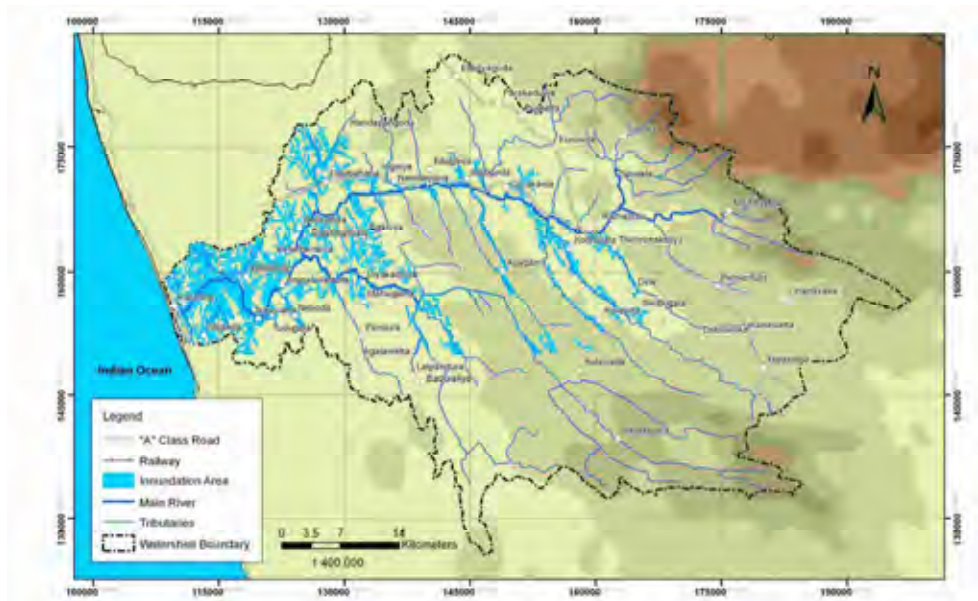


第4章 カル川流域の洪水防御マスタープラン

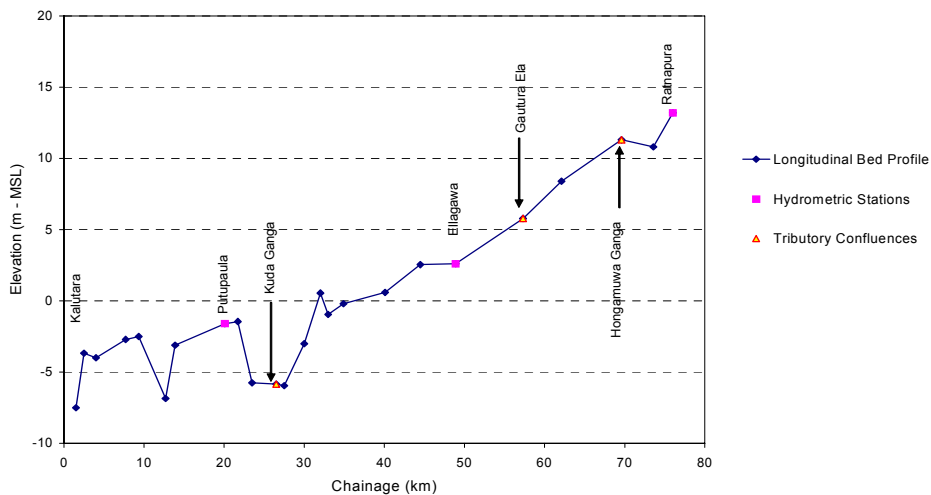
4.1 流域の概要

カル川は島のほぼ中央に源を發し西流した後にラトナプラとホラナを流下してカルタラにてインド洋へ注ぐ河川延長約 100 km、流域面積 2,690 km²の河川である。河道は底幅が概して狭くかつ両岸とも河岸が高く、河床標高は水源とラトナプラ市間の延長 36 km 区間で 2,250 m から 14 m に変化する。流域全域は「ス」国の多雨地帯に属し、年間降雨量は山地で 6,000 mm、低平地で 2,000 mm であり、年平均雨量は 4,040 mm に達する。カル川流域の位置図を図II-7、カル川本川の縦断面図を図II-8 にそれぞれ示す。



出典: JICA 調査団

図II-7 カル川流域位置図



出典: 灌漑局およびLHI の水理部

図II-8 カル川本川縦断面図

カル川流域では、地域住民のための飲料水確保や小規模な灌漑目的を除いて大規模な水資源開発は行われていない。顕著な水資源開発行為としては、クダ川支流のククレ川に建設された出力 80MW の水力発電計画がある。ククレにおける低ダムは堤高 16 m、堤長 110 m である。

4.2 既往洪水の状況

ラトナプラはカル川流域で最も水害を受ける地域である。危険水位（海拔 24.4 m、灌漑局が設定）を超える洪水は、これまでに 1913、1940、1941、1947、2003 年に発生している。

最も被害が大きかったのは、2003 年 5 月洪水の氾濫によるもので、総被害額は約 73 百万 Rs. にのぼる。ラトナプラでの同年 5 月 16 日から 18 日にかけての総雨量は 432.2 mm を記録しており、それは 15 年確率 3 日雨量に相当する。2003 年 5 月洪水の氾濫区域を図 II-7 に示した。

尚、ケラニ川流域と同様にカル川流域でも 2008 年 4 月と 5 月に洪水が発生し、ラトナプラ県上流域で大規模な洪水氾濫が発生した。ラトナプラ観測所（鋼製トラス橋に設置）では 4 月 28 日に 8.25 m（海拔 20.94 m）の最高水位を観測し、これは 20 年確率規模に相当する。一方、Kuda 川流域でも大規模な洪水が発生した。その結果、カルタラ県では広い範囲で氾濫し、水田や家財などに甚大な被害を及ぼした。ラトナプラ市街地の住宅地で、現地調査を通じて確認した氾濫によるいくつかの洪水痕跡（2008 年 4 月 28 日から 5 月 1 日にかけて）は以下のとおりである。



ラトナプラ市内の一般住居に残る洪水痕跡（2008 年 5 月 6 日撮影）

4.3 洪水管理に関わる既往検討のレビュー

カル川流域では、1960 年代以来以下に示す治水計画が検討されてきた。

- “Feasibility Report on Multipurpose Development of the Nilwala Ganga, Gin Ganga and Kalu Ganga Basins, Engineering Consultants Inc., 1968”
- “Kalu Ganga Multipurpose Project Feasibility Study, TAMS Consultants Inc., 1989”
- “Ratnapura Multipurpose Project, Pre-Feasibility Study, China Gehouba Construction Group Corporation, 1999”
- “Pre-feasibility Study Assessment of Kalu Ganga Flood Protection with Special Reference to Ratnapura, Drainage and Flood Protection Branch, Irrigation Department, July 2004”

そのうち、ECI による 1968 年の調査では 3 河川（カル川、ギン川、ニルワラ川）の総合的な治水計画が検討された。その計画は今日でも「全体計画」（原案）と呼ばれる。調査結果によると、カル川での治水事業は事業妥当性がないと評価された。

2004 年に灌漑局は、ラトナプラ市上流でのマルワラダム計画（50 年確率規模）およびカルタラ県低平地での排水事業（10 年確率規模）を検討し、実現可能性がある結論づけている。ただし、マルワラダムの建設に関しては、更に詳細な環境社会配慮の検討が提案されている。

4.4 水理・水文解析

カル川流域モデルは本川沿いにラトナプラからカルタラにおける河口までを包含する。ミラカンダから流入する主要支川のクダ川も含まれる。また、全体流域は 8 つの小流域に分割され、19 箇所の降雨観測所のデータを用いて求めた流域平均雨量を適用した。主要降雨観測所における確率雨量を表II-17 に示す。

表II-17 主要降雨観測所における確率日雨量

河川名	観測所名	標高 (m)	データ入手可能期間	確率日雨量 (mm/日)				
				10 年	25 年	50 年	100 年	既往最大
カル川	ハブガステナ グループ	594.5	1950-2006	209.7	241.3	264.8	288.0	254.0
	カルタラ	3.0	1950-1982,1984-2004 & 2006	199.2	233.2	258.5	283.5	244.8
	ラトナプラ	34.4	1950-2006	232.0	279.4	314.5	349.4	392.5

出典: JICA 調査団

不定流モデルによる流出解析を行った。カル川主要観測所における再現確率流量を表II-18 に示す。

表II-18 カル川確率流量

生起確率 (年)	確率ピーク流量 (m ³ /s)				
	ラトナプラ	エラガワ	ミラカンダ (クダ川)	プトゥパウラ	カルタラ
2	442	558	103	686	711
5	675	904	225	1,200	1,245
10	847	1,190	315	1,595	1,655
20	1,020	1,484	411	2,005	2,075
30	1,123	1,663	438	2,213	2,287
50	1,254	1,890	557	2,591	2,670

注: 洪水氾濫および洪水貯留を考慮しないという条件下で解析している。

出典: JICA 調査団

4.5 洪水管理計画を踏まえた土地利用計画

カル川流域における土地利用の現況は以下のとおりである。

- (1) 耕作地が流域の 43.2%を占め、そのうち Chena (天然林の伐採と農業生産を組合わせた地域) が 38.9%、牧場が 36.1%である。
- (2) 作付面積が流域の 33.6%を占め、そのうち最も広いのが 76.9%を占めるゴム園である。
- (3) 森林は比較的広く全体の 18.2%を占める。

カルタラはカル川河口部に位置し河川沿いに開発されている。UDA により策定されたカルタラ都市開発計画によると、商業区域、住宅混在区域、自然保護地区や環境的に鋭敏な地区などに区分されている。

一方、ラトナプラは地域 (人口 12 万人) 経済の中心地として開発されている。現在、ラトナプラの新都市開発計画が進行中であり、更なる発展が見込まれる。公共区域と商業区域は、頻繁に水害を受ける旧市街とは離れた位置に計画されている。本地域では河川保護区域がカル川沿川に指定されており、これは洪水管理計画を策定する上で有意義な役割を果たすと考えられる。

4.6 洪水管理計画策定の基本方針

全体計画の計画規模は 30 年確率規模とした。全体計画の実施に必要な期間を 15 年間と想定し、実施期間は 2010 年から 2024 年までとした。

表II-19 カル川全体計画の計画規模

治水安全度 (現況流下能力)	既往最大洪水	将来の土地利用	計画規模
- ラトナプラ 2年確率規模 - カルタラ 10年確率規模	30年確率規模相当 (2003年5月洪水)	ラトナプラおよびカルタラの都市化が進行中である。そのほかにもホラナ付近での開発も見込まれる。	30年確率規模 (河口部で 2,300 m ³ /s)

出典: JICA 調査団

4.6.1 全体計画策定の要点

(1) カル川での洪水被害

- ラトナプラでの洪水氾濫の常襲 (2年確率規模を超える洪水で氾濫)
- 下流域での洪水氾濫 (ほとんどの区間に堤防がない) (10年確率規模を超える洪水で氾濫)

(2) ラトナプラ市街地での洪水

ラトナプラ市街地はカル川とウェイ川の合流部に位置する。河川の流下能力が小さいため、2年確率流量 (400 – 500 m³/s) 程度で氾濫する。ラトナプラは洪水常襲域であるにも係らず、効果的な洪水対策が実施に移されていない。

(3) マルワラダムの開発戦略

マルワラダムサイトとして、ウェイ川合流点の約 3 km 上流地点が提案されている。本ダム計画は当初 3 河川流域の全体計画 (ECI, 1968) で提案され、その後 1999 年に中国の援助により見直されている。2003 年の壊滅的な水害の後、灌漑局は独自にプレ・フィージビリティ調査を実施し、発電収益を見込んだ多目的ダムとして経済的な内部収益率 (EIRR) が確保できると評価した。しかし、「ス」国政府の願望にも係らず、他の 3 河川と同様に社会環境問題を主因として事業は実現していない。

(4) カルタラでの堤防

下流域カルタラ付近はギン川およびニルワラ川と違って堤防やその他の洪水防御施設が設けられていない。他の河川と比べても、洪水管理施設の整備は遅れており、同レベルの洪水防御が望まれている。4.2 節に述べたとおり、カルタラ地区は 2008 年 6 月洪水により深刻な氾濫被害に見舞われた。

(5) 早期警報およびモニタリングシステム (EWMS)

ケラニ川同様、本調査のコンポーネント 2 (早期警報システム) に係るパイロット事業により自動水位計と雨量計が設置されている。これは、調査対象地域における非構造物対策の一つとして効果を発揮できる対策としてパイロット事業で実証された。

4.6.2 基本戦略

カル川洪水管理計画の基本戦略を以下に示す。

- (1) 対象区域：(i)ラトナプラ、(ii)下流無堤区間（カルタラ）
- (2) 対策の計画規模：

ラトナプラ	短期計画	長期計画
	1/10 ($Q_{peak}=850 \text{ m}^3/\text{s}$)	1/30 ($Q_{peak}=1,130 \text{ m}^3/\text{s}$)
カルタラ	短期計画	長期計画
	1/10 ($Q_{peak}=1,700 \text{ m}^3/\text{s}$)	1/30 ($Q_{peak}=2,300 \text{ m}^3/\text{s}$)

- (3) 洪水防御の基本戦略：

- 下流域での治水安全度を引き上げること
- マルワラダム計画には解決すべき課題が多く残されているため、短期計画には含めない。長期計画においては、治水専用ダムと代替案の比較検討を行う。その際、多目的ダムとしての既往プレ・フィージビリティ調査結果を参考とする。
- ラトナプラおよびカルタラでの洪水対策を優先すること
- 中・下流域に広がる耕作地における氾濫に対する洪水防御を進めること

4.7 代替案の設定

構造物対策の基本方針に基づき、代替案を以下のとおり設定した。

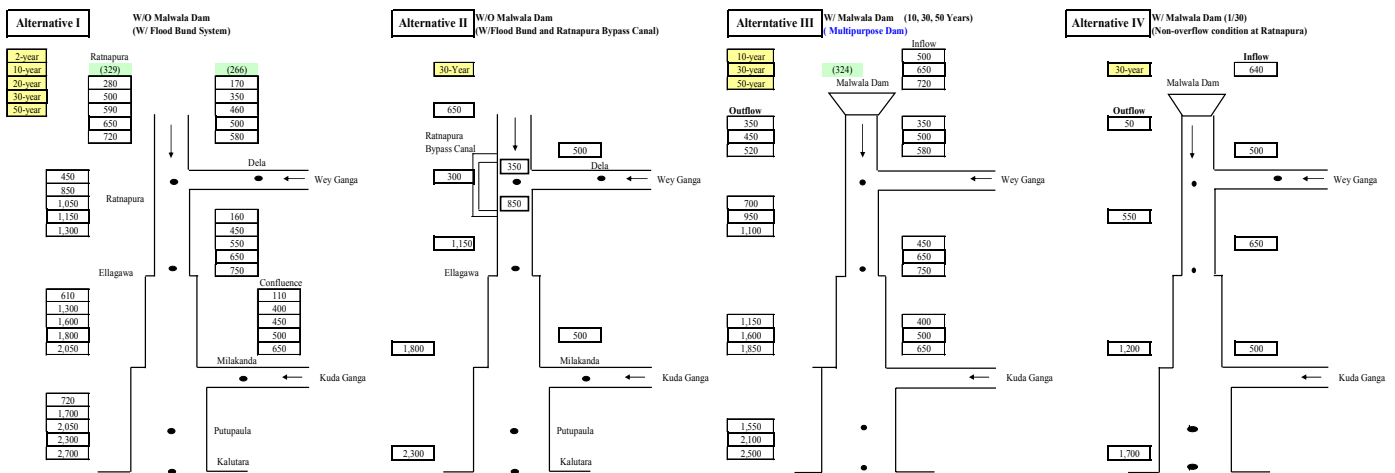
表II-20 構造物対策の代替案（カル川）

代替案	短期計画	長期計画
I	(代替案 I、II、III 共通の対策として)	堤防の嵩上げ
II	・ 堤防整備(ラトナプラ)	バイパス (ラトナプラ)
III	・ 堤防整備(カルタラ地区下流区間)	堤防の嵩上げ
	・ 早期警報およびモニタリングシステム	ダム (多目的ダム) (マルワラダム)
IV	・ 堤防整備(下流区間)	ダム (治水目的) (マルワラダム)
	・ 早期警報およびモニタリングシステム	

出典: JICA 調査団

洪水流量配分

各代替案での確率洪水流量配分を図II-9 に示す。



図II-9 確率洪水流量配分図（カル川）

本調査では、スリランカ及び国際的な技術基準を適用してこれら構造物を検討した。短期計画では、表II-21 に示す構造物対策の予備設計を行った。

表II-21 構造物対策の代替案（短期計画）

構造物対策	基本諸元
下流区間での堤防整備（短期計画）	10年確率規模（既設堤防の上流側） -左岸：9,625 m（平均 H=3.3m） -右岸：11,730 m（平均 H=3.2m） 新規：樋管 24 基
ラトナプラでの堤防整備（短期計画）	10年確率規模（既設堤防の上流側） -左岸：6,200 m（平均 H=4.0m） -右岸：6,400 m（平均 H=4.0m） 新規：樋管 9 基
早期警報およびモニタリングシステム	雨量計 6 基および気象観測所 3 箇所の新設

出典: JICA 調査団

長期計画の構造物施設諸元を表II-22 に示す。

表II-22 構造物対策の代替案（長期計画）

構造物対策	備考
堤防の嵩上げ	20年確率規模（既設堤防の上流側） -左岸：9,625 m -右岸：11,730 m
新規の排水ポンプ施設	13 基（カルタラ地区）
ラトナプラでのバイパス	計画流量 200 m ³ /s, 延長 9.0 km（マルワラダム下流～ラトナプラ下流）
ダム（マルワラダム）	マルワラダム（高さ 63.0 m, 堤体積 278 百万 m ³ ）*

*:2007年 Pre-F/S 参照

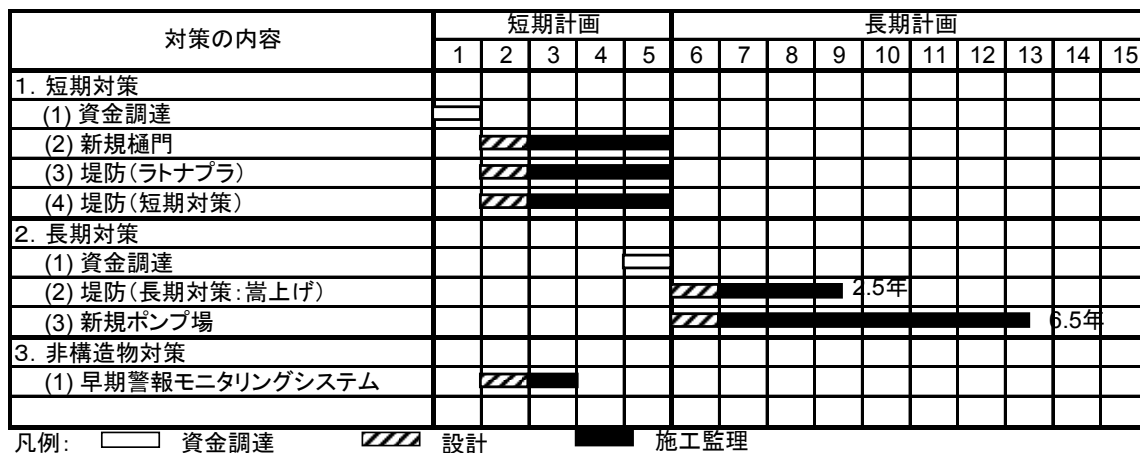
出典: JICA 調査団

4.8 非構造物対策の推進

ケラニ川での非構造物対策に準じる。

4.9 施工計画および積算

事業の実施計画を図II-10 に示す。



出典: JICA 調査団

図II-10 事業実施計画（カル川）
（比較検討の結果、代替案Ⅰが選定された）

代替案の事業費を表II-23 に示す。

表II-23 代替案の事業費（カル川）

(単位：1,000 ドル)

項目	代替案 I	代替案 II	代替案 III	代替案 IV
	堤防整備 + 堤防嵩上げ	堤防整備 + バイパス(ラトナプラ) + 堤防嵩上げ	堤防整備 + ダム(多目的) (マルワラダム)	堤防整備 + ダム(治水専用) (マルワラダム)
I. 直接工事費				
短期計画	45,559	43,319	43,319	9,945
長期計画	25,316	59,082	114,813	105,101
II. 用地取得費	24,397	24,740	45,568	26,835
III. エンジニアリングサービス費	10,631	15,360	23,720	17,257
IV. 管理費	2,118	2,850	4,548	3,183
V. 物価上昇予備費	68,955	116,577	306,521	266,189
VI. 物理的予備費	10,802	14,535	23,197	16,232
VII. 税金	12,226	17,664	27,278	19,845
合計	200,000	294,100	589,000	464,600

出典: JICA 調査団

維持管理費を表II-24 に示す。

表II-24 年間維持管理費（カル川）

(単位：1,000 ドル)

維持管理費	代替案 I	代替案 II	代替案 III	代替案 IV
合計	1,035	1,351	1,908	1,477

出典: JICA 調査団

4.10 事業便益

4.10.1 代替案の事業便益

事業便益算定のための項目および条件はケラニ川の場合と同様とした。各代替案による事業便益を表II-25 に示す。

表II-25 各代替案の事業便益

(単位：百万 Rs./年)

代替案		短期	長期
代替案 I	堤防整備	1,223.5	1,584.4
代替案 II	堤防整備+ バイパス	1,399.3	1,961.5
代替案 III	ダム (多目的)	1,399.3	2,857.7
代替案 IV	ダム (治水専用)	1,016.8	2,743.6

出典: JICA 調査団

各代替案の評価結果の概要を表II-26 に示す。

表II-26 各代替案の評価結果概要

指標	代替案I (堤防案)		代替案II(堤防+バイパス案)		代替案III (多目的ダム案)		代替案IV (治水ダム案)	
	全体計画 (短期+長期)	短期計画 (優先事業)	全体計画 (短期+長期)	短期計画	全体計画 (短期+長期)	短期計画	全体計画 (短期+長期)	短期計画
B-C (百万Rs.)	7,438	7,617	-1,399	1,484	-663	2,065	2783	4227
B/C (%)	2.24	2.89	0.88	1.21	0.95	1.32	1.32	3.08
EIRR (%)	20.7	23.5	8.8	11.8	9.5	12.7	13.4	24.4

出典: JICA 調査団

4.11 環境社会配慮

カル川で検討された構造物対策の実施に伴い、現時点で想定される主な環境社会影響とその回避・低減のための対策は以下のとおりである。

(1) 樋管の新設（影響の程度：軽微）

新規樋管の設置に伴い、工事中に水の濁り等による河川水質への一時的な影響が想定される。工事箇所は 33 箇所になるが、工事規模が小さく、地域的な集中も見られないことから影響は軽微と考えられる。一方、樋管設置箇所の設定にあたっては家屋の位置等の周辺環境に配慮するとともに、近隣の地域住民とその位置について合意形成が必要である。

(2) 輪中堤の整備（ラトナプラ）（影響の程度：中程度）

ラトナプラの中心地区は建築物の密度も高く、輪中堤の整備のためには一部川沿いの住宅や商業施設の移転が発生する事が想定される。発生する住民移転の数を最小限にするためには、ラトナプラ中心部における輪中堤の構造としてコンクリート壁を採用するとともに、輪中堤の計画位置を十分に検討する必要がある。また、発生が避けられない移転については用地補償のみならず地域住民の生活や経済活動に対する補償方法も明確にした住民移転アクションプランの作成および実施が必要である。なお、ラトナプラ中心部以外の地域では輪中堤設置箇所の検討にあたって家屋の位置に配慮するとともに、通路・階段の整備等により河川へのアクセスを確保する必要がある。

(3) 堤防（短期計画）（影響の程度：中程度）

堤防区間の延長によって河川沿いに居住する住民の移転が発生する可能性が高い。河川沿いは人口密集地域ではないため、現時点で大規模な移転は想定されないが、事業実施に際しては詳細な調査を実施し移転住民への十分な補償を検討するとともに、構造物の設置位置自体を住民移転が最小限となるよう設計する必要がある。また、堤防の延長により周辺住民の河川へのアクセスが阻害される可能性があり、アクセスを確保するための通路・階段の整備等の対策を講じる必要がある。

(4) 堤防（長期計画）（影響の程度：軽微）

長期計画では堤防の嵩上げが計画されるため、周辺住民の河川へのアクセスが阻害される可能性がある。洗濯場や渡し船へのアクセスを確保するための通路・階段の整備等の対策を講じることにより、影響は軽微になると考えられる。

(5) 排水ポンプの新設（影響の程度：軽微）

排水ポンプ施設の新設に伴い、工事中に水の濁り等による河川水質への一時的な影響が想定されるが、規模が小さく、地域的な集中も見られないことから影響は軽微と考えられる。ポンプ施設設置の際には用地収用を最小化するため、極力河川の敷地内への設置を検討する。

(6) ダム貯水池（Malwala）（影響の程度：大）

カル川上流部において計画されている Malwala ダムはその貯水湖が東西 4km、南北 8km 程におよぶことが想定される。ダム建設により河川沿いに形成された多くの集落が水没することになり、数百年規模での住民移転が発生すると考えられる。また、河川沿いの平地部に形成された農地や地場産業のひとつである貴石採掘の現場が消失することになる。当該地域を通過する国道（B 分類）の一部も水没することになり、地域社会への影響はダムサイトにとどまらない。

この他、負の影響が想定される項目として文化遺産、湖沼・河川流況、動植物・生物多様性、景観、建設中の周辺環境への影響などがあり、事業の実施は総じて地域社会に対して大きな影響を与えるものと想定される。実施にあたっての影響を最小限とするためには用地補償のみならず地域住民の生活や経済活動に対する補償方法も明確にした住民移転アクションプランの作成および実施が必要である。同アクションプランは詳細な社会経済調査、計画策定段階からの地域住民への情報開示と住民参加・合意形成に基づいて策定される必要がある。

(7) ラトナプラバイパス水路（影響の程度：中程度）

ラトナプラバイパス水路は主に農地を通過する形で計画されているため、用地収用に伴う直接的な住民移転の発生は一部にとどまることが想定される。一方、農地の消失に伴う地域住民の経済活動に対する影響は考えられるため、これに対する補償を検討する必要がある。また、当該地域は農地として開発されているため原生の自然が残っているわけではないが、豊富な動植物層の分布が考えられる。事業の実施にあたってはバイパス水路建設による動植物・生態系への影響について詳細に調査・検討する必要がある。

比較検討の結果を表II-27に示す。自然・社会環境について、代替案 III および IV は影響が大きい、代替案 I、II の影響は小さい。従って、自然・社会環境の観点からは、代替案 I または代替案 II の選択が望ましい。

表II-27 カル川での代替案の初期環境評価結果

		代替案				事業を実施しない
		I	II	III	IV	
環境 社会 配慮	樋管の新設	C	C	C	C	D
	輪中堤の整備（ラトナプラ）	B	B	B	D	D
	堤防（短期計画）	B	B	B	B	D
	堤防（長期計画）	C	C	C	D	D
	排水ポンプの新設	C	C	C	C	D
	ダム貯水池(Malwala)	D	D	A	A	D
	ラトナプラバイパス水路	D	B	D	D	D
洪水防御効果		○	○	○	○	×
ESC の観点からの評価 (代替案の負の影響)		B	B	A	A	D

ESC: 環境社会配慮 A: 影響が大きい B: 中程度の影響 C: 影響が軽微または不明 D: 影響なし
○ 効果あり × 効果なし

出典: JICA 調査団

4.12 カル川流域洪水防御マスタープラン

財務分析の結果、全体では代替案 I（堤防整備）、短期計画では代替案 IV（治水専用ダム）が最も望ましいと評価された。IEE では、代替案 I は環境社会配慮の観点から「影響は中程度」（カテゴリー-B）との結果を得た。マルワラダム計画は社会環境に対する深刻な影響が考えられる現況下では実施が難しい。他方、技術的難易度という観点からは、灌漑局は代替案全ての類似案件の実施経験を持っており、また設計および施工に複雑な制約がないので全て同等である。以上から、カル川流域の洪水防御マスタープランとして代替案 I を採用する。

短期計画、長期計画の実施項目を表II-28 および表II-29 に示す。

(1) 構造物対策

表II-28 全体計画での主要な構造物対策

短期計画

項目	主要諸元
1. 樋管の新設	24 基(カルタラ地区)、9 基(ラトナプラ地区)
2. 輪中堤	コンクリート擁壁 (L=6.2 km, H=4.0 m) 土堤 (L=6.4 km, H=4.0 m)
3. 堤防整備	-左岸：9,625 m (平均 H=3.3m) -右岸：11,730 m (平均 H=3.2m)

長期計画

項目	主要諸元
4. 堤防の嵩上げ	-左岸：9,625 m (平均 H=4.7m) -右岸：11,730 m (平均 H=4.4m)
5. 排水ポンプ施設の新設	13 箇所 (Q=3.0 m ³ /s, H=5.0 m)

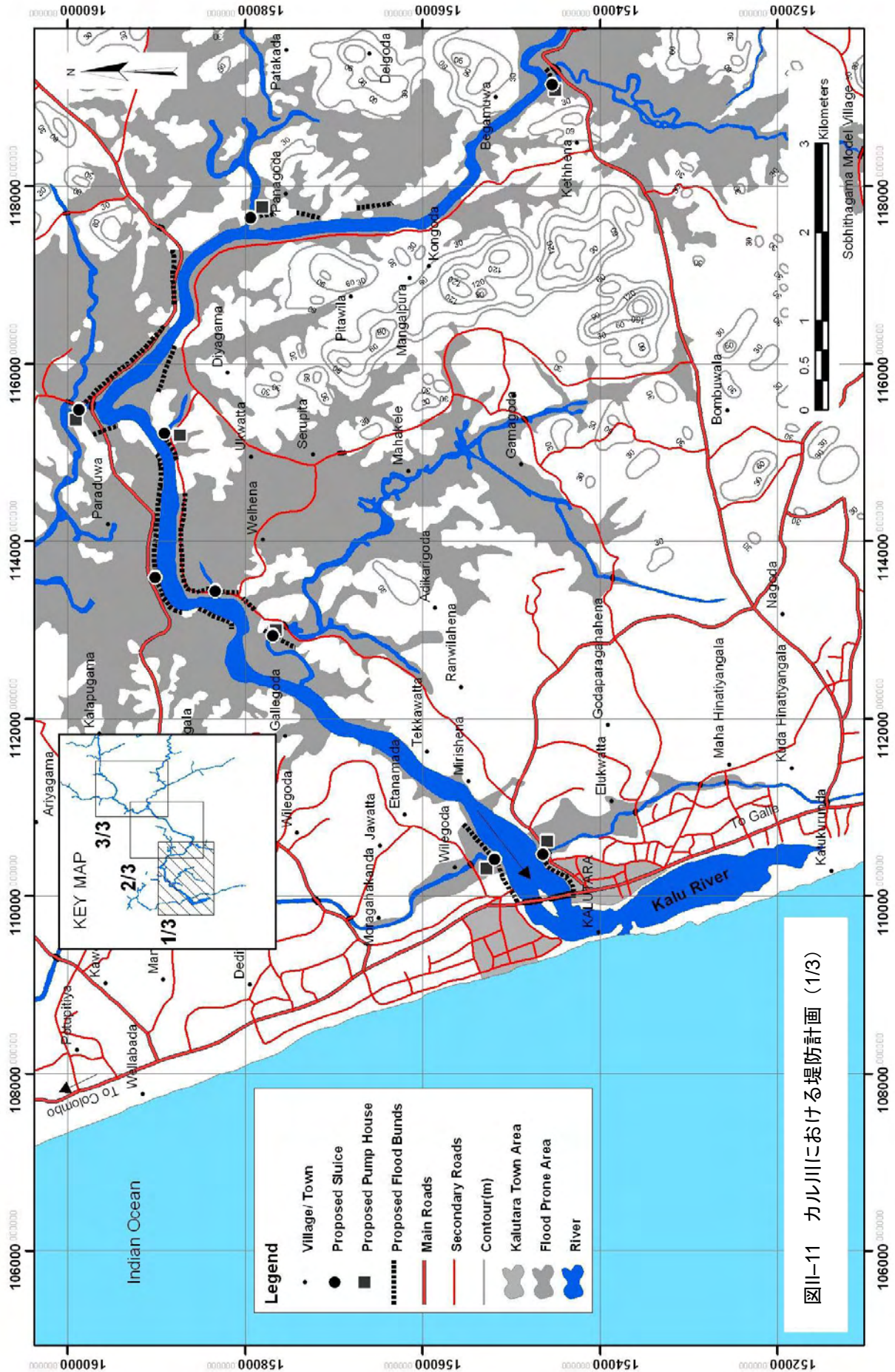
出典: JICA 調査団

(2) 非構造物対策 (短期計画と並行して実施)

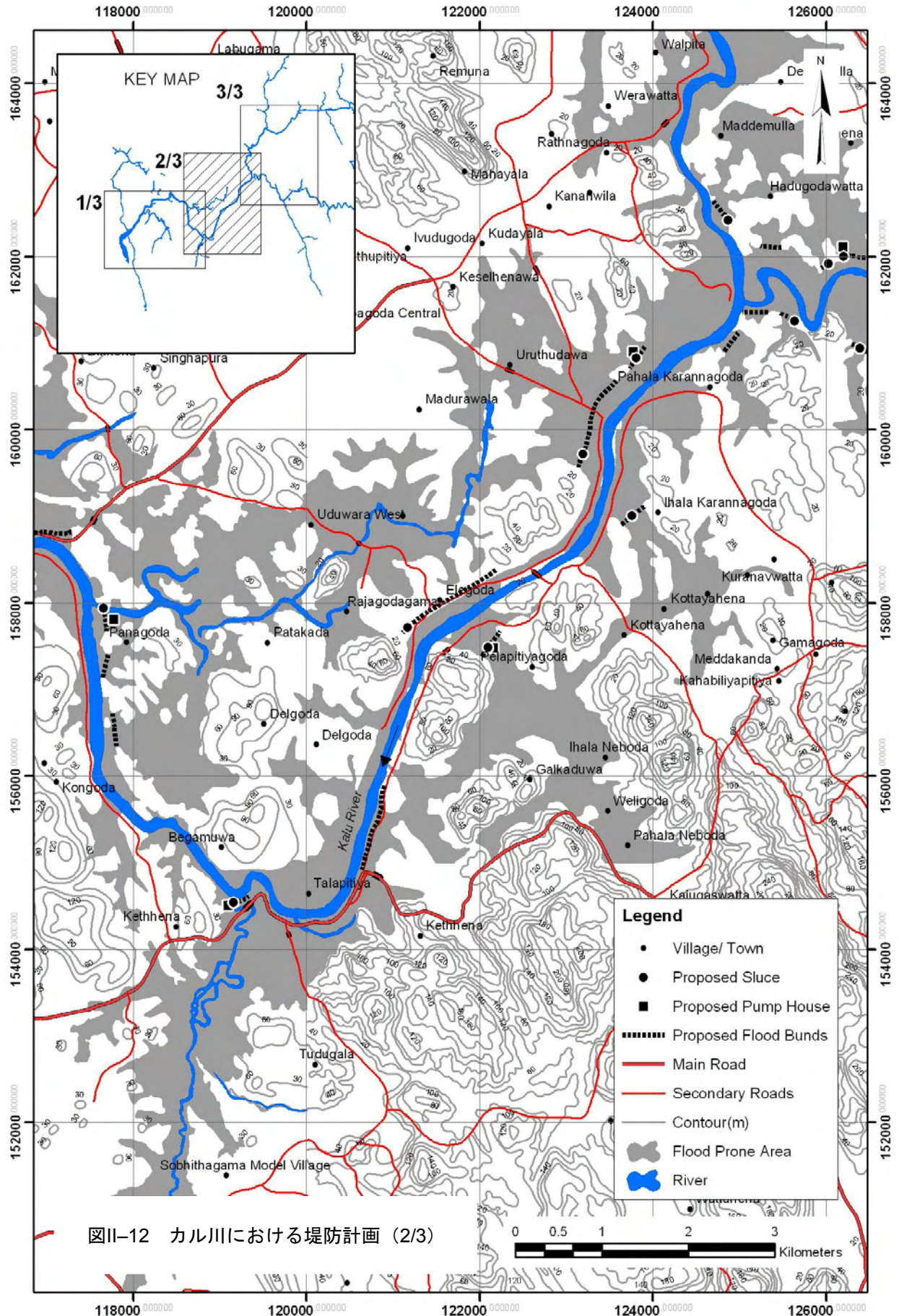
表II-29 推進すべき非構造物対策

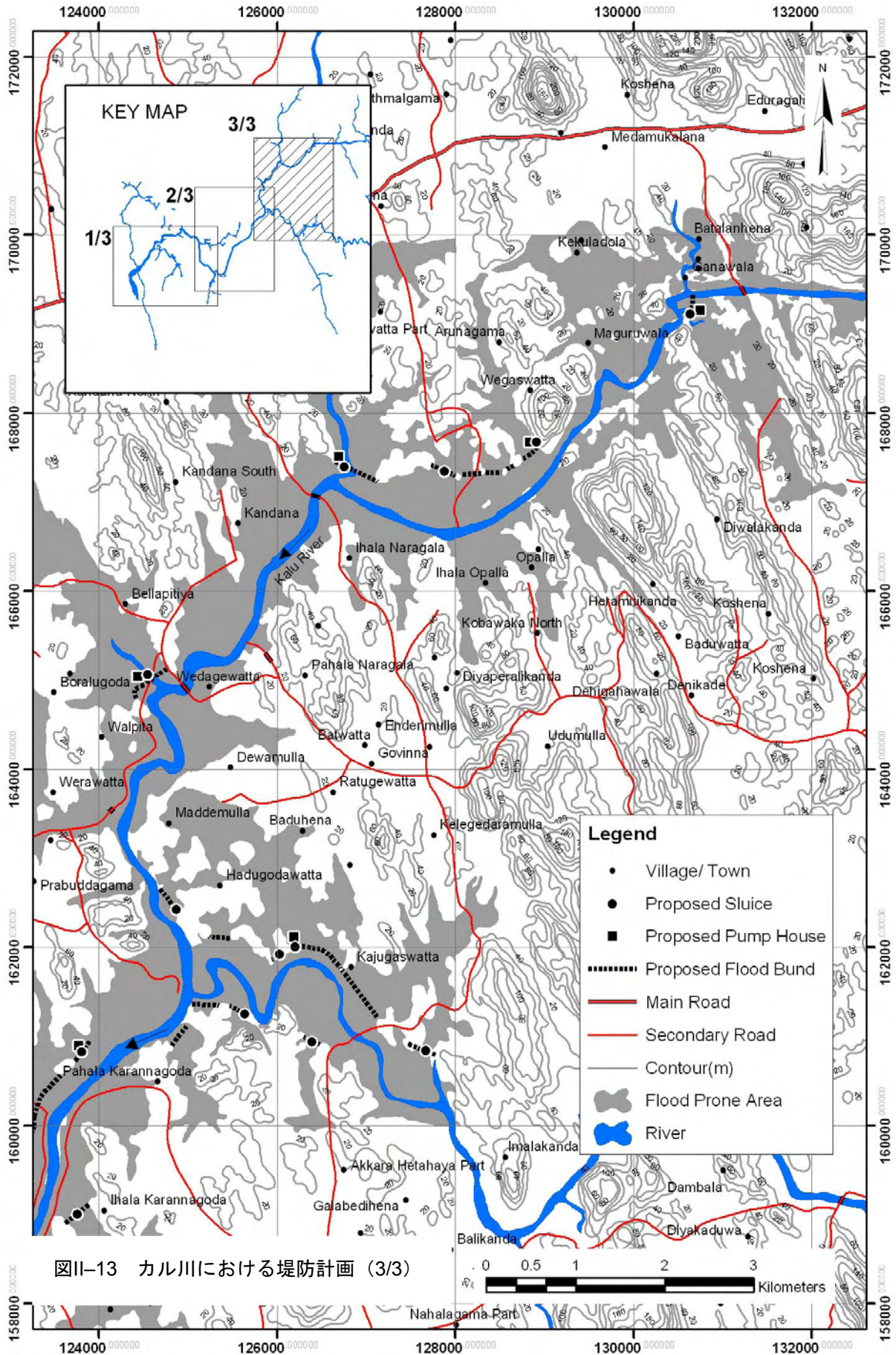
1. 早期警報およびモニタリングシステム	<ul style="list-style-type: none"> 雨量計 6 基 水位観測所 3 箇所
2. 都市部開発の規制	<ul style="list-style-type: none"> 土地利用の管理および監視 洪水氾濫区域での宅地開発の規制 洪水ハザードマップの作成
3. 洪水に強い家屋建設の推進	<ul style="list-style-type: none"> 建築物の高床化 家屋の重層化 耐水性の壁や家屋の適用
4. 水防活動の推進	<ul style="list-style-type: none"> 地域での防災情報の普及 安全な地域への避 (洪水時) 家屋、ビル内での家財移動 (浸水対策)
5. 実施機関の組織強化	<ul style="list-style-type: none"> 事業実施に関する合意形成の仕組み構築 都市区画・土地利用開発事業との調整

出典: JICA 調査団



図II-11 カル川における堤防計画 (1/3)





図II-13 カル川における堤防計画 (3/3)

