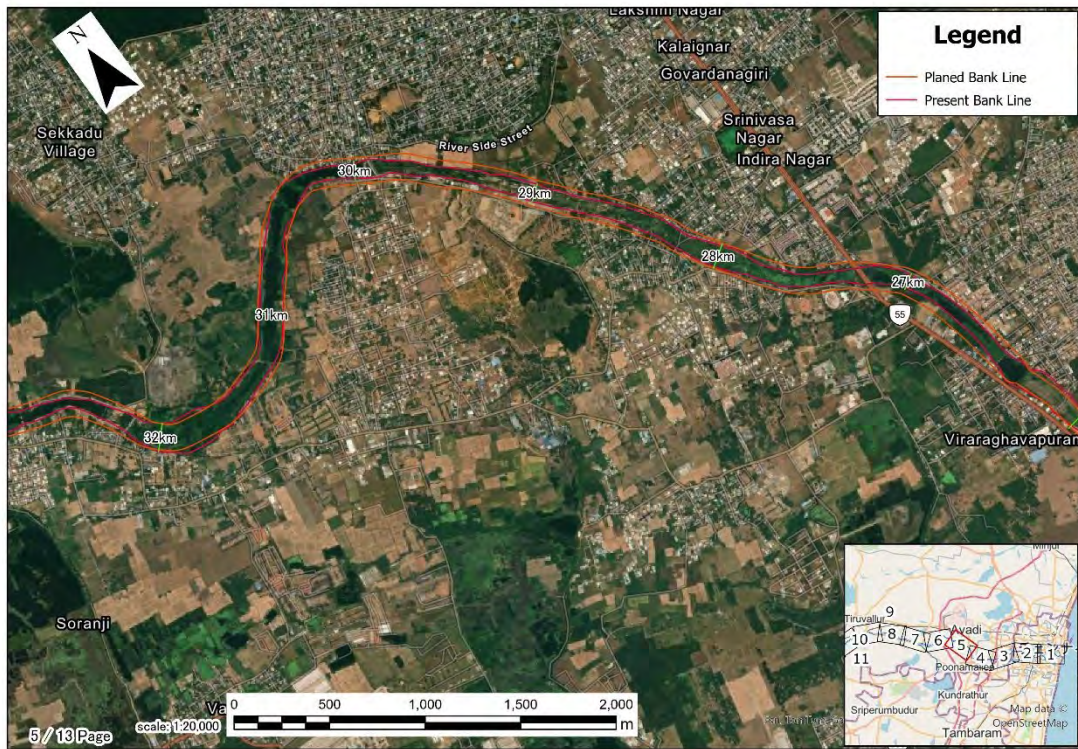
出典: JICA Expert Team

Figure 2-99: Cooum 川掘削河道平面図 (1/7)



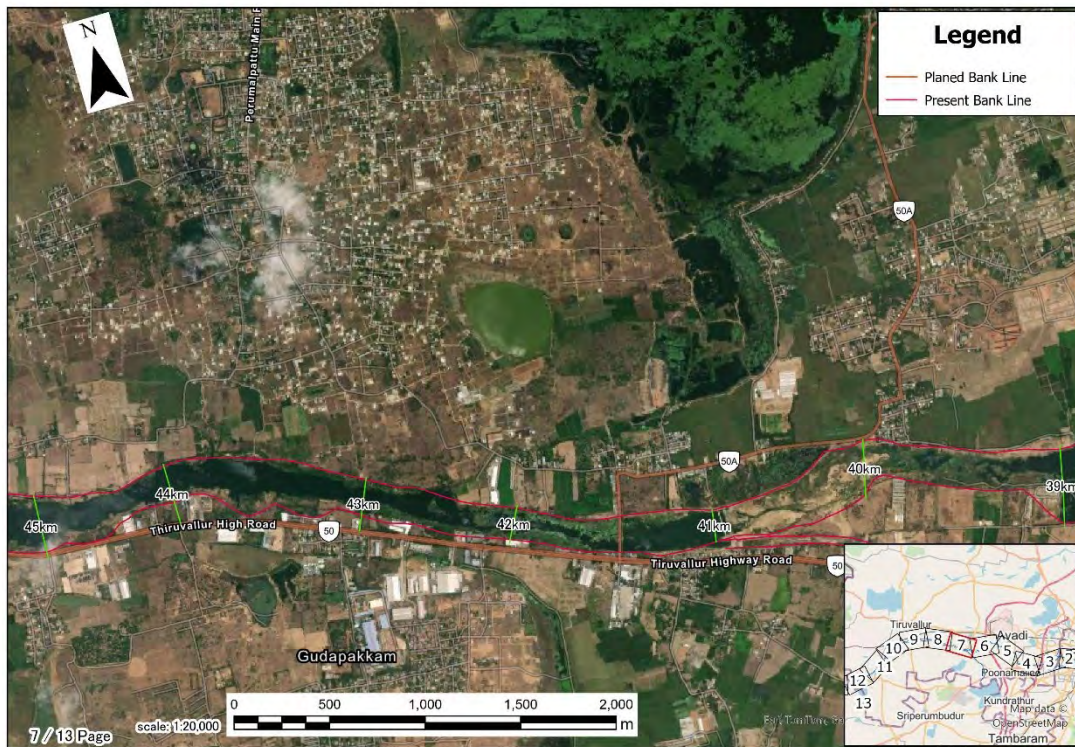
出典: JICA Expert Team

Figure 2-100: Cooum 川掘削河道平面図 (2/7)



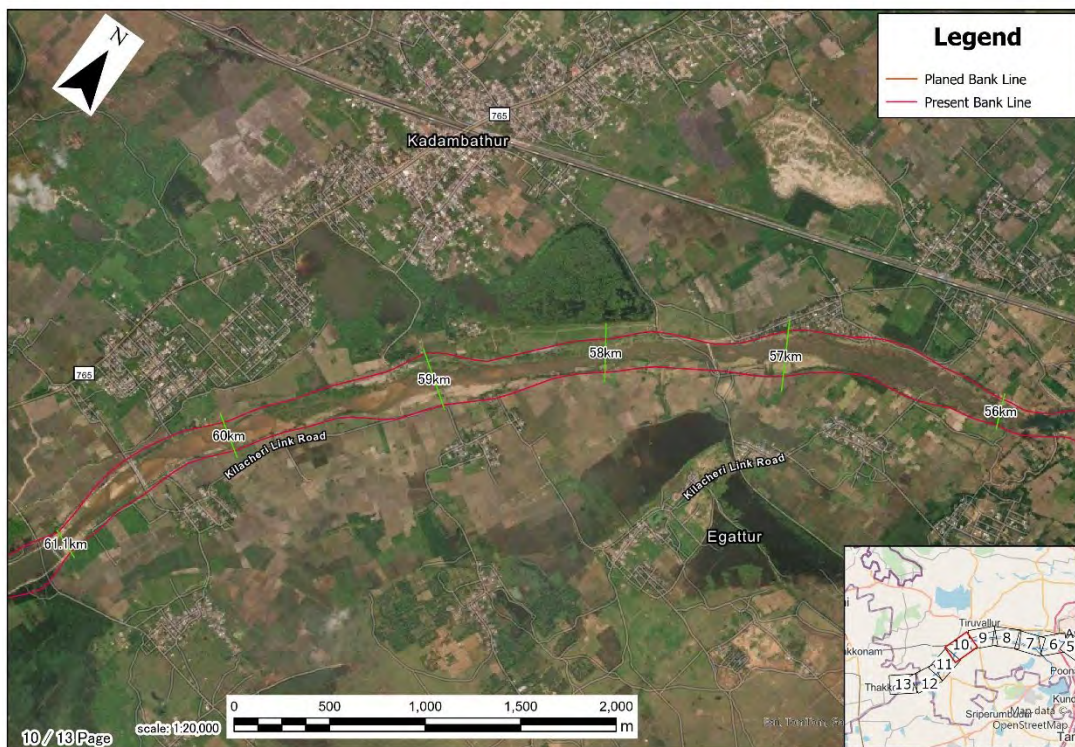
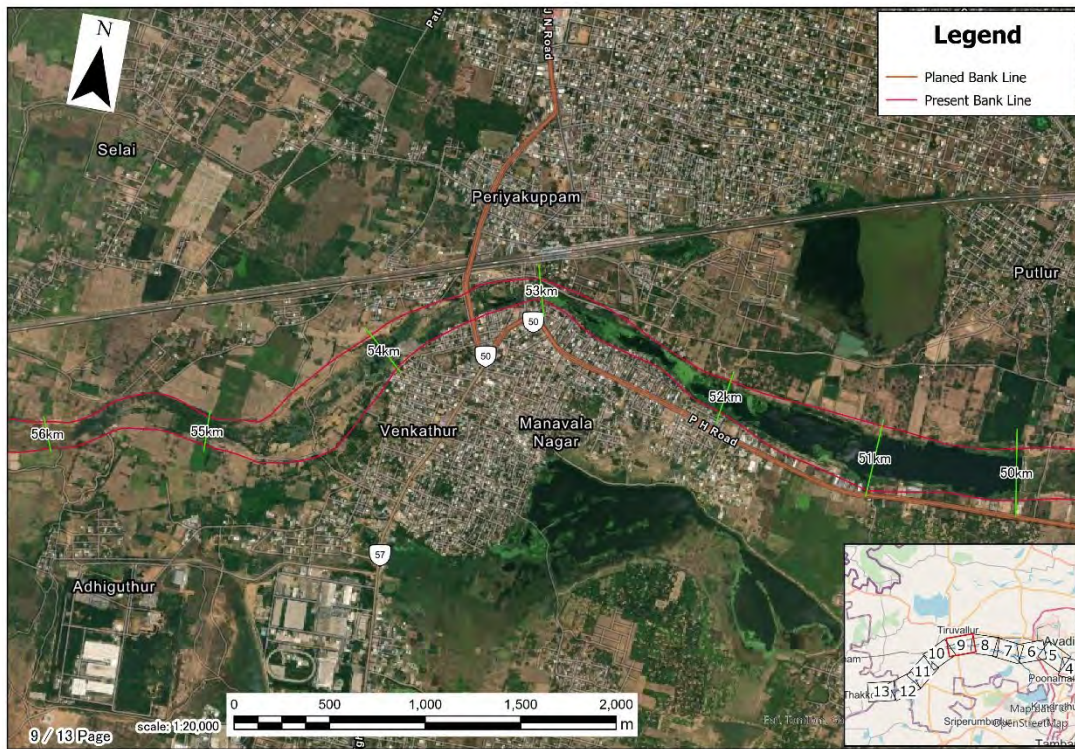
出典: JICA Expert Team

Figure 2-101: Cooum 川掘削河道平面図 (3/7)



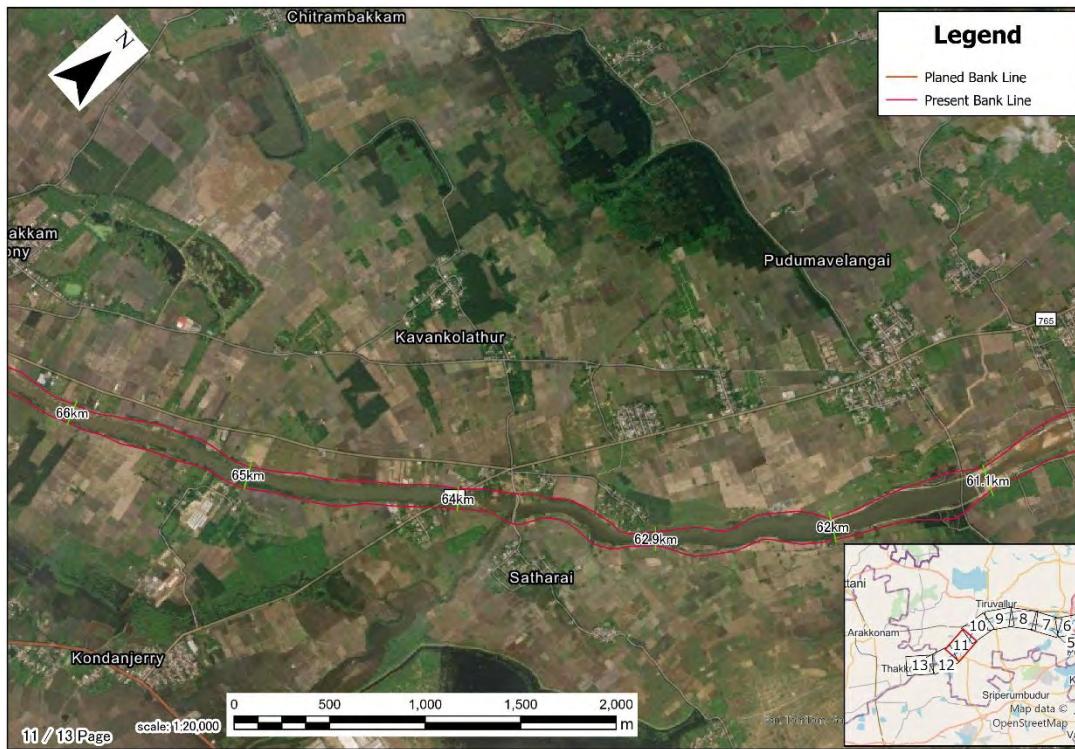
出典: JICA Expert Team

Figure 2-102: Cooum 川掘削河道平面図 (4/7)



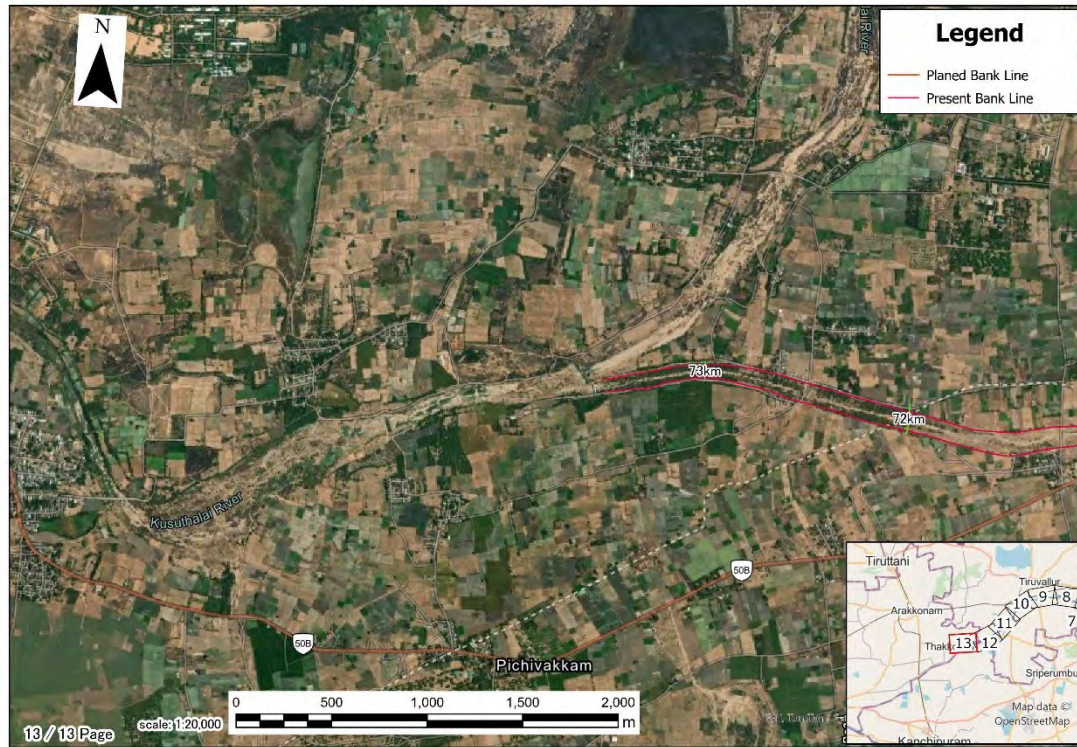
出典: JICA Expert Team

Figure 2-103: Cooum 川掘削河道平面図 (5/7)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-104: Cooum 川掘削河道平面図 (6/7)



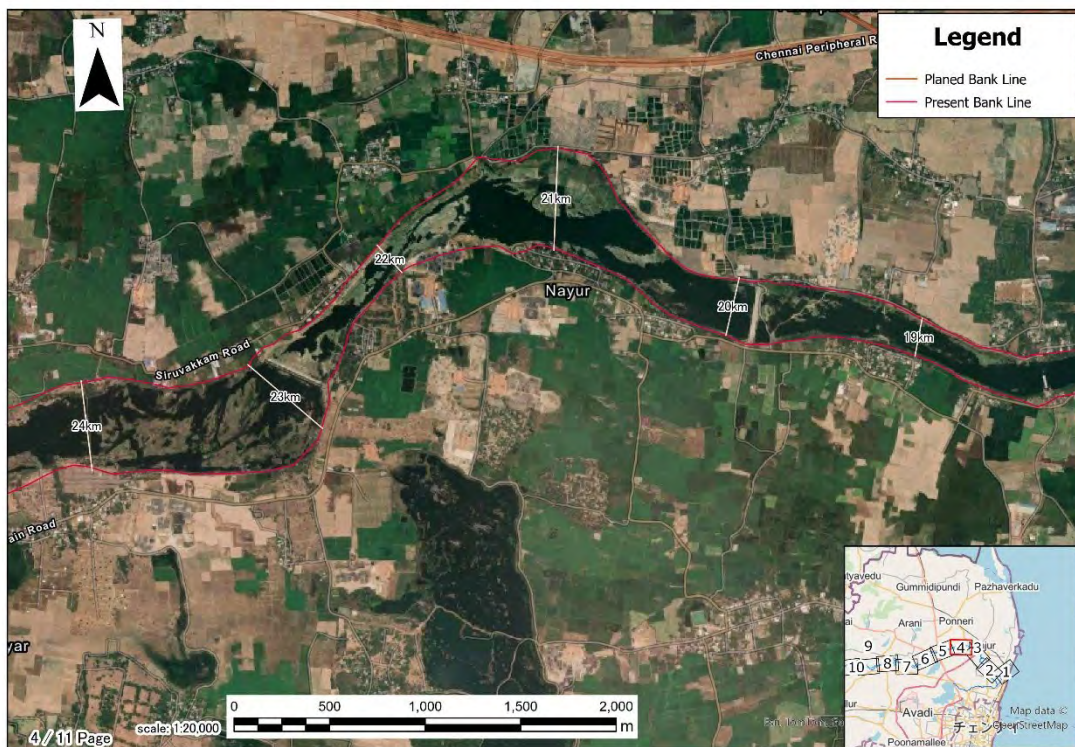
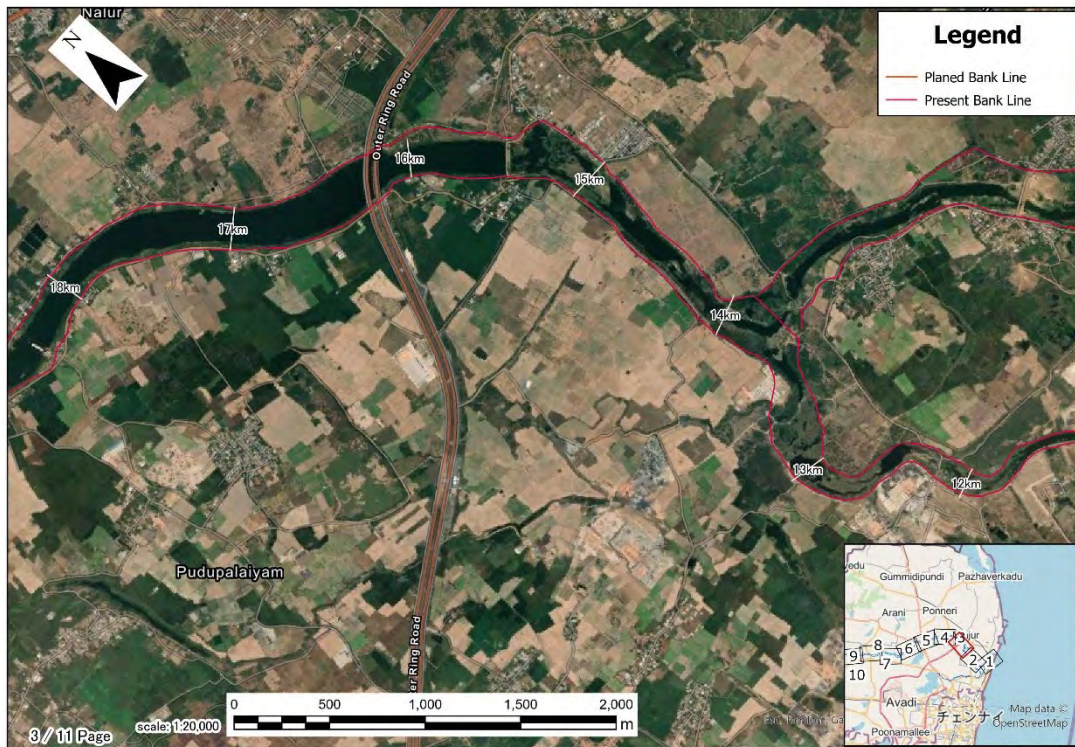
出典: JICA Expert Team

Figure 2-105: Cooum 川掘削河道平面図 (7/7)



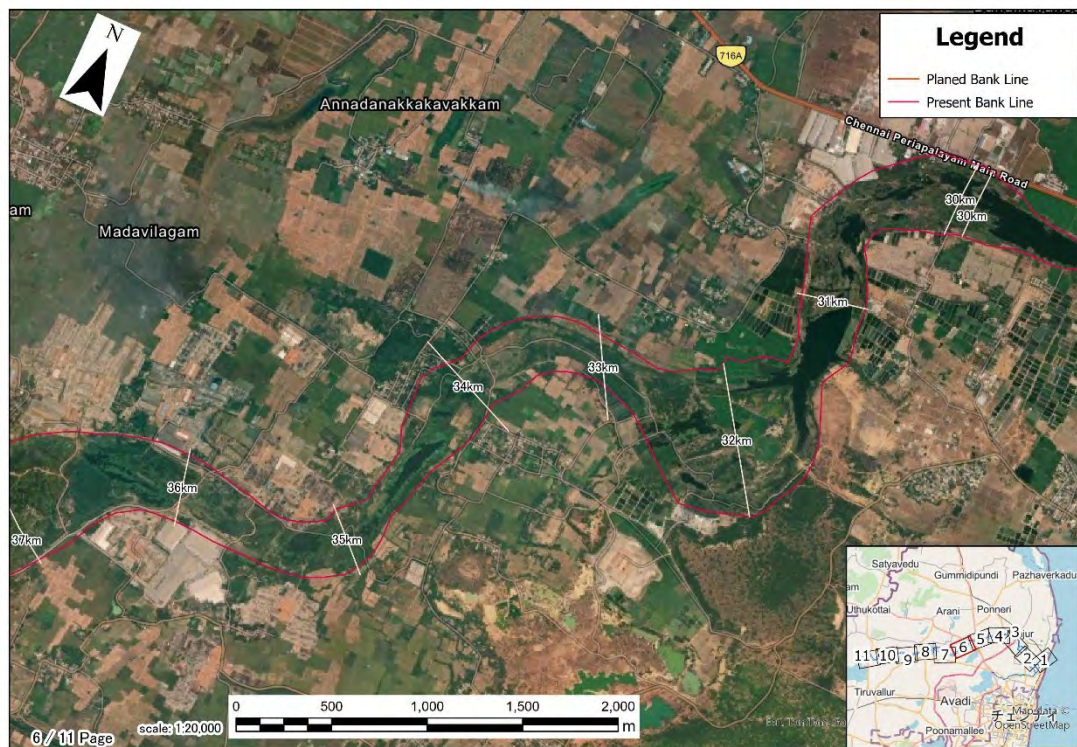
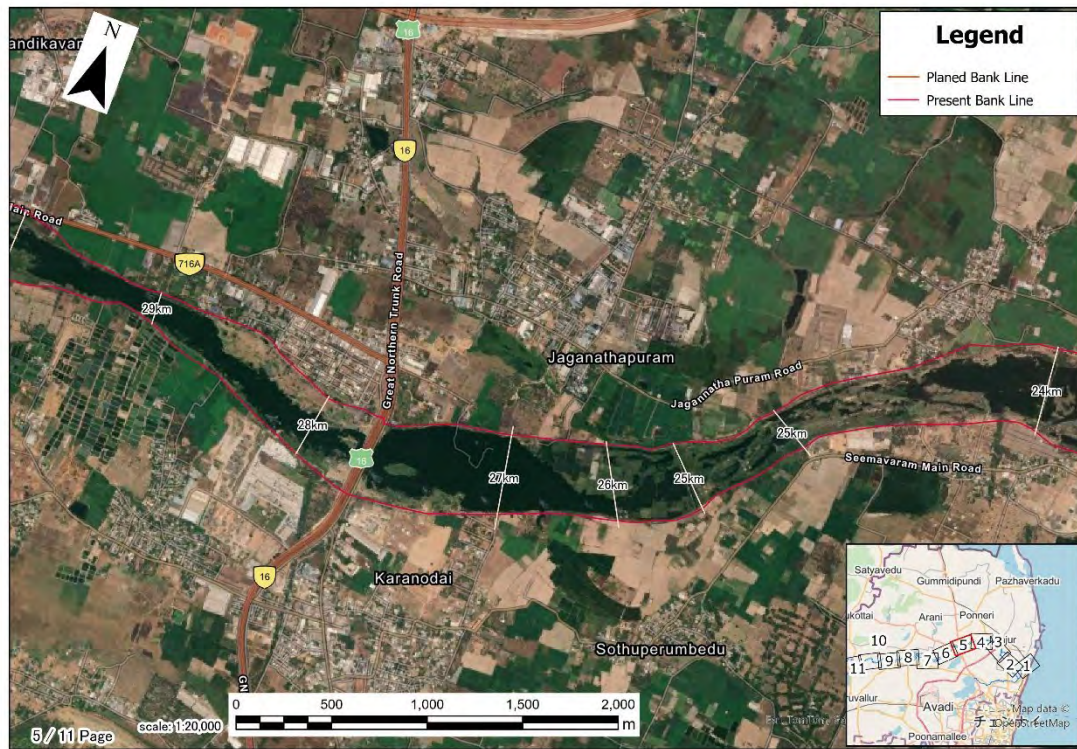
出典: JICA Expert Team

Figure 2-106: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (1/6)



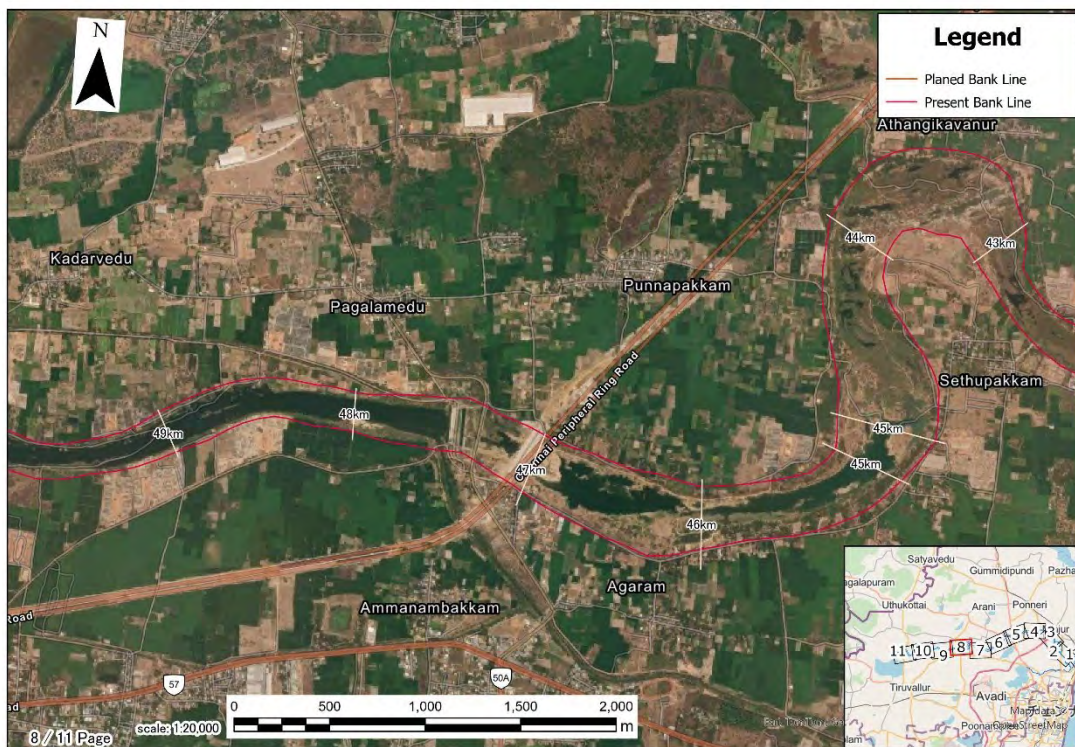
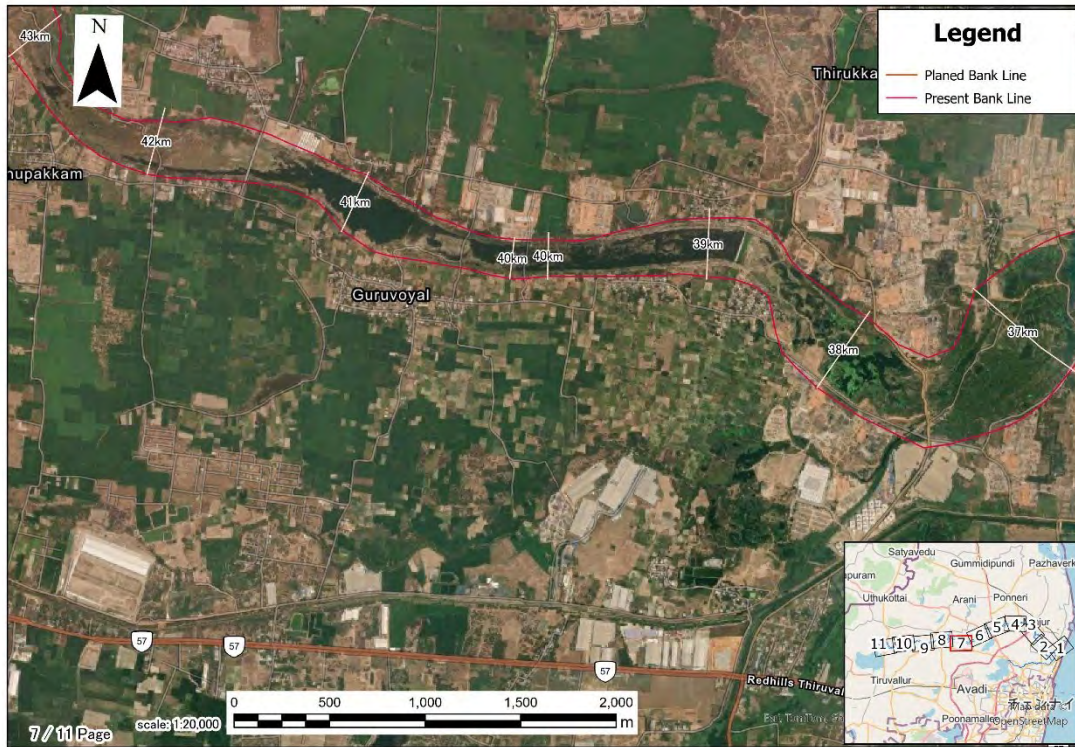
出典: JICA Expert Team

Figure 2-107: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (2/6)



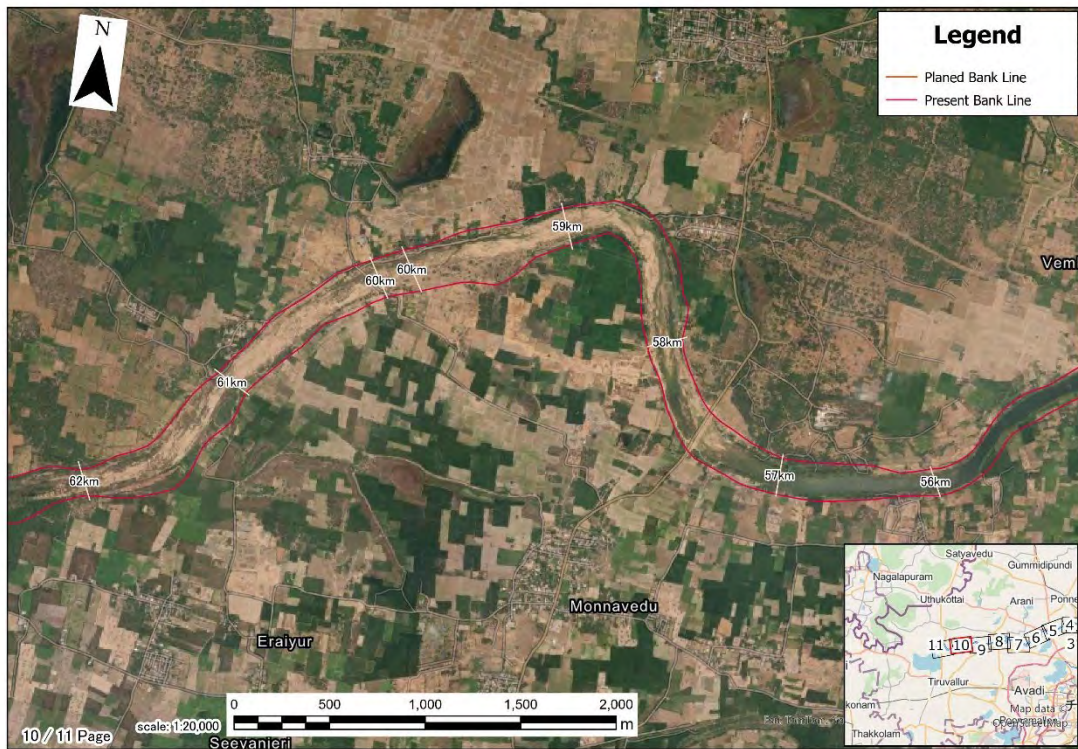
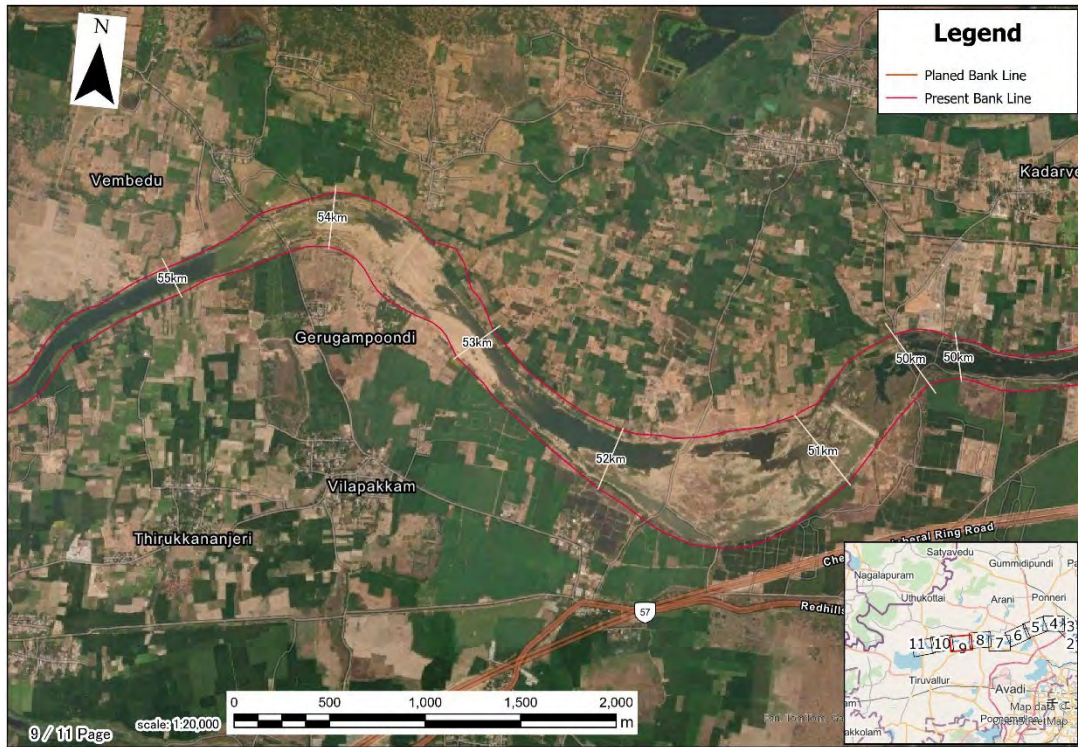
出典: JICA Expert Team

Figure 2-108: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (3/6)



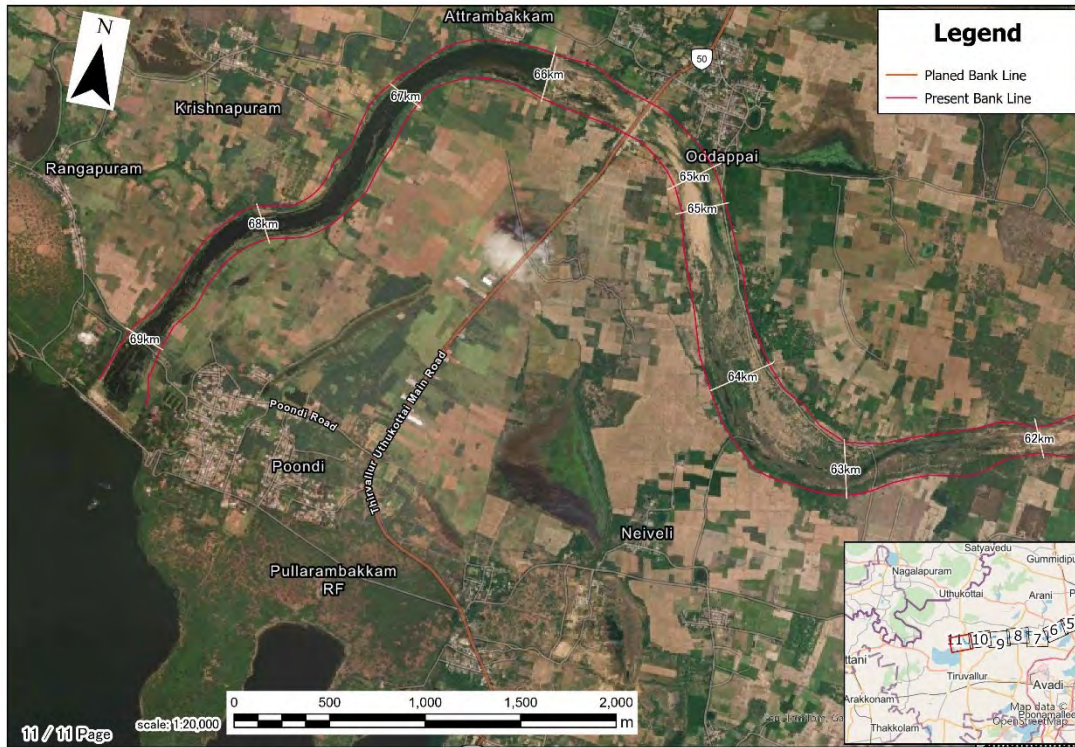
出典: JICA Expert Team

Figure 2-109: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (4/6)



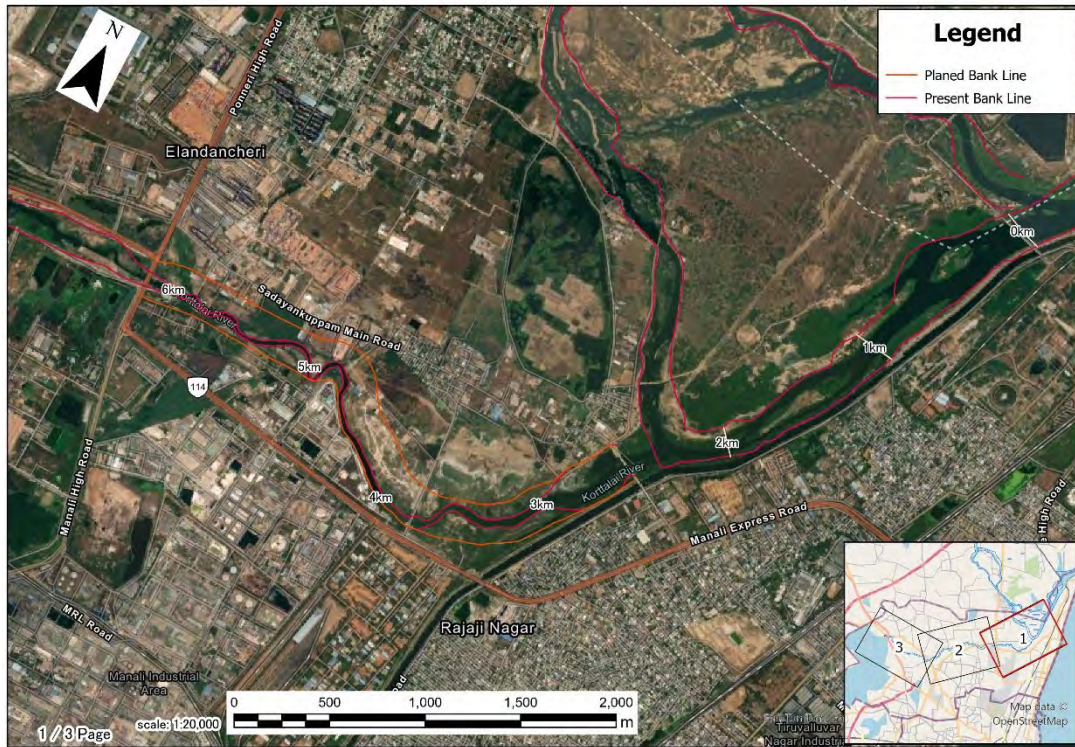
出典: JICA Expert Team

Figure 2-110: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (5/6)



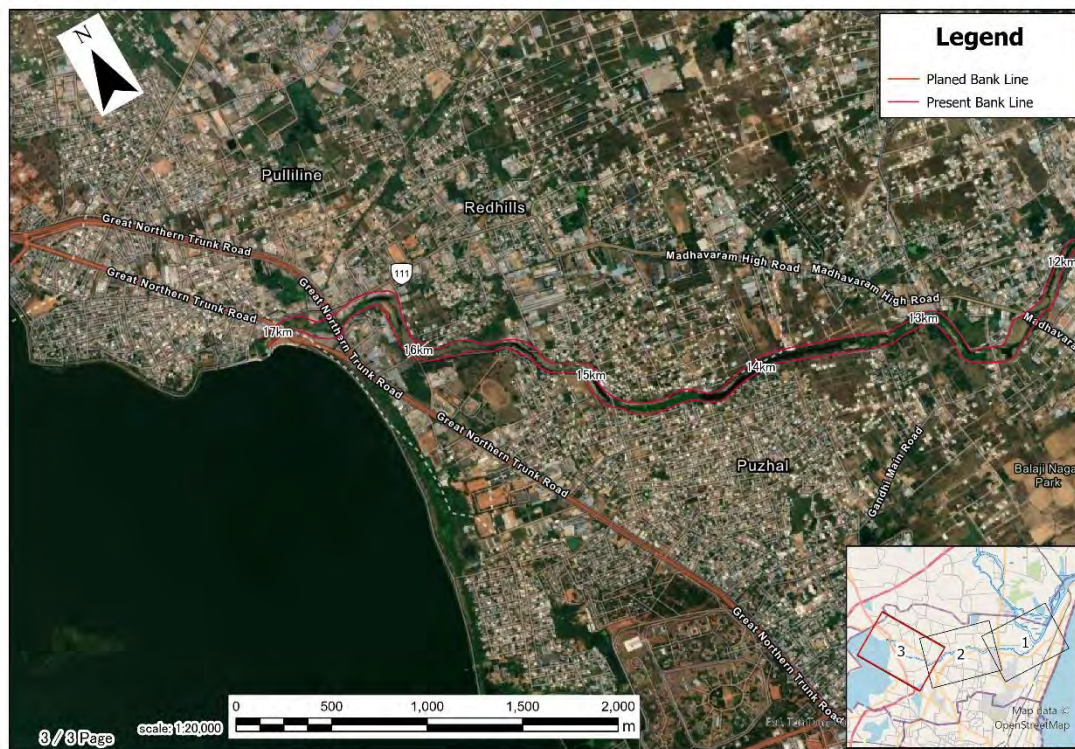
出典: JICA Expert Team

Figure 2-111: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (6/6)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-112: Redhill 川掘削河道平面図 (1/2)

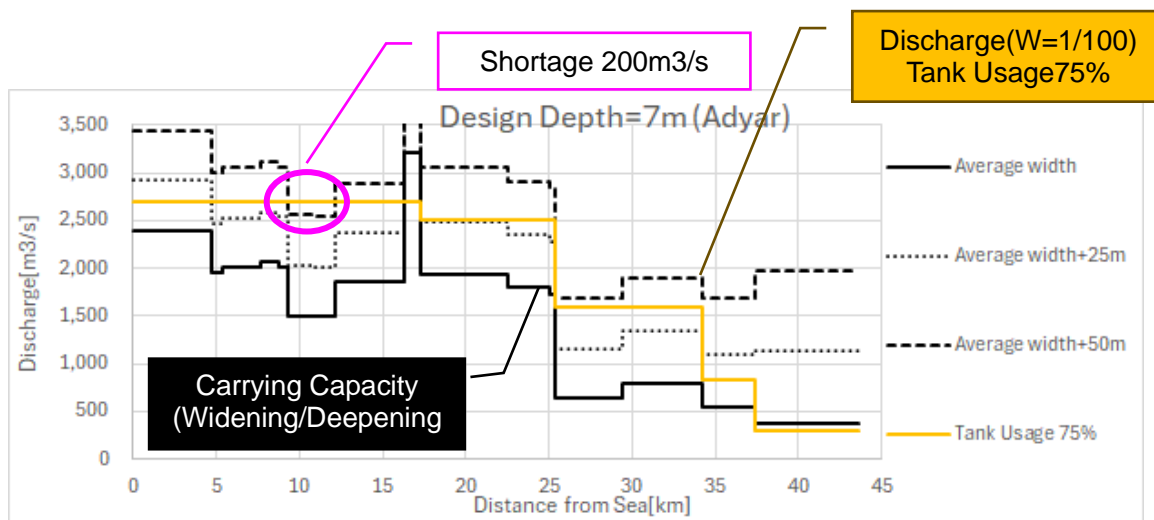


出典: JICA Expert Team

Figure 2-113: Kosasthalaiyar 川掘削河道平面図 (2/2)

2.4.4 地下バイパストンネル (Adyar 川)

2.3.14 で記述した河道拡幅・掘削以外に設置する地下バイパストンネルについて、以下の通り検討を行った (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ず、流下能力不足分の約 200m³/s を地下バイパストンネルで確保)。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-114: Adyar 川流下能力縦断図と計画高水流量の関係 (100 年確率規模)

(1) ルート案の検討

地下バイパストンネルのルートは、流下能力の不足する Chennai 空港下流区間の洪水ピーク流量の低減効果を基本に、事業費 (流路延長)、取水施設の整備可能性、中小出水時の治水効果等も勘案し、以下の 2 地点を選定した (Figure 2-115)。

Route 案 1 : Airport 付近から取水

Route 案 2 : Chembarambakkam 川合流点上流付近から取水

A) Adyar 川の洪水ピーク流量低減効果

洪水は下流に伝播するに従い河道内貯留等の影響によりピーク流量が低減する性質がある。これはダムによる洪水調節やバイパストンネルによる流量調節でも同様である。そのため、洪水調節施設は洪水調節対象区間に近い方が調節効果を発揮できる性質がある。地下バイパストンネルは Chennai 空港下流の密集市街地の流下能力不足への対策施設であるため、設置位置は当該区間に近い Route 案 1 の方が有利となる。

B) 取水地点の整備可能性

Adyar 川は Chembarambakkam 川合流点 (25km) より下流区間は市街化が進行しており、河川沿いで取水施設を整備可能な地点は Chennai 空港付近の 18.3km 右岸の農地部以外の適地は少ない状況にある。Chembarambakkam 川合流点より上流区間については河川沿

いに農地/未利用地が多く残っており取水施設整備は可能であるが、上流に向かうに従い Adyar 川と海岸線の距離が長くなるため、流側の方がルート延長や治水面の観点からも有利である。

以上の観点から、取水地点として以下の2点を選定した。

Route1 : Adyar 川 18.3k 付近右岸側 (Figure 2-116)

Route2 : Adyar 川 26.4k 付近右岸側 (Figure 2-117)

C) 建設費 (ルート延長)

地下バイパストンネルの建設費は、大きく取水施設・放流施設、地下導水トンネル、及び管理用設備から構成される。バイパストンネルの設計流量が同一ならば地下導水トンネルの延長に応じて事業費は増減する。

Route 1、Route2 の延長は以下の通りであり、延長の短い Route1 が有利となる (Figure 2-115)。なお、Route1 は Chennai 空港直下を通過する計画としているが、TNWRD に空港直下へのバイパストンネル整備に対する制約がないことを確認済みである。

Route1 : L=12.5km

Route2 : L=17.0km

D) 中小出水時の治水効果

Route1、Route2 は共に内水被害の顕著な Kovalam 流域を通過する。当該地区の内水被害軽減対策は別途本マスタープランで検討されているが、これに加えて地下バイパストンネルを活用した中小出水時の内水排除にも活用可能である。

Route1 と Route2 の比較では、Pallikaranai 湿地下を通過する Route2 の方が内水の集水や取水施設の整備の面から有利と考えられる。

なお、実際に Kovalam 流域の内水を取水するには取水施設の整備の他、Adyar 川からの取水と Kovalam 流域からの取水の管理・運用面の検討が必要となる。

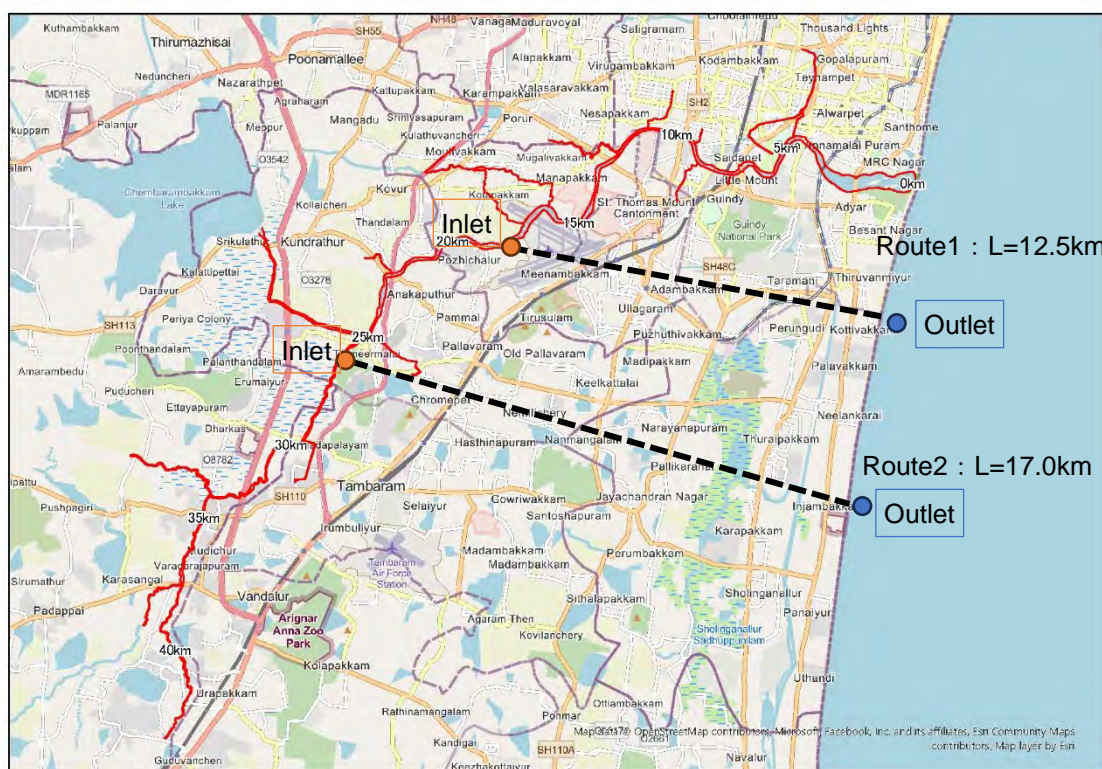
E) ルート比較のまとめ

上記の比較検討結果を整理すると Table 2-51 の通りとなる。これを踏まえ、Route 1 案での整備を念頭に必要諸元の整理を行うこととする。

Table 2-51: バイパストンネルルート比較表

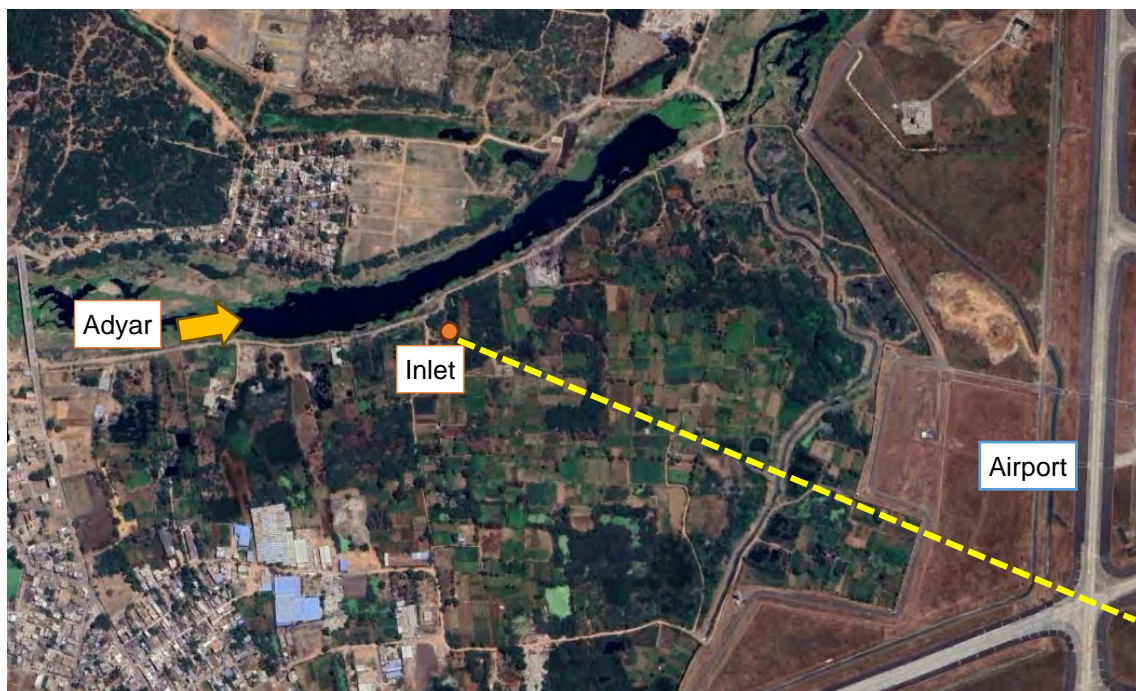
評価項目	Route1	Route2	評価基準
A) Adyar 川の洪水ピーク 流量低減効果	○	△	流下能力が不足する Airport 下流区間に近い方が有利
B) 取水地点の整備可能性	○	○	農地・未利用地の有無
C) 建設費 (ルート延長)	○	△	延長が短い方が有利
D) 中小出水時の治水効果	△	○	Kovalam 流域の内水氾濫を取水しやすい方が有利
E) 総合評価	○	△	

出典: JICA Expert Team



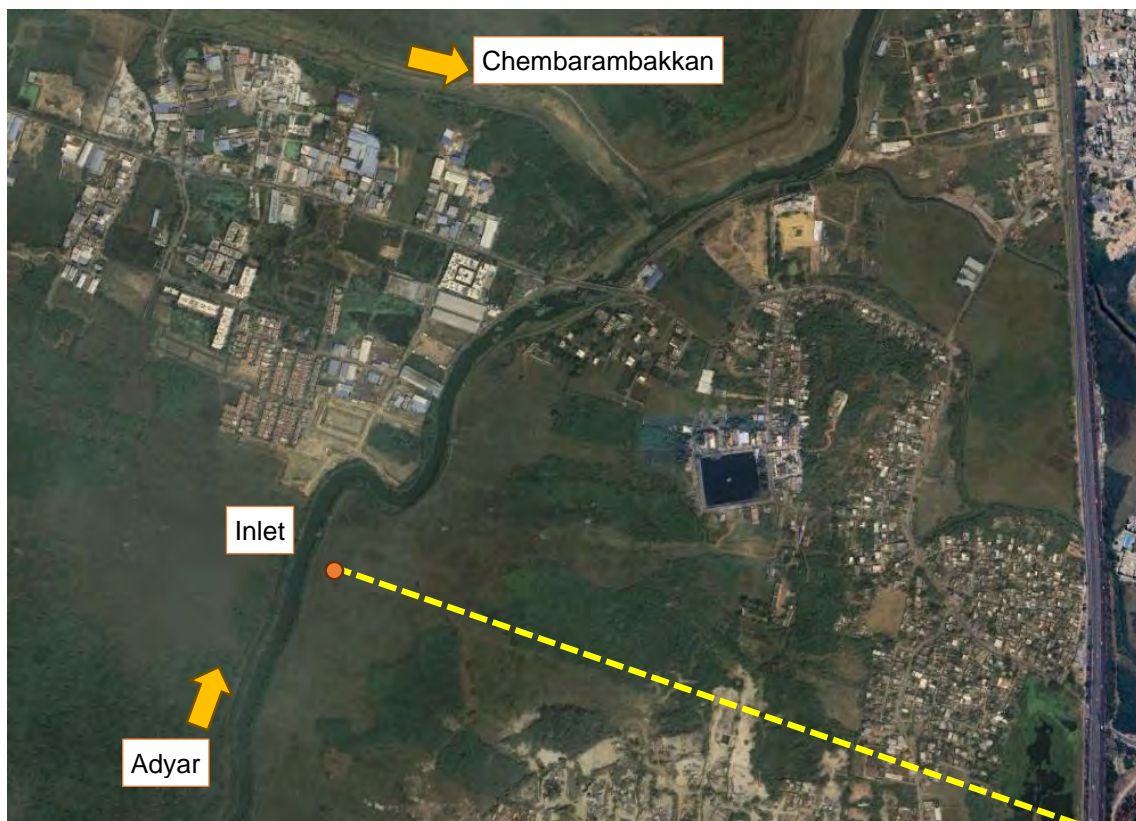
出典: JICA Expert Team

Figure 2-115: 地下バイパストンネルルート案位置図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-116: 取水地点の状況 (Route1 案)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-117: 取水地点の状況 (Route2 案)

(2) 地下バイパストンネル概略諸元

Route1 案での地下バイパストンネルの諸元を整理する。

A) 水理条件

取水側、放流側の水理条件を整理した。なお、ここでは中間立坑での取水条件は検討しないものとする。

取水地点・放流地点における諸元は Table 2-52 の通りである。取水側の水理条件は現時点では Adyar 川から取水施設に取り込む手法が未確定であることから、Adyar 川の計画高水位で設定する。放流側の水理条件は最悪条件を勘案し高潮による高潮位である DL+1.9m を用いた。この場合の取水側と放流側の水頭差は約 6.5m、水面勾配は約 1/2000 となる。

この条件において、トンネル内径を円形状とした場合の通過流量を等流計算により算定した結果を Table 2-53 に整理した。ここでは内径 9m~15m の場合の通過流量を算定している。

Route1 での算定結果より、分派量 200m³/s を確保するには内径 11m 程度のバイパストンネルが必要となる。内径 11m の場合での地下バイパストンネルの貯留量は約 119 万 m³ となる。これは東京都の環状七号線地下広域調節池（神田川区間：54 万 m³）に対して 2.2 倍となる。Adyar 川からの取水条件を調節することにより、Kovalam 流域の内水貯留効果も期待できる。

Table 2-52: 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

Table 2-53: Route1 でのトンネル内径と放流量の関係

Route1											
Diameter	Area	10% Reduction Area	Conversion Diameter	Conversion Area	Roughness Coefficient	Gradient	Wetted Perimeter	Hydraulic Radius	Velocity	Discharge	Volume
管径	断面積	断面積(10%ロス)	換算直径	換算面積	粗度係数	勾配	潤辺	径深	流速	流量	管路体積
m	m ²	m ²	m	m ²			m	m	m/s	m ³ /s	m ³
15	176.715	159.043	14.230	159.043	0.015	1928	44.71	3.56	3.538	563	2,208,932
14	153.938	138.544	13.282	138.544	0.015	1928	41.73	3.32	3.379	468	1,924,226
13	132.732	119.459	12.333	119.459	0.015	1928	38.74	3.08	3.216	384	1,659,154
12	113.097	101.788	11.384	101.788	0.015	1928	35.76	2.85	3.049	310	1,413,717
11	95.033	85.530	10.436	85.530	0.015	1928	32.78	2.61	2.877	246	1,187,915
10	78.540	70.686	9.487	70.686	0.015	1928	29.80	2.37	2.700	191	981,748
9	63.617	57.256	8.538	57.256	0.015	1928	26.82	2.13	2.517	144	795,216

出典: JICA Expert Team

B) 施設形状

Adyar 川からの流入水は、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。Figure 2-118 にバイパストンネル 3 次元イメージ、Figure 2-120 にバイパストンネル概要図を示す。

取水施設は、Adyar 川右岸側堤防に取水ゲートを設置する。沈砂池・除塵スクリーンにて土砂・ゴミを取り除いたのちに取水立坑を通じて洪水流を導入する。

排水施設は、洪水期間中は Adyar 川と Bengal 湾の水頭差を利用した自然排水とする。

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。

圧力計算では本管部は管の摩擦損失 (係数 0.015)、立坑部分は流入 (係数 0.5)・流出 (係数 1.0) を考慮している。また、ヘッド差は以下の条件から 3.88m にて算出した。

下流端：朔望平均満潮位+2m=DL+2.5m

上流端：HWL-2m=DL+6.38m

算出の結果は 190m³/s であり、概ね計画の 200m³/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。

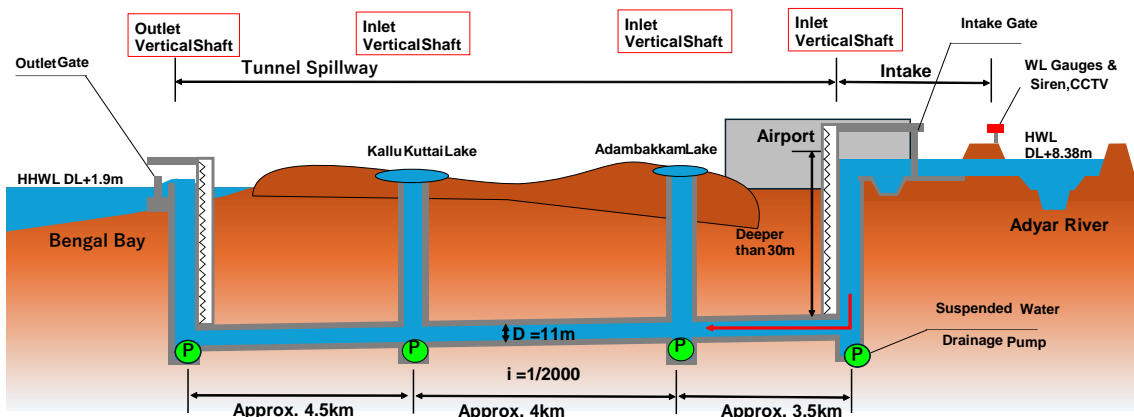
尚、洪水後の排水については、Adyar 川の洪水後に水頭差が生じなくなった時点でポンプ排水に切り替えてトンネル内の排水を行う。また排水施設は海上に設置するため、海水の流入が生じないようゲートを設置する。

バイパストンネルルート中間にあたる Kovalam 流域の内水排除のための取水施設については、Route1 案上に位置する Kallu Kuttai Lake と Adambakkam Laka からの取水が考えられるが、現時点では施設形状や諸元は未検討である。これについては、今後の詳細検討時に具体的な被害軽減効果を含めて検討する必要がある。



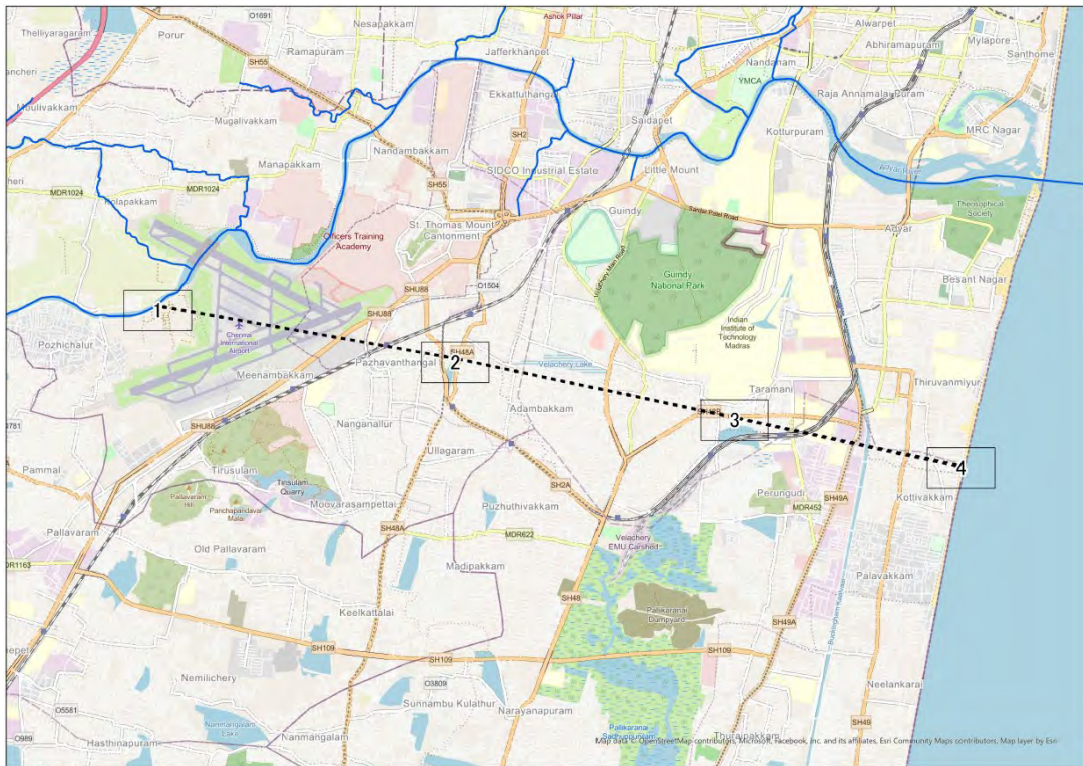
出典: JICA Expert Team

Figure 2-118: バイパストンネル (Route1) 3次元イメージ



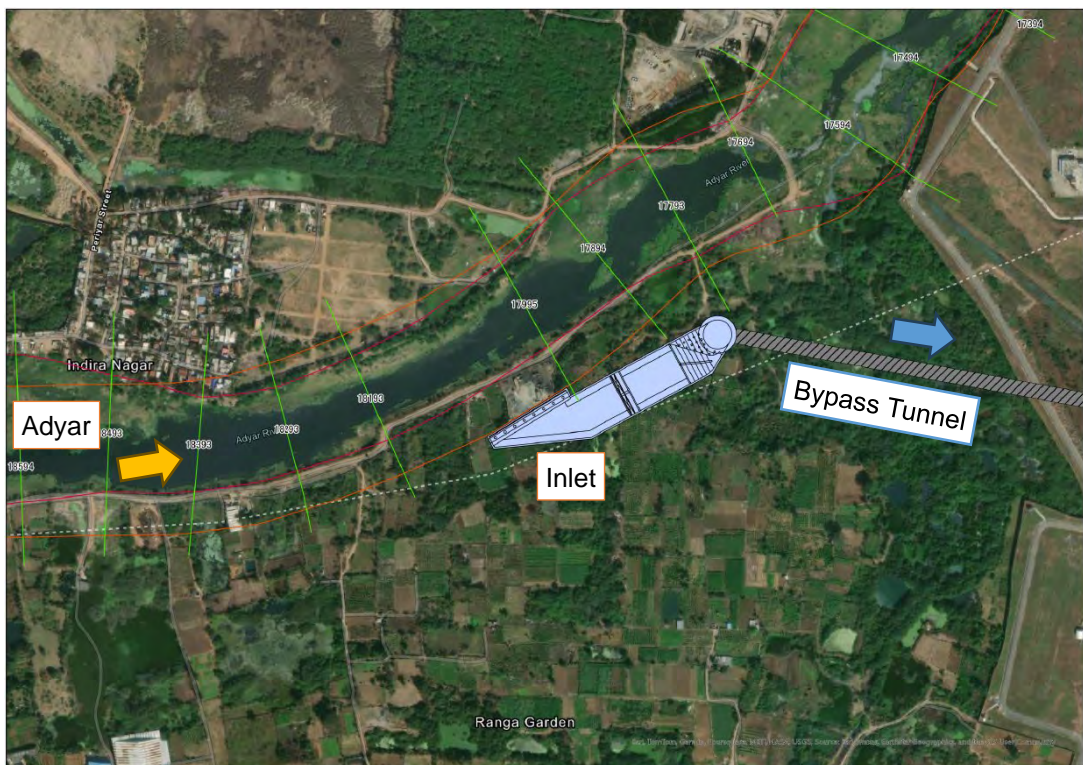
出典: JICA Expert Team

Figure 2-119: バイパストンネル (Route1) 概要図



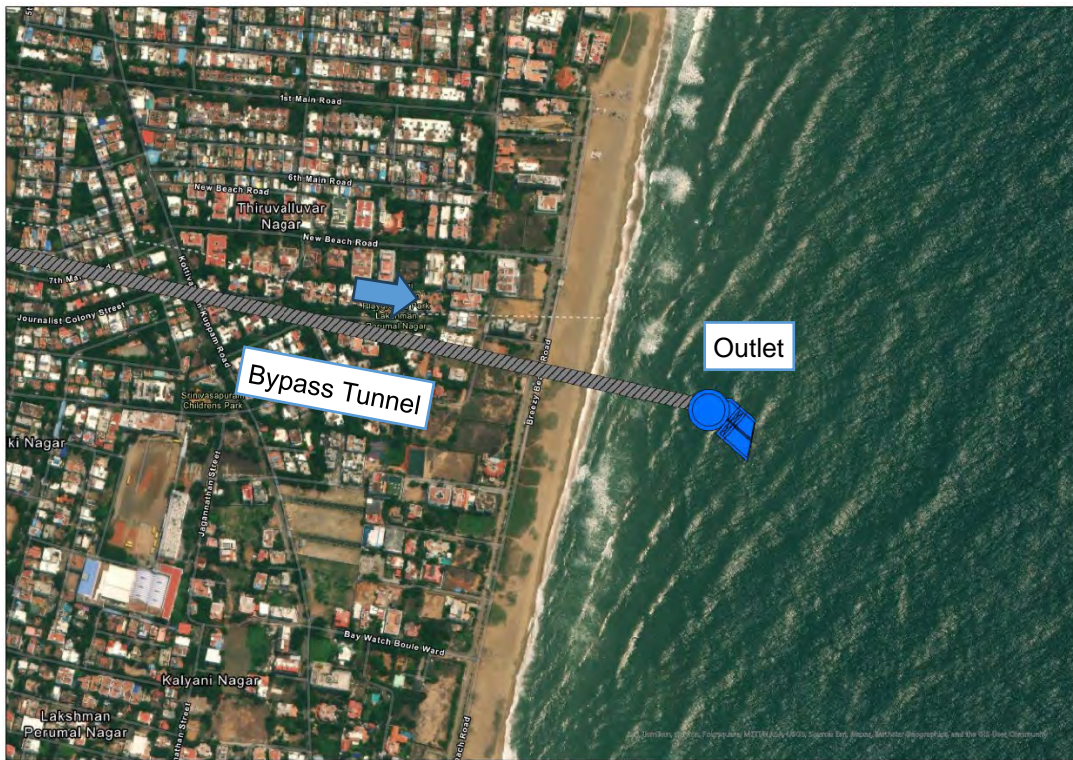
出典: JICA Expert Team

Figure 2-120: 地下バイパストンネル案ルート図 (Route1)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-121: 取水施設イメージ図(Adyar 川 18.3k 付近)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-122: 放流施設イメージ図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-123: 中間取水施設イメージ図 (Adambakkam Lake)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-124: 中間取水施設イメージ図 (Kallu Kuttai Lake)

2.5 段階整備の検討

河道改修や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。一方、チェンナイ都市圏の重要性を鑑みると洪水対策の実施にはスピード感が求められる。従って、比較的早期に効果を発揮し得る事業を当面 10 年程度 (Phase1 と呼ぶ) で実施し、並行して用地取得等を進めつつ、その後残事業を実施する段階整備を検討した。

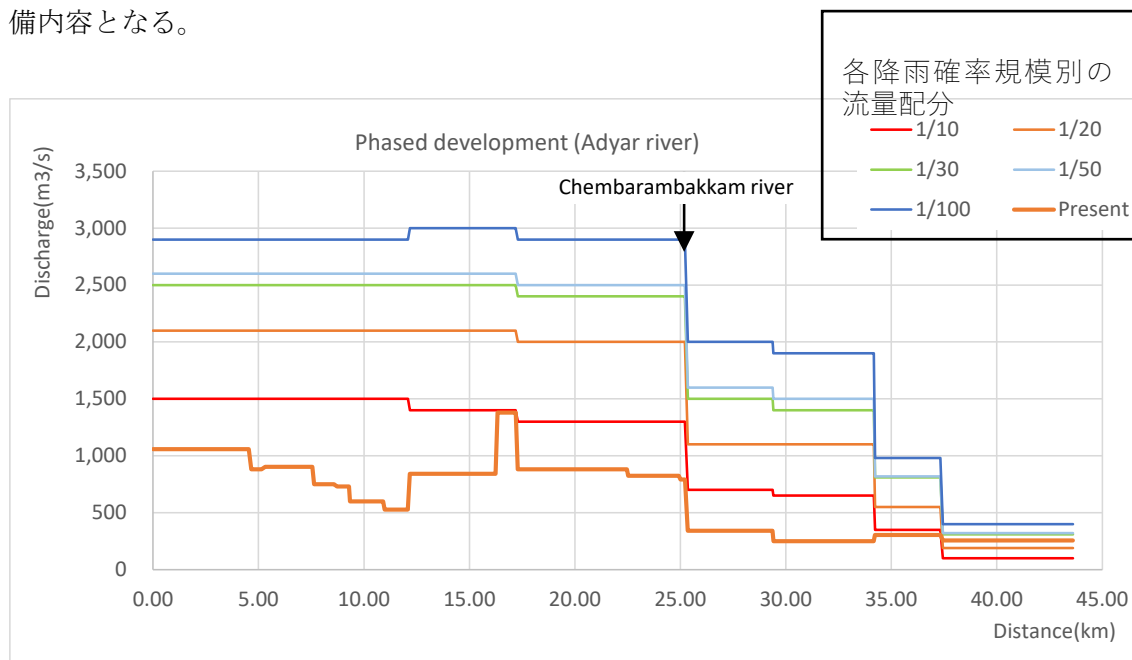
2.5.1 基本的な進め方

1) 整備目標規模

Adyar 川、Cooum 川、Kosasthalaiyar 川は、いずれも市街地区間のある下流部で現況の治水安全度は 1/10 未満である (Figure 2-125 に現況治水安全度として Adyar 川を例示)。

後述する通り、各河川において河道拡幅無しの河床掘削 (Deepening) + タンク (タンク) の機能増強のみで達成できる治水安全度は 1/10 程度であるため、段階整備目標規模は現実的に整備できる規模として 1/10 とした。尚、この目標規模を達成するための管理費や準備費を含まない建設費は Table 2-54 の通りである。TNWRD の年間予算が 10~40 百万 USD (800~3,500 百万 INR) であることを踏まえると、地下バイパストンネル以外の河道整備とタン

ク改良だけであれば、約 300 Million USD (2,500 Crore INR) であり、概ね 10 年程度での整備内容となる。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-125: Adyar 川における現況治水安全度

Table 2-54: 各事業の建設費

River	河道整備		Tank改良		地下バイパストンネル		計	
	Crore INR	Million USD	Crore INR	Million USD	Crore INR	Million USD	Crore INR	Million Yen
Adyar	698	84	216	26	7,973	957	8,887	1,066
Cooum	556	67	170	20			727	87
Kosasthalaiyar	440	53	372	45			811	97
計	1,694	203	758	91	7,973	957	10,425	1,251

2) 河道改修

河道改修は、河道拡幅に伴う用地買収は Table 2-55 の通り、多くの住居や商業施設の移転を伴うことから時間を要すると考えられる。このため、Figure 2-126 で示した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

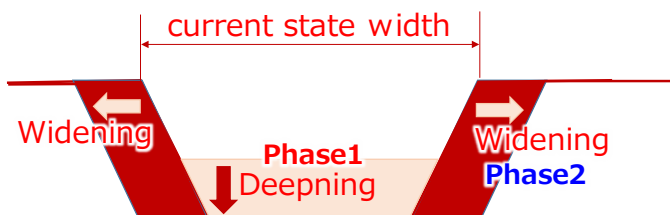


Figure 2-126: 河道改修手順

出典: JICA Expert Team

また、各河川ともに上流側は将来的にも拡幅が必要ないため (Figure 2-54 の拡幅幅を参照)、Phase1 の整備で全川整備すると、下流側より上流側で流下能力が大きくなる恐れがある。この場合、上流側での氾濫が無くなった分下流側で氾濫し易くなるといった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。

Table 2-55: 各河川における概略拡幅幅

Adyar 川				Cooum 川			
区間	拡幅幅		区間	拡幅幅			
0.0~20.06	50	住居棟5000~6000 商業棟3000~4000	0.00 ~9.83	50	住居棟1200~1500 商業棟500~800		
20.06~24.31	50	住居棟800~1000 商業棟600~800 一部が軍用地隣接	9.83~18.84	50	住居棟3500~4500 商業棟1500~2000		
24.31~28.44	50	住居棟500~600 商業棟300~400	18.84~25.42	25	住居棟700~850 商業棟300~400		
28.44~33.54	50	住居棟400~500 商業棟200~300	25.42~79.02	無し	住居棟0 商業棟0		
33.54~36.72	25	住居棟200~300 商業棟100~150	Kosasthalaiyar 川				
36.72~39.80	25	住居棟120~160 商業棟40~80	区間	拡幅幅			
39.80~42.60	無し	住居棟0 商業棟0	0.00~4.24	25	住居棟200~250 商業棟30~50		
Chembarambakkam Surplus (River)	無し	住居棟0 商業棟0	4.24~13.66	50	住居棟300~400 商業棟200~300		
			13.66~32.86	50	住居棟200~300 商業棟100~150		
			32.86~72.00	無し	住居棟0 商業棟0		
			Redhills Surplus (River)	無し	住居棟0 商業棟0		

集計結果	Adyar	Cooum	Kosasthalaiyar
住居棟	7,800	6,100	830
商業棟	5,000	2,800	420
計	12,800	8,900	1,250

出典: JICA Expert Team

3) タンクの機能増強

タンクの機能増強は、2.3.11 で記述したように TNWRD は毎年いくつかのタンクの改善プロジェクト事業を実施中であり、今後も整備期間の中で順次機能を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 では全体の半分の改良工事が行われる計画とした。

この整備による事業費は、以下の通りとなる（コスト算出の詳細は後述）。

- Adyar : 25 個所で 160Crore INR (20 million USD)
- Cooum : 15 個所で 130Crore INR (16 million USD)
- Kosasthalaiyar : 56 箇所で 280Crore INR (34 million USD)

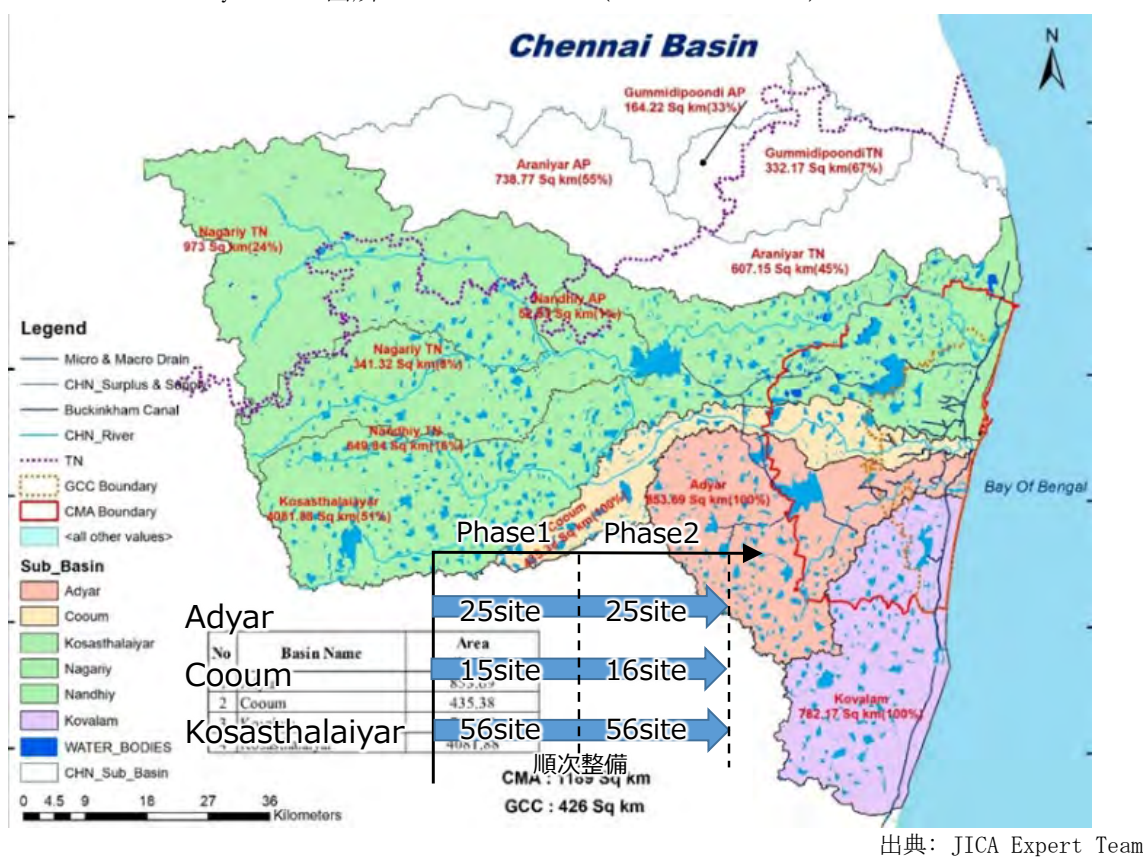


Figure 2-127: タンクの所在状況と整備完了イメージ

2.5.2 Phase1 における各河川での改修区間

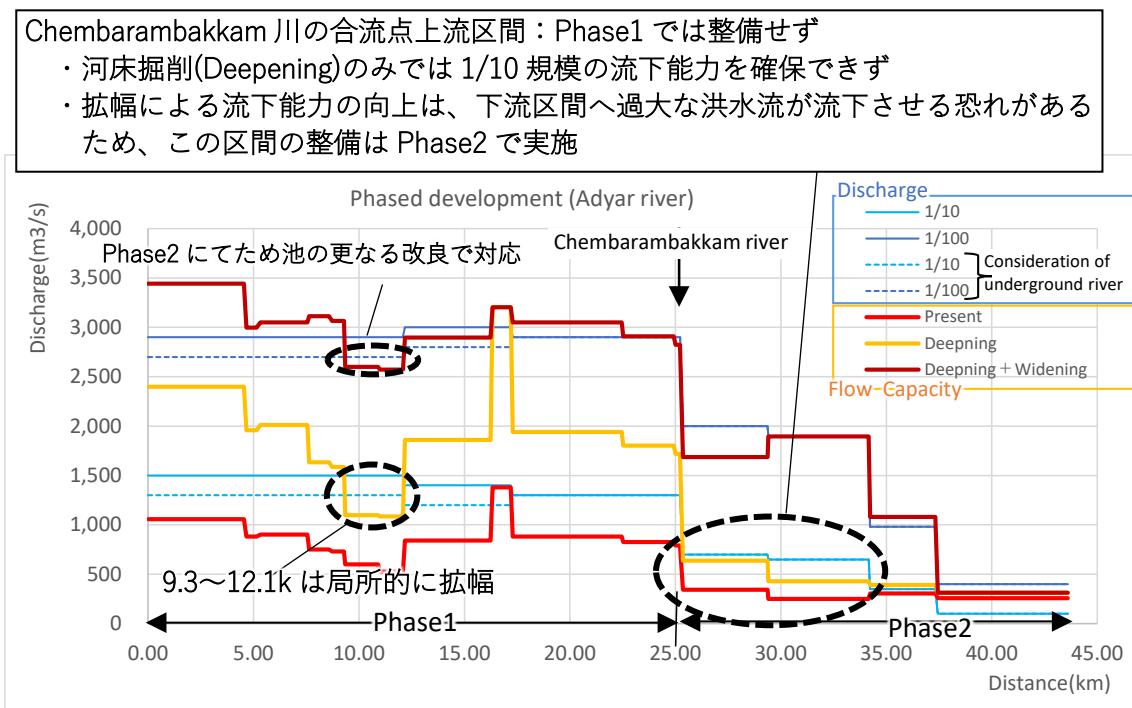
1) Adyar 川

Figure 2-128 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（Table 2-56 は表として整理したもの）。

図から、計画河床高までの河床掘削のみ（Deepening）で Chembarambakkam 川合流点（25.2k）下流では 9.3~12.1k の区間を除き 1/10 規模の流出量まで対応が可能である。

一方、Chembarambakkam 川合流点 (25.2k) 上流では 1/10 規模の流出量分の流下能力を確保できない区間がある。この区間を河道拡幅した場合、治水安全度の上下流バランスの観点からは下流区間へ過大な洪水流が流下する恐れがある。

従って、Phase1 での河道掘削のみにおける河道改修区間は 0.00~25.2k とし、その上流は Phase 2 で対応することとした。



出典：JICA Expert Team

Figure 2-128: 段階整備の流下能力評価 (Adyar 川)

Table 2-56 は、Figure 2-128 の具体の数値を整理したものである。流下能力 (Carrying Capacity) のハッチの色は各降雨確率規模での流量配分 (Design Discharge) に対し対応可能な流量規模を示している。例えば、区間 (River Section) 13 では河床掘削 (Deepening) で対応可能な流下能力は 2,399m³/s であり、流量配分では 1/20 の 1,900m³/s (地下河川を考慮した流量配分) に対応可能なことから、1/20 の黄土色と同じ色のハッチを付けている。

Table 2-56: 段階整備の流下能力評価 (Adyar 川)

River Section (HEC-RAS)	Distance from Sea		Phase1 Tank Usage:50%								
			Design Discharge [m3/s]					Carrying Capacity[m3/s]			
			Return Period [yrs]					Present	Deepning	Deepning + Widening	
			1/10	1/20	1/30	1/50	1/100				
Adyar13	0.00	~	4.54	1,500	2,100	2,500	2,600	2,900	1,059	2,399	3,443
Adyar_CA2	4.66	~	5.14	1,300	1,900	2,300	2,400	2,700	882	1,958	2,996
Adyar12	5.32	~	7.56	1,500	2,100	2,500	2,600	3,000	903	2,011	3,050
Adyar11	7.64	~	8.58						750	1,634	3,113
Adyar10	8.72	~	9.29						731	1,587	3,065
Adyar9	9.34	~	10.91						600	1,097	2,599
Adyar8	10.98	~	12.08						526	1,086	2,573
Adyar7	12.17	~	16.24						1,400	2,100	2,500
Adyar6	16.34	~	17.19	1,200	1,900	2,300	2,400	2,800	1,380	3,203	3,203
Adyar5	17.29	~	22.46	1,300	2,000	2,400	2,500	2,900	881	1,941	3,051
Adyar4	22.53	~	24.92						825	1,803	2,910
Adyar_CA	25.00	~	25.22						791	1,719	2,824
Adyar3	25.35	~	29.37	700	1,100	1,500	1,600	2,000	342	638	1,687
Adyar2	29.41	~	34.17	650	1,100	1,400	1,500	1,900	251	429	1,896
Adyar1	34.23	~	37.33	350	550	810	820	980	305	392	1,080
Adhanur	37.44	~	43.61	100	190	310	320	400	257	312	312

※赤字は地下河川で流量低減した場合の流量
※赤枠は整備対象事業

チェンバラバッカ合流点 (25.25k) 上流は、掘削だけで 1/10 を確保できず

出典: JICA Expert Team

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 2-130 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 2-57 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恐れが高い。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 流域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 2-57: 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 ³ /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"> ・事業を早期に実施可能 ・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。 ・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 	
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	

Figure 2-129 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)。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-129: 優先順位図 (Adyar 川)



出典: JICA Expert team

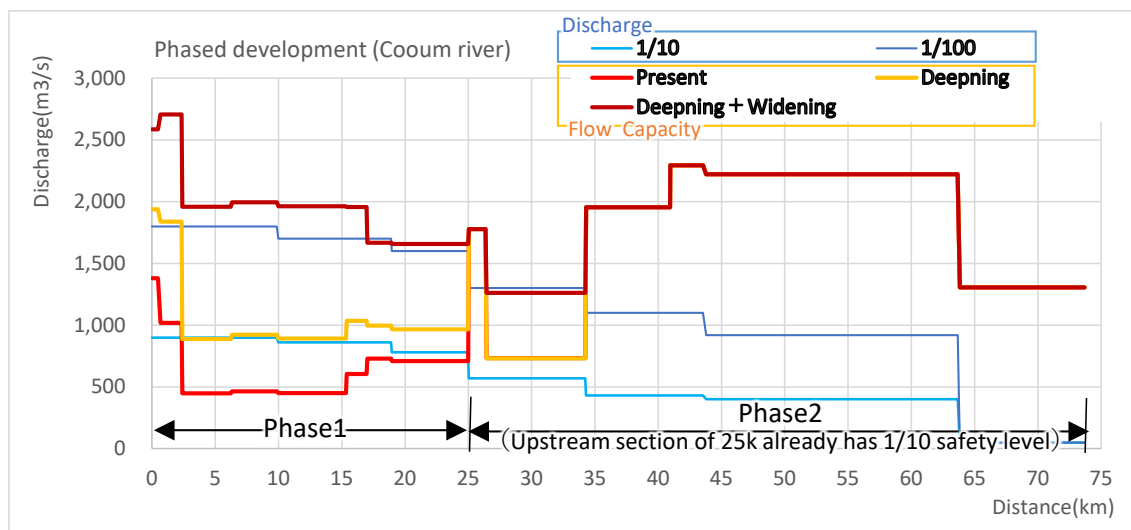
Figure 2-130: 拡幅必要箇所の平面図

2) 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。

(流下能力的には 2.3k 下流で 1/10 規模の流量配分は確保されているが、河床掘削の縦断的な擦り付けを考慮して 0.0k から掘削)

また、事業費は 420Crore INR (50 million USD) となる (コスト算出の詳細は後述)。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-131: 段階整備の流下能力評価 (Cooum 川)

Table 2-58 は、Figure 2-131 の具体の数値を整理したものである。表のハッチの色は Adyar 川と同様に設定している。

Table 2-58: 段階整備の流下能力評価 (Cooum 川)

赤枠は整備対象事業

Outflow Point	River Section (HEC-RAS)	Distance from Sea		Phase1 Tank Usage:50%								
				Design Discharge [m3/s]					Carrying Capacity[m3/s]			
				Return Period [yrs]					Present	Deepning	Deepning + Widening	
				1/10	1/20	1/30	1/50	1/100				
8	Cooum08	0	~	0.483	900	1,200	1,300	1,500	1,800	1,380	1,939	2,586
	Cooum06	0.664	~	2.342						1,018	1,839	2,707
	Cooum05	2.405	~	6.225						449	887	1,958
	Cooum04	6.315	~	9.872						463	922	1,995
7	Cooum03	9.988	~	15.333	860	1,100	1,300	1,500	1,700	450	892	1,962
	Cooum02	15.393	~	16.964						605	1,034	1,956
6	Cooum01_b	17.02	~	18.897	780	1,100	1,200	1,400	1,600	729	996	1,668
		18.96	~	24.977						708	966	1,658
5	Cooum01_b	25.04	~	26.366	570	750	860	1,100	1,300	1,779	1,779	1,779
		26.426	~	34.243						732	732	1,262
4	Cooum01	34.3	~	40.928	430	590	700	830	1,100	1,955	1,955	1,955
		40.96	~	43.539						2,294	2,294	2,294
3	Cooum01	43.79	~	63.667	400	540	640	760	920	2,223	2,223	2,223
3-2		63.829	~	73.678	50	40	40	40	50	1,306	1,306	1,306

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-132: 優先順位図 (Cooum 川)

3) Kosasthalaiyar 川

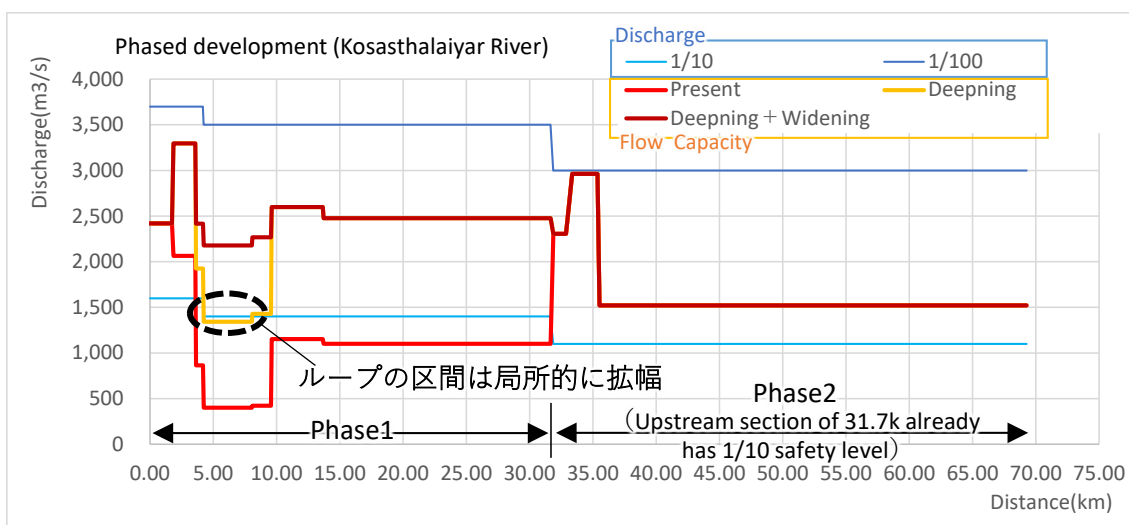
Phase 1 で 1/10 規模を目指した改修は以下の通りである。

Kosasthalaiyar 川は、Figure 2-134 から分かるように下流区間は、分岐する区間が 3 箇所存在する。1/10 規模の洪水に対する流下能力が不足しているのは最下流の Loop3 の上流端 (3.6k) から最上流の Loop1 合流点 (9.6k) 下流であり、この 3.6~9.6k を対象とし、Figure 2-135 の様に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。

(流下能力的には 3.6k 下流で 1/10 規模の流量配分は確保されているが、河床掘削の縦断的な擦り付けを考慮して 0.0k から掘削)

Redhill 川は、1/10 規模の洪水に対する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 Figure 2-136 の様に下流側の川幅相当 (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。

この整備による事業費は 330 CroreINR (40 million USD) となる (コスト算出の詳細は後述)。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-133: 段階整備の流下能力評価 (Kosasthalaiyar 川)

Table 2-59 は、Figure 2-133 の具体的数値を整理したものである。表のハッチの色は Adyar 川と同様に設定している。また、Table 2-60 は支川 Redhill 川の流下能力評価を示している。Redhill 川では、6.0k 上流では 1/10 規模の流下能力があるため、Phase1 での整備は、0.0~6.0k に対して実施する。

赤枠は整備対象事業

Table 2-59: 段階整備の流下能力評価 (Kosasthalaiyar 川)

River Section (HEC-RAS)	Cross Section	Distance from Sea	Phase1 Tank Usage:50%								
			Design Discharge [m3/s]					Carrying Capacity			
			Return Period [yrs]					Present	Deepning	Deepning + Widening	
			1/10	1/20	1/30	1/50	1/100				
Kosas08	2 ~ 1727	0.00 ~ 1.74						2,419	2,419	2,419	
Kosas07+KL	493 ~ 2198	1.85 ~ 3.58	1,600	2,100	2,600	3,200	3,700	2,063	3,296	3,296	
Kosas06	185 ~ 489	3.63 ~ 4.18						865	1,926	2,417	
KL2	274 ~ 3477	4.24 ~ 8.05						401	1,342	2,179	
Kosas03	102 ~ 1442	8.08 ~ 9.57						423	1,429	2,268	
Kosas02+KL	160 ~ 4134	9.63 ~ 13.66	1,400	2,000	2,500	3,000	3,500	1,153	2,599	2,599	
Kosas01	152 ~ 18014	13.72 ~ 31.65						1,100	2,476	2,476	
	18245 ~ 19518	31.87 ~ 32.86						2,306	2,306	2,306	
	20026 ~ 21670	33.37 ~ 35.37	1,100	1,700	2,100	2,600	3,000	2,963	2,963	2,963	
	22174 ~ 56344	35.52 ~ 69.26						1,521	1,521	1,521	

出典: JICA Expert Team

Table 2-60: 段階整備の流下能力評価 (Redhill 川)

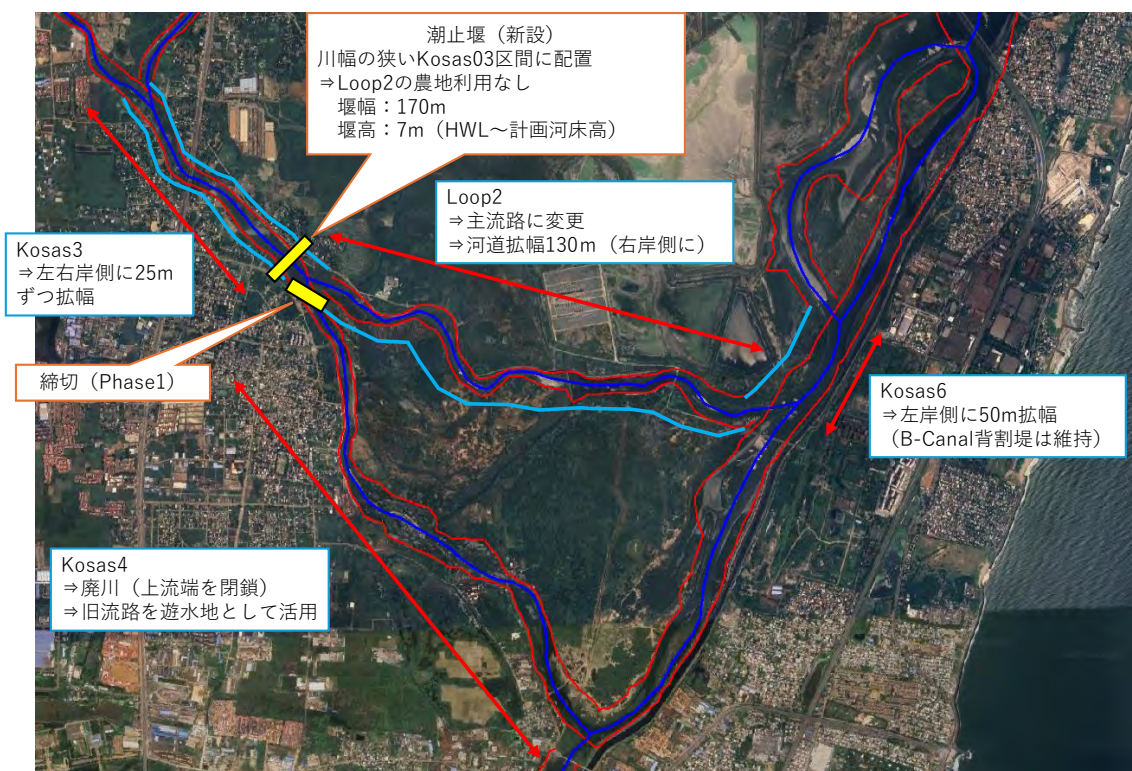
Outflow Point	River Section (HEC-RAS)	Distance from Sea	Phase1 Tank Usage:50% 赤枠は整備対象事業								
			Design Discharge [m3/s]					Carrying Capacity			
			Return Period [yrs]					Present	Deepning	Deepning + Widening	
			1/10	1/20	1/30	1/50	1/100				
⑪	Kosas05	0.00 ~ 2.31	170	200	230	260	300	165	316	394	
	Redhills	2.54 ~ 2.88						162	311	389	
	Redhills	3.06 ~ 6.07						18	30	306	
	Redhills	6.13 ~ 11.81						269	501	778	
	Redhills	11.98 ~ 16.64						205	371	725	
	Redhills	16.71 ~ 17.10						548	1,004	1,784	

出典: JICA Expert Team



出典: JICA Expert Team

Figure 2-134: 優先順位図 (Kosasthalaiyar 川)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-135: Kosasthalaiyar 川における分岐部での改修イメージ 1



出典: JICA Expert Team

Figure 2-136: Redhill の拡幅区間

2.6 非構造物対策の検討

2.6.1 主要ダムでの洪水予測と事前放流効果検討

世界銀行がドナーとして参画するプロジェクト「Adyar, Cooum, Kosasthalaiyar, Nagariyar, Nandhiya, Kovalam 流域のリアルタイム洪水予測・意思決定支援システムの計画、設定、運用のためのコンサルティングサービス (Consulting Services for Planning, Setting-up and Operationalizing a Real-Time Flood Forecasting and Spatial Decision Support System for Adyar, Cooum, Kosasthalaiyar, Nagariyar, Nandhiyar, and Kovalam Basins)」では、チェンナイと周辺地域において高精度な洪水予測と早期警報の確立を目的として進められている (世界銀行融資番号 8488-IN (プロジェクト番号 P150395))。世界銀行の拠出した資金を Tamil Nadu Urban Infrastructure Financial Services Limited (TNUIFSL) が管理・運用し、歳入管理・災害管理委員会 (Commissionerate for Revenue Administration & Disaster Management)、Greater Chennai Corporation (GCC)、市政委員会 (Commissionerate of Municipal Administration) に代行して実施している。本プロジェクトは 2018 年に開始し、2022 年 9 月に検討・開発を完了し、それ以降の 2025 年 9 月まで継続的運用され、リアルタイム洪水予測と意思決定に向けた職員の能力構築が進められている。

このプロジェクトでは、チェンナイ周辺の主要 4 ダム、すなわち Chembarambakkam ダム、Poondi ダム、Cholavaram ダム、Redhill (Puzhal) ダムを対象に、信頼性の高い洪水予測の実施と運用の強化を図ることを目的としている。これらのダムの諸元は Table 2-61 の通りである。

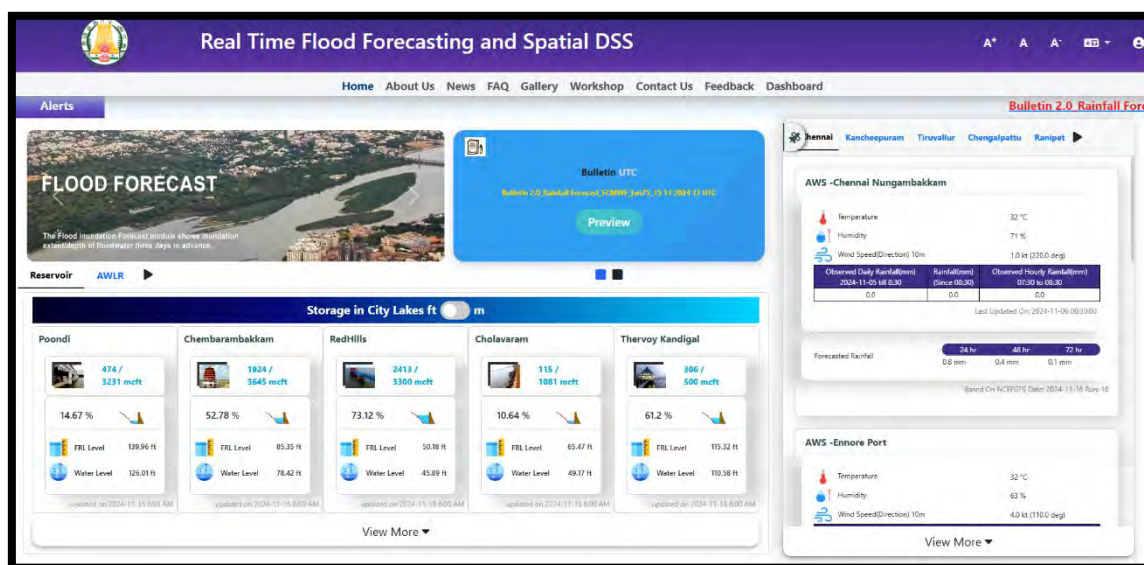
Table 2-61: 対象地域の主なダムの諸元

	Dam Reservoir			
	Chembarambakkam	Poondi	Redhills	Cholavaram
Catchment area (km ²)	357.42	1968.40	59.27	28.49
Full reservoir level (m)	26.03	42.67	15.30	19.96
Freeboard (m)	2.70	1.53	3.00	1.41
Gross storage volume (MCM)	103.21	91.49	93.45	30.61
Flood control volume and elevation	12.55 MCM @25.42m (12%)	14.58 MCM @42.06 (16%)	17.82 MCM @14.69m (19%)	4.89 MCM @19.35m (16%)
Design flood discharge (m ³ /s)	936.15	3398.00	212.37	131.68
Probable Maximum Flood, PMF (m ³ /s)	2,284	13,881	1,403	275

出典: JICA Expert Team

現在、WEB システムが公開運用されており (<https://www.chennai floods ss.in/>)、洪水予報・早期警報のための管理室が建設中である。この洪水予測プロジェクトの主な目的のひとつは、TNWRD の担当者に対して、主要 4 ダムからの事前放流の実施に関する判断基準を提供することにある。これらの判断基準情報はリアルタイム洪水予測 (6 時間から 72 時間前のリードタイムを提供) に基づくものであり、これによりダム当局は豪雨時の洪水管理への事前対策を講じることができる。このプロジェクトでは、当該システムの活用により洪水調節およびタンク運用の最適化を行い、ダムの流入量増加への効果的対処、ダム下流区間での洪

水被害軽減により、降雨ピーク時の重要インフラや地域社会を守ることを目的としている。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-137: リアルタイム洪水予測プロジェクトのウェブサイト

Chembarambakkam ダムと Poondi ダムからの事前放流の影響を解析するために、様々なシナリオの下で「What-If」分析が実施された。この解析では、最大 24 時間前までの事前放流を考慮し、ダムの貯水量の違いによる影響をダム貯水率 80%から 95%までの状況に対する洪水管理への影響より評価した。これらのダムは主にチェンナイの用水供給源として機能しており、特にモンスーン期には Tamil Nadu 州水資源局 (TNWRD) の職員がダム下流区間河川での洪水防御のため洪水調節量の最大化を図ることを目的としている。予測解析では、100 年確率規模の降雨イベントに対する各放流前シナリオでの影響評価が行われている。

洪水予測調査は現在も実施中である。初期の検討結果では、ダム下流域の洪水ピーク流量低減に対する事前放流の重要性が強調されている。しかしながら、洪水予測には不確実性が伴うことを勘案すると、本業務で立案する洪水管理マスタープランでは、安全側の立場に立ち、流出計算にて主要ダムからの事前放流を考慮しないものと判断した。

Table 2-62: 様々なシナリオにおける事前放流のシミュレーション効果

ダム名称	事前放流時間・放流量	治水容量 (有効貯水容量 からの割合)	事前放流による ピーク流出量 (m ³ /s)	JICA MP おける ピーク流出量 (m ³ /s)
Chembarambakkam	12hrs 150m ³ /s	80%	470	820
		85%	500	820
		90%	530	820
		95%	570	820
Chembarambakkam	24hrs 100m ³ /s	80%	400	820
		85%	430	820
		90%	470	820
		95%	500	820
Poondi	24hrs 200m ³ /s	80%	1430	2100
		85%	1460	2100
		90%	1500	2100
		95%	1550	2100

出典: JICA Expert Team

2.6.2 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:

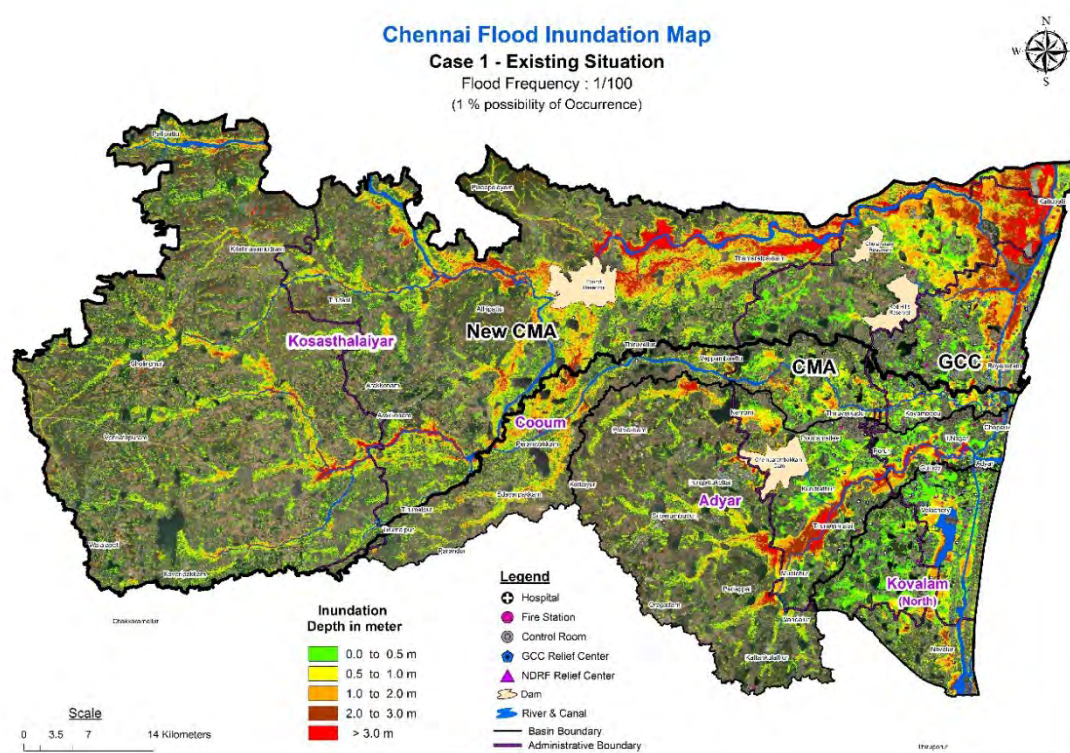
タンクでの調節機能は水路網毎に一括管理することが、洪水時における洪水流量の調節や通常時における水供給上で効果的である。このため、タンクの水位を監視するための

SCADA システム (TNWRD はこのための計画を持っているが、まだ構想レベルである) のような中央制御室を設置することも重要である。制御室には、自動化されたゲートを制御するシステム、水域やゲート、接続された排水システムをリアルタイムで監視する CCTV、モンスーンシーズン中の水域やタンクの運用を強化するために必要なその他の設備などの追加設備を備えることもできる。

これらの非構造的対策は、構造物対策を補完するものとして重要であり、致傷としたタンクの長期的な持続可能性、運用効率、洪水回復力を確保するために必要である。

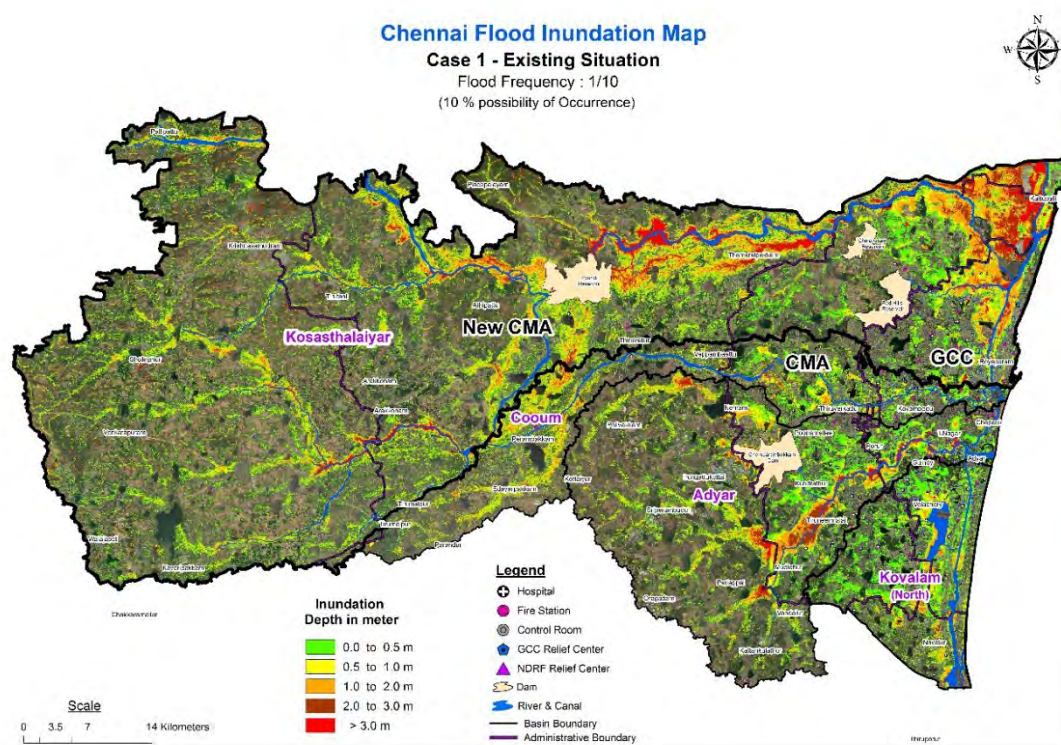
2.6.3 洪水ハザードマップ作成

洪水ハザードマップは、様々な階層に向けて洪水リスクを包括的に伝える目的でそれぞれ異なる縮尺で作成されてきている。これらのハザードマップは、流域全体レベル、CMA や Greater Chennai Corporation (GCC) などの行政地域レベルの大縮尺のものまでさまざまである。さらに、GCC の 15 ゾーン (Zone) と 200 区 (Ward) 単位のハザードマップも作成されており、地域ごとの洪水リスクに効果的に対処するためのさまざまな縮尺レベルが用意されている。洪水ハザードマップには、洪水生起確率 (10 年、20 年、50 年、100 年) の降雨シナリオに対する浸水想定区域が示されており、また将来的な気候変動による降雨量増加 (10%増加) も加味されている。Figure 2-138 および Figure 2-139 は、本業務の検討対象区域において作成した洪水ハザードマップ例である。ここでは、Adyar、Cooum、Kosasthalaiyar、Kovalam の 4 流域において、現況施設条件下において生起確率 1/100 および 1/10 年の降雨シナリオ発生時の浸水想定区域を示している。



出典: JICA Expert Team

Figure 2-138: 1/100年規模の確率の洪水氾濫マップ (現況施設条件)



出典: JICA Expert Team

Figure 2-139: 1/10年規模の確率の洪水氾濫マップ (現況施設条件)

管理レベルごとの洪水ハザードマップの形式、使用者および利用方法等を Table 2-63 に整理した。

Table 2-63: 洪水ハザードマップの利用・提供

管理レベル	形式	使用者	利用方法/情報提供 等
Basin	SHP, JPEG, A0 Print	TNDRRA, TNWRD	<ul style="list-style-type: none"> • TN 政府 GIS データベース • TNDRRA 緊急対策室 • TNWRD 流域管理者 • 一般公開はなし
CMA	SHP, JPEG, A0 Print	TNDRRA, CMDA, MAWS, HUDD, CRRT	<ul style="list-style-type: none"> • TN 政府 GIS データベース(オンラインにて政府機関に公開) • TNDRRA 緊急対策室 • 第3次都市開発マスタープランの付録 • MAWS/HUDD が試験的に TN 州の他の主要都市に配布する。 • マスタープランとして一般公開
GCC	SHP, JPEG, A0 Print	TNDRRA, CMDA, GCC, TNUIFSL	<ul style="list-style-type: none"> • TN 政府 GIS データベース(オンラインにて政府機関に公開) • TNDRRA 緊急対策室 • GCC 防災対策室 • TNUIFSL を世界銀行の洪水予測プロジェクトへの補足情報として活用 • GCC のウェブサイト
GCC Zones (15)	SHP, JPEG, A1 Print	TNDRRA, GCC, TNUIFSL	<ul style="list-style-type: none"> • TNDRRA 緊急対策室 • GCC 防災管理対策室 • GCC Zones 事務所における公開
GCC Wards (200)	SHP, JPEG, A3 PDF	TNDRRA, GCC	<ul style="list-style-type: none"> • TNDRRA 緊急対策室 • GCC 防災管理対策室 • GCC 区役所がコミュニティ会議にて議論し、2015年と2023年の浸水情報を追加

出典: JICA Expert Team

2.7 設計放流配分案

これまでの検討成果を基に、Phase1、Phase2 での設計放流配分案を以下の通り整理した。

Phase1 : 10年確率 (流域貯留施設整備:50%)、計画対象期間 : 10年

Phase2 : 100年確率 (流域貯留施設整備:75%)、計画対象期間 : 20年

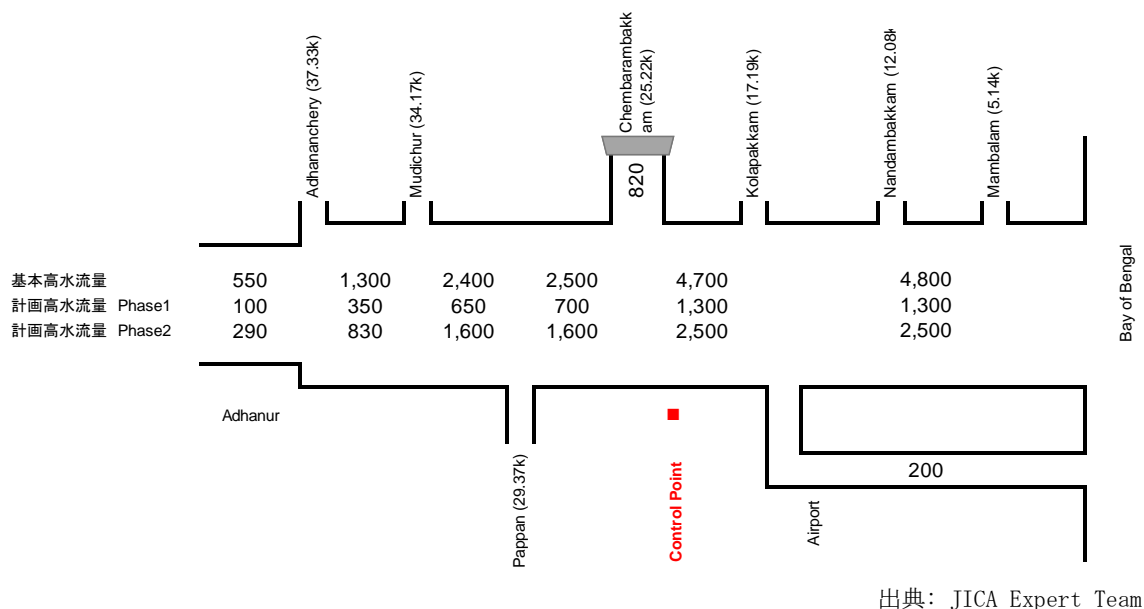


Figure 2-140: Adyar川 計画高水流量配分図

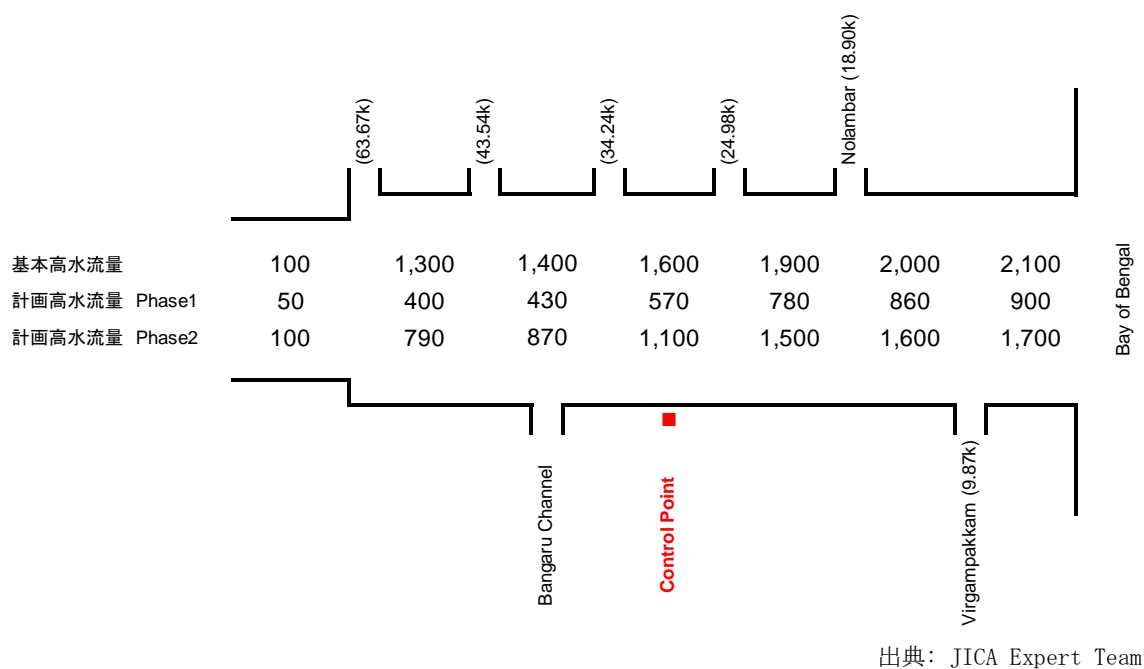


Figure 2-141: Cooum川 計画高水流量配分図



出典: JICA Expert Team

Figure 2-142: Kosasthalaiyar 川・Redhill 川 計画高水流量配分図