

ヴェネズエラ共和国
チャマ川流域防災計画調査
主 報 告 書

1990年2月

国際協力事業団

社 調 二

90-018

ヴェネズエラ共和国
チャマ川流域防災計画調査
主 報 告 書

JICA LIBRARY



1080095111

20614

1990年2月

国際協力事業団

国際協力事業団

20614

序 文

日本国政府は、ヴェネズエラ共和国政府の要請に基づき、同国のチャマ川流域防災計画に係る開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施した。

当事業団は、1988年11月から1989年3月及び1989年6月から同年9月まで 株式会社 建設技術研究所 中広三男氏を団長とし、同社及び日本工営 株式会社 から成される調査団を現地に派遣した。

調査団は、ヴェネズエラ国政府関係者と協議を行うとともに、プロジェクト・サイト調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が本プロジェクトの推進に寄与するとともに、ひいては両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものである。

終わりに、本件調査に御協力と御支援をいただいた両国の関係各位に対し、心より感謝の意を表するものである。

1990年2月

国際協力事業団

総裁 柳谷謙介

ヴェネズエラ国チャマ川流域防災計画調査

伝 達 状

平成2年2月28日

国際協力事業団
総裁 柳谷 謙介 殿

ヴェネズエラ国チャマ川流域防災計画調査の最終報告書を提出致します。本報告書は、昭和63年11月19日及び平成元年5月22日に国際協力事業団と株式会社建設技術研究所及び日本工営株式会社との間で締結された契約に基づき結成された調査団によって作成されました。

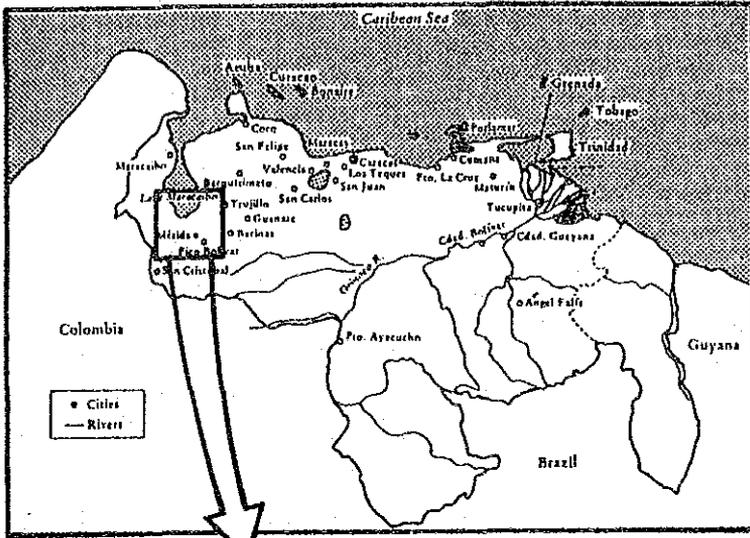
本調査は、チャマ川流域における砂防及び洪水防御を目的としたマスタープランの策定と、マスタープランの枠組の中で選定した緊急計画に対するアクションプランの策定を含んでいます。

本最終報告書は、4巻より構成されています。第1巻は、主報告書で全調査結果の要約、計画策定の詳細な手順、及び結論と勧告等を記述しています。第2巻はサポーティングレポートで、各専門分野の詳細な調査内容を記述しています。第3巻は関連する地図・構造図面等を収めた図面集であり、又、第4巻はデータ集で、現地踏査記録、水文資料・計算結果等を編集したものです。

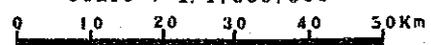
本報告書を提出するにあたり、全調査期間に渡って多大なご支援を賜った貴事業団、作業監理委員会、外務省、建設省、在ヴェネズエラ日本大使館の諸賢ならびにヴェネズエラ政府諸機関各位に対し、心から感謝の意を表するとともに、本調査の成果がチャマ川流域の社会経済発展の一助となることを希望する次第であります。

調 査 団 長
中 広 三 男

位置圖

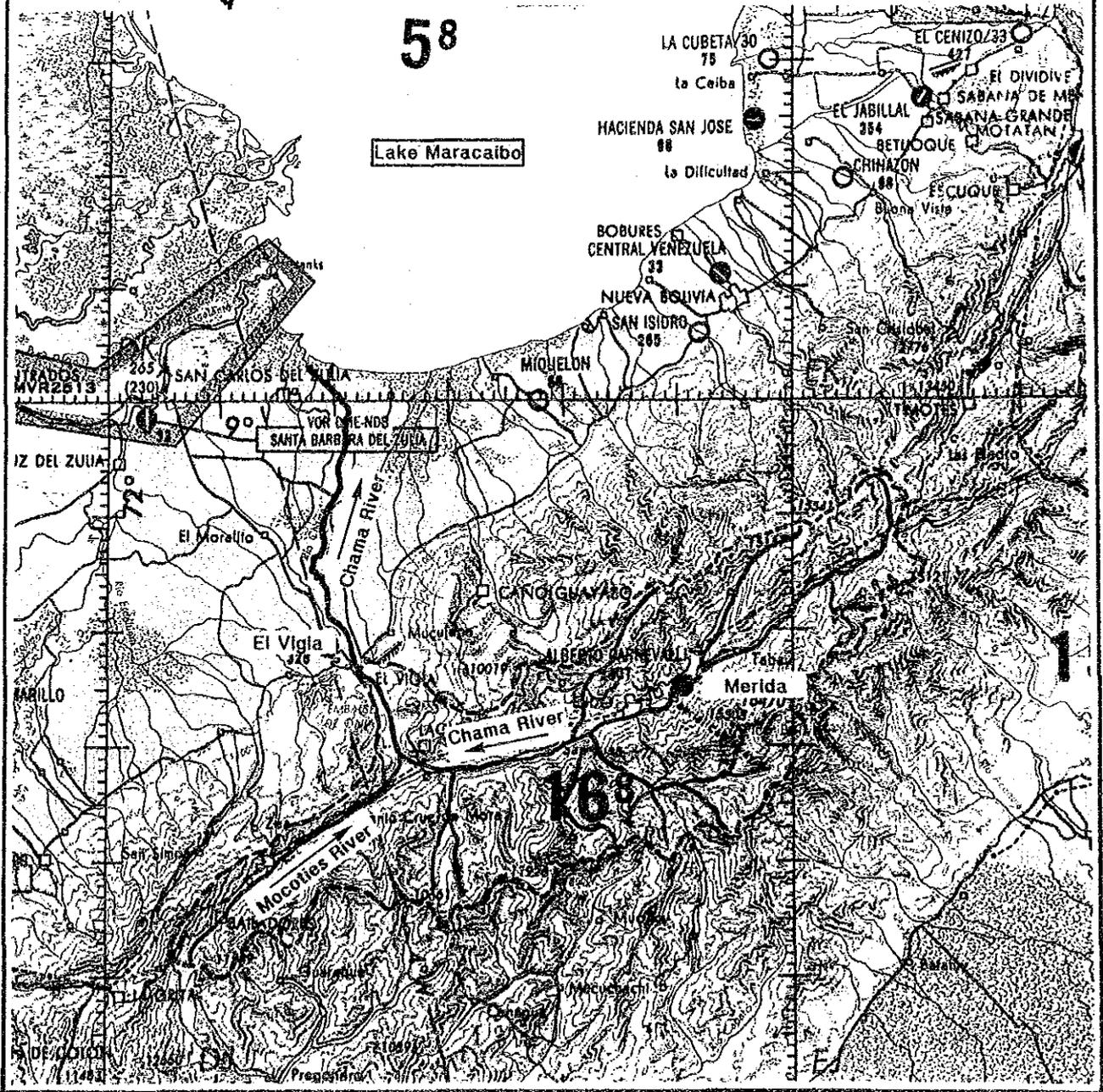


Scale : 1/1,000,000



58

Lake Maracaibo





Flood Control (Basin Wide Project)

River Improvement	53.4km
Reinforcement of Existing Dike	10.4km
Groundsill	1 nos
Puerto Chama Bridge Extension	1 nos

Sediment Control (Basin Wide Project)

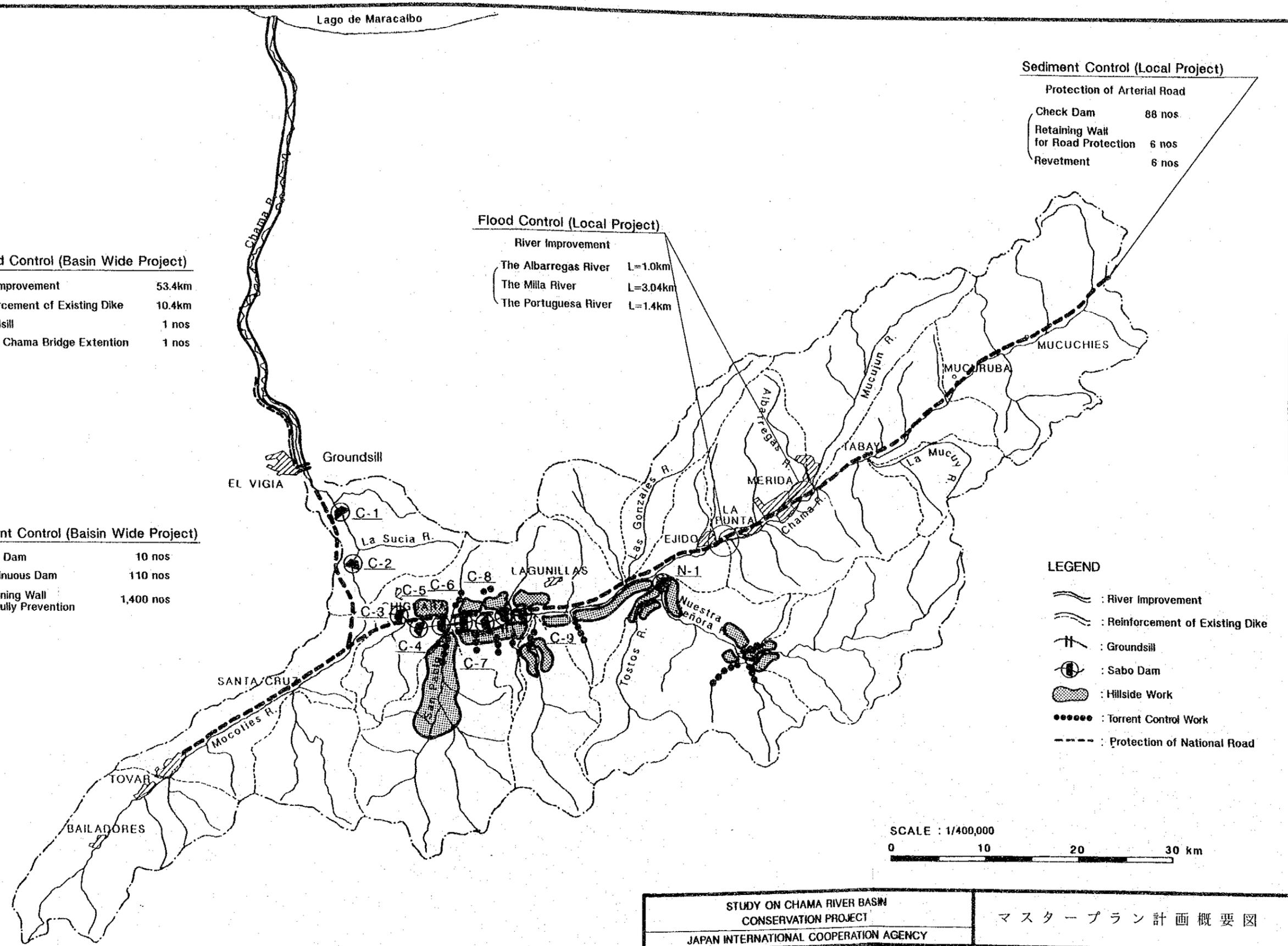
Sabo Dam	10 nos
Continuous Dam	110 nos
Retaining Wall for Gully Prevention	1,400 nos

Flood Control (Local Project)

River Improvement	
The Albarregas River	L=1.0km
The Milla River	L=3.04km
The Portuguesa River	L=1.4km

Sediment Control (Local Project)

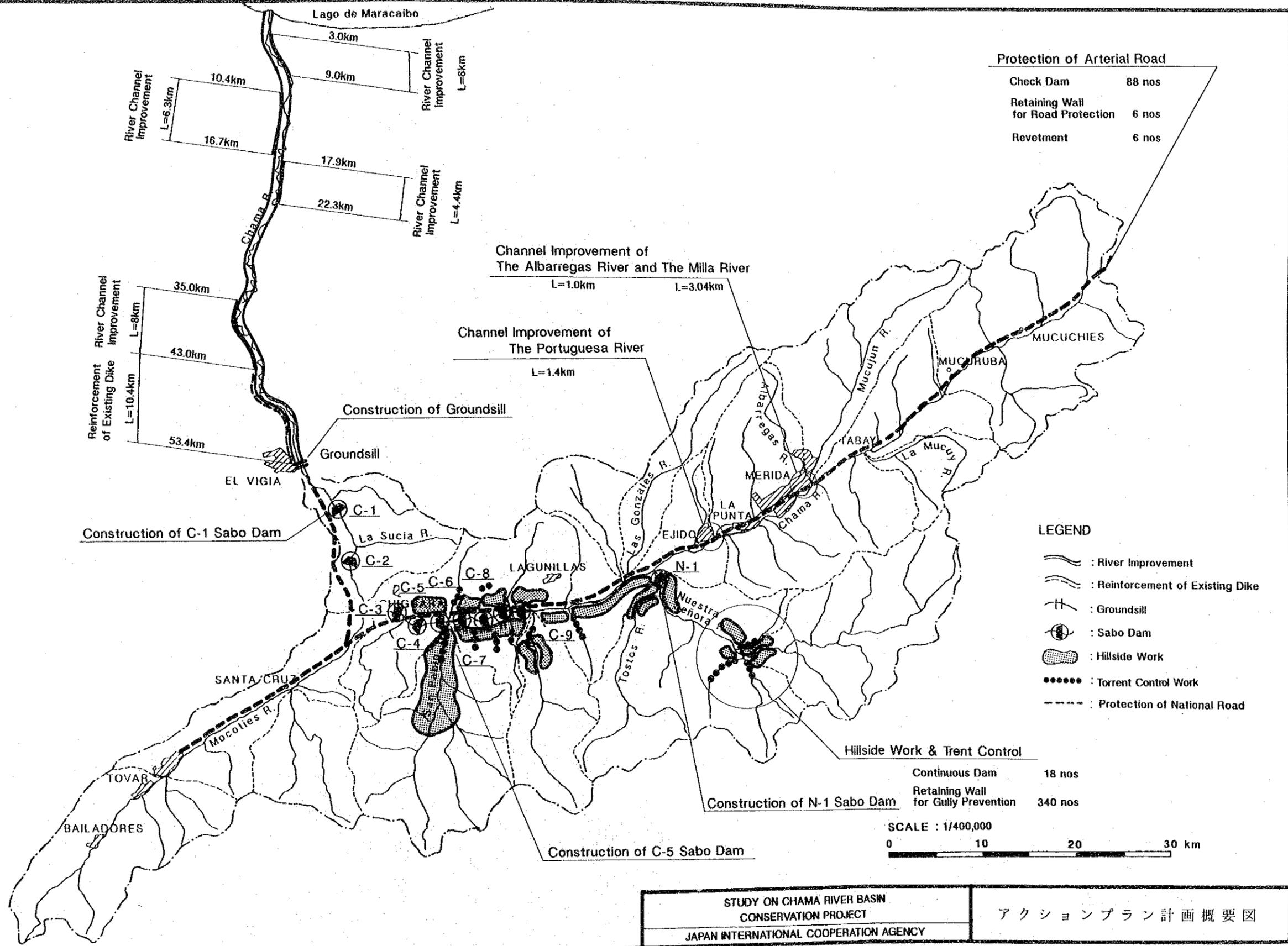
Protection of Arterial Road	
Check Dam	88 nos
Retaining Wall for Road Protection	6 nos
Revetment	6 nos



LEGEND

- : River Improvement
- : Reinforcement of Existing Dike
- : Groundsill
- : Sabo Dam
- : Hillside Work
- : Torrent Control Work
- : Protection of National Road

SCALE : 1/400,000
 0 10 20 30 km



Protection of Arterial Road

Check Dam	88 nos
Retaining Wall for Road Protection	6 nos
Revetment	6 nos

LEGEND

- : River Improvement
- : Reinforcement of Existing Dike
- : Groundsill
- : Sabo Dam
- : Hillside Work
- : Torrent Control Work
- : Protection of National Road

Hillside Work & Trent Control

Continuous Dam	18 nos
Retaining Wall for Gully Prevention	340 nos



要 約

1. プロジェクトの背景

チャマ川流域は脆弱な地質で覆われているため、毎年のように土砂、洪水災害に見舞われている。ヴェネズエラ政府は維持、管理、復旧作業の実施によりこれらの災害に対処しているものの、流域開発、都市開発等も相俟って災害状況は改善されておらず、将来には災害が更に増大すると予想されている。

このことから従来から効果的な防災対策事業の実施が望まれており、このような背景のもとに、流域保全のマスタープランおよび緊急部分についてのアクションプランの検討が要請された。

2. 目的

本調査は土石流防止、土砂侵食流出防止、洪水防御を主眼としたチャマ川流域保全のマスタープランおよびアクションプランの策定を目的としている。

3. 計画策定の方針

チャマ川流域防災計画はマスタープランは2020年、アクションプランが2000年を目標年次として策定する。

この防止計画の防御対象資産は以下のものである。

- 下流域の農業地帯
- 幹線道路2号、および7号線
- メリダ、エヒドの都市域

これらの資産を災害から守るための施設設置計画対象域を考えた場合、その対象地域は前述の資産内容によって溪流等極めて小流域のものから流域全体を対象とする場合と大きく異なる。

このため、これら防御対象資産を同一レベルで一括して取り扱い計画策定するのは資料の精度から考えて無理であると思われるところから、ここではこの防災計画を以下に示すようにマスタープラン、アクションプランとも防御対象資産に応じて広域防災計画と地域防災計画の2つのサブプロジェクトに分けて策定する。

ただしプロジェクト評価そのものは一括して行う。

サブプロジェクト	防御対象資産	計画対象区域	防御対象内容
1. 広域防災計画	下流域農業地域	全流域	砂防および洪水防御
2. 地域防災計画	幹線道路2号、 7号線	溪流および急傾斜地	砂防
	メリダ、エヒドの都市域	溪流	洪水防御

4. マスタープラン

4.1 計画策定

マスタープランは砂防施設、洪水防御施設から成り、この計画条件および最適案は以下の様である。

4.1.1 広域防災計画

砂 防

砂防基準地点エルビヒアの計画年流出土砂量は9,600,000^m³/年で、この内訳は流域流出土砂量5,850,000^m³/年と河道侵食量が3,750,000^m³/年となっている。

この流出土砂の調節計画をたてるうえでの各施設への割り振りは流出土砂量の一部2,580,000^m³/年と河道侵食量3,750,000^m³/年を砂防ダム10基で調節扞止し、残りの流出土砂量1,150,000^m³/年を溪流工と山腹工で生産抑制、更に残りの2,120,000^m³/年は河川改修による土砂流送能力の増大によりマラカイボ湖に流出させる。

このうち溪流工と山腹工による生産抑制割り振りについてみると、溪流工事では110基からなる低ダム群を設置し、山腹工では1400基の擁壁を設置するという工事内容となっている。

洪水防御

下流域の氾濫に対する洪水防御は100年確率流量2,300^m³/sを計画流量としチャマ川本川の河川改修によって行う。

この河川改修計画において蛇行の中心線に沿って決定した計画河道法線による河川改修区間距離は53.4kmであり、計画標準断面は600mの河道巾をもつ単断面形状とした。河川改修の主要工事内容は河床掘削、堤防建設、護岸工、水制工、床止め工とプエル

トチャマ橋の延長である。

4.1.2 地域防災計画

砂 防

幹線道路2号線の土砂災害の内容は土砂流、斜面崩壊、河岸侵食等である。

この災害発生危険カ所は170カ所ありこのうち100カ所が100年確率雨量が発生した場合災害を生じると考えられる。

この災害防止工事は災害の形態により以下のものを適用する。

- 土石流／土砂流 : チェックダム
- 斜面崩壊 : 擁壁
- 河岸侵食 : 護岸

洪水防御

メリダ、エヒド市を流下するアルバレガス川、ミジャ川、ポルトゲス川沿いの氾濫域にたいしては、それぞれ1,000m、3,040m、1,400m区間の河川改修によって災害を防ぐ。

4.2 施工計画

マスタープランは広域防災計画、地域防災計画とも完成目標年次を2020年としている。この場合、地域防災計画は計画の重要性から判断し、広域防災計画と並行して実施する。

この施工計画は各計画を構成する工事種目についてそれぞれ技術的、経済的、社会的な判断のもとに優先順位をつけ、この優先順位に従って実施していくものとした。

(図-2参照)

4.3 事業費

事業費は直接工事費、用地買収費、事業運営費、エンジニアリングサービス費、予備費等の各項目について積算した結果以下の様である。

広域防災計画	:	3,503 百万ボリバル
地域防災計画	:	48 百万ボリバル
計		3,551 百万ボリバル

4.4 プロジェクト評価

この計画実施による年平均便益は将来の農業生産および幹線道路の交通量の伸びを考慮した結果、2020年時点では231百万ポリバルに達する。

この平均便益と事業費をもとに、内部収益率(IRR)と年間割引率8%で便益費用比率(B/C)、便益費用差(NPV)をもとめた結果は以下のようである。

内部収益率 : 10.7%

便益費用比率 : 1.22

便益費用差 : 244.2百万ポリバル

一般にプロジェクト評価は経済性をもとに判断されるが、このマスタープランはIRR 10.7%と高く、また他の指標も高い値を示している。このことから、このマスタープラン実施によってもたらされる経済的効果は充分大きいと判断される。

5. アクションプラン

5.1 計画策定

緊急計画のアクションプランはマスタープランの枠組みに沿って200年で完成しうるよう、マスタープラン施工計画の最初の10年間に含まれる工事内容を選択した。これらの工事はチャマ川流域の土砂、洪水災害を防ぐため、技術的経済的にみて最優先で実施すべき内容のものである。

5.1.1 広域防災計画

砂防

アクションプランで実施する砂防の事業量はマスタープランで必要な事業量の1/3を目標とした。この中に含まれる主な砂防施設としては砂防ダム3基(C-1、C-5 およびN-1)、低ダム群18基および擁壁340基である。これらの施設に適用可能な構造物タイプおよび使用材料について検討した結果 C-1およびN-1 ダムには重力式タイプで材料には粗石コンクリートを採用、ボコノ断層上に建設予定のC-5 ダムは鋼製型枠タイプを採用した。また、低ダム群および擁壁はすべて重力式タイプ練り石積みを採用した。

洪水防御

アクションプランの洪水防御計画は財政負担を軽減し事業実施を容易にするために計画規模として10年確率洪水流量を採用した。河川改修区間にはマスタープランの施工計画に従い全長53.4km区間のうち延べ24.7km区間の片岸堤計画川巾 600mによる部分改修および既設堤防12km区間(片岸堤)の補強を行う。

この堤防建設に必要な堤防材料について現地調査した結果では現地堤防設置予定カ所周辺から得られる河床材料は堤防材料として充分適用可能と判断した。

この堤防の侵食、決壊防止のために、流速の早い区間については蛇籠による水制を設置、また水衝部には護岸を施す。さらにチャマ橋の基礎を河床低下から保護するために橋下流近傍に重力式粗石コンクリートによる床止め工を設置する。

5.1.2 地域防災計画

砂 防

幹線道路を土砂災害から防ぐ地域計画はマスタープランと同様100年確率規模の降雨量で発生する可能性のある災害発生可能地域を対象に対策工事を行う。この対策工事に含まれる施設はチェックダム88基、擁壁6基、護岸6基であるがこれら施設は重力式練り石積みを適用する。

洪水防御

メリダ、エヒド市の洪水被害防止に必要な事業量の本計画に占める割合は僅かなものであり、これら市街地の洪水被害に対して十分な安全性を確保する意味からマスタープランで求められたアルバレス川1km、ミジャ川3.0km、ポルトゲス川1.4kmの河川改修をそのままアクションプランに適用する。

5.2 施工計画

アクションプランの施工計画は技術的、経済的、社会的見地から求められた優先順位に従い2000年を完成目標として設定する。

5.3 事業費

マスタープランと同様アクションプランの事業費は1989年1月時点の単価を用いて求めた。この事業費は次のようになる。

広域防災計画	1,055 百万ポリバル
地域防災計画	48 百万ポリバル
計	1,103 百万ポリバル

5.4 プロジェクト評価

年平均便益はマスタープランと同様、将来の資産、交通量増を考えると2000年時点で126百万ポリバルとなりその結果内部収益率（IRR）便益費用比率（B/C）、便益費用差（NPV）を求めた結果は以下に示すようであり、この事業実施による経済収益性は非常に高いと判断される。

内部収益率 : 13.2%

便益費用比率 : 1.58

便益費用差 : 346.5百万ポリバル

5.5 非構造物対策

非構造物対策は、構造物対策による施設が完成するまでの間に生じる災害を出来るだけ減少させるとともに、施設が完成した後も構造物対策を補完する方法として有効である。

当流域における非構造物対策としては災害、地形、土地利用等の特性を考え、主に以下の対策を選定した。

- (1) 流域内の無秩序な土地開発に対する土地利用規制
- (2) 洪水予警報システムの策定
- (3) 河川管理、水防体制の強化

6. 結論および勧告

チャマ川流域保全計画のマスタープランは目標年次を2020年として計画策定し、この枠組みの中で本計画の早期実施を目指し、目標年次2000年としてアクションプランを選定した。この結果アクションプランの内部収益率は13.2%と高く技術的、経済的、財政

的にみて充分実現可能であり、この事業によって社会的な好影響が期待されることから、早急に本計画を次の詳細設計、事業実施の段階に移すことが望まれる。

ただ、このアクションプランを現在MARNRが持つ予算で実施するのは困難と判断されるところから、外国の援助機関からの資金を導入する必要がある。

このため政府内に委員会を設置し、この資金導入のための準備を進めることを勧告する。

主要計画諸元

1. マスタープラン

1.1 広域防災計画

砂防

(a) 計画土砂量

- 計画流出土砂量 : 9,600,000 m³/年
- 許容流出土砂量 : 2,120,000 m³/年
- 計画超過土砂量 : 7,480,000 m³/年
 - ・土砂扞止 : 3,750,000 m³/年
 - ・土砂調節 : 2,580,000 m³/年
 - ・生産抑制 : 1,150,000 m³/年

(b) 砂防施設

- 扞止および調節のための砂防ダム10基 : C-1、C-2 およびN-1 ダムは粗石コンクリート、また、C-3 ~ C-9の各ダムは鋼製型枠タイプ

No.	ダム名	高さ	ダム長		ダム堤体積 (m ³)	貯砂容量 (10 ³ m ³)
			堤頂	ダム底		
1	C-1	22	170	100	62,500	6,830
2	C-2	22	120	60	40,500	3,520
3	C-3	11	150	80	17,100	1,620
4	C-4	11	200	150	27,000	2,540
5	C-5	9	230	70	14,600	1,510
6	C-6	11	200	130	25,100	2,330
7	C-7	11	200	100	22,000	2,190
8	C-8	11	150	80	17,100	1,510
9	C-9	11	250	120	27,200	2,090
10	N-1	22	180	120	65,000	1,350
計					318,100	25,490

- 溪流工 110基 : 粗石コンクリートによる低ダム群
- 山腹工 1,400基 : 粗石コンクリートによる擁壁

分割流域No.	河川名	低ダム群	擁壁
8	ヌエストロセニョーラ上流域	18	230
9	“ 下流域	9	110
12	アルボロテ、その他	15	190
13	ラビスカイナ	6	80
14	マルチ、エルモリノ、エルアニス	14	180
15	ラホヤ、その他	18	230
16	サンパブロ	30	380
計		110	1,400

洪水防御

(1) 計画洪水

- 計画規模 : 100年確率
- 計画洪水流量 : 2,300m³/s

(2) 洪水防御方法

- 河川改修 : 53.4km

(3) 洪水防御施設

- 河川改修
 - ・法線および縦断形 : 現河道の蛇行の中心線沿いに設定
 - ・標準横断形 : 単断面、河巾600m
- 掘削 : 1.1×10⁶ m³ (蛇行部ショートカット、河床掘削)
- 堤防 : 盛土 : 1,285,000 m³
 - : 法勾配 : 1:2.0
 - : 管理用道路 : 巾3m、砂利舗装7,200 m²
- 護岸 : 練石積み77,550 m³
- 水制 : シリンダー蛇籠 L=10m、72,400 m³
- 床止め : チャマ橋地点1ヶ所、粗石コンクリート
- プエルトチャマ橋の延長 : 480m延長

1.2 地域防災計画

砂 防

— 幹線道路の災害防止

- ・ 土石流／土砂流 : 88ヶ所重力式粗石コンクリートによるチェックダム
- ・ 斜面崩壊 : 6ヶ所、粗石コンクリートの擁壁
- ・ 河岸侵食 : 6ヶ所、粗石コンクリートの護岸

洪水防御

— 都市域の河川改修

種 別	アルバレガス川	ポルトガス川	ミジャ川
計画現援（確率年）	100年	100年	50年
計画測量（m ³ /s）	180	130	60
河川改修区間(m)	1,000	1,400	3,040
改修方法	築堤	拡巾、掘削	掘削
標準横断 巾 (m)	6	5	—
標準横断 高さ (m)	3.5	2.5	—

2. アクションプラン

2.1 広域防災計画

砂防

(1) 砂防ダム

— 砂防ダム3基 : C-1、C-5 およびN-1

No.	ダム サイト	ダム高	ダム長(m)		タイプ	材料
			堤頂	ダム底		
1	C-1	22	170	100	重力	粗石コンクリート
2	C-5	9	230	70	鋼製型枠	—
3	N-1	22	180	120	重力	粗石コンクリート

(2) 溪流工

— 低ダム群18基 : ムクサス10基、ムクソス3基、ムクスル5基
重力式練り石積み

(3) 山腹工

— 擁壁 340基 : 重力式練り石積み

分割流域No.	河川名	擁壁
8	ヌエストラセニョーラ上流域	230
9	ヌエストラセニョーラ下流域	110

洪水防御

(1) 計画洪水

— 計画洪水 : 10年確率

— 計画流量 : 1,450 m³/s

(2) 河川改修

- 築堤 : 片岸堤24.7km
- 既設堤防の補強 : 10.4km

(3) 構造物

- 堤防 : 盛土 : 745,000m³
 - 法勾配 : 1:2
 - 管理道路 : 3m巾
- 掘削 : 664,000m³
- 護岸 : 粗石コンクリート 10,300m²
- 水制 : 蛇籠シンダー 325基
- 床固め : チャマ橋下流1基、粗石コンクリート

2.2 地域防災計画

砂防

(1) 構造物

- チェックダム : 重力式練石積み 88基
- 擁壁 : 練石積み 6基
- 護岸 : 練石積み 6基

洪水防御

- 都市域の河川改修

種別	アルバレガス川	ポルトゲス川	ミジャ川
計画現援(確率年)	100年	100年	50年
計画測量(m ³ /s)	180	130	60
河川改修区間(m)	1,000	1,400	3,040
改修方法	築堤	拡巾、掘削	掘削
標準横断巾(m)	6	5	—
標準横断高さ(m)	3.5	2.5	—

目 次

位置図

計画概要図（マスタープラン、アクションプラン）

要 約	ページ
第1章 序 論	1
1.1 プロジェクトの背景	1
1.2 プロジェクトの概要	1
1.2.1 目 的	1
1.2.2 調査対象域	2
1.2.3 調査範囲	2
1.2.4 作業計画および要員計画	3
第2章 調査地域の現状	4
2.1 地形および地質	4
2.1.1 地 形	4
2.1.2 地 質	5
2.1.3 崩壊・地沁り・侵食	6
2.2 気象及び水文	7
2.2.1 気 象	7
2.2.2 年間及び月降雨量	7
2.2.3 流出量	8
2.3 流出土砂	8
2.3.1 土砂生産源	8
2.3.2 河床構成材料	11
2.3.3 浮遊砂と貯水池堆砂	12
2.3.4 下流域の堆積土砂	13
2.3.5 土砂輸送と堆積機構	13

2.4	河道状況	14
2.4.1	河道状況	14
2.4.2	河川利用	15
2.5	土砂・洪水災害と対策事業	16
2.5.1	下流部での災害	16
2.5.2	上中流部における災害	17
2.5.3	災害対策事業	18
2.6	植生	19
2.6.1	植生の現状	19
2.6.2	土壌保全工	21
2.7	社会経済状況	22
2.7.1	国土開発計画	22
2.7.2	人口	22
2.7.3	地域経済	23
2.7.4	土地利用	23
2.7.5	道路網	23
2.7.6	予算	24
2.8	組織と法規	24
2.8.1	組織	24
2.8.2	法規	25
2.9	関連事業	26
第3章	調査及び解析	29
3.1	水文解析	29
3.1.1	降雨解析	29
3.1.2	流出モデル	30
3.1.3	エルビヒアにおける洪水波形	33
3.1.4	チャマ川沿いの設計流量	34
3.1.5	上流支川の設計流量	35
3.1.6	日流出量	36

3.2	土石流調査	36
3.2.1	概要	36
3.2.2	土砂生産	37
3.2.3	土砂の流送と収支	39
3.2.4	計画流送土砂量	42
3.2.5	土石流災害の発生確率	43
3.3	洪水氾濫調査	44
3.3.1	洪水氾濫の概要	44
3.3.2	河道流下能力	45
3.3.3	洪水氾濫解析	46
第4章	計画策定の基本方針	48
4.1	災害防御対象資産の設定	48
4.2	計画の構成	48
4.3	計画作成の概念	49
4.3.1	広域防災計画	49
4.3.2	地域防災計画	50
第5章	マスタープラン	52
5.1	広域防災計画	52
5.1.1	砂防	52
5.1.2	洪水防御	57
5.1.3	基本設計	62
5.1.4	事業費積算	64
5.2	地域防災計画	65
5.2.1	砂防	65
5.2.2	洪水防御	66
5.2.3	基本設計	68
5.2.4	事業費積算	68

5.3	施工計画	69
5.3.1	プロジェクト構成要素と優先順位	69
5.3.2	施工計画	73
5.3.3	支払い計画	74
5.4	プロジェクト評価	74
5.4.1	マスタープランの経済性	75
5.4.2	財政面からの考察	77
5.4.3	社会経済影響	77
5.4.4	プロジェクト評価	78
第6章 アクションプラン		79
6.1	広域防災計画	79
6.1.1	砂防	79
6.1.2	洪水防御	81
6.1.3	基本設計	83
6.2	地域防災計画	86
6.2.1	砂防	86
6.2.2	洪水防御	88
6.2.3	基本設計	89
6.3	施工計画および積算	89
6.3.1	プロジェクト構成要素および優先順位	90
6.3.2	施工計画	92
6.3.3	事業費積算	92
6.3.4	維持、管理、運営、施設取り替え費	94
6.3.5	支払い計画	94
6.4	プロジェクト評価	94
6.4.1	アクションプランの経済性	94
6.4.2	財政面からの検討	96
6.4.3	社会経済及び環境影響	97
6.4.4	プロジェクト評価	98

6.5	プロジェクト実施の組織	98
6.6	非構造物対策	98
6.6.1	広域防災計画	99
6.6.2	地域防災計画	102
第7章	結論および勧告	105

参考文献

資料1 議事録

表 目 次

<u>表番号</u>	<u>表 題</u>
2.1-1	チャマ川流域斜面崩壊、土石流記録
2.2-1	月別気象記録
2.3-1	溪流サンプリング調査結果
2.3-2	マスウェスティングサンプリング調査結果
2.5-1	チャマ川流域災害記録
2.5-2	土砂災害対策事業記録 (1984-1988)
2.7-1	第7次国家開発計画主要経済指標
2.7-2	チャマモコティエス流域の国勢特性
2.7-3	セクター別メリダ州地域内総生産
2.7-4	メリダ、スリア、タチラ州農業生産高
2.7-5	地域別農業生産分布
2.7-6	国内主要都市物価上昇率
2.7-7	1983年メリダ州土地利用状況
2.7-8	国家予算配分額 (1984-1988)
2.7-9	国家予算配分割合 (1984-1988)
2.7-10	国家予算と MARNRの公共投資額
3.1-1	上、中流域貯留関数法定数一覧表
3.1-2	分割流域月平均日流量
3.2-1	年間生産土砂量
3.2-2	検証地点流量～掃流砂曲線関係定数
3.2-3	検証地点限界掃流力、限界流量
3.2-4	年間流出土砂および土砂収支
3.3-1	洪水氾濫計算結果
5.1-1	砂防ダム諸元
5.1-2	各分割流域流出土砂量
5.1-3	主要土砂生産流域諸元
5.1-4	各代替案横断諸元

表番号	表題
5.1-5	代替案費用比較
5.1-6	本川改修案、放水路案費用比較
5.1-7	職種別日労働賃金
5.1-8	資材単価
5.1-9	広域防災計画マスタープラン事業費内訳
5.2-1	地域防災計画マスタープラン事業費内訳
5.4-1	下流域バナナ洪水被害率
5.4-2	下流域栽培面積将来見通し
5.4-3	道路災害交通被害率
5.4-4	洪水被害計算条件
5.4-5	マスタープラン年平均便益内訳（2020年時点）
5.4-6	マスタープラン年費用、便益表
5.4-7	チャマ川流域GDP、国家予算、公共投資額関係
5.4-8	MARNR 利用可能資金
5.4-9	50%融資条件でのマスタープラン年間返済計画
6.1-1	砂防施設代替案検討ケース
6.1-2	堤防計画諸元
6.1-3	洪水防御施設代替案検討ケース
6.1-4	最適護岸の選定
6.1-5	最適水制の選定
6.2-1	擁壁設置諸元
6.2-2	護岸設置諸元
6.3-1	広域防災計画アクションプラン事業費内訳
6.3-2	地域防災計画アクションプラン事業費内訳
6.3-3	広域防災計画アクションプラン支払い計画
6.3-4	地域防災計画アクションプラン支払い計画
6.4-1	アクションプラン年平均便益内訳（2000年時点）
6.4-2	財務費用構成および経済価格への変換率の計算
6.4-3	アクションプラン経済事業費の計算
6.4-4	アクションプラン年費用、便益表
6.4-5	MTC利用可能資金見通し
6.4-6	50%融資条件でのアクションプラン年間返済計画

目 次

<u>図番号</u>	<u>表 題</u>
1. 2 - 1	調査工程表
1. 2 - 2	調査人員表
2. 1 - 1	チャマ川および主要支川河道縦断図
2. 1 - 2	チャマ川流域地形図
2. 1 - 3	チャマ川流域地質図
2. 1 - 4	チャマ川流域地質横断図
2. 2 - 1	年間雨量等雨量線図
2. 2 - 2	年間降雨分布図
2. 3 - 1	溪流侵食、マスウェスティング資料採取地点位置図
2. 3 - 2	崖崩れ、扇状地材料採取地点位置図
2. 3 - 3	崖崩れ材料粒径加積曲線
2. 3 - 4	河床材料採取地点位置図
2. 3 - 5	チャマ川河床材料粒径加積曲線
2. 3 - 6	ヌエスラセニョーラ川河床材料粒径加積曲線
2. 3 - 7	チャマ川下流域扇状地河床材料粒径加積曲線
2. 3 - 8	ムクルバ観測所流量～浮遊砂量関係図
2. 3 - 9	プエルトチャマ橋地点流量～浮遊砂量関係図
2. 4 - 1	チャマ川河道変遷図
2. 4 - 2	下流域等高線図
2. 4 - 3	下流域縦断図
2. 5 - 1	1972年洪水氾濫域図
2. 5 - 2	1982年洪水氾濫域図
2. 5 - 3	1988年洪水氾濫域図
2. 5 - 4	既往災害位置図
2. 6 - 1	アンデス山脈気候垂直分布図
2. 6 - 2	アンデス山脈植生、高度、年雨量関係図
2. 6 - 3	チャマ川流域植生図

<u>図番号</u>	<u>表 題</u>
2.7-1	上中流域土地利用図
2.7-2	下流域土地利用図
2.7-3	1985年幹線道路2号、7号線交通量
2.9-1	南部マラカイボ地域河川改修区間
3.1-1	1972/82年洪水日雨量等雨量線図
3.1-2	1988年9月洪水時間雨量分布およびチャマ川エヒド地点流量 ハイドログラフ
3.1-3	降雨強度曲線(100年確率)
3.1-4	貯留関数流出計算モデル図
3.1-5	比流量図
3.1-6	流出計算ハイドログラフ
3.2-1	流送土砂、および土砂収支検討調査過程
3.2-2	流送土砂および土砂収支計算モデル図
3.2-3	検証地点流量掃流砂関係図
3.2-4	計画土砂収支
3.2-5	土砂収支模式図
3.2-6	幹線道路2号、7号線の災害発生可能地点
3.3-1	扇状地横断図
3.3-2	想定氾濫域図
3.3-3	河口-エルヒビア間不等流計算結果
3.3-4	エルヒビア近傍築堤区間不等流計算結果
5.1-1	広域防災計画砂防施設設置予定位置図
5.1-2	砂防計画土砂調節模式図
5.1-3	砂防計画土砂配分模式図
5.1-4	チャマ川蛇行中心線図およびムクヘペ放水路計画法線
5.1-5	チャマ川およびムクヘペ川縦断図
5.1-6	チャマ川下流域蛇行振巾分布図
5.1-7	チャマ川改修計画代替案(ケース1)
5.1-8	チャマ川改修計画代替案(ケース2)

- 5.1-9 チャマ川改修計画代替案（ケース3）
- 5.1-10 ムクヘベ放水路案平面図
- 5.1-11 チャマ川改修計画法線図
- 5.1-12 チャマ川改修計画縦断面図
- 5.1-13 チャマ川改修計画代表横断面図
- 5.1-14 砂防ダム標準図
- 5.1-15 低ダム標準図
- 5.1-16 ガリ侵食防止擁壁概要図
- 5.1-17 堤防代表横断面図
- 5.1-18 護岸標準図
- 5.1-19 水制標準図
- 5.1-20 床固め縦断面標準横断面図
- 5.1-21 プエルトチャマ橋延長図
- 5.2-1 メリダ市アルバレガス、ミジャ川改修概要図
- 5.2-2 エヒド市ポルトゲサ川改修概要図
- 5.2-3 チェックダム標準構造図
- 5.2-4 道路保護のための擁壁標準構造図
- 5.2-5 護岸標準構造図
- 5.3-1 河川改修工事優先順位
- 5.3-2 マスタープラン施工計画図
- 6.1-1 アクションプラン河川改修計画図
- 6.1-2 砂防ダムC-1基本設計図
- 6.1-3 砂防ダムC-5基本設計図
- 6.1-4 砂防ダムN-1基本設計図
- 6.1-5 ムクサス川低ダム群配置図
- 6.1-6 ムクソス川低ダム群配置図
- 6.1-7 ムクスル川低ダム群配置図
- 6.1-8 アクションプラン堤防標準断面図
- 6.3-1 アクションプラン施工計画図
- 6.5-1 プロジェクト事務所組織図（ケース-1）
- 6.5-2 プロジェクト事務所組織図（ケース-2）
- 6.6-1 湛水災害防止警報システム
- 6.6-2 道路災害防止警報システム

略号および語集

組織および協会

1. MARNR : 環境天然資源省
2. MTC : 道路通信省
3. MINDUR : 都市開発省
4. MOP : 公共事業省
5. MAC : 農業牧畜省
6. MINAS : エネルギー鉱山省
7. CORPOANDES : ロスアンデス開発公社
8. DEFENSA CIVIL : 市民防衛局
9. ULA : ロスアンデス大学
10. IFLA : ラテンアメリカ森林研究所
11. JICA : 国際協力事業団
12. BID : 米州開発銀行
13. BCV : ヴェネズエラ中央銀行
14. CODIAT : 水資源および土地資源アメリカ総合開発センター
15. INOS : 国家衛生事業協会
16. OCEI : 中央統計情報局
17. CORDIPLAN : 中央計画調整局

長さ

- mm : ミリメートル
cm : センチメートル
m : メートル
km : キロメートル

面積

- ha : ヘクタール
km² : 平方キロメートル

通貨

Bs : ボリバル

US \$: 米国ドル

重量

g : グラム

kg : キログラム

t : トン

時間

sec, s : 秒

min, m : 分

hr, h : 時間

誘導単位

m³/s : 立法メートル/秒

t/s : トン/秒

その他

GDP : 国内総生産

GDP : 国民総生産

GRP : 地域内総生産

第1章 序 論

1.1 プロジェクトの背景

チャマ川は、ベネズエラ国北西部にある、標高約4400mのピエドラスブランカスに源を発し、当国最高の山地域であるアンデス地方にそって 110km流下した後、平坦地を通過してマラカイボ湖に注いでいる、全流域面積3,785 km²の河川である。

チャマ川流域は、変化に富んだ気候と、それに応じた土地利用が為され、寒冷、温暖、かつ熱帯気候帯に広がる上中流域ではトウモロコシ、ジャガイモ、にんじん等の農耕が行われている。一方、熱帯性気候である下流域では、バナナのプランテーションや牧草地で占められている。

当流域は行政区画上メリダ州とスリア州に属し、メリダ州の州都であるメリダ市、エルビヒア市とタバイ市の3市が流域内にある。流域内の人口は1987年で50万人であり、このうち、メリダ市に21.6万人、エルビヒア市に 4.6万人、タバイ市に 2.6万人が住んでいる。

当流域は比較的もろい岩質の山地地形である為、大雨により、流域内の家屋・家財・公共施設及び農業に甚大な土石流災害や洪水被害をもたらし、社会・経済活動の動脈である交通に支障を来たしているのが現状である。

ヴェネズエラ政府は、これらの災害に対し、復旧、補修および防止工事を遂行してきているが、農地化・都市化が進む中で状況は改善されず、むしろ被害は大きくなる傾向にある。

こういった状況のもとで、抜本的な対応策が必要ということから、この計画実施が要請された。

1.2 プロジェクトの概要

1.2.1 目 的

この計画の目的は、チャマ川流域における土砂抑制、土石流防止及び洪水防御の為のマスタープランの立案と、マスタープランの中から、特に急を要する事業としてのアクションプランを抽出策定することである。

1.2.2 調査対象域

調査対象域は、チャマ川流域3,785 km²全体とする。

1.2.3 調査範囲

本計画の調査範囲は次の通りである。

既存資料の収集整理

- 地形・地質
- 気象・水文
- 土地利用・水利用
- 河床構成材料・水質
- 土砂抑制・土石流防御・洪水防御に関する既設構造物
- 洪水・侵食・土石流による被害
- 既往の災害防止事業
- 行政および社会経済の現状
- その他

現地調査

- 洪水、土石流、斜面崩壊による被害調査
- 河川調査
- 水文観測

調査および解析

- 水文・水理解析
- 土砂および流出調査
- 河川流下能力および洪水浸水域調査
- 洪水被害度調査
- その他

マスタープランの立案

(1) 土砂生産抑制計画、土石流防止計画および洪水防御計画

- 基本方針の設定
- 構造物の基本配置計画
- 主要構造物の基本設計
- 維持・管理計画
- 経済評価と資金計画
- 施工計画および積算
- 予警報システム
- 社会経済効果

(2) 事業実施重要地区の選定

(3) 緊急事業の選定

アクションプランの策定

- 基本設計
- 維持・管理計画
- 施工計画および積算
- プロジェクトの評価
- 社会・環境への影響評価

1.2.4 作業計画および要員計画

作業計画は図1.2-1、要員計画は図1.2-2に示す通り。

第2章 調査地域の現状

2.1 地形および地質

2.1.1 地形

河川の状況

チャマ川流域は、ヴェネズエラの北西部に位置し、ヴェネズエラアンデスと呼ばれるアンデス地方北部のメリダ山地の中央部を占めている。グラーベンは、2つの山脈の中央に位置し、NE-SW系に広がる多くの断層帯により形成されている。活断層であるポコノ断層は、これらの断層帯と同方向にある。

全長200kmのチャマ川はその源を流域東端のエルアギラパス近く、標高4,400m付近の高地ピエドラスブランカスに発し、氷河により形成されたU字谷を約10km南下し、標高3,400mのアパルタデロスに到達する。

アパルタデロスからメリダを通り、エスタンケスまでの80km区間では、ポコノ断層沿いの地溝帯を南西に向けてほぼまっすぐに流下する。

支川のモコティエス川も断層に沿って北東に向けトバルを通過して約40km流下しエスタンケスでチャマ川に合流する。

エスタンケスとエルビヒアの区間では、チャマ川はメリダ山地の北西端を通りV字谷を北に向けて流れている。

エルビヒアより下流域では、扇状地やデルタを形成しながら、北に90km流下し、マラカイボ湖に流入する。

チャマ川と主な支川の縦断形状(図2.1-1)は、この河川が顕著な樹枝状河川であることを示しているが、勾配変化点はエスタンケスとエルビヒアの間の谷部に見られ、ここで河床勾配は、急激に変化し、下流の勾配が上流域よりも急になっている。従って、エスタンケスより上流域では、堆砂が進んでいる。

一般に、侵食と堆砂のバランスのとれた樹枝状河川では凹状の縦断形状を示す。これとは反対に、チャマ川の主要支川であるサンパブロ川、ゴンザレス川、トストス川では凸状の縦断形状を示している。このことは、これらの支川が、樹枝状河川のように土砂収支のバランスのとれた河川にまで到達しておらず、現在も侵食活動が活発に行われている、生産土砂量の多い河川であることを示している。

地形条件

流域の地形図を図2.1-2に示す。メリダ山地は、グラーベンによって2分されている。北部はシエラデラクラタと呼ばれ、海拔3,000～4,000 mの山地であり、南部は海拔4,000～5,000 mのシエラネバダの名で知られている山地である。

これらの山地は西に向けて低くなっており、シエラネバダはエスタンケスとエルビヒアの谷部で1,500～1,000mに、又シエラネバダは、モコティス川の源流域で3,000～2,500mに低減している。

ラゴンザレス川やラスシア川の上流域では中小規模の地回りによるなだらかな斜面が見られる。地回りはエスタンケスとエルビヒアの間谷部両岸にも多く見られる。チャマ川両岸、特にタバイとエスタンケスの中流域右岸側において100m～200mの急崖を伴った、河岸断丘が発達している。

2.1.2 地質

地質構造

メリダ山地はプレカンブリア紀から多くの地殻運動を受けてきた。

現在の状態は、中生代におけるアルプス造山運動によるものである。

主な地質構造はグラーベンにほぼ平行である。主要断層はボコノ断層であり、ほぼグラーベンの中央部に位置している。

ボコノ断層は縦ずれを伴った横ずれ断層であり、NE-SW方向に約450km走行する大規模かつ重要な活断層である。第四紀の間に断層の相対変位量は数百mに及び、この10,000年の間にも約100mの変位量が確認されている。

地質構成

チャマ川流域の地質は先カンブリア紀から新生代までの全ての地質を含んでいる。チャマ川流域の地質平面図を図2.1-3に、地質横断図を図2.1-4に示す。

新生代第4紀層は、氷成堆積物、崖錘、段丘堆積物、沖積河床堆積物の様な未固結堆積層である。一方、第三紀層は砂岩、粘板岩、礫岩、頁岩等の堆積岩類で構成されている。

中生代における地質構成は、白亜紀石灰岩と、赤色砂岩、シルト岩、礫岩で代表されるジュラ紀ラカイウタ層である。この地域内の第三紀～白亜紀層で多くの地回りが

発生している。

古生代層は砂岩、泥岩等の堆積岩類から構成されており、変成作用は受けていない。しかし、古生代層最下位層であるムカチャチ層は粘板岩、変成砂岩、緑色片岩の変成岩からなり、ヌエストラセニョーラ川中・上流域及びモコティエス川右岸に広く分布する。このうち粘板岩は剝離性が強く、各所でガリー侵食、崩壊が見られる。

先カンブリア紀層はトストス層、シエラネバダ層で構成される。これらの層は粘板岩、千枚岩、片岩、片麻岩といった変成岩からなる。ガリー侵食や崩壊はこれらの強い剝離性の為、多くの場所で見られる。これらの崩壊は標高3,000 m以上のパラモ地方で特に顕著である。

チャマ川流域において小規模な深成貫入岩が見られる。特に、流域東部の“シエラデラクラタ”の花崗岩類の分布が顕著である。又パラモ地方では多くの地点で地表面のすべりや崩壊が見られる。

2.1.3 崩壊・地沁り・侵食

チャマ川流域では、多くの崩壊や地沁りが見られる。崩壊は主に、変成岩域で発生しており、地沁りは第三紀中生代の堆積岩域で見られる。

上流域では、大規模のガリー侵食が見られる。しかし、現在では植林や山腹工等により保守されており、広がりはみせていない。

中流域においてはヌエストラセニョーラ川流域で多くの崩壊が見られる。これらの崩壊は古生代の粘板岩の分布域で発生している。

崩壊、多発の原因としては、(1)断層の存在、(2)岩の裂けやすい性質、(3)道路建設や宅地開発等、人的要因、(4)気候に起因する植生の不足が挙げられる。

第三紀中生代の堆積岩域であるエスタンケスからエルビヒアまでのV字谷の両岸において最も顕著な地沁りが集中している。

チャマ川流域において土砂の供給は主として崩壊とガリー侵食によるものである。また、多くの土砂が山腹に残されたままであり、徐々に河道に流出しているのが現状である。

表2.1-1はチャマ川流域の斜面崩壊と土石流の記録である。これらのうちいくつかは不安定なままであり、将来構造物に重大な被害を与える可能性が残されている。

2.2 気象及び水文

2.2.1 気象

チャマ川流域は北緯 $8^{\circ} 10'$ ~ $9^{\circ} 02'$ 、西経 70.48° ~ 71.54° に位置し、一年を通して程度の差はあるが赤道低圧帯 (Equatorial Trough) と北東貿易風の影響下にある。雨期 (5月から11月) は、赤道低圧帯が乾期 (12月から4月) は北東貿易風が卓越している。

従って、月各の降雨量は、先に記した大きな周期に従って2つの降水パターンが考えられる。1つは雨期が年1回である“Llanos Pattern”でありもう1つは、雨期乾期の周期が年2回ある“Semi Annual Pattern”である。

“Llanos Pattern”はヴェネズエラ中央部で見られる。一方“Semi Annual Pattern”は主に海岸域と、山地気象となる標高 1,000m以上の高地で多い。チャマ川流域は主として“Semi Annual Pattern”の降雨パターンとなるが、最上流域のムクチエスを中心としてヴェネズエラ内陸部の影響により“Llanos Pattern”が分布する。

最上流域であるムクチエス地方の年平均気温は 11.3°C 、メリダ空港では 19.0°C である。又、下流域エルビヒアにおける年平均気温は 27.9°C と比較的高い。日最高気温と最低気温の差は全観測所で約 10°C と大きい。年間蒸発散量は“Semi-arid”地区であるラグニージャスのサンファンでは 2,008mm であるがトバルでは 1,248mm でしかない。

2.2.2 年間及び月降雨量

年間総降雨量は、同一流域内でも場所によって大きく異なる。

図2.2-1の等雨量線図が示す様に 600mm以下の“Semiarid Zone”はチャマ川とラビスカイナ川の合流点からヌエストラセニョーラ川流域のエルモロまでの区間である。

中流域のうち“Semi-Arid Zone”の上流域やモコティエス川流域では、年間 1,800mmに及ぶ降雨量である。チャマ川流域量上流の地域では 800mm ~ 1,000mmの穏やかな降雨である。エルビヒア下流域では年間 2,100mm以上の多雨地域となる。チャマ川流域の平均降雨量は 1,030mmである。

流域内の主要雨量観測所の年間降雨パターンは図2.2-2に示す通りである。最上流域のパラモデムクチェスでは7、8月に降雨のピークを迎え、他の観測所では降雨

のピークは年2回生じる。メリダでは5月と10月、エルビヒアでは4月と11月である。中流域のラグニジャスのサンファンでは雨期である4、5月や10、11月でも80mmと寡雨地帯である。

2.2.3 流出量

流量観測所はチャマ川流域のエヒド（流域面積 1,130km²）とムクルバ（同 365km²）、ムクフン川流域のカバラに設置されている。これらの観測所は自記水位計で、月に1回流量観測が実施されている。

年平均流出量は、エヒドで24.0m³/s（2.1m³/s/100km²、流出高 670mm）、ムクルバでは5.12m³/s（1.4m³/s/100km²、流出高 440mm）である。

ピーク流量に関しては最大値が1972年4月にエヒドで観測された 419.7m³/s（比流量0.37m³/s/100km²）である。又、1988年9月の洪水でエヒドでは 360m³/s、エルビヒアでは 720m³/sの流量が観測されている。

エヒドでは、5月と10月に流出量が大きく、降雨パターンに対応している。又、同様にムクルバでは主に6月と7月に流出量のピークを迎える。

2.3 流出土砂

2.3.1 土砂生産源

浸食

試料採取は、地形、地質状況、植生、土砂特性及び土砂量を基に、ムクフン、ラムクイ、ヌエストラセニョーラ、ラゴンザレス、モコティエスの代表5支川11サイトで行った。調査結果は表2.3-1、又採取位置は図2.3-1に示す。

ムクフン川流域では、全般に植生におおわれ河道は安定している。ガリーヤリルはまれにしかなく、すべり・崩壊等もほとんど見られない。試料採取地での河床は、最大 200cm、平均30cmの玉砂利で覆われており、両岸は古い土石流堆積層で構成されている。

ラムクイと支川（デスバランカデロ川）の試料採取地の河床は古い時期に形成された土石流堆積層で構成されており、小規模の2次浸食がよく見られる。土砂流堆におけるガリー浸食はまれである。

ヌエストラセニョーラ川流域はまばらに樹木、草地、農地があるだけである。ガリーは発達しており、これらのガリーは重要な土砂生産源となっている。特にヌエストラセニョーラ川支川のムクスル川は主に河道沿いの激しいガリー浸食により、多量の土砂生産地となっている。試料採取地付近では、河道への土砂流入の原因となるガリーや崩壊斜面が観測されている。

ラゴンザレス川流域では、植生が2分される。上流域では森林で厚く覆われているが、下流域、特にチャマ川合流点付近では、樹木、草、サボテンがまばらに見られるだけである。上下流での粒径を比較すると、土砂生産は上流の山地よりも、下流河道の両岸の斜面からの方が多いことがわかる。河道沿いに小規模な斜面崩壊が認められるにもかかわらず、上流域は厚い植生の為に、ガリー浸食の心配はない。

モコティエス川流域は、非常に密集した厚い森林に覆われている。農地化、都市化、道路建設といった人工的な要因による侵食を除くと、小規模な崩壊が見られるだけである。タバカルとカスギートの支川資料採取地では、河道侵食が観察された。これらの侵食は土石流が一度発生した場所で洪水により斜面のすそが払われたり、両岸の斜面が侵食されたのが原因である。土砂堆積は認められたものの、その量はむしろ少ない方である。

マスウェイスティング

ラスシア（チグアラ）、ラポルトゲサ、ラゴンザレスの各支川とチャマ本川、中流域の11サイトでマスウェイスティングの観測を行った。収集したデータは斜面形状と勾配；崖錐の厚さ、植生状態マスウェイスティングの規模、土砂量である。結果は表2.3-2にまとめてある。

大規模地切りはエルグアモ地方ラスシア川の最上流域で観測されている。この地域は厚く密集した森林に覆われ、地質は変質黒色頁岩からなる。これら2地点の切り土壌の土砂量はおよそ 900,000 m³と見積もられている。又、斜面に残されている土砂量はおよそ 500,000 m³と考えられ、これらの土砂は徐々にラスシア川やチャマ本川に運ばれている。

一方、ラゴンザレス川とラポルトゲサ川の上流域でメリダからハヒに向かう幹線道路に沿っても、2ヶ所の地切りが見られる。この地域も密生し厚い森林に覆われており、基盤が花崗岩質、砂岩で構成されている。地形は多くの古い地切りの痕跡を残し

ているが、現在は樹木や草に覆われ、安定した様相を示している。

ラゴンザレス川とラポルトゲサ川の地這り土壌の土砂量は、それぞれ 4,500 m³、20,500 m³と推定される。

チャマ川沿いには、合計7ヶ所の大規模マウスエスティングがあり、これら全てが“Semi-Arid Zone”に認められる。これらのうち、3ヶ所は土石流凸地又は、土石流堆に含まれるもので他の4ヶ所は斜面崩壊である。

後者の斜面崩壊のうち3ヶ所はプエンテレアル、チャマ第3橋、新旧幹線道路のヌエストラセニョーラ川合流点近くである。これらの場所が示す様に、道路建設が斜面崩壊の引き金となっている。これらの斜面崩壊土砂量はおよそ 570,000 m³と推定されているがMTCにより設置された対策工により放置されたままの土砂量は約 6,000 m³だけであると評価されている。さらに不安定斜面に残された岩屑量は約40,000 m³と見込まれている。

ゴンザレスエスオウオフレ、イグエロネスとプエンテビエホにあるチャマ川沿いの土石流凸地に関しては、1988年9月の豪雨により、プエンテビエホを除いて、3ヶ所で土石流が発生している。又、プエンテビエホでは1970年の豪雨で土石流が発生しているが、現在では2次侵食を除いて、ほぼ安定した状態にある。全土石流の土砂量は約 420,000 m³で残存土砂量はおよそ90,000 m³と見積もられている。

崩壊堆積物

崩壊地域は主として、チャマ川中流域に分布する。崩壊堆積物の試料の採取は現地調査を通じて斜面侵食による土砂生産が認められたヌエストラセニョーラ川、サンパブロ川、チャマ川本川（位置は図2.3-1に示す）で行われた。

採取された試料の粒径加積曲線を図2.3-3に示す。ヌエストラセニョーラ川のR-1サイトで採取された試料の平均粒径は13.1mmである。又、ラビスカイナ川R-3サイトでは9.1mm、R-2サイトで6.2mmである。崩壊堆積物は主に、砂と岩屑で構成されており、特にサンパブロ川やラビスカイナ川では砂の占める割合が60%以上となっている。

2.3.2 河床構成材料

河床材料・扇状地の土砂の特性を知る為に、次に記す試料の採取、解析を行った。

河床材料

試料採取地点は図2.3-4に示す。上流からB-1～B-18の18サイトで行った。チャマ川の代表的な粒径加積曲線を図2.3-5に、ヌエストラセニョーラ川のを図2.3-6に示す。

チャマ川および主要支川、例えばB-1、B-3、B-4、B-10の河床材料は主として玉石・砂利といった粗粒材料で構成されており、砂の占める割合は、下流に行くに従って増していく。エルビヒアより下流の河道では、河床は砂とシルトから成る。

B-1サイトの平均粒径は116mmであり、下流に向けてB-9サイトで41mm、B-12サイトで9mmと粒径は小さくなっていく。しかしエスタンケスからエルビヒアまでの河道にあるB-14サイトの粒径の方が上流側であるB-12サイトの粒径より大きい。このことはこの区間で支川からの土砂流入やパンアメリカンハイウェイの建設工事に起因する、人工的な生産土砂の流入があることを意味している。

チャマ川の河床ではアーマコートが発生している。一般にアーマコートの粒径は河床材料の粒径より大きい。通常細粒分は流下し、粗粒分が残される為、アーマコートは粗粒材料で構成されている。

扇状地の土砂

図2.3-2に示す2サイトで、扇状地の土砂試料を採取した。扇状地にそってロスナランホス、アロア、エルビヒアで採取された試料の粒径加積曲線(図2.3-7)が示す様に、下流サイトに向かって砂の含有率が大きくなっていく。ロスナランホス、ベラデアグアでは、砂の含有率が90%以上もある。

エルビヒアの下流域で先に述べた試料採取並びに現地調査を行い、次の観察結果を得た。

一粒径10mm程度の粗粒砂や細粒砂利はエルビヒアからロスナランホスの区間で卓越している。

一堤防の高さはエルビヒアからロスナランホスまででは約2m～3mであるが、ロスナランホスより下流ではおよそ1mである。

ロスナランホスから河口までの河床材料は細粒砂およびシルトで構成されている。
以上の事項をもとに、扇状地限界をエルビヒア下流20km、ロスナランホスまでとした。

2.3.3 浮遊砂と貯水池堆砂

浮遊砂

浮遊砂の試料採取と計測はMARNRにより、ムクルバ水位観測所とプエルトチャマ橋で定期的に行われている。これら2地点での調査結果は図2.3-8及び図2.3-9にまとめてある。

流量と流砂量の関係曲線は相関解析結果から次式で表した。

$$Q_s = 0.18 Q^{2.62} \quad (\text{プエルトチャマ橋})$$

$$Q_s = 2.4 Q^{1.16} \quad (\text{ムクルバ水位観測所})$$

ここで

Q_s : 浮遊砂流砂量 (ton/day)

Q : 流量 (m^3/s)

上記の流量-流砂量曲線を用いて、年間流砂量を日流量資料のそろっている1967年から1975年の9年間について算出した。

この結果、年間平均流砂量はプエルトチャマ橋で21,550,000トン、ムクルバ水位観測所で10.5トン推定された。

貯水池堆砂

オニアダムは1973年にオニア川に建設され、MARNRが維持・管理している流域面積302 km^2 の洪水及び土砂調節用ダムである。オニアダム流域はモコティエス川流域北部境界に接している。

現地調査の結果オニアダムでは、ダム建設後10年間で50年の計画堆砂域は既に満砂となり、現在では計画洪水位まで堆砂が進んでいる。

流域の年間土砂生産量はダムの堆砂量をもとに、およそ $10^6 m^3$ と推定される。又、比堆砂量は約3,300 $m^3/km^2/year$ である。

2.3.4 下流域の堆積土砂

扇状地

扇状地は、砂利から砂に分類される粗粒砂が卓越している堆積地であり、エルビヒア下流、チャマ川下流域に形成されている。扇状地の堆積物の土砂量の概略値は次の2種類の河道断面を用いて求めた。

－1976年 MOPによる測量結果

－1988年 JICAによる測量結果

エルビヒアからロスナランホスまでの約12km区間、22断面で比較した。この結果、12年の間でチャマ川下流域の河床は平均 0.8m 上昇していることが判った。扇状地の面積を50～90km²と仮定すれば、扇状地の12年間で堆積した土砂量は40～72×10⁶ m³と推算される。よって、年間堆積土砂量は 3.3～6×10⁸ m³となる。

河口

エルビヒアを通過して流下する浮遊砂のうちの大部分は、マラカイボ湖内のチャマ川河口に堆積しており、1986年～1989年の3年間で砂洲は長さ2km、幅1.5kmに広がっている。砂洲の広がり分の土砂量は湖面以下の部分も考慮するとおおよそ38×10⁶ m³である。

一方1985年から1987年の2年間にプエルトチャマ橋での流量－流砂量曲線から算出された浮遊砂量は、29～36×10⁶ m³であった。従ってウォッシュロードを含めた全浮遊砂量は15～18×10⁶ m³/yearと推定される。

2.3.5 土砂輸送と堆積機構

以上の調査結果から、チャマ川本川及び支川は、次に述べる様に土砂移動区間、半堆積区間及び、堆積区間に分けられる。

土砂移動区間

この区間はチャマ川本川とムクフン川合流点より上流域に位置する。ムクフン川、ラムクイ川、モコティエス川、アルバレガス川、ラゴンザレス川、ヌエストラセニョーラ川等の主要支川がこの区間に含まれる。これらの河川は、河床勾配が1/50以上と急流であり、最大河道幅も10m程度である。通常河床はアーマコートで覆われている。

土砂半堆積区間

この区間はムクフン川合流点からエルビヒアの扇状地始点までのチャマ川中流域に位置する。上流域から運ばれた土砂は下流に流下するまで、この区間で一時的に堆積する。

堆積域は、地形上ボトルネックと呼ばれる河道狭窄部の上流に位置し、これらの箇所には、幹線道路7号線の5基の新設された橋梁がある。一時的に河道に堆積した土砂は再侵食され再度土砂の生産源となる。さらに河岸浸食が起こり新たな土砂生産源となっている。

土砂堆積区間

この区間はエルビヒアからチャマ川下流区間に位置する。上流から流下した土砂は広く広がる扇状地の上に堆積する。

河床材料は細粒砂、シルト、粘土である。河道の土砂流送能力が低いので、洪水時に上流域から運ばれた土砂が土砂流送能力を越えた場合、河床勾配は上昇する傾向にある。

2.4 河道状況

2.4.1 河道状況

上中流部

タバイから上流部においては、チャマ川の流路及および縦断形状は安定している。河道は狭く、勾配も急であり橋梁横断地点及および河岸の道路が低い地点を除き、十分な流下能力を持つ。

タバイからエスタンケスまでの中流部では、チャマ川の川幅は広く、200~300mある。流路および縦断形状は支川からの流砂供給により不安定である。河岸侵食がいくつかの地点、とくに右岸側で見られる。モコティエス川は流域の植生が良く安定している。

下流部

チャマ川はエルビヒアにおいて平野部に到達し、上中流部からの流砂により、扇状地を形成している。その後、沖積デルタを流下しマラカイボ湖に注ぐ。既往調査結果、収集資料及び現地聞き込み調査結果より、チャマ川下流部の特徴として、以下の点が確認された。

- 1870年代には、チャマ川はエスカランテ川水系に含まれており、扇状地を発達させながら流路をしばしば変えていた。
- 過去20年間は小さな蛇行形状の変化があったのみで、流路は安定している。
- この小さな蛇行形状の変化において、蛇行幅、蛇行長等の蛇行特性は過去の蛇行範囲に収っており、蛇行幅は 600m以内である。
- 蛇行の変化は1973年から1977年の4年間で約50ヶ所の内、15ヶ所以上の地点で発生しており、年平均4ヶ所に相当する（図2.4-1参照）。
- 河床上昇は依然として起こっている。このことは1985年に掘削した河道が以前の堆砂した状態に戻ったことから分る。
プエルトチャマ橋での河床も上昇している。

扇状地の発達を見る為の1968年の地形図を基にした等高線図を図2.4-2に示す。図2.4-3は、エルビヒアを起点としてチャマ川河口、ムクヘペ川河口およびサンタバルバラまでの3方向の縦断図を示したものである。これらの図から扇状地はエルビヒアから下流に向かって、同心円の等高線を描きながら発達していることが分る。

2.4.2 河川利用

チャマ川流域において、河川水は主にかんがい、家庭用水、そしてまた鱒養殖に用いられている。

中下流部のかんがいシステムは、丘陵地に見られ、人参、とうもろこし、キャッサバ等の栽培に供されている。家庭用水供給システムは主に、中流部のメリダ市とエヒド市において発達しており、ムクフン川、アルバレガス等の支川水を利用している。一方、モコティエス川流域ではかんがい、家庭用水のための配水システムを備えた小規模取水設備が見られる。

下流部では河川水はかんがい、家庭用水として使われず深井戸またはムクヘペ川等

の他水系から取水されている。

河床材料は、建設工事にチャマ川の各所、とくにラムクイ川の中流部から採取されている。エルビヒア付近の下流部での砂利採取量は1985年では97,500m³、1987年では100,000m³、また1988年は200,000m³であった。

2.5 土砂・洪水災害と対策事業

2.5.1 下流部での災害

既往洪水

洪水は下流部で毎年起こっているが、とくに1972年、1982年および1988年の洪水は深刻であった。洪水氾濫面積は、災害報告書、現地住民への聞き込み調査結果に基づき、それぞれ7,400、8,500、15,800haと推定された。洪水氾濫区域を図2.5-1、2.5-2、2.5-3に示す。

洪水常襲地域は、(1)エルビヒア市下流からロスナランホスにかけての地域、(2)プエルトチャマ直下流地域、(3)ラフォルトゥナ下流からマラカイボ湖での河口にかけての地域である。湛水深は0.3~1.5mであるが、ほとんど1m以内である。湛水時間は、エルビヒア市の南側地域で数時間から数日に渡る。一方、マラカイボ湖周辺の北側地域では平坦地形のため、一週間程に及ぶ。

下流部の土地利用は、ほとんどバナナ農場、牧草地である。氾濫による主な被災資産はバナナ、牧草、家畜、家屋、農業機械である。これらの中で、バナナは湛水に弱いため、被害が深刻である。一方、他の資産に対する洪水被害はそれ程深刻ではない。

被害

1972年、1982年および1988年の洪水時におけるバナナ農場の湛水面積はそれぞれ、4,900ha、5,900ha、8,900haと推定された。各洪水の総被害額はバナナ農場の湛水面積、収穫量(12,000kg/ha/年)、単価(2.5Bs/kg)、復旧費用(4,200Bs/ha)、被害率(50%)および他の資産に対する被害、間接被害をそれぞれバナナ農場の直接被害額の20%として、101百万Bs、121百万Bs、183百万Bsと推定された。

2.5.2 上中流部における災害

災害記録

上中流部における災害数は年々増加している。1987年および1988年での大被害については正確な記録が残されており、この区域における過去の災害調査に、両年の被害データを用いた。

1987年、1988年の災害箇所と過去の顕著な災害箇所を図2.5-4に、また被害状況を表2.5-1に示す。これらの図表の中で道路災害については、その社会的重要性から幹線道路に対する被害だけを示している。

道路災害

上述したように、上中流部では道路災害が最も顕著であり、チャマ川に沿っていたる所で起こっている。1977年の災害時には1週間以上も通行不能となったが、最近では1日以内に収まり、大体1-3時間程度である。この通行不能期間の短縮は復旧作業の改善によるものである。

道路災害は交通の停止または遅滞を引き起こす。通行不能による被害は、走行距離の増加による被害および走行時間の増加による被害に分けられる。距離増加による被害は、交通量、走行距離、走行費用を基に計算されるが、一方時間増加による被害は、GRDP、走行時間、交通量そして平均乗員数から求められる。1988年の国道災害による被害額は以上の条件において、1.8百万Bsと推定された。

他の被害

洪水流または土砂流はしばしばタバイ、メリダ、エヒド市近郊の家屋を襲っている。しかし、過去において大規模災害は起こっておらず、約10軒程の家屋が少々湛水するのみである。

地方道に関しては、維持管理が悪いため、国道よりも頻繁に災害が起こっており、通行停止期間も長い。しかし、交通量が大きくないため、社会に与える影響は小さい。地方電力供給施設および家庭用水供給施設も、簡易的な施設であるため、ときどき被害を受けている。

メリダおよびエヒド市の人口は年々増加しており、居住地域もアルバレガス川、モンタルバン川に沿った洪水常襲地域に向かって広がっている。現在この地域の住民約

1万人がコンクリート堤防によって洪水から守られているが、洪水被害を受ける可能性は大きい。

全体被害

幹線道路被害以外の被害額は前者の20%と仮定すると、上・中流域の合計被害額は2.2百万Bsにのぼるものと推定される。

2.5.3 災害対策事業

洪水や土砂による慢性的な災害に対処する為、多種にわたる災害対策事業がヴェネズエラ政府や個人により施されている。主としてMARNRが事業の遂行に携わっており、特に第16局ではエルビヒア上流の土砂対策工を、第5局ではチャマ川下流の洪水対策工の調査・施工を受け持っている。

上流域の土砂対策

チャマ川流域の大半を占める上流域での土砂対策には土壌保全と溪流工の2種類がある。土壌保全事業は、MACによる地域開発事業の一環として始められた。

MACは1960年に土壌保全計画を立案し、1962年から1966年にかけて、チャマ川上流域、ムクチェス付近の450haの地域で実施した。事業の内容は159,500Bsを要し、主として、農地に水を導くための水タンク、ため池、水路の建設である。

これらの構造物の維持管理は、1967年から1977年にかけてMACにより行われていた。1978年にMARNRが設立されてからは、これらの作業はMARNRに移管された。

チャマ川流域での溪流工の主要構造物はチェックダム、土留擁壁、床固工である。1984年から1988年の5年間でMARNRは21,763,384Bsを、都市化の進んだ地域に影響のあると考えられる河川を対象にした事業に投資した(表2.5-2参照)。これらの事業は、砂防の広域防災の代りに、特に土砂災害の多発地域を守る為に行われた。

下流域の洪水対策

チャマ橋、左岸下流12kmに渡る堤防が第5局の主要洪水対策工として左岸側のバナナ畑、居住地及び道路の浸水を防ぐ目的で1975年に23百万Bsを費して建設された。

又、1985年には河口付近の土砂を2kmに渡り8百万Bsを要して浚渫した。

2.6 植 生

2.6.1 植生の現状

植生の垂直的分布

図2.6-1に示すチャマ川流域の標高と年平均気温の関係から流域は標高別に年平均気温により熱帯機構、温帯、寒帯、アンデス山脈特有のパラモ帯、および氷雪帯の5気候帯に区分される。植生限界はパラモ帯まででパラモ帯ではイネ科のカラマグロスティス、フェストカ、アグロスティス等の雑草を主体とした草原である。

図2.6-2に年間降水量と植生型の関係を示す。標高1,000m以下、年間雨量2,000mm以上の熱帯気候では樹高30~50mの熱帯雨林が成立しているが“Semi-Arid Area”では2m程度の有刺低木に覆われている。

植生の地域別分布及び特徴

チャマ川流域の植生地図を図2.6-3に示す。同図では植生が高木林・低木林、草原に3分されている。高木林は主幹のはっきりした20~40mの高さの高木が主体であるが、低木林は2~3mの高さで根元で枝分れしたものが多い。

気候及および植生の垂直的分布に着目した5小流域における植生の特徴は次の通りである。

(1) 上流域

チャマ川上流域の気候区分は、温帯、寒帯及およびパラモ帯に属する。温帯、寒帯では低木林および高木林がそれぞれ上流域面積の15%および5%で分布している。一方、これらの気候帯より上のパラモ帯では、上流域面積の76%が草原で占められている。上流域の草原の大半は非耕作地であり、チャマ川沿いの一部の地域で農業や放牧が営まれている。斜面傾斜が30°以上になると、山腹での土壌侵食がみられ、特に急斜面でそれが顕著である。

侵食防止工は、農地・牧草地保全の目的でMACの指導のもとに、農民等により施されている。

(2) 中流域－Ⅰ

中流域－Ⅰの大半の地域では年間降雨量が1,200～1,600mmである。森林が比較的良好に発達しており当流域の54%が高木林で占められている。パラモ帯では上流域同様、草原で覆われている。高木を伐採し牧草地として利用されているので、この流域の森林帯では、草原や低木林が広く分布している。この牧草地は、肥沃な土壌と恵まれた雨により成育が良好である。しかし、一部で土壌浸食が発達している。

(3) 中流域－Ⅱ

中流域－Ⅱの大半の地域での気候帯は熱帯に区分される。一方分水嶺付近の標高2000～3000mの山地帯では、寒帯又はパラモ帯に属し、年間降雨量は1000～1200mmである。一方、チャマ川沿いには“Semi-Arid Zone”が広がり、この地域の年間降雨量は600～800mmである。

この流域の植生は低木林が45%、高木林47%、草原8%で構成されている。又、40°以上の急斜面が多く見られ、特に河道沿いの山腹では、裸地化を伴いながら土壌浸食が進んでいる。さらに45°以上の斜面では土砂が既に流出しており植生はない。

南もしくは南西斜面での植生は東もしくは北向斜面と比べ貧弱であり、裸地化も進んでいる。“Semi-Arid Area”での地質は、粘板岩、千枚岩、頁岩、片麻岩といった変成岩が主体である。それゆえに土壌は微細粒砂を多く含み乾燥しやすいものである。

(4) 中流域－Ⅲ

中流域－Ⅲの河道（モコティエス川）は、標高3,400mの原流点から標高600mのチャマ川合流点まで流下している。気候区分でいうと熱帯、温帯、寒帯に含まれ、年間1,000mmから1,600mmの降雨がある。

この流域は全域森林に覆われ、78%が高木林で占められ東部の高地では低木林が主に生育している。この流域は最も植生の安定した地域で、土砂生産も流域内で最も少ない。

(5) 下流域

下流域は、標高 110mのチャマ川とモコティエス川の合流点からマラカイボ湖までの区間で、年間降雨量は1600mm～2200mmの範囲である。年平均気温は24℃で全流域が熱帯に属する。

この流域の植生は、農地56%、高木林44%に分けられており、河口に向けて、牧草地やバナナ畑の占める割合が増していく。従って下流域では、植生保全に代って、洪水対策が必要となる。

2.6.2 土壌保全工

植 林

土砂生産を抑制する為に、植林による土壌保全工は1955年から1981年にかけて行われた。その後、1982年から1988年にかけてラグニャスで 115ha、又1988年にはメリダ市で 147haの追加植林が行われた。

植林にはマツ属 (Pinus Sp.) が主に用いられる。これは種子や苗木の入手が容易であることや、造林後の活着が良いこと、成林した後に自然繁殖が容易であること等の理由によるものである。

山腹保護工

チャマ川上流域のムクチエス付近の山腹地では山腹工として等高線壕工法が採用されている他、改良目的でムクチエスの近くの植林地帯でも用いられている。この工法は極端な荒廃地や、植林の為の種子の選定を誤まらない限りは急傾斜地の保全には有効である。

道路法面保護

チャマ川中流域“Semi-Arid-Zone”を横切る幹線道路7号線の法面ではマメ科の樹木と、イネ科のメリニスミタティフロラの直播きによる法面保護工が施され効果をあげている。

2.7 社会経済状況

2.7.1 国土開発計画

ヴェネズエラでの最近の開発計画である第7次国土開発計画（1984年から1988年）は①国家開発と経済拡大の促進、②ヴェネズエラ国民の生活水準の向上、③収入の公平分配を開発戦略としている。これらの戦略は以前からのものであるが、ヴェネズエラが経済の低成長時代を経験したことで、これらの戦略の基本原則が「さらに生産的な国家を目指す」ということになってきたことを認識するに至った。

具体的には、公的機関と私的機関の協力、石油にたよらない経済を基盤とした通貨（ボリバル）価値の引上げ、石油資源開発に対する石油所得の投資、経済的自由と責任の確立、生産性の向上と供給の増大による価格の安定である。

GDPの年間上昇率、失業率、他の主要な示標は表2.7-1に示す通り、本計画で求められている。

2.7.2 人口

ヴェネズエラの人口調査は1971年と1981年に実施されており、2000年までの国家人口および地域人口増加は既にOCEI（統計・情報中央局）が推定している。推定値によれば、1988年に18.76百万人、人口密度20人/km²に到達し、人口の80%が都市部に集中する。1980年から1988年の年間増加率は2.8%である。

流域3,517km²、8地区、28市町村に広がるメリダ州のチャマ上・中流域はメリダ州全面積11,300km²の31%に及ぶ。州都であるメリダ、エルビヒア、エヒド、トバルの4都市の合計人口は1988年で300,000人以上であり、28市町村の68%が、又メリダ州全人口の51%が都市部に集中している。

1981年から1988年のチャマ川上・中流域の人口増加率は3%に到達し、この値はメリダ州平均の2.6%や、ヴェネズエラ全平均の2.8%を上回る。さらに、都市部では3.5%の伸びを示し郊外の2%を大きく上回っている。人口密度は101人/km²でこれは州平均、国平均の2～5倍に相当する（表2.7-2）。

下流域はスリア州コロロン地区ウリバリだけに位置し、人口密度は、22人/km²である。1981年から1988年の人口増加率は1.6%でヴェネズエラ平均を下回る。

2.7.3 地域経済

メリダ州の地域経済は、1979年で地域総生産の57%が第三次産業に頼っており、第二次産業31%、第一次産業12%と続く。さらに第二次、第三次産業は1970年～1979年間の各産業の年間成長率10%および5%が示すように急成長を遂げている（表2.7-3）。

メリダ州及および周辺地域（スリア、タチラ）の主要農産物はバナナ及び野菜類で、国内生産のそれぞれ46%、18%を占める。これらの農産物の74%、87%がエルビヒアに集められた後カラカスやマラカイボといった他の地方に配給される（表2.7-4）。ここ5年間の主要都市における年間物価上昇率は14.3%から19.3%で平均すると17.2%となる。メリダでの物価上昇率はほぼ平均値と同じで17.6%である（表2.7-6）。

2.7.4 土地利用

“ヴェネズエラの屋根”と呼ばれるメリダ州は面積の大半が山地で、その75%が自然の状態、24%が農地牧場に利用されている（表2.7-7）。

上・中流域での土地利用は、州内の土地利用とほぼ同じ傾向をみせるが都市域、産業域が他地域と比べ若干大きめの値を示す。農耕地が600km²、牧草地が440km²で他の土地は非農耕地である（図2.7-1）。

農地や牧草地に適した、肥沃な土地は国土の2%にしかすぎず、このうち30%がチャマ川下流域で占められている。（チャマ川を中心として）エスカランテ川とムクヘベ川に挟まれた1,890km²の土地はほぼ全域に渡り活用されており、主にバナナ畑（14%）、牧草地（77%）に利用している（図2.7-2）。それぞれの1ha当たりの年間生産量はバナナが25,000～30,000Bs/ha、牧畜によるものが6,000～9,000Bs/haである。

2.7.5 道路網

国道2号線と7号線の2本の主要幹線道路がチャマ川流域を走っている。上流域を走る国道7号線はエスタンケス通って2大主要都市メリダとトバルを結ぶ。国道2号線はエスタンケス付近で、7号線と分岐しチャマ川中・下流域沿いに主要都市エルビヒアとエルモラリトを結ぶ道路である。

メリダーパンアメリカン道路の一部としてエスタンケスとエルビヒアの間で1991年

完成予定の新道の建設が行われている。この新道はチャマ川沿いに計画されており、全長の20%をトンネルが占めている。完成後は、国道2号線と比べエスタンケスとエルビヒア間の所要時間が70%も短縮される。

メリダとエルビヒア間の交通量は、日 8,000台以上であり、トバルとエスタンケス間では 3,000台~4,5000台である。交通量の詳細については図2.7-3に示す。

2.7.6 予 算

第7次国土開発計画（1984~1988）期間中の国家予算は、1984年の 75.04百万Bsから1988年の 185,122百万Bsへ年平均で約25%の伸びを示している（表2.7-8）。

国家予算の割り当ては行政府に98%与えられ、残りを立法府と司法府にそれぞれ、0.7%、0.9%分配されている（表2.7-9）。

現在、行政府は16の省庁で構成されており、大蔵省、文部省、内務省の3省には国家予算のそれぞれ35%、15%、14.7%という大きな割り当額を与えている。このうち大蔵省では予算の85%をローンの返済、利子の支払に当てている。

MARNR（環境天然資源省）の予算額は第9位（国家予算の 2.8%）であるがその年間伸率は流通貨ベースで36.5%と全体平均と比べ非常に大きな値を示している。GDPに対する国家予算の比率は1984~1987年で18.8%~24.8%、平均では約22%である。

チャマ川流域保全に関する関係事務所はMARNR第16地域局と第5地域局、マラカイボ南部地域事務所で、それぞれ所在地はメリダとエルビヒアである。（尚第16地域局は実際にはメリダ州全域を取り扱っている）表2.7-10にはMARNRとこれらの事務所に関する公共投資額の合計と個々の投資額の比較を示す。

第16地域局の住民1人当たりの投資額は平均で29Bsであり、国内平均の41Bsを下回っている。一方、マラカイボ南部地域事務所では 386Bsである。これはこの地域で現在国家事業が進められている為である。

2.8 組織と法規

2.8.1 組 織

ヴェネズエラ政府は、総理府と16の省庁で構成される中央政府と州及び地方自治体で

形成されている地方府で成立っている。MARNR、MAC、MTC及び関係地方自治体は、調査・計画から流域保全事業の実施を担当し、CorpoandesとCIDIAは調査・計画を行っている。

河川管理

チャマ川はMARNRの地方局である第5地域局と第16地域局の管轄内にある。これらの事務所はそれぞれメリダ州およびスリア州内にある区域を取り扱っている。

メリダ州内には管理が必要となる主だった河川構造物はなく、第16地域局はエヒド水位観測所での水位観測以外の定期的な河川管理は行っていない。

第5地域局は2週間毎に左岸堤防の定期視察を行っている。また当事務所は河道浚渫工事を8百万Bsの費用を投じて河口部2km区間において実施している。又、エルビヒア近くのチャマ川では第5地域局の観視の下で建設資材用に河床砂利の採取が行われている。

洪水予警報と水防

洪水予警報と水防の責務は、内務省の市民防衛局に課せられている。しかし、洪水予警報に関しては何もされておらず、救助活動や復興作業も災害発生時にのみ行われているだけである。

破堤防止の為の水防作業はエヒド水位観測所で水位が2mを越えた場合に第5地域局により実施される。水位に関する情報は電話で観測所から第5局事務所に伝えられる。

2.8.2 法規

土地利用に関する法規

ヴェネズエラの土地利用に関する法規は、土壌及び水に関する森林法、土壌および水に関する森林法に係る規則および法規、環境法、土地改良法および土地所有法である。

チャマ川流域における土地利用法規

土地利用法規を直接適用する主要官庁であるMARNRは、チャマ川流域、特に

メリダ市上流域において、次に示す条例を行使している。

- メリダ市より上流のチャマ川流域は面積の50%が国立公園の指定を受けており、これらの地域においては、これ以上の開発を認めず、現況の維持に努める。
- 他の地域では開発する場合にはMARNRの許可が必要であり、かつ大規模開発は認めない。
- 流域の保全を押し進める為に流域住民に教育や訓練を実施する。
- 違法行為を阻止する為に、軍部の協力を得て、定期的な監視を行う。

上記の事項に加えて、流域北部地区に新規の国立公園を設立する調査が進められている。

ムクフン川流域の土地利用

自然環境を保持することが重要であると考えられる特別な流域では、土地利用を厳しく規制する特別条例を発令している。ムクフン川流域はメリダに都市用水を供給するだけでなく、居住区域やレクリエーションゾーンとして重要な役割りを果しているが、1986年10月に土地利用規制に関する地方条例を発令している。

2.9 関連事業

チャマ川流域における竣工事業および現在進行中の事業のうち、本調査に特に関連するものは、次の通りである。

マラカイボ湖南部開発事業

1963年にMARNR（当時MOP）はマラカイボ湖南部の630,000haに及ぶ区域について、洪水防御、道路整備、排水システム整備を含む農業開発事業に乗り出した。この事業は、河道改修486km、オニアダムの建設、排水システムの整備323km、道路建設247.4kmに及ぶものである。

洪水防御事業の一部としてMARNRはスリア川、カタトンボ川、エスカランテ川およびチャマ川といった主要河川を50~100年確率の計画規模で改修する計画を立てた。

486kmの河川改修事業のうちで、1988年までに327km区間が完了、又、当流域開発事業の総事業費は1979年に1,100百万Bsと見積られており、これは当時のMARNR

の年間予算に匹敵するものであった。

ただしチャマ川に関しては、上中流域からの土砂の問題から、河道改修は放置されたままになっている。図2.9-1に計画河道改修区間を示す。

チャマ川からムクヘペ川への放水路建設計画

先に述べた洪水防御計画の一環として、チャマ川河道沿いの河道改修事業が、下流域の洪水被害を緩和する目的で最初に調査された。その後、河道改修の方法として1972年に技術的・経済的な理由から、放水路案が提案された。この放水路案は、エルビヒア下流12km地点で洪水を全てムクヘペ川に転流させるものである。図2.9-2に本計画平面図を示す。

計画洪水として100年確率流量 $1,500\text{ m}^3/\text{s}$ を延長およそ40kmの放水路全区間に適用している。又、建設費の総額は1980年に215百万Bsと見積られている。ムクヘペ川の河道掘削は河口から10km区間で既に実施されている。しかし、流出土砂問題の為に事業は中断したままである。

ミジャ川改修計画

メリダ市中を流れるミジャ川は河道沿の道路・家屋に洪水被害をおよぼしている。この問題を解決する為、MARNR第16地域局は1985年に河川改修の調査に着手した。この改修計画は50年確率洪水を対象に策定されている。

パンアメリカン道路

本プロジェクトは、エルビヒアとエスタンケスの間をショートカットするバイパス道路を建設するもので、ヴェネズエラ政府(MTC)が1200百万Bsを投じて4kmのトンネル区間を含む、全長20kmの道路を1978年~1990年に渡り建設している。この事業で $3,500,000\text{ m}^3$ の掘削量のうち、約 $2,000,000\text{ m}^3$ の土砂がチャマ川に投棄されたと考えられる。

1989年から1993年の砂防事業

将来における土砂抑制についてMARNR第16地域局は“Plan de Inversiones de sde 1989 hasta 1993、Grupo de Infraestructura、Zona No16、MARNR”を提案

した。これは、チャマ川流域のみならずサントドミンゴ川流域も包絡した、砂防5ヶ年計画である。

全事業費は、31,691,788Bsと見積られ、30%以上が溪流に設置されるチェックダムの建設に割当てられている。過去5年間と今回の予算を比べてみると構造物の建設よりも植林、土壌保全、苗木の育成といった土地保全対策により力を入れていることがわかる。しかし、これらの計画はあくまで、特定地域の保護を目的としたものであり、流域全体の観点に立った砂防計画とはなっていない。

第3章 調査及び解析

3.1 水文解析

3.1.1 降雨解析

降雨原因

チャマ川流域の降雨は主として、短時間局所集中型降雨である。

チャマ川最上流の地域では降雨は年に1回の周期で6、7月に集中する(Llanos Pattern)。この降雨は、南半球からの寒冷前線により引き起こされる。

一方、最上流域を除くチャマ川流域全体に広く分布する年2回周期の降雨パターン(Semi-annual Pattern)の地域では5、6月及び10、11月に局所集中降雨が発生する。これらの降雨は熱帯地方で特徴的な西進東風波によりもたらされるものである。

ハリケーンについては、今回の調査地域におよぶ可能性はないので計画対象外とした。

降雨の地域及び時間分布

図3.1-1に、下流域で記録的な洪水をもたらした1972年4月27日降雨と、1982年5月2日降雨の日等雨量線図を示す。これらの日等雨量線図から、比較的強い雨がメリダを含むチャマ川中流域中央部もしくは、チャマ川とモコティエス川の流域界に降った場合に下流域で洪水が発生していることがわかる。しかし、洪水時における流域平均日雨量は小さく30mm以下でしかない。

流域内の時間雨量の記録は、1983年以降の分しか整理されていない。図3.1-2に、1988年9月6日洪水時の主要雨量観測所における降雨の時間分布と、エヒドで観測されたチャマ川の洪水波形を示す。これらの資料によると、洪水の原因となる降雨は、降雨継続時間が数時間で降雨量は30mm/day以下となっている。

年間最大流域平均日雨量

1967年から1988年の資料を用いて、岩井法により求めた流域平均確率日雨量は次表に示す通りである。

確率年 (year)	流域平均確率日雨量 (mm/day)
100	35.2
50	32.5
30	30.5
10	25.8
5	22.4
2	16.9

降雨強度曲線

当流域は降雨強度に関して4区域に分割される。図3.1-3にこれら4区域の100年確率降雨強度曲線を示す。

最も強い降雨強度を示す区域はトバル、エルメソン、サンペドロチグアララパルミタ、エルビヒアの各観測所がある最上流域を除いたモコティエス川流域から、チャマ川流域にわたる範囲である。

次に強い降雨強度を示す区域は、バジェグランデ、メリダ、メサデヒド、ハヒ、サンファンデラグニジャス、トストス、パラモエルモリノの観測所がある、チャマ川中流域である。

ヌエストラセニョーラ川流域のエルモロ観測所は第3位の降雨強度を示す。最も弱い値を示す区域は、パラモデムクチエス、パラモピコエルアギラ、ムクバヒの各観測所がある、チャマ川最上流域である。

チャマ川中流域、“Semi-Arid Zone”に位置するエルモロ、トストス、サンファンデラグニジャスの年間降雨量は500mm～600mmである。

これらのうちトストスとサンファンデラグニジャスはメリダ、メサデヒド、ハヒ等年間降雨量1,000mm～1,800mmの地域と同程度の降雨強度を示している。

3.1.2 流出モデル

流域に関する貯留関数モデル

今回の調査では洪水流出モデルとして貯留関数法を用いた。貯留関数法は非線形である流出現象を表現する為に開発された手法で、流域の貯留量($S \ell$)と流出量($Q \ell$)

の関係は次式で与えている。

$$S \ell = K Q \ell^P$$

ここでKとPは定数

この式は、貯留量 $S \ell$ を流出量 $Q \ell$ の指数型関数で表した運動方程式であり、流出量は次に示す連続方程式と併用して求められる。

$$\frac{dS \ell}{dt} = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot \gamma \text{ave} \cdot A - Q \ell$$

ここで、 $S \ell$: みかけの流域貯留量 ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{hr}$)

f : 流入係数

γave : 流域平均雨量 (mm/hr)

A : 流域面積 (km^2)

$Q \ell = Q(t + T \ell)$: 遅滞時間を考慮した流域直接流出量 (m^3/s)

$T \ell$: 遅滞時間 (hr)

流入係数 f について、

貯留関数法では、初期降雨の段階では $f = t_1$ 、累加雨量が R_{sa} を越した場合は $f = 1$ としている。

河道に関する貯留関数モデル

河道の貯留機能は、次式で表わされる。

$$S \ell = K \cdot Q \ell^P - T \ell' \cdot Q \ell$$

ここで、 $S \ell$: みかけの河道貯留量 ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{hr}$)

$Q \ell$: 流出量 (m^3/s)

K、P : 定数

$T \ell'$: 河道に関する遅滞時間 (hr)

流域分割

流出解析上の流域モデルは図3.1-4に示す21の小流域と4河道とした。

流域に関する定数K、Pおよび遅滞時間T ℓ

前出の運動方程式中の定数KとPは次の様にして求めた。

“P”は次式を用いて小流域毎に求められる。

$$P = 0.175(I^{-1})^{0.235}$$

ここで I : 流域の平均勾配

“K”は流域の平均勾配を用いて次式で表わされる。

$$K = \alpha \cdot (I^{-1})^{-0.3}$$

上式中の α については、既往の洪水を用いて試算を行い求めた。その結果 $\alpha = 25$ となり、上式は

$$K = 25 \cdot (I^{-1})^{-0.3}$$

と表される。

遅滞時間T ℓ は次式で求めた。

$$T \ell = 0.0470L - 0.56 \quad (L > 11.9\text{km})$$

$$T \ell = 0 \quad (L < 11.9\text{km})$$

河道に関する定数K、Pおよび遅滞時間T ℓ'

解析上、4河道について考慮しており、河道No.1、2、4については遅滞時間のみを、又河道No.3については貯留効果も計算に組込んだ。

河道No.3の貯留効果は河道の流れをマンシングの等流とし、以下の条件を与えて求めた。

$$\text{マンシングの粗度係数} \quad n = 0.04$$

$$\text{河床勾配} \quad I = 1/73$$

$$\text{平均河道幅} \quad W = 200\text{m}$$

$$\text{河道延長} \quad L = 30\text{km}$$

この結果、 $K = 36.4$ 、 $P = 0.6$ となり河道No.3の貯留関数は次式で表される。

$$S = 36.4Q^{0.6}$$

河道のT ℓ' は次式により求めた。

$$T \ell' = (7.36 \times 10^{-4}) \times L \cdot I^{-0.5} \quad (\text{hr})$$

ここに L : 河道区間延長 (km)

I : 河道平均勾配

f₁ と R_∞

f₁ と R_∞ は実績及び推定ハイドログラフの累加流出高プロットより求めた。

f₁ は雨量に無関係に (R_∞ : 無限大) 森林及び草地に対しては 0.6、裸地について 0.8 となった。

3.1.3 エルビヒアにおける洪水波形

計画降雨の継続時間と総雨量

計画降雨の継続時間は、次の理由から 1 日とした。

— 前章で述べた様に、洪水の原因となる降雨の継続時間は、数時間 (およそ 2~10 時間) である。

— 時間雨量を調査した結果、洪水の原因となる雨は主に午後から降り始め夜に終わり、水文日で 2 日間に渡ることはほとんどない。尚、ここでベネズエラの水文日は 9 : 00 AM から翌朝 9 : 00 AM までのことを言う。

— エルビヒアでのチャマ川の洪水到達時間はおよそ 6 時間である。

尚、前章でも述べた様に、年間最大流域内日平均雨量に関する確率雨量は 1967 年から 1988 年の 22 年間のデータをもとに算出した。

計画降雨の地域および時間分布

計画降雨の地域および時間分布は、既往降雨を基にして決定した。

時間雨量資料で利用可能なものは 1985 年から 1988 年の年分であるが、これをもとに年流域平均 1 日雨量が各年で最大値を与える時のパターンを用いて 4 つの分布パターンを作成した。

降雨強度曲線による制限

計画降雨は、先に述べた様に、実測降雨から引きのばしにより算出した。但し、継続時間毎に確率降雨強度曲線に基づく最大値を設定した。又、確率地点雨量から確率流域雨量を求める際の面積低減率は、フレッチャー式によった。

計画洪水波形

洪水波形は、先に得られた小流域と河道の貯留関数モデルに、上記の計画降雨を適

用して求めた。求められたエルビヒアにおける洪水波形を図3.1-6に、又洪水のピーク値を以下に示す。

計画降雨のタイプ	エルビヒアでの100年確率ピーク流量 (m ³ /s)
1985	1,912
1986	2,239
1987	1,642
1988	1,947

これらの結果より、1986年タイプの洪水波形を計画洪水波形に設定し、チャマ川、エルビヒア地点での100年確率ピーク流量は2,300 m³/sとした。

エルビヒアでの確率年毎のピーク流量は次の通りである。

超過確率年 (年)	100	50	30	10	5	2
ピーク流量 (m ³ /s)	2,300	2,100	1,850	1,450	1,200	750

3.1.4 チャマ川沿いの設計流量

El Vigiaでの計画洪水波形は、1986年タイプの洪水波形により決定された。

しかし、この洪水波形はエルビヒアでは他のタイプより大きなピーク流量を示すが、降雨の地域分布を見ると、むしろ下流域に集中している。

従って、ここではチャマ川中流域沿いの設計流量を設定するに当たり、上流域で比較的大きい降雨量を示す1988年タイプの洪水波形を計画波形に選定した。中流域の主な地点での設計流量は次表の通りである。

河川名	地点	ピーク流量 (m ³ /s)
ヌエストラセニョーラ川	チャマ川合流点	610
チャマ川	ヌエストラセニョーラ川合流点からラゴンザレス川合流点の区間	1,800
チャマ川	ラゴンザレス川合流点からモコティエス川合流点の区間	1,950
チャマ川	モコティエス川合流点からラスシア川合流点の区間	2,250

3.1.5 上流支川の設計流量

対象支川

ミジャ川、アルバレガス川、モンタルバン川、ポルトゲサ川の上流支川の計画流量算出にも、貯留関数法を用いた。これらの支川の諸元（流域面積河川延長等）一覧表を次表に示す。

	ミジャ川	アルバレガス川	モンタルバン川	ポルトゲサ川
流域面積 (km ²)	7.7	39.5	14.8	20.0
河川延長 (km)	5.5	16.0	6.0	9.8
平均勾配	1/4.5	1/6.3	1/2.5	1/4.7
洪水到達時間 (hr)	0.44	1.27	0.48	0.78

計画降雨

計画降雨は、中央集中型降雨とする。バジェグランデ、パラモラクラタ、メサデエヒド、メリダの降雨強度曲線を適用し、フレッチャーの方法による面積低減率を考慮した各支川の降雨強度は次の通りである。

河川名	ミジャ川	アルバレガス川	モンタルバン川	ポルトゲサ川
流域面積 (km ²)	7.7	39.5	14.8	20.0
面積低減率	0.95	0.83	0.93	0.91
降雨 (mm)				
30分	35.6	31.1	34.9	34.2
1時間30分	54.2	47.4	53.1	52.0
3時間30分	75.5	66.0	73.9	72.3

計画流出量

アルバレガス川、モンタルバン川、ポルトゲサ川の100年確率ピーク流量およびミジャ川の50年確率流量は、貯留関数法を用いて算出し、その結果は次表の通りとなった。

河川名	ミジャ川	アルバレガス川	モンタルバン川	ポルトゲサ川
計画流出量 (m ³ /s)	60	180	110	130

3.1.6 日流出量

使用した資料

チャマ流域日流出量資料のうち使用したものは次の通りである。

チャマ川流域	エヒド	(計算値) (実測値)	1953～1975 1976、1978～1986
チャマ川流域	ムクルバ	(実測値)	1975～1976、1978～1987
モコティエス川流域	ラビクトリア	(計算値)	1953～1975

日流出量

上節に示した解析に用いたデータの期間を参考にして、1967年から1975年の日流出量を算出した。このとき、次に示す変換率をチャマ流域のエヒド及びモコティエス流域のラビクトリアのデータから日流出量を算出する際に用いた。

区域	小流域	年間降雨	変換率
区域1	1、2、3、4、5、6、7、10、11	1,200	エヒドに対して1.00
区域2	8、9、12、13、14、15	650	エヒドに対して0.54
区域3	16～21	1,170	ラビクトリアに対して1.00

計算の結果、小流域毎の月平均日流出量は表3.1-2に示す通りとなった。

3.2 土石流調査

3.2.1 概要

チャマ川流域は、土砂の点から見ると“不安定流域 (Active)”に分類される。即ち、大洪水時のみ大量の土砂移動が見られる“安定流域 (Non-Active)”と異なり、土砂の生産、輸送、堆積が1年を通して継続的に行われている。従って、砂防計画の解析に当たって、土砂流出は年間流出量をベースに算出した。

まず河道における土砂生産量と輸送量を最も適した計算式を用いて算出し、次に基準点であるエルビヒアにおける計画土砂量に関する土砂収支計算を行った。

3.2.2 土砂生産

生産形態

地形、地質、土壌、気象に関する現地調査の結果からチャマ河流域の土砂生産は、次の3つの要因から起こっていることが判明した。即ち、(1)裸地地域での斜面侵食、(2)山腹での斜面崩壊、(3)急流河川の溪流侵食である。

裸地斜面は主に年間降雨量がわずか 660mm程度のチャマ川中流域、ヌエストラセニョーラ川流域内の“Semi-Arid Area”で見られる。又侵食は雨が少ない為、面的な侵食よりも、線的な侵食（ガリー侵食）となる。

斜面崩壊は主に第三紀中生代及び古生代層の風化岩から成る丘陵地域で見られる。崩壊面積は 2,000m²、又、崩壊土量は20,000m³と推定されている。

溪流侵食はヌエストラセニョーラ川、サンパプロ川、ラビスカイナ川、及びこれらの支流で観測されている。第2段階（Second-order）以上の河道は、河床に堆積する侵食土砂の源である。又、第4段階（Fourth-order）以上の主な河道では、河岸侵食が起こっている。

生産土砂量

上記の土砂生産区分に従って、土砂生産量は次の条件を考慮した最適な計算式により求める。

- 生産、流出及び移動土砂量は、降雨量や流出量を変化させ、数ケースについて算出する。
- 各基準点と小流域での土砂量は、地形、地質及び各小流域の状態を参考に算出する。

上記の条件を満たすものとして、次の計算式が土砂生産量算定式として用いられた。

(1) 斜面侵食

次式は、S. Kohmura により提案された大流域に適用されるものである。

$$E v = \frac{476 C a C e}{d} q^{15/8} \cdot L^{3/8} \cdot S_0^{3/2}$$

ここで、斜面の流入量 q は、次式で表される。

$$q = 2.778 \times 10^{-7} \cdot f \cdot i \quad (\text{m}^3 / \text{s} / \text{m}^2)$$

E v : 侵食土砂量 ($\text{m}^3 / \text{s} / \text{m}^2$)

C a : 裸地面積比

C e : 侵食能係数

f : 流出係数

i : 降雨強度 (mm / hr)

L : 流路延長 (m)

d : 平均粒径

S o : 斜面勾配

(2) 斜面崩壊

次式は、Uchiogi により、日本での斜面崩壊の定期観測結果を基にして提案されたものである。斜面崩壊土砂量 C v は次式で表される。

$$C v = D \cdot K \cdot A (\Sigma \gamma - \gamma_n)^2 \quad (\text{m}^3)$$

ここで、 D : 平均崩壊深さ

K : 定数 (4.0×10^{-6})

γ_n :

A : 流域面積

$\Sigma \gamma$: 累加雨量

(3) 溪流侵食

次式は、Brown の式から導かれたもので、溪流侵食の計算に用いられる。

$$Q b = \frac{1.925 \times 10^3}{d} \left(\frac{n Q}{B} \right)^{3/2} \cdot i^{7/4} \cdot B$$

ここで、 Q b : 溪流侵食土砂量 (m^3 / s)

- B : 溪流幅 (m)
i : 河床勾配
n : マニングの粗度係数
Q : 流出量 (m³/s)

上式で求めた土砂生産量は、表3.2-1に示す通りである。年間土砂生産量は、25,560,000m³ (粗粒分 5,240,000m³、細粒分20,320,000m³) である。

粗粒分 5,240,000m³のうち斜面侵食が 2,775,000m³、斜面崩壊が55,000m³、溪流侵食が 2,410,000m³となっている。

3.2.3 土砂の流送と収支

土砂流送と収支調査の手法

斜面や溪流から生産された土砂の移動を把握する為にチャマ川本川及び主要支川沿いの土砂流送と収支の調査を図3.2-1に示す手法で実施した。

砂防計画の基準点はエルビヒアに設定し、主としてエルビヒアでの土砂流出量の算定を行った。又、他の数地点を流域内の土砂移動を把握する為の検証点として設定した。

土砂流送・収支解析に用いるm³/年の単位で表わされる土砂流出量は基準点同様、各検証点において算出された単位年当たりの土砂流出量から求めた。

検証点と流域分割

流出土砂量を計算する検証点は、土砂対策計画の検討条件を考慮の上、33地点を選定した。又、チャマ川流域を“土砂流送・収支モデル図 (図3.2-2)” に示す通り21の小流域と12の河道に分割した。

流出土砂

流量-流砂量関係曲線は現地調査より得られた河床材料の粒度分布をもとに、流砂量公式を適用して求めた。

現況河道の掃流砂量の算出には、芦田、高橋、水山の式を用いた (詳細はサポーターングレポートに記す)。この式はさまざまな河床材料で構成されている山地急流河川の掃流砂量を算出するのに広く用いられている。

数ヶ所の検証点での流量－流砂量関係曲線を図3.2－3に示す。加えて、表3.2－2に各検証点で用いられた流量－流砂量関係曲線の定数を示す。

限界流量

土砂流送モデルにおいては、固定床と移動床の2つの河床形態が考えられる。固定床では、流送土砂は、流域内で生産されたものや、上流域から運ばれてきたものであるが、移動床においては、河床材料そのものが送流土砂となる。

しかし、2.3.2章で述べた様にチャマ川や主要支川では、河床はアーマコートで覆われており、比較的大流量が流れてきて、アーマコートが崩れない限り河床材料は流送されない。即ち、掃流力がアーマコートを構成する材料のマサツ抵抗力を上廻る場合に材料の移動が始まる。この掃流力は限界送流力として知られている。

アーマコートを崩す様な流量をここでは限界流量と呼ぶことにする。

各検証点における限界流量を表3.2－3に示す。

土砂収支

土砂収支計算は、日流量を用いて、現況河道での土砂移動量を知る為に、21小流域、12河道で構成される33点の検証点で行った。以下に土砂収支計算の手順を示す。

(1) 流入土砂量

流入土砂量は小流域に関して3.2.2で計算した、流域からの生産土砂量を基に算出した。河道に関する流入土砂量は、次の2項目の和とした。

－上流河道からの流入土砂量

－支川河道からの流入土砂量

(2) 流出土砂量

流出土砂量は、河道断面、河床勾配、粗度係数、河床材料の粒度分布といった各河道の水理特性により決められる、土砂流送能力に支配される。流出土砂量は、流量・流砂量関係曲線を用いて算出した。

(3) 土砂収支

土砂収支は次式で表わされる。

$$S_b = S_i - S_o$$

ここで S_b : 土砂収支 (m^3)

S_i : 流入土砂量 (m^3)

S_o : 流出土砂量 (m^3)

S_b が正の場合、流域や河道に堆砂が進み、 S_b が負の場合、侵食が起こる。

(4) 土砂収支計算の条件

土砂収支計算では、固定床と移動床の2つの河床形態が適用される。

固定床では、河床侵食は起こらない。No. 1、2、3、9、10の河道と全小流域が固定床と認められた。又No. 4、5、6、7、8、9、11、12は河床侵食と堆砂の起こる移動床である。

計算結果

1967年～1975年の9年間の日流量を用いて流送土砂量の算定を行った。表3. 2 - 4に示す通り、平均流入土砂量は $6,260,000 m^3/年$ 、基準点での平均流送土砂量は $9,600,000 m^3/年$ である。

従って、土砂収支は $-3,340,000 m^3/年$ であり、この土砂は河床および河岸侵食により本川から流入してくるものである。土砂濃度は、年間流量が $2 \times 10^9 m^3/s$ であるので約 0.5% となる。

3.2.4 計画流送土砂量

広域砂防計画に関するマスタープラン策定における流送土砂は次の様に定義した。

- 計画流送土砂量は、年平均流量によって基準点に運ばれる土砂量とする。
 - 許容流送土砂量は、河道や流域に被害を与えず、効果をもたらしながら基準点下流の現河道又は計画河道を通過し得る土砂量とする。
 - 設計流送土砂量は、計画流送土砂量から、許容流送土砂量を差し引いた量とする。
- 尚、計算には流送土砂のうち、河道に堆積する可能性のある粗粒砂のみ対象とした。

計画流送土砂量

先に述べた通り、基準点での計画流送土砂量は、9,600,000 m^3 /年である。一方、各検証点での土砂の流入・流出・収支量を知る為、次の条件下で土砂流送、収支モデル解析を行った。

- 流入土砂量は、斜面侵食 3,100,000 m^3 /年、溪流侵食 2,690,000 m^3 /年、斜面崩壊 60,000 m^3 /年の合計 5,850,000 m^3 とする。但し、これらの値は年間ガリー発達量を表す米国土壌保全式を用いて、2020年には11.7%増大する計画で算出した。
- 土砂流送、収支計算を実施するに当たり、1971年の日流出波形をモデルとして用いた。

各検証点の土砂流入、流出、収支量をモデル図として図3.2-4に示す。主な土砂生産源はチャマ川中流域“Semi-Arid area”特にヌエストラセニョーラ川、ラビスカイナ川、サンパブロ川流域である。

これら山地での土砂生産源の他、チャマ川本川の侵食による生産土砂があり、その生産土砂量は 3,750,000 m^3 と推定される。

許容流送土砂量

エルビヒアの下流河道が 100年確率洪水を流下し得る様に改修されるものとして許容流送土砂量を算定した。許容流送土砂量とは河床上昇や低下を伴わないで、マラカイボ湖まで運ばれる土砂量である。

河道改修計画の諸元は次の通りである。

改修区間：53.4km

標準断面：600m幅、単断面河道

堤防：勾配1：2.0の土堤

計算には、芦田、高橋、水山の式を用い、代表断面は、流送土砂量が最小となる扇状地末端とした。

1971年のモデル波形を用いて算出された代表断面での流送土砂量は2,120,000 m^3 /年であり、ここではこの土砂量を許容流送土砂量とした。

設計流送土砂量

設計流送土砂量は、計画流送土砂量から許容流送土砂量を差し引いた7,480,000 m^3 /年である。この土砂量を抑制してエルビヒア下流の河床上昇を防ぐ。土砂移動の概念図を図3.2-5に示す。

3.2.5 土石流災害の発生確率

前章において、チャマ川広域砂防計画基準点であるエルビヒアでの設計流送土砂量を求めた。一方、土石流災害は、局所的に発生し、これを防止する地域防災計画を立案するに当たり、基本土砂量を明らかにしておく必要がある。

当流域では図3.2-6に示す様に170地点の潜在被災地が考えられるが、各地点毎に正確な資料を適用したり、解析の意図を汲んで土砂流出解析を行うことは困難である。従って、調査は降雨をパラメーターとして、被災の可能性の高い地点を選び出すこととした。

被災地の可能発生数

地域防災計画策定のため土石流災害の被災発生可能地数を確率日雨量をもとに求めた。さらに過去5年間に被災した地点は、最も危険な地点として順位付した。

土石流災害が生じない無効日雨量は過去の降雨記録から判断し、エルビヒアでの流域平均日雨量でみて15mm/日と考えられる。このエルビヒアでの流域平均日雨量15mm/日は、地点雨量でみると最大日雨量60mm/日に相当している。

潜在被災地は全流域に及ぶので、流域平均日雨量を基に、被災地の数を求めた。被災地の数が確率日雨量と無効雨量の差の2乗に比例すると仮定すると、発生確率と災害の種類別の被災地の数は、次表に示す通りとなる。

確率年	被災地数			
	土石流	斜面崩壊	溪岸侵食	合計
100年	88	6	6	100
50	63	6	6	75
30	48	6	6	60
10	17	4	6	27
5	7	2	6	15
2	0	0	0	0

可能被災地の選定

各確率年毎の可能被災地は潜在被災地 170地点から流域面積、水路延長、水路・斜面勾配、地質、植生といった自然条件を基に順位付けした危険度を考慮して選定した。

3.3 洪水氾濫調査

3.3.1 洪水氾濫の概要

1972年、1982年、1988年の氾濫

1972年、1982年、1988年の氾濫状況から判断すると、下流域は次の5区間に分割される。(1)左岸に堤防が築堤されているエルビヒア下流12km区間、(2)(1)区間の下流16km区間、(3)河口から32km～45km区間、(4)プエルトチャマ橋下流16km区間、(5)河口から上流16km区間。

過去の氾濫記録によれば、(1)(2)(4)(5)区間での氾濫域は広いが、(3)区間では、さほど広範囲に及んでいない。又、(1)(2)区間で氾濫した洪水は(3)区間で再び河道に流入すると推定される。

氾濫域の地形概要

氾濫域は主として、エルビヒア下流に広がる扇状地である。氾濫水の動きは氾濫域の微地形に大きく影響されるので、これらの調査が必要である。

氾濫が及ぶと考えられる扇状地内の横断図を 1/25000の地形図より作成した

(図3.3-1)。これら各断面を調査した結果、チャマ川沿いに 200m～1,500mの川幅を持つ自然堤防が形成されており、若干高い地盤が 4,000m、5,500mの幅で見られることがわかった。

中小洪水の場合、氾濫水は約 500m³/sの流下能力を持つと考えられる 200～1,500m幅の自然堤防内を流下する。これ以上の洪水では、流下能力2000m³/sと思われる幅 4,000～5,500mの範囲で氾濫する。河口から15km区間では、このような自然堤防は見られず、氾濫は広範囲に及ぶ。先に述べた想定氾濫域を図3.3-2に示す。

3.3.2 河道流下能力

計算条件

洪水氾濫モデルの計算を実施する前に、今回の調査中に実施された測量結果を用いて、次に示す条件でエルビヒア下流のチャマ川の流下能力の算定を行った。

- 流下能力の算定には不等流計算を適用する。
 - 河道の状態から判断して、マンニングの粗度係数 $n = 0.035$ を採用する。
 - まず、全区間について 50m³/s、100m³/s、150m³/s の 3 ケースについて計算する。
- 次に既設の堤防がある 12km 区間については、流下能力が他の区間より大きいので 1,000m³/s、2,000m³/s、3,000m³/s の 3 ケースについて検討する。

不等流計算

(1) 基礎式

洪水解析には次式を用いた。

$$\left\{ H_2 + \frac{1}{2g} \left[\frac{Q_2}{A_2} \right]^2 \right\} - \left\{ H_1 + \frac{1}{2g} \left[\frac{Q_1}{A_1} \right]^2 \right\} = h e \dots\dots(1)$$

$$h e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{N_1^2 Q_1^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{N_2^2 Q_2^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right\} \times \Delta X \dots\dots(2)$$

ここで、添字の 1 は上流断面、2 は下流断面を示す。

H : 水位	ΔX : 区間距離
g : 重力加速度	n : 粗度係数
Q : 流量	
A : 通水断面	
R : 径深	

(2) 計算方法

(a) 断面特性の決定

水位Hと、通水断面A、径深Rの関係は、横断図から求める。

(b) 下流端水位の決定

下流端の水位は、対象洪水および潮位や河道水位といった下流端での条件を考慮して決定する。

(c) 不等流計算

氾濫水位・範囲を求める為、上述の条件と式(1)、(2)を基に下流端から上流端まで連続した不等流計算を行う。

計算結果

計算結果は図VII-10～VII-11に示す。これらの図より、流下能力は兩岸の標高と水位の関係から求められるが、この流下能力は無堤区間では約 100 m³/s 築堤区間で約 1,000 m³/s であると考えられる。

しかし、築堤区間の流下能力は、破堤した場合には約 300 m³/s に減少する。このことは、流出量が約 700 m³/s であった1988年洪水で破堤した時、この区間で氾濫があったという事実からも明らかである。

3.3.3 洪水氾濫解析

洪水氾濫解析の手順は、次に示す通りである。

- －洪水氾濫解析手法の選定
- －洪水氾濫シミュレーションモデルの作成
- －モデル定数の決定
- －洪水氾濫流量計算と水位計算

洪水氾濫解析手法の選定

下流区間の氾濫域は、河床勾配は1/1000以上と比較的急で、氾濫水は河道沿いの斜面をマラカイボ湖まで流下していくと考えられる。

洪水氾濫タイプは一般に大きく貯留型と拡散型に分けられるが、このうち本地域の氾濫タイプは先述の地形条件から判断して貯留型に分類される。

解析手法には、マスキングモデル、擬似不定流モデル、二次元不定流モデル等あるが、氾濫タイプや洪水流下地域の地形と流出解析法との関連も考慮し、貯留関数モデルを採用した。

洪水氾濫シミュレーションモデルの作成

1972年、1982年、1988年の氾濫域の記録および地形図から洪水氾濫状況を反映するため想定氾濫域を5区間に分割したシミュレーションモデルを策定した（図3.3-2参照）。

モデル定数の決定

貯留関数モデルでは、河道を含む氾濫域の洪水氾濫量と貯留量の関係を表すのに下表に示す指数関数式を用いる。

$$S = K Q^P$$

ここで

S : 貯留量 (m³/s・h)

Q : 流出量 (m³/s)

K、P : 定数

流下能力より小さい流量に対する貯留量は単に河道内の貯留量で求められるが、流下能力を越えた場合には、河道の貯留量に加えて氾濫域の貯留量が加わるので、両者の間でQとSの関係は大きく異なる。

従って、SとQの関係は2段階の指数関数で表わされることになる。このとき定数KとPは洪水流量と洪水流量に対応する河道と氾濫域の貯留量との水理的關係を基に決定した。

洪水氾濫流量計算と水位計算

洪水氾濫流量の計算は次の条件で行った。計算結果は図3.3-1に示す通りである。

- 確率年2、5、10、30、50、100年の6ケースの洪水流量に対して行う。
- 農産物に対する被害の大きさは水深だけでなく、浸水時間にも大きく影響を受けるので、計算期間は1週間の洪水波形を採用した。
- 算定された洪水流量を不等流計算で求めたH-Q曲線で水位に変換する。

第4章 計画策定の基本方針

4.1 災害防御対象資産の設定

土砂災害と洪水災害は各地で起こっており、チャマ川流域における社会、経済活動に影響を及ぼしているがこれらの災害は、そのタイプと災害の程度により、次の4つに分類される。

- 下流域の広大な農業地域、インフラ施設および小市街地に大規模な被害をもたらす洪水氾濫被害。
- 局所的に発生するもののルート2、ルート7のような幹線道路の交通を止め、社会、経済活動に大きな被害をもたらす斜面崩壊、土石流等による災害。
- 現在はそれ程深刻ではないが、将来市街地の発展により増加すると予測されるメリダ市、エヒド市の都市域氾濫災害。
- 地方道、村落の家屋、小農業区域等に起こる災害で、隣接区域にまで災害は及ばない小区域に発生する土砂・洪水災害。

上記4分類のうち、最初の3分類の災害はチャマ川流域の社会、経済活動に深刻な影響を及ぼす。したがって、これら3分類に含まれる資産を流域防災計画対象資産として選定する。

4.2 計画の構成

マスタープランとアクションプラン

砂防と洪水防御事業からなる流域防災計画のマスタープランを、まず、2020年为目标年として作成する。このマスタープランを構成する事業の中から、2000年为目标とした緊急事業を選び、アクションプランを作成する。

広域防災計画と地域防災計画

災害防止工事の計画対象区域は、以下に述べるように目標資産によって異なる。

(1) 下流域の農業、住居地域

災害は基本的には、中上流からの流送土砂および洪水流また下流域での氾濫によって起こる。したがって施設設置の計画対象区域はチャマ川流域全体に渡って、設定する必要がある。

(2) 幹線道路ルート2、ルート7

斜面崩壊、土石流、地すべり等による災害は、道路上にそれぞれ無関係に点在して発生する。したがって各々の災害に対する計画対象区域は比較的小区域に限定される。

(3) メリダ市、エヒド市の市街地

メリダ市、エヒド市の市街地はアルバレガス川、ミジャ川およびポルトゲサ川の小流域内にある。それ故、計画対象区域も流域内の小区域に限られる。

上記の計画対象地域は、それぞれ規模が異なるため、同一レベルで災害防止工事を計画することは難しい。そこで、より合理的な計画を立案する為に、流域防災計画を次表に示す広域防災と地域防災の2計画に分けることとする。このとき、マスタープランとアクションプランは、2計画別途作成するが、計画の評価は両計画一括して行う。

計 画	対象資産	計画区域	目 的
1. 広域防災計画	農業・住居地域	全流域	洪水防御・砂防
2. 地域防災計画	幹線道路ルート2、7	溪流・斜面	砂防
	メリダ、エヒド市市街地	溪流	洪水防御

4.3 計画作成の概念

4.3.1 広域防災計画

目 的

広域防災計画の目的は、下流域の洪水氾濫被減を軽減することにある。この目的のため、下流部で洪水を防御するとともに、河道流下能力を確保するため中上流部で砂防工事を行う。

計画規模

(1) 砂防計画規模

広域防災計画での砂防計画規模は、マスタープランの目標年の2020年までに流下

能力の減少の原因となる有害土砂を全て抑制するように設定する。

(2) 洪水防御計画規模

洪水防御計画規模は、技術、社会、経済および財政的見地、とくに社会的見地に重きを置き、洪水確率で設定する。

この設定に際しては類似既往計画の計画規模を社会的要求の指標として考慮する。

アクションプランの計画規模はマスタープランの枠組の中で、技術、経済、財政的見地から決定する。

代替案検討ケース

砂防および洪水防御のマスタープランとして、数種の構造物対策の中から流域の地形、地質、気象、水文等自然条件を考慮し現実的な対策を代替案検討ケースとして選択する。一方、アクションプランについては、個々の構造物の構造型式、材料等の詳細について重点を置き、代替案検討を行う。

さらに、構造物対策と比べ比較的安価に導入が可能と考えられる非構造物対策についても、アクションプラン作成に関連して、最適案を検討する。

最適案の選定

砂防および洪水防御のマスタープラン策定のため最適構造物による対策を技術、経済的見地より、代替案検討ケースの中から選定する。策定された計画の妥当性について、経済的実行可能性、財政能力を考慮して検討する。

4.3.2 地域防災計画

目的

地域防災計画は、土石流、斜面崩壊、地沁りおよび洪水氾濫から道路、市街地を守ることが目的とする。砂防計画の対象は幹線道路ルート2およびルート7で、また洪水防御計画の対象はメリダ、エヒド両市の市街地である。

計画規模

地域計画のマスタープランの計画規模は、技術、社会的見地から、発生確率を考慮

して決定する。

適用可能案

適用可能な構造物による対策案を、地形、地質、水文条件等の他、ヴェネズエラや他の諸国で一般的に用いられている対策をも考慮し、検討する。広域防災計画と同様に、非構造物対策については、アクションプランで考慮する。

最適案

地形、地質等の現地の特性を判断材料とし、適用可能案に対して基本的な検討を行い、最適案を選定する。

非構造物対策の最適案は、関係する機関の人材、施設の能力、利用可能性を考慮して選定する。

5.1 広域防災計画

5.1.1 砂防

計画規模

マスタープランでは、目標年2020年までにチャマ川流域における全有害土砂を抑制するように計画する。最適な計画を作成するための計画規模として、2つの計画基本量すなわち、(1)年平均流出土砂量、(2)異常洪水時流出土砂量のうちどちらか1つを選定する。広域防災計画については、計画基本量として年平均流出土砂量を採用する。この選定にあたっては以下の点を考慮した。

- －土砂動態の連続性；すなわち土砂の生産、輸送、堆積が 3,500km²以上の広いチャマ川流域内で、長い時間をかけて起こっている。
- －砂防計画で考慮に入れるべき土石流が、通常洪水時においても年数回発生している。

適用可能案

土砂の生産、輸送、堆積の3形態を考慮し、砂防のための次の適用可能案を選定した。

(1) 土砂生産

土砂生産は、斜面侵食、斜面崩壊、溪流侵食また河道の侵食によって起こる。斜面や溪流における侵食に対しては、造林、山腹工、溪流工、床固めが有効であり、斜面崩壊に対しては造林、擁壁が有効である。河道の侵食に対しては砂防ダムや床固めが適用される。

(2) 土砂輸送

土砂はチャマ川や支川の河道を通じて輸送される。土砂の流出を抑制、調節するための施設として、砂防ダムと床固めがある。

(3) 土砂堆積

土砂はエルビヒア下流の扇状地に堆積する。この土砂堆積を防ぐためには、流路工、貯砂地、放水路が有効である。

代替案検討ケース

以上の適用可能案から、生産土砂抑制、土砂流出抑制・調節および土砂堆積削減案について、比較検討を行い、次のような結論を得た。

(1) 生産土砂抑制

適用可能案から、造林、山腹工および溪流工を生産土砂抑制対策として選定した。造林は、裸地への種まき、マメ科の苗木の植栽と二段階に渡って行うべきである。必要となる種子は10kg/ha、苗木は10,000本/haである。

山腹工としては、ガリーの下流端に石積工を設置すべきである。

この石積工は材料となる玉石や礫が現場で豊富に得られるため経済的である。溪流工としては荒廃した溪流に沿って10基程度、連続して低ダムを建設すべきである。

(2) 土砂流出調節

中下流部の河道での土砂流出調節対策として砂防ダムを選定した。高く、大容量を持つ砂防ダムは、土砂流出調節に有効的である。砂防ダムは、土砂のふるい分け機能をも持ち、その結果、土砂は河道に堆積することなく輸送されるようになる。

堆積削減

エルビヒアより下流の河道での堆積削減策として、いくつかの適用可能案の中から最も現実的な流路工を選定した。流路工は一般的に、土砂流送能力を増すためのコンクリート張り水路、河床の安定化を図るための連続床固め工より成る。チャマ川本河道に対しては、上流域からの土砂を流送するために、100m幅のコンクリート張り水路、約50m間隔の連続床固工が必要とされる。

単位対策流出土砂量当たりの投資額でみた必要投資高は個々の対策案に対して以下のようなになる。

対 策	摘 要	投資高
造林	Eragrostisの種まき : 10kg/ha アカシアの植栽 : 10,000本/ha	820Bs/m ³
山腹工/溪流工	擁壁 : 練石積 5基/ガリー 連続低ダム : 1基/120m	237Bs/m ³
砂防ダム	粗石コンクリート	145Bs/m ³
流路工	コンクリート張水路 : 幅100 m (単断面) 床固め : 50m間隔	669Bs/m ³

広域砂防計画の策定のため上表に列記した対策案を採用するにあたり以下の事項を考慮した。

- 植林または山腹工/溪流工は生産土砂量を削減するのみで、河道侵食を防ぐためには、砂防ダムまたは床固め工がさらに必要とされる。
- 砂防ダムは、河道の侵食を防ぐ他に、土砂流出調節機能をも持つ。当流域では、10基の砂防ダムにより、超過土砂量 3,730,000 m³/年のうち 2,580,000 m³/年が調節可能で、3,750,000 m³/年の河道侵食が抑制される。ただし残りの1,150,000 m³/年は他の方策により抑制する必要がある。
- 流路工の場合は、全流出土砂量 9,600,000 m³/年をマラカイボ湖に流送することになる。

前表に示した投資高から判断すると、植林および流路工は他の対策に比べかなり割高である。上記留意事項とも合わせて考えると、山腹工/溪流工による生産土砂抑制と砂防ダムによる土砂流出調節の組み合わせが、全流域規模の砂防計画として、より適切であると判断される。

最適案の選定

有害土砂量7,480,000 m³/年のうち、まず初めに河道侵食量3,750,000 m³/年を砂防ダムまたは床固め工からなる侵食抑制工により対処する。次に、残りの 3,730,000 m³/年を砂防ダムまたは山腹工/溪流工、または両方の組み合わせにより処理するものとする。

このような事項を満足させるために、上述した砂防ダム、山腹工又は溪流工による土砂流出調節や生産抑制から成る砂防計画の代替案として次の3案を検討した。

代替案A : 床固め+山腹工/溪流工

代替案B：砂防ダム

代替案C：砂防ダム+山腹工/溪流工

侵食防止工は、侵食の起こる2河道区間、すなわちエルビヒアからモコティエス川合流点およびエスタンケスからヌエストラセニョーラ川合流点の区間に設けるべきである。延長2,000mの河道区間の侵食防止に要する砂防ダムと床固め工の単価比較検討を行った。その結果によると、砂防ダムの58,800,000Bsに対し、床固め工は100,800,000Bsとなっており、砂防ダムは床固め工に比べ、約71%安い。さらに砂防ダムは土砂流出調節機能をも有する。

以上から代替案Aはまず消去される。代替案Bに関しては、チャマ川本川および主要支川は河幅が広く、適当な砂防ダムサイトが限られている。したがって侵食の起こる全河道に砂防ダムを建設することは不可能である。

土砂流出調節と侵食抑制の両方を満たすために最も効果的な砂防ダムサイトをまず選定した結果、砂防ダムで全流出土砂を抑えることは出来ないため、代替案Cを最適砂防計画として選定した。砂防ダムについては10地点を選定し、表5.1-1、図5.1-1に示すダム高、堤頂長を決定した。

10基の砂防ダムにより、年平均2,580,000m³の流出土砂量が調節され、かつふるい分け機能により下流河道を通じて安全に流送される。残りの1,150,000m³は山腹工/溪流工により抑制することとする。砂防計画と、以上の対策工により処理される流出土砂量の概念図を図5.1-2に示す。

溪流工と山腹工による土砂抑制割合について溪流侵食と斜面侵食による生産土砂量の比が8：9であることを考慮すると、計画生産抑制土砂量はそれぞれ530,000m³/年、620,000m³/年となる。溪流工と山腹工は表5.1-2に示すように土砂生産が活発である小流域8、9、12、13、14、15および16に設けるものとする。最適広域砂防計画の各施設での抑制土砂量を図5.1-3に示す。

構造物のレイアウト

(1) 砂防ダム

最適なダムサイトを選定するため、現地踏査、地形測量、地質調査の追加調査を行った。表5.1-1に示すように砂防ダムの構造諸元を決定し、また貯砂効率を貯

砂容量の堤体積に対する比によって表した。

(2) 溪流工

溪流には裸地地域の全長12,600m区間に連続低ダム群を設けることとする。低ダム1基の有効距離は高さ4mとして、わずか90~120mであるため、計110基のダムが必要となる。

分割流域の中で、ヌエストラセニョーラ河流域は最も生産土砂量が大きく1,746,000m³/年であり、次いでサンパブロ河流域で大きく1,456,000m³/年である。

以下小流域15(ラホヤ他)、小流域12(アルボロテ他)、小流域14(マルチ、エルモリノ、エルアニス他)、小流域13(ラビスカイナ)の順である。(表5.1-3参照)

低ダムの必要基数は、小流域の生産土砂量に比例して配分した。この結果次表に示すように小流域16に最多の低ダム30基を設置する必要がある。

分割流域No.	支川名	低ダム基数
8	ヌエストラセニョーラ上流部	18
9	ヌエストラセニョーラ下流部	9
12	アルボロテ等	15
13	ラビスカイナ	6
14	マルチ、エルモリノ、エルアニス	14
15	ラホヤ等	18
16	サンパブロ	30
計		110

(3) 山腹工

山腹工は、土砂生産の活発な分割流域、計1,345.8km²に適用することとする。建設材料が現場で容易に得られること、施工性、費用を考慮して、練石積による擁壁を採用する。平均幅5m、延長325mのガリ1箇所当たりに5基の擁壁を設けるとすると、斜面侵食による620,000m³/年の生産土砂を抑制するためには、280箇所のガリに対し、計1,400基の擁壁が必要である。

溪流土の場合と同様に、分割流域の生産土砂量に比例して、必要擁壁数を配分した。各分割流域毎の擁壁数を次表に示す。

分割流域No.	支川名	擁壁数
8	ヌエストラセニョーラ上流部	230
9	ヌエストラセニョーラ下流部	110
12	アルボロテ等	190
13	ラビスカイナ	80
14	マルチ、エルモリノ、エルアニス	180
15	ラホヤ等	230
16	サンパブロ	380
計		1,400

5.1.2 洪水防御

計画規模

洪水防御計画立案に当たって、まず計画規模を選定する。この計画規模は本計画と類似計画で採用された計画規模を基にして決定する。類似計画としてはマラカイボ湖南部で計画されているスリア川改修計画、カタトンボ川改修計画、エスカランテ放水路計画が挙げられる。これらのプロジェクトは、50年から100年確率の計画規模で実施されている。他の計画としてムクヘベ放水路計画があるが、この事業の計画規模は100年確率である。

チャマ川下流域での土地利用状況や居住条件は、上記計画とほぼ同様であるので、チャマ川流域においても社会的要請は、これらの計画と同一レベルのものと思われる。従って計画規模は100年確率を採用した。このチャマ川の100年確率流量はエルビヒアで2,300 m³/sである。

適用可能案

広域防災計画において、数種の工法が考えられる。即ち、(1)河川改修、(2)放水路、(3)遊水池、(4)ダムと貯水池である。これらのうち、(3)遊水池については、地形的にみて適地がないところから事実上無視した。

他の3案については1960年に比較検討されており、放水路案が他の2案より経済性に優れるということで採択された。しかし、ダム・貯水池案は明らかに他の2案より経済性に劣るが、放水路案と河川改修案を比べると建設費にほとんど差がない。むしろ近年の土地利用状況から判断すると河川改修案の方が経済的には有利になっている可能性も考えられる。

以上の点から、ここでは河川改修案と放水路案を比較した上で最適案を選定することとした。

代替案

(1) 適用可能案

洪水防御の適用工法には河川改修と放水路の2案が挙げられた。ここでは、これら2案の中から、最適案を選定する為、(a)法線、(b)縦断形状、(c)横断面形状の3点の検討を行った。

(a) チャマ川河道改修計画案

チャマ川の現状は次の通りである。

- 先にも述べた様にチャマ川は過去20年間において、蛇行部の局所的な変化はあるものの、大幅な流路変更は起きていない。
- 流下能力の $100 \text{ m}^3/\text{s}$ は、計画流量の $2,300 \text{ m}^3/\text{s}$ と比較して極めて小さく、洪水時には洪水流量は河道蛇行部の中心線に沿って流下していると推定される(図5.1-4)。
- 図5.1-5に示す様に、低地においても河床勾配は依然急勾配のままである。

上記の現状をもとにして、計画河道を次に示す基本事項に従い検討した。

- 過去20年間安定している蛇行部の中心線に沿って洪水は流下しているので、新法線は現河道の蛇行部の中心線にほぼ一致させる。この結果、蛇行部を含めた河口からエルビヒアまでの河道延長は現河道延長73kmに対して、新法線では53kmとなる。
- 縦断形状は、新法線を基に設計する。
- 横断面形状に関しては、建設費、技術的な観点から次の3ケースについて

検討した。

ケース1：維持管理を簡単にする為に、十分な河道幅を持つ単断面水路とする。従って蛇行は水路内で移動し、堤防に影響を及ぼすことはない。

ケース2：用地買収費削減の為、ケース1より狭い河道幅の単断面水路とする。従って水衝部では護岸が必要である。

ケース3：河道の安定と堤防の安全を確かなものにする為、さらに狭い河道幅の複断面水路とする。用地買収費はさらに削減される。

(b) 放水路案

放水路の計画は、先に行われた検討結果（1960年の検討）も考慮して、河道改修と同様の基本事項に従って行った。要点は次の通りである。

- －水路の法線は、先の検討結果に従った。
- －縦断形状は、現況地盤標高を参考に、法線に従って設計した。
- －水路幅に関しては、河道改修案と同様の代替案を比較検討した。

上述の基本事項に従って、次表に示す比較案を検討した。

代替案	法線	縦断形状	断面形状	合計
河道改修案	1	1	3	3
放水路案	1	1	3	3

これらの比較案において、河道改修案と放水路案では、河床勾配、土壌条件、土地利用状況等、水路としての特性が同様の傾向を示すので、最適な河道幅は同じ幅になると考えられる。従って簡単の為、まず河道改修案で最適河道断面を求め、次にこの断面形状での河道改修案と放水路案の比較を行う。

(2) 検討ケースの計画諸元

計画対象流量 2,300 m^3/s に対する前述の各検討ケースの計画河道諸元について以下に示す理由のもとに表5.1-4のように設定した。

(a) ケース1

現河道の蛇行振幅は図5.1-6に示すようにほぼ600m以内に収まっているところから、計画河道巾としては余裕を考慮し1,400mと設定した(図5.1-7参照)。

尚、河川構造物として流速が2 m/s をこえる区間には水制を設置、水衝部には堤防の侵食崩壊を防ぐため護岸を設置する。

さらに、チャマ橋地点には橋梁保護のため岸固めを設置する。

(b) ケース2

エルビヒア付近の航空写真でみると、チャマ河は洪水時には約600m前後の川幅となって流下している形跡がみられ、そこに自然堤防を形成している。ここで検討ケース2として、単断面築堤河道で流速から考えて河道維持が可能と考えられる600m巾の河道について検討する(図5.1-8参照)。

この場合の水制、護岸、床固めはケース1と同様の考え方で設置する。

(c) ケース3

ケース3はケース2より更に河巾を狭め複断面の河道を設定する。この場合低水路の断面は流下能力2~3年確率流量程度を想定する。また高水敷部ではなるべく流速が2 m/s をこえない程度の川巾を考慮した。この結果計画河巾としては150m~290m程度となる。

この場合、蛇行を防ぎ河道堤水路を固定堤防の安全を守るため、低水路全区間について護岸で施す。

水理、床固めの配置はケース1と同様の考え方で設定した。(図5.1-9参照)

最適案の選定

(1) チャマ川本川改修最適横断形の選定

前述の各ケースに対する工事費の比較を表5.1-5に示す。この表から次のことがいえる。

—これら3ケースのうち複断面を採用したケース3の工事費は掘削土量が大きく、他に比べ割高となっている。

ケース1と2の比較では工事費にそれ程差はみられないがケース1の改修案では年平均洪水湛水面積約5,000haの60%に相当する3,000haの農業適地が失われる。上記のようにケース1は農業地域の洪水被害軽減という目的から照らし合わせると現実的といえないところから、ここでは最適横断形としてケース2を選定する。

(2) 最適洪水防御計画の選定

チャマ川本川改修の最適横断形の選定と同様の理由から本川改修に対する代替案であるムクヘベ放水路の最適横断ケースも川巾600mとする。(図5.1-10参照)

チャマ川本川改修とムクヘベ放水路案の工事費比較を表5.1-6に示す。この表からみると次のことがいえる。

一用地買収に関しては、土地利用の相違から河川改修に比べ放水路計画の方が経済的となっているが、放水路が河川巾×改修延長距離分の全用地を買収しなければならないのに対し、本川改修案では現河道分の用地買収する必要がないため、この分安くなり、全体の用地買収費としては、それ程大差が出てこない。

一低水路に関して本川改修の場合は既存水路の部分的掘削に対し、放水路の場合は新しい水路を掘削することになり、この掘削費用が大きくなる。

この結果、経済的にみて放水路は、本川改修に比べ有利とはいえない。

(3) 他の観点からの検討

他の面からの検討として次のことがいえる。

一河道の安定という面から考えるとチャマ川は、先にも述べたように過去の河道変遷からみて、わずかな範囲で河川コースの変化がみられる程度で比較的安定しており、洪水流量をこの河道に沿った改修河道内に収めることは、それ程困難とは思われない。

しかし、放水路の場合、今後どのように河道がコースを変遷するか不明であり、この蛇行に対してかなりの維持管理費用が必要となる恐れがある。

一環境面でみると放水路によって現河道への平時の流下流量が失われ、地下水位が低下、現河道沿いの住民の生活環境に与える影響はかなりのものと考えられる。

また、放水路はその地域社会を分断し、コミュニケーションを妨げる可能性がある。

一経済的な投資効率という面からみた場合、河川改修では投資額に応じて部分的に改修が進み、その分被害額が軽減し、便益が期待出来るのに対し、放水路は全区間の工事が完成して漸く便益が発生するという事で効率が非常に悪い。

上記のことから、ここではチャマ川本川改修案を最適案として選定する。図5.1-11から図5.1-13に平面計画、計画縦断および標準横断を示す。

5.1.3 基本設計

(1) 砂防ダム

流出土砂、侵食防止のためマスタープランでは、チャマ川沿いC-1～C-9ダムの9基と、スエマトラセニョーラ川沿いにN-1ダム1基の計10基の砂防ダムを計画している。

最適ダムタイプの選定に際し、C-1、C-2、N-1ダムに対して22mのダム高をもつところから、通常一般に用いられるタイプである重力ダムタイプを適用する。

また、残りのC-3～C-9ダムについては、ボコノ活断層上に計画予定しており、断層の変位に対応するため鋼製型枠タイプを適用する。

これら砂防ダムの予備設計は以下の条件に基づいて行う。

- 一予備設計に用いる図面は20m等高線入り、縮尺1/25,000地形図とする。
- 一越流部、副ダム、側壁等のダム設計諸元は100年確率洪水流量を計画基本量として求める。
- 一主ダムの主要諸元は、堤頂巾3m、下流側のダム堤体法勾配は1:0.2とし、上流側の法勾配は安定計算によって決める。

また、ダム堤体部は現河床から2m埋設する。

- 一主ダムからの越流水による深掘れで生じるダム倒壊を防止するため粗石コンクリートによる副ダムと水叩きを設置する。
- 一副ダムの計画諸元は主ダムと同様の考えで設定する。側壁は河岸を固定するため、練り石積みで設置する。

砂防ダムの標準図および各ダムの計画諸元を図5.1-14に示す。

(2) 低ダム群

高さ4 mの低ダム群 110基をエスタンケからチャマ川とヌエストラセニョーラ川の合流点間の小流域とヌエストラセニョーラ川に設置する。この低ダム群は砂防ダムと同様、粗石コンクリートを用いる。この低ダム群の標準断面は図5.1-15に示す通りである。

(3) 擁壁

ガリ侵食防止のために激流にも流されない構造の擁壁を現地採取可能な資材を利用した粗石コンクリートで設置する。

図5.1-16にこの標準図を示す。

洪水防御

(1) 河床掘削

現河道低水路の線形をなめらかにするとともに築堤材料に供するため、河床掘削を行う。

(2) 築堤

築堤は建設費用を抑えるため、前述のように河床掘削でえられる河床材料を用いて建設する。

図5.1-17に堤防標準断面を示す。堤防の法勾配は、土の安定性を考え1:2とし、降雨や河川水による堤体侵食を防ぐため表面に芝張りを施す。また河道維持管理用機材の運搬用に堤防の上に巾3 mの簡易舗装道路を設置する。

(3) 護岸

水衝部における堤防侵食防止のために現地入手可能資材を用い、練り石積みの護岸を施す。また護岸の前面には護岸の付け根侵食防止のため蛇かごを設置する。

図5.1-18に護岸標準断面図を示す。

(4) 水制

チャマ河下流区間で、洪水時の流速が2 m/sをこえる部分について堤体の安全を

確保するため、蛇かごシリンダーによる不透水制を流向に対し直角に設置する。
水制の設置間隔は水制長の2倍を前提とした。

図5.1-19に水制の標準断面図を示す。

(5) 床固め

洪水時の流水によるチャマ橋の基礎が深掘れされるのを防止するため、粗石コンクリートの床固めを河床の高さと同じ堤頂高で設置する。

また、床固めの左、右岸には局所洗掘防止のためコンクリート護岸、また床固め下流部には蛇かごによる水叩きを設置する。図5.1-20に床固めの標準図を示す。

(6) プエルトチャマ橋の延長

現在のプエルトチャマ橋は巾10.9m長さ137m、1径間が鋼製桁、2径間がコンクリート桁構造となっているが600m巾の河道改修に伴い480m橋を延長する必要がある。

ここでこの延長分は1径間が30mで16径間のコンクリート桁構造とする。図5.1-21に標準図を示す。

5.1.4 事業費積算

プロジェクトコスト

直接工事費、補償費、技術経費、管理費、予備費等からなるプロジェクトコストは以下の条件で求め、ヴェネズエラ通貨のボリバルで表示する。

—費用はすべて1989年1月時点の価格を用いる。

—通貨換算レートはUS \$1.0 = BS40 = ¥130 とする。

—工事は請け負い方式で行う。

—工事費は直接費用、補償費から成る一次単価をもとに積算する。直接費は労務費、材料費、建設資材費について積み上げ、間接費は現場管理費、スーパービジョン、諸経費、利益、社会補償、安全管理費、その他業者の予備費等が含まれるが、ここでは過去の経験から直接費の30%を間接費として計上する。

—表5.1-7 に示すように労務単価は政府関係機関や業者からの収集資料に基づいて

求めた。

—表5.1-8 に示す建設資材単価は流通業者、請負業者から収集した資料をもとにした。

—直接工事費はこれら単価に工事数量を乗じて求める。

—政府のプロジェクト運営費は直接工事費と補償費の合計の5%とし、詳細設計、現地作業管理等の技術経費は直接工事費の10%とする。

—予備費は全体工事費の10%を計上する。

この結果、広域防災計画の全体工事費は下に示すように 3,503百万ポリアールとなっている。またこの工事費の内訳は表5.1-9 に示す通りである。

(単位：百万ポリアール)

項目	砂防	洪水防御	計
I 直接工事費	1,014	1,657	2,671
II 用地補償費		108	108
III 技術経費, 管理費, 予備費	269	455	724
	1,283	2,220	3,503

維持管理運営費

年間の維持管理運営費 (OMR コスト) は(1)管理用人件費、(2)機材費及びその運営費、(3)事務所建設費および運営費、(4)施設取り替え費等から成っている。

これらを考慮した年間 OMRコストは全工事が完成した後、全体工事費の約0.21%に相当する 7.4百万ポリアールとなっている。

5.2 地域防災計画

5.2.1 砂防

地域防災計画での砂防の目的は道路、家屋を土石流や斜面崩壊、河岸侵食等の被害から守ることであり、この計画対象域は幹線道路である2号線および7号線である。