

No. _____

国際協力事業団
メキシコ合衆国
連邦電力庁

マサテペック水力発電所リハビリテーション計画調査

最終報告書

主報告書

平成 5 年 11 月

日本工営株式会社

鉦 調 査
J R
93 - 160

JICA

メキシコ合衆国
連邦電力庁

マサテペック水力発電所リハビリテーション計画調査

最終報告書

主報告書

平成 5 年 11 月

6
64.3
MPN

93-160

11

国際協力事業団
メキシコ合衆国
連邦電力庁

マサテペック水力発電所リハビリテーション計画調査

最終報告書

主報告書

JICA LIBRARY



1112190121

平成 5 年11月

日本工営株式会社



国際協力事業団

26100

序文

日本国政府は、メキシコ合衆国の要請に基づき、同国のマサテペック水力発電所リハビリテーション計画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いたしました。

当事業団は、平成4年8月から平成5年10月までの間、5回にわたり、日本工営（株）の三宅清之氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、メキシコ合衆国政府関係者と協議を行うとともに、対象地域における現地調査を実施し、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りました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、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す。

終わりに、調査に御協力と御支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成5年11月

国際協力事業団
総裁 柳谷 謙介

平成5年11月

国際協力事業団
総裁 柳谷謙介殿

伝 達 状

メキシコ合衆国マサテベック水力発電所のリハビリテーション計画調査の最終報告書を提出いたしますので宜しく御査収願います。

本報告書はメキシコシティの北東約170kmに位置するマサテベック水力発電所（1962年運開）の改修計画について調査を行ったものです。本発電所では堆砂の進行によって貯水池の容量が減少し、又水力機械の磨耗の問題が顕在化し、当初計画した発電に支障をきたすことが危惧されています。本調査結果に基づきいくつかの修繕計画を提案し本報告書にとりまとめました。

本報告書は要約、主報告書及び付属書の3つの分冊から構成されております。要約は本調査結果の要約を、主報告書は貯水池堆砂進行の分析、対策代替案の比較・選定、工事費積算、対策案の評価を含む全ての調査結果を、又付属書には主報告書に対する追加、補足情報と資料を記載しました。

本報告書を提出するにあたり、全調査期間にわたり、多大なご支援と御助言を賜った貴事業団、貴メキシコ事務所、駐メキシコ日本国大使館、ならびにメキシコ政府諸機関及び連邦電力庁の関係者各位に対し、心から感謝の意を表するものであります。本調査の結果がメキシコの今後の発展のために少しでも貢献できることを切に願う次第であります。

三宅清之

マサテベック水力発電所
リハビリテーション計画調査団長



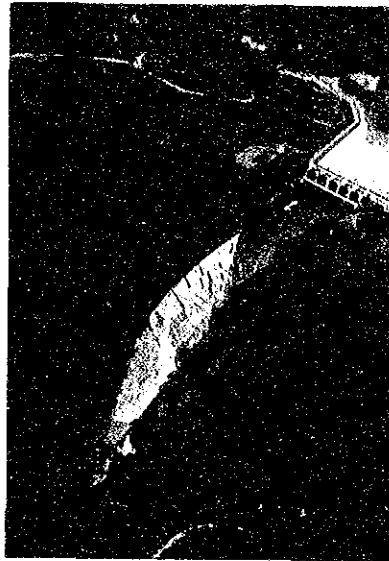
P-1 ソレダットダムと貯水池
(雨期、1992年10月)



P-2 ソレダット貯水池
(乾期、1993年2月)



P-3 ソレダットダム



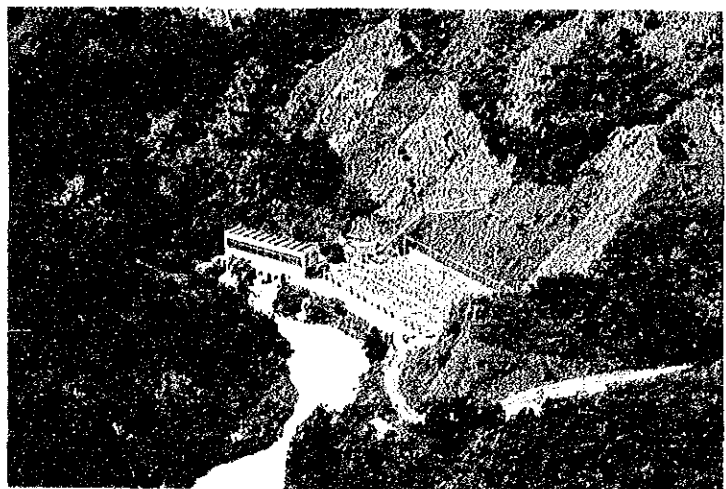
P-4 洪水吐



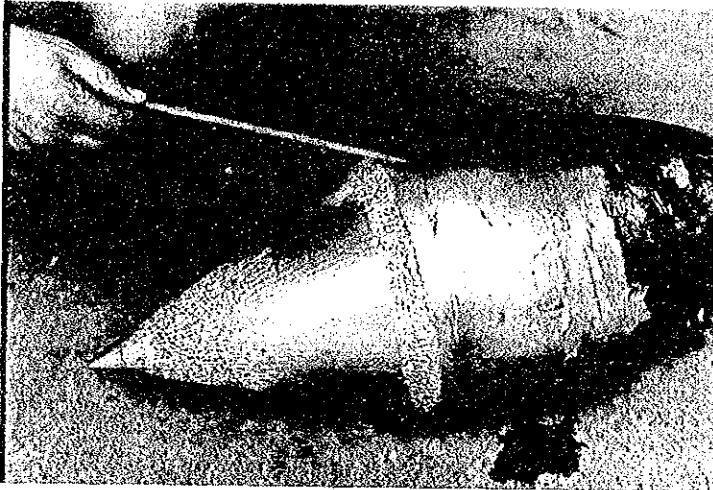
P-5 洪水吐シュート



P-6 低部放流施設



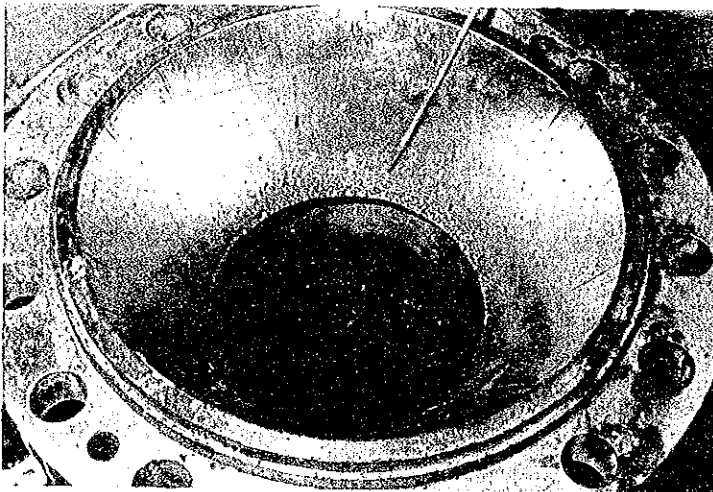
P-7 マサテペック発電所



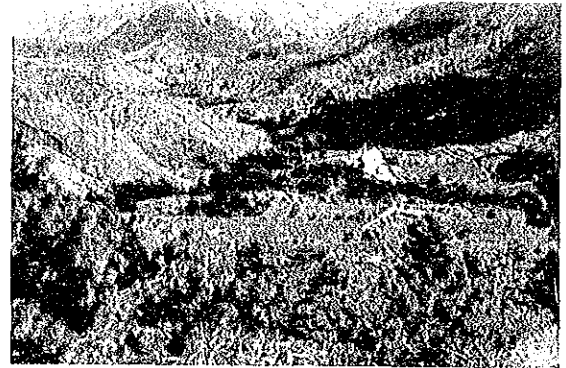
P-8 ニードルバルブのニードル部キャビテーション



P-10 ハルコムルコ川上流域
(年間降雨量1,000mm)



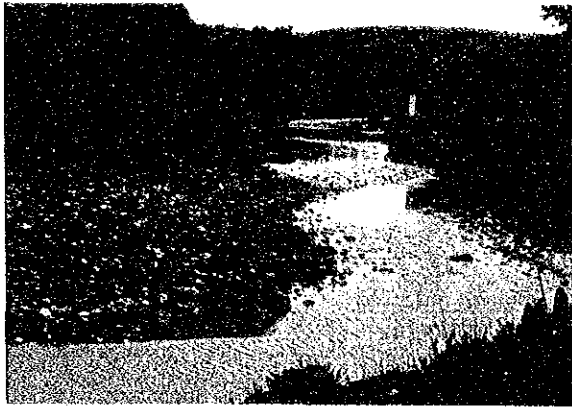
P-9 バルブ部シートのカビテーション



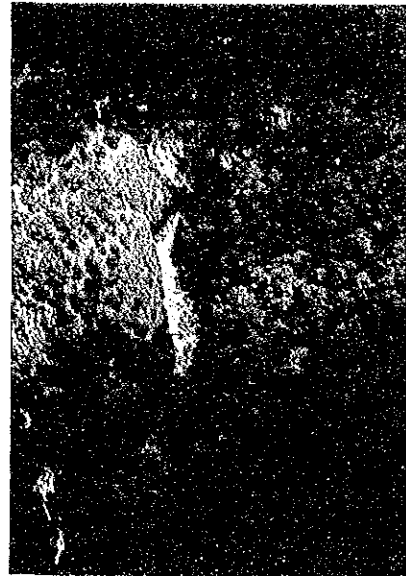
P-11 ハルコムルコ付近
(年間雨量600~800mm)



P-12 サウトラ周辺 (年間雨量600mm)



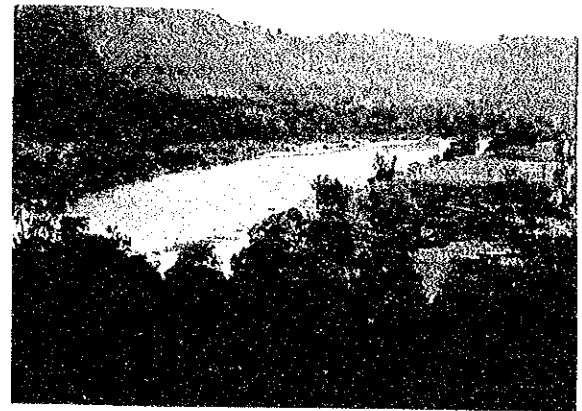
P-13 サンタマリア付近のアプルコ川
(ソレダッドダムより75km上流)



P-14 オコチンゴ下流のアプルコ川
(ダムより42km上流)



P-15 サウトラ下流のアプルコ川
(ダムより45km上流)



P-16 エルエスピナル付近のテコトラ川
(河口より70km上流)



P-17 エルレモリノ付近のテコトラ川
(河口より40km上流)



P-18 テコトラ川 (河口より25km上流)



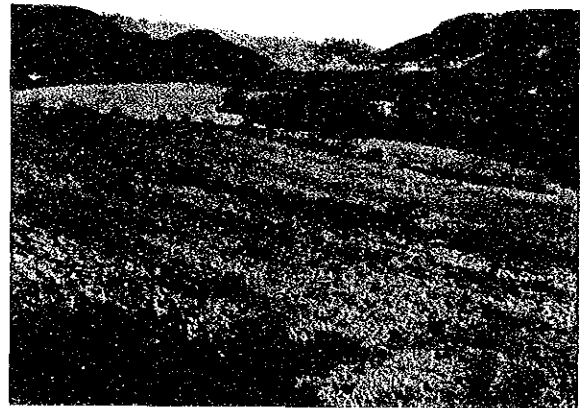
P-19 河口付近の漁業



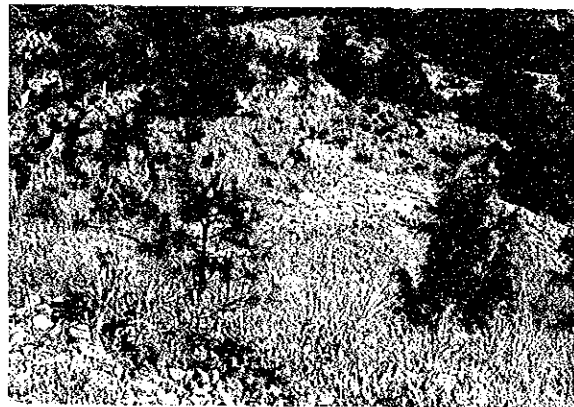
P-20 河岸浸食 (河口より20km上流)



P-21 砂利採取 (河口より30km上流)



P-22 等高線耕作地のマゲエイ



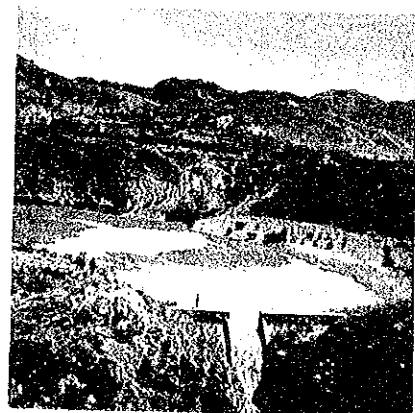
P-23 ハルコムルコの植林



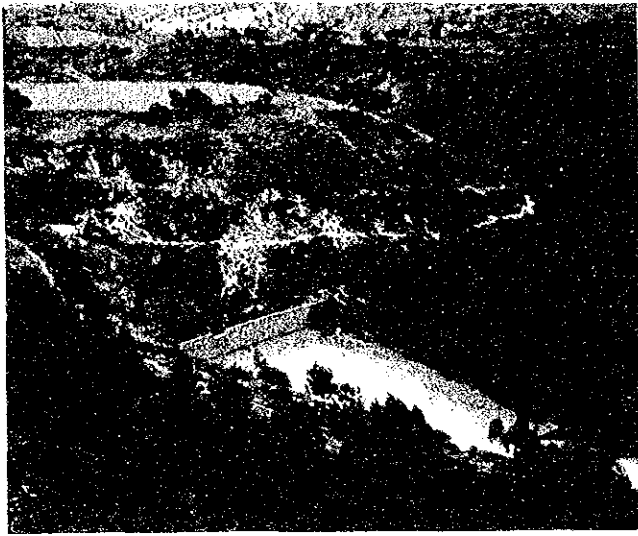
P-24 サウトラ上流のロックウォール



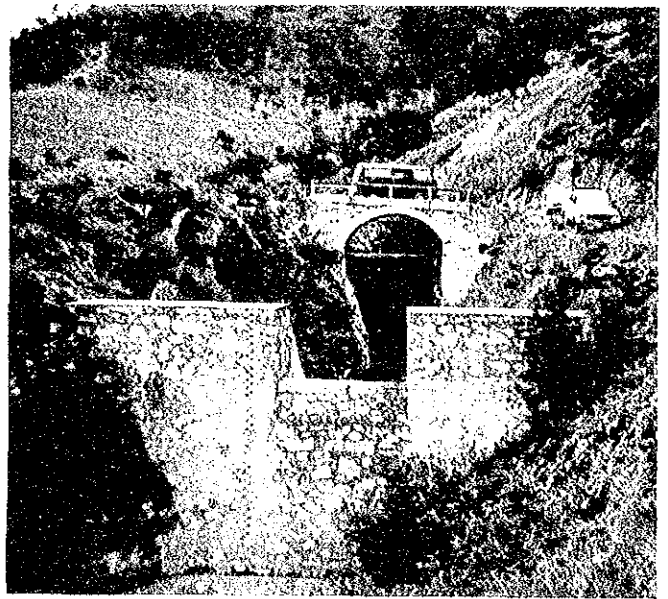
P-25 砂防ダム



P-26 砂防ダム



P-27 砂防ダム



P-28 砂防ダム



ダム軸
流れ
←

P-29 ファファストラ付近の砂防ダム候補地点



流れ
→

P-30 砂防ダムの貯砂予定地点

目次

	ページ
第 1 章 序	1-1
1.1 背景	1-1
1.2 JICA 調査	1-2
1.2.1 調査の目的	1-2
1.2.2 作業進捗	1-2
1.3 報告書	1-3
第 2 章 メキシコの電力事情	2-1
2.1 電力供給システムの概要	2-1
2.1.1 電力供給システム	2-1
2.1.2 設備容量と発生電力量	2-1
2.1.3 送配電線および変電所	2-3
2.1.4 地方電化計画	2-3
2.1.5 隣国との電力輸出入	2-3
2.2 電力需要	2-4
2.2.1 電力需要の現状	2-4
2.2.2 電力料金	2-4
2.2.3 電力消費の節約と電力ロスの低減	2-5
2.3 電力需要予測	2-5
2.3.1 需要拡大の要因	2-5
2.3.2 経済発展のシナリオと人口増加	2-6
2.3.3 2000 年までの需要予測	2-6
2.3.4 発生電力と発生電力量とのバランス	2-8
2.4 電力開発計画	2-9
2.4.1 電力開発計画と投資計画	2-9
2.4.2 1900 年に完了した建設計画	2-9
2.4.3 建設中の発電計画	2-10
第 3 章 マサテバック水力発電所	3-1
3.1 発電施設の概要	3-1
3.2 マサテバック発電所の特性及び役割	3-4
3.2.1 運転特性	3-4
3.2.2 発電量記録	3-5
3.2.3 流入量と発電量	3-5
3.2.4 貯水池水位と流入出量	3-6
3.2.5 洪水時運転管理	3-6

3.3	顕在化している問題	3-7
3.3.1	ソレダッド貯水池における堆砂	3-7
3.3.2	水力機械の砂による磨耗	3-8
3.4	CFEの実施した堆砂問題への対処方法	3-9
3.4.1	貯水池堆砂の調査	3-9
3.4.2	土壌保全対策	3-9
3.4.3	砂防ダム	3-12
3.4.4	底部放流施設からの土砂排出	3-13
3.4.5	洪水吐からの土砂排出	3-14
3.4.6	貯水池堆砂の浚渫	3-14
第4章	プロジェクト地域の概要	4-1
4.1	地形	4-1
4.1.1	集水域の地形	4-1
4.1.2	堆砂の地形的要因	4-2
4.2	地質	4-2
4.2.1	集水域の地質	4-2
4.2.2	堆砂の地質的要因	4-3
4.3	気象	4-5
4.3.1	気象観測所	4-5
4.3.2	降雨量	4-5
4.3.3	蒸発量	4-5
4.3.4	気温	4-5
4.4	水文	4-6
4.4.1	流量	4-6
4.4.2	洪水解析	4-8
4.4.3	流出土砂	4-10
4.5	社会・経済的側面	4-12
4.5.1	メキシコの人口と経済	4-12
4.5.2	行政区分および都市分布	4-12
4.5.3	流域人口	4-13
4.5.4	地域経済	4-13
4.5.5	土地所有形態	4-13
4.6	植物、土地利用および土壌流出	4-14
4.6.1	気象	4-14
4.6.2	植物	4-14
4.6.3	土壌	4-14
4.6.4	土地利用	4-15
4.7	アブルコ川流域での水資源利用	4-16

第 5 章	貯水池容量と発生電力量との関係および排砂のための流量	5-1
5.1	概要	5-1
5.2	貯水池容量と発生電力量	5-1
5.2.1	概要	5-1
5.2.2	有効貯水容量と発生電力量の関係	5-3
5.3	転流排砂の影響	5-4
5.4	上流砂防ダムの流量調節効果	5-5
5.5	洪水吐からの土砂排出	5-7
第 6 章	貯水池堆砂の分析	6-1
6.1	概要	6-1
6.1.1	貯水池の堆砂	6-1
6.1.2	堆砂に関する用語	6-2
6.2	土砂生産に影響する要因	6-3
6.2.1	地形・地質	6-3
6.2.2	植生と土地利用	6-3
6.3	貯水池堆砂	6-4
6.3.1	堆砂の測量	6-4
6.3.2	貯水池への土砂流入量	6-5
6.4	堆砂特性	6-7
6.4.1	粒度分布	6-7
6.4.2	密度	6-7
6.5	貯水池堆砂過程のシミュレーション	6-8
6.5.1	シミュレーションモデル	6-8
6.5.2	シミュレーションのインプットデータ	6-11
6.5.3	堆砂の予測	6-14
6.5.4	結論	6-16
第 7 章	貯水池堆砂に対する代替案	7-1
7.1	調査の基本方針	7-1
7.2	選定した代替案	7-1
7.3	代替案の選別	7-8
7.3.1	代替案の予備的選別	7-8
7.3.2	代替案の経済比較	7-11
7.4	対策案の提案	7-12
7.4.1	代替案の組み合わせ	7-12
7.4.2	新取水口と放流施設	7-13
7.4.3	砂防ダム	7-15

	7.4.4	浚渫	7-19
第8章		工事費積算と実施計画	8-1
8.1		積算	8-1
	8.1.1	工事費積算	8-1
	8.1.2	現地調査費及び技術費	8-2
8.2		実施計画	8-2
	8.2.1	全体計画	8-2
	8.2.2	現地調査	8-3
	8.2.3	工事計画とスケジュール	8-3
第9章		リハビリテーション計画の評価	9-1
9.1		貯水容量の確保と堆砂レベル	9-1
9.2		選定したリハビリテーション計画	9-3
9.3		経済評価	9-4
第10章		リハビリテーション計画の環境的側面	10-1
10.1		上流域の流域管理計画の評価	10-1
	10.1.1	過去にCFEが実施した土壌保全対策	10-1
	10.1.2	土壌保全プログラムの評価	10-1
	10.1.3	流域管理への提言	10-3
10.2		代替案の予備的環境評価	10-4
	10.2.1	環境評価のための代替案	10-4
	10.2.2	今後の環境調査への提言	10-7
第11章		結論と提言	11-1
11.1		結論	11-1
11.2		提言	11-1

付 表

	ページ
表 1.1 調査団 (JICA) 及び CFE メンバーリスト	T-1
表 2.1 発電方式別の設備容量	T-2
表 2.2 発電方式別の発生電力量	T-2
表 2.3 発電用燃料の消費カロリー	T-3
表 2.4 送配電線総延長の推移	T-4
表 2.5 変電所の変圧器容量の推移	T-4
表 2.6 地方電化の推移	T-5
表 2.7 売電力量の推移	T-5
表 2.8 セクター別電力消費者数の推移	T-6
表 2.9 セクター別電力消費原単位の推移	T-6
表 2.10 1970～1990年の電力需要の推移	T-7
表 2.11 1991～2000年の電力需要予測	T-8
表 2.12 1993年における国内幹線システムの月別発電力バランス計画	T-9
表 2.13 1990年に運転開始の発電設備	T-15
表 2.14 1990年に完成した送電線と変電所	T-15
表 2.15 建設中の発電設備	T-16
表 3.1 マサテベック発電所の総発生電力量	T-17
表 3.2 月平均発電水量と月平均貯水池流入量	T-18
表 3.3 ソレグッド貯水池の貯水位-貯水面積-貯水容量曲線	T-19
表 3.4 貯水池容量の減少	T-19
表 3.5 貯水池堆砂面の縦断標高	T-20
表 3.6 発電取水口付近の貯水池堆砂面	T-21
表 3.7 既設砂防ダムの堆砂状況	T-22
表 3.8 既設砂防ダムへの堆砂量に基づく浸食率の推定	T-23
表 4.1 気象観測所リスト	T-24
表 4.2 月平均雨量	T-25
表 4.3 ラ・ソレグッド観測所における時間雨量	T-26
表 4.4 月平均蒸発量	T-27
表 4.5 月平均気温	T-28
表 4.6 月平均流量 - ブエノスアイレス (集水面積 1,405km ²)	T-29
表 4.7 月平均流量 - ソンタラコ (集水面積 25km ²)	T-30

表 4.8	月平均流量 - 水路トンネルNo.1 (集水面積 370km ²)	T - 31
表 4.9	月平均流量 - ランチョアブルコ (集水面積 1,204km ²)	T - 32
表 4.10	ソレダッド貯水池への月平均流量 (総集水面積 1,830km ²)	T - 33
表 4.11	洪水/豪雨の記録	T - 34
表 4.12	年最大洪水ピーク流量	T - 36
表 4.13	ブエノスアイレスにおける洪水ピーク流量と流域平均雨量	T - 37
表 4.14	ランチョアブルコにおける洪水ピーク流量と流域平均雨量	T - 38
表 4.15	CFEが推定した月平均流砂量 (ブエノスアイレス)	T - 39
表 4.16	CFEが推定した月平均流砂量 (ソントラコ)	T - 40
表 4.17	CFEが推定した月平均流砂量 (水路トンネルNo.1)	T - 41
表 4.18	アブルコ川およびソントラコ川における河床材料の粒度分布	T - 42
表 4.19	1987年に採取された貯水池堆積土砂の特性	T - 43
表 4.20	貯水池の湖岸で採取された堆積土砂の粒度分布	T - 44
表 4.21	ボーリング孔No.1における貯水池堆積土砂の粒度分布	T - 45
表 4.22	貯水池堆積土砂表層の粒度分布	T - 49
表 4.23	メキシコの人口および国内総生産	T - 50
表 4.24	調査対象地域内の市町村	T - 51
表 4.25	調査対象地域内の人口	T - 52
表 4.26	調査対象地域内の人口の推移	T - 54
表 4.27	調査対象地域内の雇用水準	T - 55
表 4.28	プエブラ州の土地所有形態 (1988年)	T - 57
表 4.29	アブルコ川流域の気象データ	T - 58
表 4.30	プエブラ州の土地利用	T - 59
表 5.1	貯水池運転水位の変化による年間発生電力量の計算結果	T - 60
表 5.2	転流排砂の年間可能日数	T - 61
表 5.3	転流排砂の年間利用水量	T - 62
表 5.4	洪水吐土砂排出の年間可能日数	T - 63
表 5.5	洪水吐土砂排出の年間利用水量	T - 64
表 6.1	ソレダッド貯水池の捕捉率	T - 65
表 6.2	発電所1号基からの放流水の月平均土砂濃度	T - 66
表 6.3	1992年の貯水池堆砂面横断標高	T - 67
表 7.1	概略工事費 既存発電取水口の放流施設への転用+発電取水口の新設 (代替案C+F)	T - 69
表 7.2	概略工事費 沈砂池の新設 (代替案G)	T - 70
表 7.3	概略工事費 砂防ダム/サイトB (代替案I)	T - 71

表 7.4	概略工事費 転流排砂トンネル (代替案J)	T - 72
表 7.5	新取水口および新設トンネルの諸元	T - 73
表 7.6	既存発電取水口を放流施設に転換する計画	T - 74
表 7.7	アブルコ川砂防ダム関連データ	T - 75
表 8.1	新取水口および放流施設の建設費	T - 76
表 8.2	新設砂防ダムの建設費	T - 78
表 9.1	発電所の建設費および運転・燃料費	T - 79
表 9.2	経済分析キャッシュフロー (石炭火力発電所の燃料費節約を考慮した場合)	T - 80
表 9.3	経済分析キャッシュフロー (石炭火力発電所の設置、運転をした場合)	T - 80
表 9.4	財務的内部収益率のキャッシュフロー	T - 81
表 9.5	ローン返済のキャッシュフロー	T - 81
表 10.1	ソレグッド貯水池及び発電所放水路における濁度	T - 82
表 10.2	濁度測定結果	T - 83

付 図

		ページ
図 2.1	メキシコの電力供給システムネットワーク	F-1
図 2.2	国内幹線システムと東部地区の日負荷曲線	F-2
図 2.3	国内売電力量と国内総生産の増加率の推移	F-3
図 2.4	計量経済モデルの電力需要実績による検証	F-3
図 2.5	経済予測に基づく売電力量の予測	F-4
図 2.6	1993年5月の計画日負荷継続曲線	F-5
図 3.1	調査対象地域位置図	F-6
図 3.2	マサテバックプロジェクトの概要図	F-7
図 3.3	ダム、洪水吐および取水口の概要図	F-8
図 3.4	洪水吐ゲート縦断面図	F-9
図 3.5	既設発電取水口平面図	F-10
図 3.6	既設発電取水口縦断面図	F-11
図 3.7	水路縦断面図	F-12
図 3.8	発電所および屋外開閉所概要図	F-13
図 3.9	発電所断面図	F-14
図 3.10	送電線系統図	F-16
図 3.11	マサテバック発電所の発電実績	F-17
図 3.12	時間別の月平均出力	F-18
図 3.13	230kV送電系統の電圧の流れ図	F-19
図 3.14	年発生電力量と年流入量の関係	F-20
図 3.15	年発生電力量と年流入量のダブルマスカーブ	F-20
図 3.16	流入量と無効放流量の関係	F-21
図 3.17	ソレダッド貯水池の月別最高/最低水位の経年変化	F-22
図 3.18	流入量、発電使用水量および貯水位の経年変化	F-23
図 3.19	1990～1991年の貯水位、流入量および発生電力量の推移	F-24
図 3.20	洪水時の流入量と放流量	F-25
図 3.21	洪水時の貯水位、流入量及び放流量（1989年）	F-26
図 3.22	ソレダッド貯水池平面図およびサンプリングとボーリングの位置図	F-27
図 3.23	貯水位・容量曲線の経年変化	F-28
図 3.24	貯水池堆砂面の縦断面図	F-29
図 3.25	1992年の発電取水口付近の堆砂調査図	F-30

図 3.26	発電取水口付近の堆砂面縦断面図	F - 31
図 3.27	上流域の既設砂防ダム位置図	F - 32
図 3.28	貯水池堆砂の進行および水文条件経年変化	F - 33
図 4.1	アブルコ川の河川縦断面図	F - 34
図 4.2	ソレダッド貯水池集水域の地質図	F - 35
図 4.3	地質断面図	F - 36
図 4.4	ソレダッド貯水池集水域の年平均雨量および気象/水文観測所位置図	F - 39
図 4.5	月平均雨量	F - 40
図 4.6	ティーセン分割図	F - 42
図 4.7	各水文観測所における流量ハイドログラフ	F - 43
図 4.8	ソレダッド貯水池への流入量ハイドログラフ	F - 44
図 4.9	ソレダッド貯水池流入量の流況曲線	F - 45
図 4.10	ブエノスアイレスにおける洪水ハイドログラフ	F - 46
図 4.11	洪水ピーク流量と流域平均雨量の関係	F - 48
図 4.12	ブエノスアイレスにおける年最大洪水ピーク流量の確率分布	F - 49
図 4.13	流砂濃度の深さによる変化	F - 50
図 4.14	ブエノスアイレスにおける流砂濃度	F - 51
図 4.15	流砂の細粒分・粗粒分の割合	F - 52
図 4.16	ブエノスアイレスにおける流量と流砂濃度	F - 53
図 4.17	流砂の粒度分布	F - 54
図 4.18	1987年のボーリング孔位置図	F - 55
図 4.19	テコルトラ川流域の年平均雨量	F - 56
図 5.1	貯水池運用シミュレーションの流れ図	F - 57
図 5.2	有効貯水容量と発生電力量および無効放流量の関係	F - 58
図 5.3	貯水池運転水位の変化による有効貯水容量と発生電力量の関係	F - 59
図 5.4	転流排砂開始流量と発生電力量の関係	F - 59
図 5.5	上流砂防ダムによる流量調節の仮定	F - 60
図 5.6	上流砂防ダムの流量調節効果による発生電力量の増加	F - 61
図 5.7	洪水吐放流開始流量と発生電力量の関係	F - 61
図 6.1	1992年貯水池堆砂調査の測線位置図	F - 62
図 6.2	ダムおよび発電取水口付近の堆砂調査測線位置図	F - 65
図 6.3	ダムおよび発電取水口付近の堆砂面	F - 66
図 6.4	貯水池の土砂捕捉率曲線	F - 69
図 6.5	ソレダッド貯水池の地質柱状図	F - 70
図 6.6	貯水池堆砂土砂の密度と深さの関係	F - 71

図 6.7	HEC-6モデルに使用した貯水池横断面の位置図	F - 72
図 6.8	ブエノスアイレス観測所の流量-浮遊砂量曲線	F - 75
図 6.9	ブエノスアイレス観測所の流量-浮遊砂量曲線	F - 76
図 6.10	ソントラコおよび水路No.1観測所の流量-浮遊砂量曲線	F - 76
図 6.11	浮遊砂と河床材料の粒径加積曲線	F - 77
図 6.12	貯水池堆積土砂の粒径加積曲線	F - 78
図 6.13	ブエノスアイレス観測所における流量-流下断面積-流速の関係	F - 79
図 6.14	経験的面積減少法から得られたソレダッド貯水池の1992年の貯水容量曲線	F - 80
図 6.15	HEC-6モデルにより推定した貯水池堆砂面の縦断面図	F - 81
図 6.16	貯水池堆砂の進行と予測	F - 82
図 7.1	既存放流施設のリハビリ (代替案A)	F - 83
図 7.2	放流施設の新設 (代替案B)	F - 83
図 7.3	既存発電取水口の放流施設への転換 (代替案C、平面図)	F - 84
図 7.4	既存発電取水口の放流施設への転換 (代替案C、縦断面図)	F - 84
図 7.5	発電取水口の新設 (代替案D、平面図)	F - 85
図 7.6	発電取水口の新設 (代替案D、縦断面図)	F - 85
図 7.7	発電取水口の新設 (代替案E、平面図)	F - 86
図 7.8	発電取水口の新設 (代替案E、縦断面図)	F - 86
図 7.9	発電取水口の新設 (代替案F、平面図)	F - 87
図 7.10	発電取水口の新設 (代替案F、縦断面図)	F - 87
図 7.11	沈砂池の新設 (代替案G、平面図)	F - 88
図 7.12	沈砂池の新設 (代替案G、縦断面図)	F - 89
図 7.13	洪水吐上流部水路の改善 (修正代替案H)	F - 90
図 7.14	砂防ダムおよび転流排砂トンネルの候補地点 (代替案I、J)	F - 91
図 7.15	砂防ダムサイトの横断面図	F - 92
図 7.16	砂防ダムの標高-貯水面積-貯水容量曲線	F - 93
図 7.17	既存放流施設のリハビリ (代替案L)	F - 94
図 7.18	放流施設の新設 (代替案M)	F - 95
図 7.19	放流施設の新設 (代替案N)	F - 96
図 7.20	下流ダムの新設 (代替案O)	F - 97
図 7.21	砂防ダムの標準図	F - 98
図 7.22	新取水口および新放流施設の一般平面図	F - 99
図 7.23	新取水口の平面図	F - 100
図 7.24	新取水口の縦断面図	F - 101
図 7.25	新設トンネルの縦断面図	F - 103

図 7.26	新放流施設の縦断面図	F - 104
図 7.27	砂防ダム候補地点の地質平面図	F - 105
図 7.28	砂防ダム候補地点の地質断面図	F - 106
図 7.29	新設砂防ダムの平面図	F - 107
図 7.30	新設砂防ダムの断面図	F - 108
図 7.31	新設砂防ダムの転流及び放流施設	F - 109
図 7.32	貯水池の浚渫計画	F - 110
図 8.1	リハビリテーション計画実施工程	F - 111
図 8.2	現地調査スケジュール	F - 112
図 8.3	新取水口、放流施設及び新設砂防ダムの建設工程	F - 113
図 9.1	リハビリテーション計画の土砂収支	F - 114
図 10.1	山腹における植林対策	F - 115
図 10.2	岩盤段丘部における草地化対策	F - 115
図 10.3	濁度測定位置図	F - 116

付 録

- 付録A 土木構造物、水力機器および電気設備の現況
- 付録B 流砂のサンプリングと室内試験および流砂量の分析
- 付録C JICA調査で提案した現地調査の仕様（抄訳）
- 付録D 水力発電所の維持・管理
- 付録E 調査で入手した地形図

略語及び単位

Organization

JICA	Japan International Cooperation Agency
CFE	Federal Commission of Electricity

Measurement

1) Length

mm	millimeter
cm	centimeter
m	meter
km	kilometer

2) Area

m ²	square meter
ha	hectare = 10,000 m ²
km ²	square kilometer

3) Volume

m ³	cubic meter
mcm	million cubic meter

4) Weight

kg	kilogram
ton	metric ton

5) Time

yr	year
hr	hour
min	minute
s, sec	second

6) Money

US\$	US Dollar
NP	Mexican New Peso

7) Electricity

kW	kilowatt
MW	megawatt
kV	kilovolt

8) Other Measures

%	percent
°C	degree centigrade
10 ³	thousand
10 ⁶	million

9) Derived Measures

cms	cubic meter per second
kWh	kilowatt hour
GWh	gigawatt hour (x 10 ⁶ kWh)
kVA	kilovolt ampere
MVA	megavolt ampere

Others

El.	Elevation
FSL	Full Supply Level (Normal High Water Level)
MOL	Minimum Operating Level
RCC	Rolled Compacted Concrete
G. S.	Gauging Station
GDP	Gross Domestic Product
PAESE	Program of Energy Saving of Electrical Sector
SIOPE	System of Energy Loss Control
CONAPO	National Commission of Population (Comision Nacional de población)
EN	Net Energy
IBFA	Accumulated Fixed Gross Investment
POB	Population
LF	Load Factor
EJIDO	Group-owned Land System in Mexico
SEMIP	Secretary of Energy, Mines and State Industries
ELC	Electroconsult, Consulting Engineers, Italy
CLFC	Central Lighting Company
PEMEX	Mexican Petroleum Company (Petroleos Mexicanos)

第 1 章 序

第1章 序

1.1 背景

マサテベック水力発電所は1962年に運開したダム・貯水池を有する発電所である。本発電所はメキシコ市の北東約170km地点のアブルコ川に建設された。アブルコ川は東シェイラアドレ山脈に水源を発しメキシコ湾に注ぐが、豊富な降雨量、急峻な地形、良好な地質条件に恵まれ水力開発に適している。

本発電所はメキシコ合衆国エネルギー・鉱山・国営企業省の管轄のもとに連邦電力庁（CFE）が所有し、運転を行っている。

本計画は発電を単一目的として建設されたものである。計画の実施は、アーチダムの部分をイタリアのコンサルタント（ELC）の技術協力を得て、CFEの手によって行われた。

本計画の施設はアーチダム、洪水吐、底部放流施設、取水口、導水路トンネル、サージタンク、水圧鉄管、地上式発電所、屋外開閉所及び送電線より構成されている。

発電所は単機容量54.86MW 4台、合計220MWの設備容量を容する。本発電所が運開した当時のメキシコ全土のピーク電力需要は数百万kW程度であったので、系統の電力供給に対し重要な役割を果たしてきた。それ以降約30年間にわたり、信頼性の高い発電所として全国及び地域の電力供給に対し大きく貢献してきた。

しかしながら、運開後数年の後、貯水池の堆砂が予想以上のスピードで進行し、その有効貯水量が急激に減少した。従って、貯水池容量の減少が発電に影響し、砂の磨耗によって水力機器の寿命が減少することが危惧された。最近のCFEの調査によれば、貯水池運転水位とその使用範囲を変更したにもかかわらず、有効容量は当初の $30 \times 10^6 \text{m}^3$ から $10 \times 10^6 \text{m}^3$ まで減少していることが判明している。

CFEは堆砂問題を極めて深刻に考え、貯水池への砂の流入を制限するために砂防ダムの建設や、土壌保全のための植林等の対策を上流域に施し、堆砂の挙動と進行を監視するため貯水池深淺測量を継続的に実施してきた。建設した砂防ダムは合計25ヶ所で、植林面積は合計625haになる。これらの対策は主として1976年から1987年までの期間に実施されたが、1988年以降は財政的理由から中断している。

このような状況下で、1990年にメキシコ合衆国政府は日本政府に対し本発電所のリハビリテーション計画のフィージビリティ調査の実施を要請した。この要請を受け日本政府は調査を行うことを決定し、日本政府の技術援助計画の実施機関である国際技術協力事業団（JICA）にその調査を委託した。

本格調査に先立ち、日本政府はメキシコに2回にわたりミッションを派遣した。ひとつは1991年8月に実施したプロジェクト形成調査で、もうひとつは1992年2月に実施した事前調査である。

調査はJICAとCFEによって合意された作業範囲（S/W）に基づき、JICA調査団がCFE側カウンターパートの協力と支援のもとに1992年8月から1993年11月までの期間に実施した。調査団員とCFEカウンターパートのリストを表1.1に示す。

本報告書はJICA調査団の調査結果をまとめた最終報告書である。

1.2 JICA調査

1.2.1 調査の目的

調査の目的は下記に要約される。

- (1) ソレグッド貯水池の堆砂とマサテバック水力発電所の水車磨耗に対する対策案を技術面、経済面及び環境面から検討すること。
- (2) 既存発電所の機能を維持すべく（又はある程度の回復）、リハビリテーション計画を策定すること。

尚、土壌保全のためには長期的観点にたった流域管理計画が必要となるが、この件に関しては、本調査ではJICAとCFEとの間で合意された作業範囲（S/W）に基づきCFEが従来実施してきた植林や砂防ダム等に対するレビューと助言にとどめることになった。

1.2.2 作業進捗

調査は(1)基本調査(2)詳細調査(3)予備設計の3段階に分けて実施された。各作業範囲の詳細は1992年3月3日にCFEとJICAによって締結されたS/Wや調査団が1992年8月に作成、提出したインセプションレポートに記載されている。

現地基礎調査は1992年8月から10月まで行われた。この期間の主な作業内容は調査実施計画を述べたインセプション・レポートの協議、現地踏査、水文・堆砂調査、電力市場調査、社会・経済調査、代替案の選定等である。これらの調査結果は1992年12月に提出したプログレスレポートに記述されている。

詳細調査は1992年12月から1993年3月まで実施された。この期間の作業は地形、地質、堆砂等の現地調査で、調査団の要請に基づいてCFEが実施した。又、この期間に自然・社会環境調査や貯水容量の発電量に対する感度分析、将来堆砂の予測等の詳細調査も実施した。これらの結果は1993年5月に提出した中間レポートに記述されている。

1993年5月から11月までの予備設計段階では過去の調査結果に基づき、貯水池堆砂のための適正なりハ

ピリテーション案を策定した。この調査では、提案する構造物の予備設計と経済的妥当性に焦点があてられた。

JICA調査の主な目的のひとつに技術移転がある。調査団員はCFE職員に対し、堆砂問題や水力発電に関する技術の移転を企む様に努めた。技術移転は、調査業務を共に実施するいわゆる“オン・ザ・ジョブ・トレーニング”の形をとったが、現地調査期間中メキシコ市に於いてゼミナールを1993年6月1日及び9月29日に2回実施した。

ゼミナールのテーマは下記の通りである。

- 6月1日 : — 貯水容量と発生電力量の関係及び排砂利用流量
- 貯水池堆砂の特性
- メキシコの貯水池の問題点
- 9月29日 : — 日本の堆砂問題
- 土砂の制御を考慮した水力発電の計画と設計
- 水力発電所の維持・管理
- アテスカコ水力発電所の概要

JICAは海外研修プログラムの一環として、日本の堆砂問題とその対策の実施例について研修するためCFE職員を1993年3月と6月に日本に招聘した。

1.3 報告書

最終報告書は3分冊より構成される。第一巻は総括でありリハビリテーション計画に対する結論と提言を含む調査結果の概要を述べたものである。第二巻は主報告書で全ての調査結果が記述され、第三巻は主報告書に対する附属書で補足情報やデータが含まれている。

第2章

メキシコの電力事情

第2章 メキシコの電力事情

2.1 電力供給システムの概要

2.1.1 電力供給システム

メキシコにおける電力供給システムは、

- ①全国幹線システム (National Interconnected System)
- ②半島システム (Peninsular System)
- ③北バハカリフォルニアシステム (North Baja California)
- ④南バハカリフォルニアシステム (South Baja California) および
- ⑤それぞれ独立した小規模システム

から構成されている。

電力供給システムのほとんどは連邦電力庁 (Federal Commission of Electricity: CFE) の管理下であり、運営区分上以下の8つのサービス・エリアに分割されている。

- ①中央地区 (Central Area)
- ②西部地区 (Occidental Area)
- ③東部地区 (Oriental Area)
- ④半島地区 (Peninsular Area)
- ⑤東北地区 (Northeast Area)
- ⑥北部地区 (North Area)
- ⑦北西地区 (Northwest Area)
- ⑧南・北バハカリフォルニア地区 (North and South Baja California Area)

また、中央地区におけるシステムの一部は中央電力会社 (Central Lighting Company: CLFC) により運営されている。主な電力供給システムネットワークと運営区分を図2.1に示す。この内、北西地区の電力供給システムは全国幹線システムに組み込まれているものの、通常は独立して運転されている。

2.1.2 設備容量と発生電力量

メキシコにおける発電設備容量の伸びを表2.1に示す。また、1990年末における設備容量の会計は、25,298 MWであるがその内訳を以下に示す。

発電方式	設備容量 (MW)	比率 (%)	備考
1. 石油・ガス・ディーゼル	14,913	58.9	
2. 水力	7,805	30.9	
3. 石炭	1,200	4.7	300MW/機
4. 地熱	705	2.8	
5. 原子力	675	2.7	ラグナ・ヴェルテ発電所
計	25,298	100.0	

一方、発生電力量の伸びは表2.2に示すとおりであり、1990年における発生電力量の発電方式別割合は以下のとおりである。

発電方式	比率 (%)
1. 石油	65.7
2. 水力	20.4
3. 石炭	6.8
4. 地熱	2.6
5. その他	4.5
計	100.0

水力発電による発生電力量は水利用量（即ち雨量）に支配されるため小幅ながら変動している。

年次	発生電力量 (GWh)
1987	18,200
1988	20,777
1989	24,199
1990	23,333

また、石油・石炭の合理的・効率的利用のため、ガスタービンおよびディーゼルによる発電は約0.7% (1990)と制限されてきた。

1990年において石油汽力発電による発生電力量は66,915GWhであり全体の58.5%、複合発電（コンバインドサイクル）が6.5%である。また、電力輸出は1,952GWh、電力輸入は860GWhであった。

一方、発電用燃料の消費は重油が15.8百万 m^3 （発電のカロリー別消費比率、73.7%）、天然ガスが4,057百万 m^3 (16.1%)、石炭3.97百万トン (8.5%)、およびディーゼル油0.4百万 m^3 (1.7%)であった。1974年以降の消費カロリー別発電用燃料の使用実績を表2.3に示す。

2.1.3 送配電線および変電所

送配電線の総延長は316,206km (1990) に及び、その内訳は以下の通りである。

規格 (kV)	比率 (%)
400	2.9
230	5.3
230 - 69	15.9
69以下	75.9
計	100.0

送配電線総延長の推移を表2.4に示す。

1990年における変電所（変圧器）の全容量は105,157MVAであり、このうち16,273MVAはCLFCの管理下にある。降圧変圧器の合計は54,274MVA、また昇圧変圧器の合計は34,650MVAである。表2.5に変電所における変圧器容量の推移を示す。

2.1.4 地方電化計画

メキシコにおける地方電化計画は1952年に開始され、現在では50,370か所の村落に電力が供給されている。また、23,290台の農業用ポンプが稼働中であり、28百万人の人々と856千haの農地が電気の恩恵にあずかっている。CFEと州政府は地方電化計画を毎年見直しており、CFEが計画の実施に対して責任を負っている。1990年においては1,948の村落（総人口1,348,246人）が電化され、さらに566の農地（10,542ha）および147の公共サービス機関において電力利用が可能となった。

表2.6に地方電化計画の指標を示した。

2.1.5 隣国との電力輸出入

電力の輸出入はCFEと米国およびベリーズ間で実施されている。

1986年にはCFEと米国との間で10年契約が結ばれ、北バハカリフォルニアと米国カリフォルニア州の230kV送電線を通して220MWの輸出入がされている。また、ユカタン半島のベリーズ国へは1989年以来34.5kV送電線により1MWが輸出されている。1990年には年間電力輸出は1,946GWh（米国へ1,941GWhおよびベリーズへ5GWh）となっている。CFEの計画（1991 - 1996）では、年間1,932GWhの輸出を予定している。

一方、電力輸入は575GWh（1990）となっており、内訳はバハカリフォルニアへ516GWh、北部システ

ムへ56GWh、北東部システムへ1GWhおよび北西部システムへ2GWhとなっている。輸出入のバランスでは1,317GWhの輸出超過となっている。

1991年の電力輸入は405GWhと算定されており、その内訳は夏季の最大需要時に171GWhをバハカリフォルニアへ、232GWhを北部システムへ、また2GWhを北西部システムへ送るとなっている。

2.2 電力需要

2.2.1 電力需要の現状

過去10年間の使用電力量の伸びは年平均6.3%の伸びを示している（人口成長率は年平均2.5%）。1990年には総発生電力量は115,000GWhにおよび、1989年の値に比べ3.9%の伸びとなっている。

一方、売電量は94,069GWhであり、自国消費が92,123GWhおよび隣国への輸出が1,946GWhである。発生電力量と売電量に差が発生する原因として以下のものが挙げられる。

- ①変電所での使用
- ②送配電線でのロス
- ③不正使用
- ④請求書、書類処理の時間的ずれ

1974年から1990年までの電力消費量、消費者数およびセクター別消費量原単位の推移を表2.7、2.8および2.9に示す。

1990年の電力消費量の年平均伸び率を6.5%と予測していたが、これはPEMEX（石油会社）による自家発電の増加とかんがい農地において雨量が多く電力消費量が少なかったため達成できなかった。1995年の電力消費量は160,354 GWhと推定されているが、1990～1995の伸び率を年平均6.9%と想定している。

国内幹線システムにおける最大消費電力は18,049 MW（1990）年であり、1995年までに24,829 MWにのびると予測されている。同システムの最大消費電力のうち62%を同国南部で、30%を同国北部で消費している。国内幹線システムと東部地区の典型的な日負荷曲線を図2.2に示す。

2.2.2 電力料金

1990年メキシコ政府は電力セクターにおける財政状況の改善と電力開発コストの補填のために電力料金の調整を決定した。価格調整は電力料金に占める補助金を合理化することを目的としている。これらの調整は3月17日、5月29日、7月10日、11月13日に実施された。調整の中で注目すべきは夏季における熱帯地方に対する料金制度1Dの適用である。調整はとうもろこしの製粉所およびかんがい用水のポンプ運転に

関連した電力料金制度4の改訂も含んでいる。

電力料金は発電原価より低く設定されており、発電原価の約81%（1990年）となっている。消費者への補助金総額は2.8百万新ペソにおよび、これは電力セクターへの投資総額の約50%となっている。特に居住地およびかんがい用ポンプ運転に対する電力料金はそれぞれ発電原価の40%および20%となっている。

1990年の電力料金は150.44ペソ/kWh（0.150新ペソ/kWh）となっており、1989年価格の116.95ペソ/kWhに対する161%の正味の上昇率を含んでいる。

2.2.3 電力消費の節約と電力ロスの低減

メキシコ政府は「国家開発計画」と「国家エネルギー近代化プログラム」の中で、「電力セクターにおけるエネルギーの節約プログラム（PAESE）」を設定している。PAESEには外的要因とともに発電所、送配電ネットワークおよび地方行政組織などに内在する多くの要因を挙げている。

内在する要因への対策として自国で生産する発電用燃料の利用、火力発電におけるカロリーロスの減少と内燃機関の効率の上昇を挙げている。

送配電ネットワークに関しては「エネルギーロスの制御システム（SIOPE）」を組織し、家庭用・商業用における蛍光灯の使用、サービス業及び公共機関における電気節約を挙げている。

1989年から1990年においては、時間別電力料金体系を導入することにより、国内幹線システムにおいて約500MWを節約することができた。このような最大使用電力の制限策（料金体系8及び12）により、使用電力は500から800MW減少し、負荷率の増加につながると期待されている。

2.3 電力需要予測

2.3.1 需要拡大の要因

発生電力および発生電力量の予測にあたっては経済成長と人口増加が重要なファクターとなる。前者のファクターは電力生産の規模と質、又電力消費量と関連し、人口増加は電源の拡張率を決定するものである。

電力消費は過去10年間（1980～1990）において経済は不景気であったが、その国内消費量は年率5.9%の比較的高い数値で推移した。図2.3に電力消費量と国内総生産（GDP）の関係を示すが、電力消費の伸びは経済成長に比べ常に高い率で推移している。この現象は、経済の停滞が必ずしも電力需要の伸びに影響しないことを示している。これは、開発途上国の電力消費の伸びが主として経済活動よりも人口増加に起因しているからである。さらに、メキシコでは国民の87%に電力が供給されているが、国内の電化計画

が完了していない国では、経済が停滞していても電力セクターの拡大を促す種々の社会的要因があると考えられる。

電力消費に影響する他の要因としては気候変化が考えられるが、これは比較的短期的なものである。又、技術革新は長期的には電力消費に大きな影響を与える要因となる。一方、電力料金の改訂は電力消費を減少させる可能性がある。

2.3.2 経済発展のシナリオと人口増加

CFEの需要予測では、以下のように3種のGDP成長率を仮定している。

GDP (%) の成長率 (1991 - 2000)

期間	下方	中間	上方
1991	3.00	3.80	4.50
1992 - 1994	5.30	5.65	6.00
1995 - 2000	4.50	5.00	5.50
平均	4.59	5.08	5.55

需要予測においては、経済成長のみならず電力供給能力も参照する必要がある。また、過去の経験から、他の経済指標、即ち経済開発投資額 (IBF) も参照される。2000年におけるIBFの値は、中間シナリオではGDPの23.5%になると予想されている。人口についてはCONAPO (El Consejo Nacional de Poblacion) の値を参照しており、将来の10年間の年平均増加率を2.1%としている。

2.3.3 2000年までの需要予測

前述した3種の経済予測シナリオおよび人口増加率をもとに、CFEは2000年までの電力需要予測を用途別に行っている。経済予測シナリオ (中間値) に対する値を以下に示す。

用途別電力消費量 (GWh)

用途	1962	1970	1980	1990	2000
家庭用	1,419	3,582	10,038	20,605	43,090
工業	4,162	11,795	28,744	52,213	107,153
商業	1,508	3,253	5,821	8,265	14,601
農業	621	1,349	3,746	6,707	12,059
サービス業	668	1,580	3,677	4,549	8,604
合計	8,378	21,559	52,026	92,339	185,507

注) 輸出用電力は除く。

また、上表から得られた年平均電力需要の伸びを以下に示す。

用途別年平均電力消費量の伸び (%)

用途	1962-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000
家庭用	12.3	10.9	7.4	7.7
工業	13.9	9.3	6.2	7.5
商業	10.1	6.0	3.6	5.9
農業	10.2	10.8	6.0	6.0
サービス業	11.4	8.8	2.2	6.6
合計	12.5	9.2	5.9	7.2

また、電力需要とGDPの関係は、その伸び率の比を弾性値として表すがその値は下記の通りである。

GDPに対する電力需要弾性値 (%)

用途	1962-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000
家庭用	1.7	1.6	5.2	1.5
工業	2.0	1.4	4.3	1.5
商業	1.4	0.9	2.5	1.2
農業	1.4	1.6	4.2	1.2
サービス業	1.6	1.3	1.5	1.3
合計	1.8	1.4	4.1	1.4

上表において、1990-2000年の値は1970-1980年の値と同様となる。一方、家庭用および工業用電力消費量は下表に示すように急激な伸びを示している。

用途別電力消費量 (%)

用途	1962	1970	1980	1990	2000
家庭用	16.6	16.6	19.3	22.3	23.2
工業	49.7	54.7	55.2	56.5	57.8
商業	18.0	15.1	11.2	9.0	7.9
農業	7.4	6.3	7.2	7.3	6.5
サービス業	8.0	7.3	7.1	4.9	4.6
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

注) 輸出用電力は除く。

電力需要予測モデルでは、純発生電力量（EN）はGDP、累計総投資額（IBFA）および人口増加率（POB）の関数となっている。GDPは経済活動の成長率を示し、IBFAは経済成長を実現させるための要素を、また、POBは総人口を示すものである。このモデルは、図2.4に示すように、過去の電力需要予測値と実際の伸び率を比べた場合、比較的良好な予測結果を得ている。したがって、需要予測モデルが設定されると、純発生電力量は経済指標と人口から推定されることになる。総発生電力量は純発生電力量に電力ロスを加えて求められる。

表2.10には1970から1990年までの電力需要の傾向を、また表2.11および図2.5には3種の経済予測に基づいた、総発生電力量、消費電力量及び売電可能量を示す。ただし、計量経済モデルは偶然性・不確実性といったエラーを含んでいないことに留意すべきであろう。図2.5には80%信頼度包絡線による需要予測も示した。

一方、電力受益地の地理的条件（発電所・変電所および送配電線の立地条件と規模）についても注意が必要である。地域電源開発計画（1991-2000）は毎年行う電力計画プログラムの見直しに基づいている。

大陸部に位置する6地域およびユカタン半島の一部は230kVの送電線によって国家幹線システムに連結されているが、バハカリフォルニア半島部は幹線システムから独立している。需要予測では、国内のシステムを109区域と13の独立した小規模システム（うち7つは電力輸入による）に分割し、それぞれの区域において過去の電力需要データ、売電等が算定されている。大量の電力消費を伴う大口消費者（279箇所）についても考慮している。

2.3.4 発生電力と発生電力量とのバランス

発生電力および電力量は中期発電計画（計画期間2～4年）の中で、実際の発生電力と電力量およびそれらの予測値を比べることによってモニターされている。

CFEの中期発電計画によれば、1日を5つの時間帯に分け発生電力と電力量のバランスを解析している。5つの時間帯の特性は以下のように分類される。

電力使用帯	時間 (hrs)
①ピーク	1.0
②準ピーク	3.0
③中間	11.0
④準オフピーク	7.0
⑤オフピーク	2.0
計	24.0

中期発電計画における発生電力バランスは、各地域が気候的、社会・経済的には多様であるので各区域毎に月ベースで実施される。また、発電計画は原子力・水力・地熱発電の最大利用と発電用燃料の最小利用を考慮して経済的な給電計画を目指してコンピュータプログラムによって検討される。

表2.12には1993年における国内幹線システムの月別発電電力バランスが示されている。ここで、発電所は運転の効率・利用率を考慮した発電機の機種・規格に従って13のカテゴリーに分類されている。

月最大発生ピーク電力は5月の17,509MWh/時と予測されている。また、月最小発生ピーク電力は1月の16,486MWh/時（最大の94.2%）であり、月発生ピーク電力にそれほどの差はみられない。一方、負荷率は73.9%（12月）から81.4%（6月）の範囲で変化しており、年平均負荷率は76.1%、年発生電力量は116,785GWhである。

図2.6には1993年5月における負荷継続曲線を示す。一般的にベース負荷は原子力、地熱、石炭火力、石油火力および小水力発電により供給され、ピーク負荷をガスタービンおよび大水力発電により供給している。

2.4 電力開発計画

2.4.1 電力開発計画と投資計画

CFEは1990年、6発電所（2,728MW）の建設を組み込んだ電力開発計画を策定した。しかしながら、その内、ジマバン（Zimapan）水力発電所（280MW）の建設に着手したのみである。電力開発計画のほとんどは民間融資のもとでの工事の遅れもあり未完成であるが6年計画（6 Year Plan）終了時には完成の見込となっている。

1990年にラグナ・ベルデ原子力発電所（675MW）およびロス・アズ fras（Los Azufres）地熱発電所9号基（5MW）が商業運転を開始したが、これは電源多様化政策に基づいたものである。

送配電線計画については、1,867kVAの変電所の増設と、1,812kmの送電線が延長された。

2.4.2 1990年に完了した建設計画

1990年には、ボカ・ポソス・アズフレス（Boca Pozos Azufres）地熱発電所（5MW）およびラグナ・ベルデ原子力発電所（675MW）の完成により設備能力が680MWに増加した。表2.13に示すように、1991年にはいくつかの発電所でテストが行われ、総出力1,180MWが利用可能となる。

また、1990年には総延長1,724kmの送電線と変電設備1,649MVAの建設も完了している（表2.14）。

2.4.3 建設中の発電計画

表2.15に建設中の発電計画を示す。1991年以降の設備能力の推移は以下のように想定される。

年次	設備能力の増設 (MW)
1991	2,060
1992	700
1993	700
1994	675
1995	1,240

第3章

マサテペック水力発電所

第3章 マサテベック水力発電所

3.1 発電施設の概要

マサテベック水力発電所はアブルコ川の中流域に位置する（図3.1参照）。アブルコ川は標高3,000m前後の山塊にその源を發し、最後はメキシコ湾に注いでいる河川である。発電所はメキシコ市北東170kmまたはプエブラ市北方130kmの距離にある。

本発電所は、単機発電容量54.86MW 4台を容する地上式発電所であり、ソガク、ハラチンゴおよびボサリカIIの変電所に接続された高圧送電線によって全国系統に組み込まれている。全設備容量220MWにより年間 500×10^6 から 800×10^6 kWhの発電を行っている。

本発電所は、高さ92m、長さ1,220m（重力ダム部を含む）のアーチダムによって築造されたソレダッド貯水池を有する。ソレダッド貯水池にはアブルコ川の水ばかりでなく、シカユカン川からの流域変更による水も流入する。貯水池の総集水面積は、流域変更分も含めると $1,830\text{km}^2$ となる。

本発電計画の一般図を図3.2に示す。ダム及び発電所の平面図、断面図と導水路の縦断図を図3.3から図3.9に示す。各施設の詳細とその運転管理の現況については付録-Bに述べるが、本計画の概要を下記に示す。

(1) 流域面積及び流量

流域面積（ソントラコ川及びアブルコ川を含む）： $1,460\text{km}^2$

流域面積（シカユカン川及び支川）： 370km^2

合計 $1,830\text{km}^2$

平均流量（アブルコ川）： $8.8\text{m}^3/\text{s}$

平均流量（ソントラコ川）： $1.3\text{m}^3/\text{s}$

平均流量（シカユカン川）： $8.1\text{m}^3/\text{s}$

合計 $18.2\text{m}^3/\text{s}$

(2) 貯水池

常時満水位： EL. 804.5m (EL. 798.4m)

最低水位： EL. 797.5m (EL. 775.0m)

利用水深	: 7m (23.4m)
貯水池面積	: 約1.8km ² (常時満水位)
洪水位	: EL. 805.0m (可能最大洪水量)
有効貯水容量	: 10 x 10 ⁶ m ³ (30 x 10 ⁶ m ³)
総貯水容量	: 18 x 10 ⁶ m ³ (47 x 10 ⁶ m ³)

(注) () は当初計画の値

(3) 放水位

ベルトン水車標高 : EL. 295.3m

(4) ダム

型式	: コンクリートアーチ式とバットレス式の複合型
全長	: 1,220m (アーチ部210m)
堤頂標高	: EL. 806.5m
バラベツト標高	: EL. 808.05m
基礎標高	: 約EL. 715m
高さ	: 92m

(5) 洪水吐

型式	: ゲート付きシュート及びフリップバケット
越流部標高	: EL. 789.5m
シュート幅	: 71m (越流部)
設計流量	: 6,835m ³ /s (水位EL. 805m)
ゲート	: 高さ15.0m x 幅11.2m x 5門

(6) 底部放流施設

型式	: ハウエルバンガーバルブ
内径	: 1.88m
設置標高	: EL. 750.0m
推定最大放流量	: 73m ³ /s

(7) 発電取水口

型式 : 傾斜コンクリート構造
呑口シル標高 : EL. 768.76m

(8) 導水トンネル

型式 : 円形圧力式
内径 : 4.0m
全長 : 6.570m

(9) サージタンク

型式 : 鋼製シャフト
タンク天端標高 : EL. 821.30m

(10) ベンストック

内径 : 4.0m～1.6m
長さ : 270m～347m

(11) 発電所

型式 : 地上式
長さ : 78.9m
幅 : 34.0m
高さ : 34.4m
水車センター : EL. 295.3m

(12) 水車/発電機

台数 : 4
水車(ベルトン型) : 54.86MW(最大出力)
発電機 : 58.0MVA(定格)
最大使用水量 : $13.8\text{m}^3/\text{s} \times 4 (= 55.2\text{m}^3/\text{s})$
定格純落差 : 480m

定格回転数	: 360 rpm
周波数	: 60 Hz
入口弁	: 内径1.5mロータリー弁
天井クレーン	: 95/20 ton
非常用発電機	: 510 HP, 1,500 rpm

(13) 屋外開閉所

主変圧器	: 20MVA x 13
長さ	: 140m
幅	: 90m

3.2 マサテバック発電所の特性及び役割

3.2.1 運転特性

マサテバック発電所は、1991年時において全国系統のピーク需要約16,500MWのうち約3,000MWのピーク電力需要を分担するオリエンタル地区に属する。本発電所のための送電線系統図を図3.10に示す。

なお、マサテバック発電所はオリエンタル地区におけるピーク需要の約7%、全国系統におけるピーク需要の約1.3%にあたる220MWのピーク電力を供給している。

発電所は貯水池を持つ水力発電所として、原則としてピーク時の電力負荷にあわせて運転されている。したがって、いかなる貯水池水位においても最大出力の220MWが発電可能となる様に計画されている。

しかしながら、ソレダッド貯水池の雨季と乾季の流入量流況には大きな差異があるので、これがマサテバック発電所の運転に影響を与えている。図3.11に1992年の雨季及び乾季に於ける発電所の典型的な日運転状況を示し、図3.12に1991年5月及び10月における月平均出力を示す。

6月から11月までの雨季において、マサテバック発電所は流入量を最大限に利用して運転している。即ち、上流域に多量の降雨があり、かつ貯水池水位が標高800mを越えるような9月及び10月には24時間を通して最大出力である220MWを発電している。

一方、12月から5月までの乾季は、マサテバック発電所は全国系統の24時間の需要供給バランスにあわせて運転管理している。

発電量と需要変化に対するバランスを管理する中央給電指令システムの指示により、マサテバック発電所は日中のピーク時に対する運転だけでなく、早朝時や20時から22時までの夜間のオフピーク時間に対し

でも運転を行っている。この給電指令システムは、1週間の単位で毎日の経済的発電計画をたてているが、この中で、マサテベック発電所は最大出力を発電する様に計画されている。

マサテベック発電所の持つもう一つの大きな役割は、230kV送電線の電圧を調節することにある。230kV送電線にはマサテベック発電所とボサリカ火力発電所を連結するもの及びハラチンゴ及びソザク変電所につながる一回線の計3本がある。したがって、マサテベック発電所は、需要の有無に関わらず、特に需要のない深夜や早朝時のような時間帯でも230kV送電線の電圧を235kVから240kVに維持するため、4台の発電機を使用し、無効電力供給運転をしている。

マサテベック発電所につながる送電線の電流は、発電所の出力や、時間、季節等により常に変化するが、通常ボサリカ火力発電所からマサテベック発電所へ流れ、そこからソガク、ハラチンゴ変電所に流れている。図3.13にマサテベック発電所につながる230kV送電系統の最大及び最小需要時の電流の流れ図を示す。

3.2.2 発電量記録

表3.1に1962年運転開始以来のマサテベック発電所における発電量をまとめてある。年間発電量は、貯水池流入量の変化により各年様々である。記録によると、最小は1963年の449GWh、平均電力51.3MWで稼働率は23.3%にすぎない。一方、最大は1981年の904GWh、平均電力103.3MWで、稼働率は47%におよぶ。貯水池堆砂は発電所の運転に大きな問題となり、水路や水車への土砂流入を防止するためにソレダッド貯水池の運転水位を1980年に798.4mから804.5mまでの範囲に変更した。記録によれば、1971-1980年と1981-1990年の平均発電量に著しい差異は見うけられない。

3.2.3 流入量と発電量

年間発電量は貯水池の流入量によって大きく関わる。図3.14にその関係を示す。

発電量と流入量の時間的変化を分析するため、ダブルマスカーブを作成した(図3.15参照)。図3.15のマスカーブは経年的に同程度の傾きを持ち、ほとんど直線的に推移している。したがって、このマスカーブに関する限り、貯水池容量の減少とともに発電量が低下しているという傾向は見うけられない。

流入量は、発電量を最大にかつ無効放流量を最小にするよう利用されなければならない。図3.16に過去の流入量と無効放流量との関係を示す。図3.16から年間流入量が $600 \times 10^6 m^3$ を越えた年では無効放流量が大きくなっていることがわかる。しかしながら、無効放流量は最近ばかりでなく発電所運転開始初期にも発生しているので、この問題に貯水池堆砂の直接的な影響は見られない。

3.2.4 貯水池水位と流入出量

図3.17及び図3.18は1976年から1990年までの貯水池水位を記録したものである。この図より、1982年以降に最低水位を上方に変更したことがわかる。

また、表3.2に流入量及び発電水量を示し、図3.19に1990年及び1991年の水位、流入量、発電量を示す。これらの図表により発電所の発電流量が流入量とほとんど変わらないことから、本発電所が基本的には流れ込み式発電所としての運転状況にあることがわかる。

3.2.5 洪水時運転管理

洪水時の流入量観測や運転管理のため、通信回線がマサテベック発電所及び水文観測所の間に設置されている。以下の情報が貯水池及び発電所の運転管理のために収集されている。

- ブエノスアイレス、ソントラコ、水路トンネルNo.1観測所における水位及び流量
- ラ・ソレダッドでの雨量及び蒸発量
- 貯水池水位及び貯水容量

水文観測所は各々が無線により連結され、ブエノスアイレス、ソントラコ観測所における水位や流量資料は水路トンネルNo.1観測所の近くにある事務所へ伝達される。水路トンネルNo.1の水位や流量資料及びラ・ソレダッド観測所における気象情報と合わせ全てのデータはダム事務所へ伝達される。そして、ダム事務所近くで観測された貯水池水位も含めた気象水文資料は、電話回線によりマサテベック発電所へ伝達される。これらの通信は、観測所や事務所においてCFE職員が管理し、以下のような間隔で観測されている。

乾季（11月1日～5月31日）： 18:00（1日1回）

雨季（6月1日～10月31日）： 6:00～18:00の間で2時間に1回

洪水発生時： 0:00～24:00の間で2時間に1回

これらの情報を基にマサテベック発電所において流入量を推定する。シュカユカン川からの洪水流入量はアテスカコ堰のゲートにより調節可能である。ソレダッド貯水池の洪水吐からの放水は、ダム及び貯水池の運転管理ルールに基づいて行なわれている。

ソレダッド貯水池の満水位は下記のように設定されている。

6月1日～10月15日： 標高 803.0m

10月16日～5月31日： 標高 804.5m

設計洪水位805.0mと803.0mの間の貯水量は、1962年時で約 $5.8 \times 10^6 \text{m}^3$ であり、1992年時で約 $5.0 \times 10^6 \text{m}^3$ である。この貯水量が洪水調節容量と考えられる。しかしながら、この洪水調節容量は洪水流入量に対し

て少なく、1989年の日最大洪水流入量 $27.8 \times 10^6 \text{m}^3$ や、1989年洪水の $31.6 \times 10^6 \text{m}^3$ を調節することは困難である。図3.20は、1988年及び1989年洪水に於ける貯水池日流入量と放流量（発電水量と洪水吐放流量との合計）を示すものである。これらの洪水時において単位日当たりの流出量と流入量はほぼ同量である。

1989年の洪水時における流入量、放流量及び貯水池水位を図3.21に示す。

3.3 顕在化している問題

3.3.1 ソレグッド貯水池における堆砂

ソレグッド貯水池は、1992年に行った測量によれば、中心線の全長が約5km、湛水面積が約186.4haである。貯水池の形状は図3.22に示す。

プロジェクトが運開された後、貯水池の堆砂が進行し、正常な発電に影響を与えることが危惧された。貯水池利用水位はしばしば変更され、現在では以下に示す通りである。

	最高利用水位	最低利用水位
当初設計時	798.40m	775.00m
現在	804.50m	797.50m

CFEは、概略測量や詳細測量により有効貯水量の経年的減少量を測量した。CFEにより測量された1962年、1977年、1988年、1992年の貯水量を表3.3に示す。この資料は、CFEが公式発表している標高 - 貯水量曲線から得たものであるが、実際の測量結果とは少々異なるところもある。概略測量によって得られた情報は参考としてとらえるべきである。貯水位 - 貯水容量曲線の変化を図3.23に示す。

これらの資料を基に、貯水池水位が775.0mと798.4m（1962年時の低水位と満水位）間の貯水量は、1962年において約 $30.238 \times 10^6 \text{m}^3$ であったが1992年には $9.152 \times 10^6 \text{m}^3$ に減少している。

表3.4に示す通り1992年における804.5m以下の貯水池内全堆砂量は約 $40.355 \times 10^6 \text{m}^3$ で、このうち775.0m以上に堆砂している量は約 $23.232 \times 10^6 \text{m}^3$ である。水位775.0m以上804.5m以下の堆砂は以下のように推定される。

		堆砂量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	
年	堆砂量	年	堆砂量
1972	7.800	1982	14.773
1978	10.316	1983	14.796
1979	12.319	1990	17.940
1980	12.737		

これら推定の基となる貯水池堆砂測量データについては、1990年のものしか得ることができなかった。1990年の値は表3.3に示す測定値（約 $21.71 \times 10^6 \text{m}^3$ ）より小さくなっている。

貯水池河床の縦断資料を表3.5に示す（1962年、1977年、1990年、1992年）。これを図化したものを図3.24に示す。この縦断面図はアーチダムの非越流から始まっている。この断面における1990年及び1992年の貯水池堆砂の標高は、放水口（750.0m）や発電取水口（768.76m）を越えている。また、この断面図によれば堆積土砂が下流方向へ移動していることも示唆している。

CFEは取水口近くの堆砂土砂の監視をするため、1990年及び1992年に詳細な測定を行った。なお、1992年における測定線は図3.25に又、1990年、1992年の測定値を基に作成した縦断面を図3.26に示す（表3.6参照）。縦断面図から、取水口近く（取水口より40m）の堆砂の標高が、約772mに達していることがわかる。取水口から40m以内の距離では768.76m（取水口シル高）に落ち込んでいる。このような堆砂の状況は、近い将来、取水口に土砂が流れ込む可能性が高いことを示している。

3.3.2 水力機械の砂による磨耗

4つの縦軸ベルトン水車は各々6つのノズルジェットを持つが、その仕様は下記の通りである。

- 定格出力 : 74,600馬力 (54.86MW)
- 定格純落差 : 480m
- 定格同期回線数 : 毎分360回転 (60ヘルツ)
- 定格使用水量 : $13.8 \text{m}^3/\text{s}$

水車は全てフランスのネールピック社製であり、1962年から1964年にかけて設置された。水車は下記の特徴を持っている。

- ランナーバケット数22、クロームステンレス13%を含む鋳鉄製
- 自動ポンプつきスリーブ型ガイドベアリング
- 自動グリース潤滑装置

水車は維持点検、オーバーホール及び周波数変換のための工事期間を除き、連続して運転されてきた。発電所は通常、周波数の調整に使われるが、7月から10月の雨期にはフル運転され、その他の期間はコンデンサー運転を行っている。1号機と2号機は交互に所内電源用の発電に運転されてきたので、3、4号機に比べ磨耗の進行が著しい。

ランナーは毎年定期点検されるがここ30年間に更新されたり修理されたことはない。このランナーの設計に関する限り磨耗は問題になっていない。全てのユニットに若干のキャビテーションがあり、磨耗は極めて小さいと報告されている。しかし1993年5月の調査では第3号機バケットにはかなりの磨耗のあるこ

とが発見された（最大9.5mmの磨耗）。

ニードルとノズルにはキャピテーションが発生しているので定期的に修理されている。新しいニードルの寿命は4・5年であり、修理したニードルの寿命は1.5年から2.5年程度である。2度の修理のあとは母材の劣化が進んでいるのでそれ以上は使用できない。

水車を通過する土砂は極めて細かく実際には砂は含んでいない。しかしタービンに土砂が入るのを防止するため貯水池最低水位は標高797.5mまで引き上げられている。

3.4 CFEの実施した堆砂問題への対処方法

3.4.1 貯水池堆砂の調査

CFEは貯水池堆砂に関する調査プログラムの実施を1972年に開始し、定期的に調査を実施してきた。これらの調査は通常は簡略レベルであるが、1992年には詳細レベルの貯水池堆砂の調査が行なわれた。CEFによれば、1992年の調査は最も信頼のおけるものであり、以前の調査は単に貯水池の堆砂速度の傾向を示す参考程度とみなしている。1992年の調査結果によれば、これまでの30年間に貯水池はその当初計画貯水池容量 $58.8 \times 10^6 \text{m}^3$ のうちの $40.4 \times 10^6 \text{m}^3$ を堆砂によって消失している。

1992年に実施された現地調査とそれらの結果をレビューし、CFEと協議を行なった結果、この1992年の調査で用いた貯水容量の見直し方法は十分信頼に値するものであった。

一般に、浮遊砂や河床材のサンプル調査は貯水池堆砂の調査において不可欠な調査項目である。しかしこれらのデータは今回の調査では適切な方法で収集されておらず、また貯水池底部の堆砂標高の変化に基づいた堆砂量の直接的な計測も行なわれていなかった。なお、堆砂調査による貯水池底部の標高測量（等高線）は1977年、1988年そして1990年と実施されており、その貯水容量曲線も同様に利用可能である。1990年の調査では取水口付近で詳細な調査が実施されている。

これまでの調査で使われた測線のほとんどは1992年で用いられたものとは異なったものであった。同様に、1977年に使われた測線もまた異なっている。この様にCFEは個々の調査で新たに測線を設定している。一般的に測線は固定化する事が望ましく、それは測定値を妥当な精度に保つだけでなく従前調査との比較のためにも必要なことである。

3.4.2 土壌保全対策

流域においてはこれまでにいくつかの土壌保全対策が実施されてきたが、それぞれの効果の程度については差がある。棚段耕作地では斜面における雨水流出の影響を和らげるためにマゲイや他の乾燥地に強

い植種を10mから20m間隔で植えているところもある。1976年から1988年の期間にCEFは流域管理プログラムを実施した。この計画の中には侵食面での植林、樹段や流水を捉える排水路の造成、流水や土砂を止めるロックウォールおよびアブルコ支流の25ヶ所の砂防ダムの構築といった様々なものが含まれている。

これらの対策は、主としてオコチンゴとトラハルムコの西側にかこまれた地域で行なわれており、トラハルムコの上流域ではほとんど実施されていない。

砂防ダム (チェックダム)

1976年から1987年にかけて25ヶ所の砂防ダムが構築された。これらはアブルコ川支流に設けられたがその位置は本川との合流地点近くがほとんどである。最も下流に位置する砂防ダムNo.1はサンタ・イネスモレロスのバカ・ア・モレロスにある。サンタ・マリア・コヨルテベックの上流周辺に位置する4つのダムを除き、砂防ダムはアブルコ溪谷からトラハルムコの下流、No.18のプレサノバラまでの区間に構築されている。

これらのダムの集水面積は合計450.6km²でアブルコ川のプエノスアイレスの上流の流域の32%を占めている。いくつかのダムは建設後1年未満ですでに堆砂によって埋没したものもある。サウトラの下流にある砂防ダムはまだかなりの貯砂容量を有している。これらの砂防ダムとアブルコ川全体への堆砂防止効果については、3.4.3節で更に検討を加えた。

テラス造成(Terrazas Forestales)

1981年から1987年にかけて一連のテラス段地が勾配5~25°の斜面において、その等高線に沿ってブルドーザーにより造成された。テラス巾は約4mでその間隔は斜面方向に対して15~20mである。1981、1982、1984、1986及び1987年の5年度にわたり造成されたテラスの総延長は43,100mであり、その事業費は約80,000米ドルと報告されている。この方策により100haを少々越える地域で侵食を阻止できたと推定されている(年平均20ha、費用約800米ドル/ha)。ただし、テラス造成は初年度の1981年にその大部分(39.7ha)が実施された。

ロックウォール(Muros Secos)

2番目の方法は雨水の流出力を和らげる方法で、特に比較的浅い水路にロックウォールを設けることである。テラス同様、これらのウォールの目的は流水を遮断し、土砂を沈殿させることにある。1980年から1987年の8年間にコヨルテベックとトラハルムコにある156の水路に対し合計5,019のウォールが構築された。

排水溝(Zanja and Bordo)

3番目の流域管理の方策は、1980年から1987年の間で行なわれた等高線にそって水路を設けることである。ここでは、水路の下流側に土を盛っている。この方法により斜面下流で流水を捉え、表流水を土壤に浸透させることができる。この方法は、トウモロコシ、豆、小麦、大麦の栽培がよく行なわれている勾配15~30°の斜面に適用されることが多いが、これらの土地は耕作が行なわれると土壤が砂質化し侵食に対し抵抗力を失ってしまう。

水路の断面は当初40cmx40cmであるが、60cmx60cmに拡大されることもある。一方、水路の清掃も続ける必要がある。土壤を安定させるためマゲエイが適当な間隔で植えられている。19の村落で総延長約255,000mの水路がつくられたが、これは640haの面積をカバーするものである。この費用は長さ1m当たり0.20米ドル、面積1ha当たり80米ドルである（全部で約51,000米ドル）。テラス造成と同様に1ha当たりの土地を改善するためには長さ400mの水路が必要となる。

植林

上述の対策に加えて1980年から1987年の期間に植林プログラムも実施された。合計約450,000本が一本当たり0.85米ドルの費用で約625haに植えられたと報告されている。しかし、面積に対し多くの本数(1ha当たり720本)が必要なので植林でカバーされる面積は極めて限られている(1ha当たり610米ドルの費用)。植種としてマゲエイ（又はセンチュリープラント）、果樹及び森林樹の3つが採用されている。

植林のための樹木グループ (本)

年	マゲエイ	果樹	森林樹	合計
1980	12,000	5,101		17,101
1981		3,163		3,163
1982		32,057	44,216	76,273
1983		14,242	18,013	32,255
1984	2,000	4,144	54,041	60,185
1985	470	8,350	47,661	56,481
1986	5,669	4,238	69,519	79,426
1987		6,446	116,864	123,310
合計	20,139	77,741	350,314	448,194

3.4.3 砂防ダム

1972年から1977年の貯水容量調査に基づき、CFEはソレダット貯水池に流入する土砂生産の大部分を占めるアブルコ川上流域に砂防ダムを建設することを計画した。砂防ダムは1976年から1987年の期間に建設された。砂防ダムの堆砂調査は1980年に始めて行なわれた。砂防ダムの位置図を図3.27に示す。

1976年から87年の期間に建設された砂防ダムの諸元—ダムの集水域面積、完成年度、越流天端長での貯水容量を表3.7にまとめてある。また、1980年から87年にかけて算定された堆砂容量およびその状況についても記述してある。

アブルコ川のプエノスアイレス地点の流域面積約1,405km²およびジトラルクウルク川との合流地点での流域面積約1,140km²に対し、砂防ダム全体の流域面積は約450.6 km²しかない。この結果、これらの砂防ダムはアブルコ川とジトラルクウルク川との合流地点の上流地域の約40%を、またプエノスアイレスの上流域の約32%の範囲をコントロールしているだけである。砂防ダム全体の貯砂容量は約1.34x10⁶m³である。

これらの砂防ダムの幾つかは、建設後1年から4年位の間に土砂で満杯となっている(表3.7)。データの信頼性に疑問のあるところもある。1977年から78年にかけて建設されたテナブルコNo.3のダムは、築造後6年でその約92%が堆積物で埋まってしまった。残りの8%はその後の3年間、すなわち1987年までに埋まってしまったことが報告されている。この時期の降雨パターンとこのような堆積パターンとの関係は明らかではなく、その他の要因も明らかでない。しかしながら、これらのデータを観察すると小規模のダムは急速に満杯になる一方、比較的大規模なダムはさらに数年間をかけて満杯となっている。

ソレダット貯水池へ流れ込む土砂に対する砂防ダムの効果を評価するため、砂防ダム周辺観測所2ヶ所での月別降雨量、プエノスアイレス観測所での月別流量、流送土砂量の記録をプロットした(図3.28)。ダムが充分機能している期間の降雨量は比較的少なかったが、流送土砂のパターンは特に顕著な減少を示していない。しかしながら、この結果を以て、プエノスアイレスでの土砂流出が減少していないと結論付けることもできない。その理由として、プエノスアイレス観測所では粗粒分の土砂流出量を適切に観測しておらず、又砂防ダムは主として粗粒分のみを捕捉しているからである。

侵食率は砂防ダムでの堆積量に基づいて計算された。計算結果は表3.8に示してある。各々の砂防ダムにおける捕捉率はチャーチルの捕捉率曲線(第6章参照)により求めた。この曲線は小規模貯水池で、洪水貯留効果を持ち、半乾燥型貯水池タイプで、かつ沈砂地を有しているタイプに適している。従って、この曲線は砂防ダムに対して充分適用できる。

表3.8によれば、狭い地域での侵食率は一般に高い傾向にある。この理由としては、狭い地域の場合は土砂はその発生源の近くで測定され、一方、広大な地域の場合は、土砂の堆積/沈殿は下流地域へ移動し

てから測定されるからである。しかしながら、侵食率は一般に低めにでている。このような特徴はダムの堆積量を評価する上で、いくらかミスジャッジを誘導するかもしれないし、あるいは捕捉効率を過大評価してしまうかもしれない。これらのダム上流の地勢形状、土地利用、地理条件や土壌条件から判断すると、侵食率として年間2mm程度と考えるのが妥当であろう。

ソレダット貯水池上流の全体流域における侵食率は、一定時点の貯水池堆砂量と堆砂過程における捕捉率を用いて推定した。これによれば侵食率は約1.4mm/年との結果を得た(第6章)。

年間1.4mmという侵食率は砂防ダム上流地域で推定された値とそれほどかけ離れたものではない。アブルコ川とジトラルクワウルタ川の合流地点から下流地域は豊かな森林資源で覆われており、堆砂への影響は非常に少ないものと思われる。ジトラルクワウルタ川の上流流域は適度な森林に覆われている。しかしながら、もろい凝灰岩の層状侵食箇所も多く、多くの場所で観測されている。アブルコ川によって運ばれるものは粘土とシルトの量が大部分であるが、ここの流砂のほとんどはシルトと砂であるため河川水は比較的澄んでいる。

3.4.4 底部放流施設からの土砂排出

底部放流施設はアーチダムの中心で標高750.0mに設置されており、水圧鉄管、ゲートバルブおよびハウエルバンガーバルブ(Howell Bunger valve)から成り立っている。近年、貯水池の堆砂面は標高775mと推定されている。従って、放流施設の取水口は堆砂面の約25m下部に埋没している。放流施設は1985年以降、約7年間の間使用されていない。

底部放流施設を設置した理由は明らかでないが、多分堆水初期に貯水位をコントロールするために、あるいは川の維持流量を調整するために設けたものであろう。1985年以前には短期間ではあるがこの放流施設が貯水池の堆砂を排出するために使用された。しかしこの目的のための放流施設の使用は次のような理由により中止された。

- 一 これまでの貯水池に蓄積した堆砂を効果的に排出させるには、このバルブの排砂放流能力が余りにも小さ過ぎること。
- 一 取水口は土砂以外に種々の廃棄物も巻き込む場合もあることから、担当のオペレータはハウエルバンガーバルブを閉鎖することができなくなるかも知れないと考えていること。
- 一 放流水が下流地山に当たり、かつバルブに激しい振動が発生するという恐れがあること。

このような理由から、CFEでは1985年に底部放流施設の操作を取り止めた。

3.4.5 洪水吐からの土砂排出

貯水池から堆砂物を排出するために洪水吐の利用が試みられてきた。その結果、洪水吐付近に限られた範囲はあるが、貯水池からある程度堆積物を水門を開放することによって排出できることが分かった。しかしながら取水口や底部放流施設付近の堆砂物を流し出すことはできなかった。この主なる理由は洪水吐の左側付近にある最大標高810mの小さな島の存在があげられる。この島は右から左への堆砂物の移動を妨げる自然の防壁の役割を果たしている。又、洪水吐は取水口から約350mと距離が離れており、この条件も取水口付近における堆砂物の移動を難しくしている結果となっている。

3.4.6 貯水池堆砂の浚渫

上流地域における土壌保全と流出防止対策に加えて、CFEはソレダット貯水池の発電用取水口周辺において機械による堆砂物の除去を試みた。CFEの計画は浮舟に設置された土砂ポンプを使用して堆砂物を浚渫し、排出パイプを通して洪水吐バケット下流の河川溪谷に放流するものであった。浚渫機械の主な仕様は下記の通りである。

- ポンプ能力 : 4,000 gallons/min (approx. 15.1 m³/min)
- 電動モーター : 553 HP (392kW)
2,100rpm
440/220volts
- 排出パイプ : Diameter 8 inches
Length 650 m

浚渫作業は1989年に開始された。しかしながらこの作業は貯水池に沈んでいる木片や丸太、あるいは各種の廃棄物を含んだ多様な堆積物のため、またその他の作業上の問題に直面し、浚渫作業自体は現在中断されている。しかしながら、CFEはこれらの既存施設とシステムの改善により、浚渫作業を再開する計画を持っている。

第4章

プロジェクト地域の概要

第4章 プロジェクト地域の概要

4.1 地形

4.1.1 集水域の地形

アブルコ川とその上流域の支流はトラスカラ州アピサコの北東にある標高約3000mの高地に源を發し東方へ流下する。頻繁な小蛇行を伴って北流と東流をくり返しながらアブルコ川は中央台地とメキシコ湾の間にある山地を横断し、全体的には北東に向かって120 km以上を流れた後にテコルトラ川に合流する。テコルトラ川はテコルトラの町の近くでメキシコ湾に流出している。図3.1に流域位置図、又図4.1にアブルコ川の縦断図を示す。

ソレダッド・ダムはアブルコ川の中流域に位置し、標高1300mから2000mの山々に囲まれている。河床はダム地点で標高約720mである。アブルコ川はダムサイトから45km下流でテコルトラ川に合流し、又ダムサイトから河口までは115kmである。

ソレダッド・ダムの集水域はアブルコ川の流域のみならず、シュカユカン川、カラバ川、その他の小河川流域を含むが、これらの河川はいずれもダムサイトの下流でアブルコ川に合流する支流である。シュカユカン川、およびその他の支流の水はトンネルおよび水渠を通じてソレダッド貯水池へ転流されている。

集水域の地形は、水源地域では緩傾斜の丘陵と中流域における左右両側の急峻な分水嶺、および谷底部のゆるやかに起伏する丘によって特徴づけられる。

アブルコ、シュカユカン両河川の水源地を成す緩傾斜地は共に火山台地である。低い円錐形火山セロ・ラス・タブレスとセロ・ウィンテテペトルがアブルコ川最上流の分水嶺の背後に位置している。シュカユカン川とその小支流群はロス・ウメロスのカルデラの北側斜面に源を發している。両地域共第三紀から第四紀の火山噴出物によって広く覆われている。

ソレダッド・ダム近傍を含むアブルコ川集水域の中・下流部では、第三紀より古い硬い堆積岩の険しい尾根が分水嶺を成している。シュカユカン流域では、トラトラウキテベックから北の地域において深い峡谷と急傾面が一般的な地形的特徴となっており、ここでは急斜面を維持するに十分な硬さと強さを持った古生代から中生代の基盤岩が露出している。

アブルコ川の谷の底には低い丘と緩やかな傾斜の土地が形成されている。サウトラ付近とダムサイトの間では、非常に狭い流路が硬いイグニブライト（溶結凝灰岩）の中に刻まれて、その両側には高さ20mないし30mの崖ができており、イグニブライトを覆う軟質の凝灰岩中に形成された斜面は緩やかである。谷の底は上流ほど広く、平らになる傾向を示すが、貯水池の近くでは一般に狭く起伏が激しい。

狭く深い流路はサウトラより上流では見られなくなり、かわりに直径1ないし2mの安山岩転石を含む砂礫に覆われた広く浅い川床が発達する。サウトラ周辺のアブルコ川集水域中流部では川床から約30m高い位置で酸性凝灰岩上に段丘が形成されている。

4.1.2 堆砂の地形的要因

硬岩の急斜面を特徴とする集水域の下流半分では、大規模な地表侵食の兆候は見られない。斜面は安定しており植生もよい。土壌保全は良好のようであり、荒廃地は殆どない。

一方、上流、特にサウトラの南16kmのハルコムルコより上流にある酸性凝灰岩の平らな丘陵地では植生が悪くなっている。軟質の凝灰岩は川の近くの緩傾斜地では露出していることが多く、また耕作地では僅かに有機質土壌の薄層に覆われているだけである。軟岩の表面浸蝕の痕跡がところどころで見られる。このような表層浸蝕を受け易い性質は上流へ行くに従って増大し、サンタ・マリア・コヨルテベクより上流の植生の乏しい丘陵地では地表の荒廃が多くの地点で認められる。この地域にある数箇所の既設の砂防ダムは、緩やかに起伏する丘陵地の強風化溶岩流と軟らかい火山砕屑岩の浸蝕がもたらした砂質の堆積物によってすべて埋められている。このような上流域の丘陵地が土砂の主要な供給源であることは明らかである。

軟質凝灰岩の中の限られた場所で局所的な斜面の崩壊はあるにしても、大規模な地送りや崩壊がこの集水域内で見られないということは留意すべきことである。土砂は殆ど専ら地表浸蝕によって供給されたものであり、災害的な大規模崩壊によるものではない。

4.2 地質

4.2.1 集水域の地質

集水域の地質図は図4.2のとおりである。模式的な地質断面図は図4.3に示してある。

この地域の基盤岩は古生代の結晶片岩であり、ソレダッド貯水池とシュカユカン川流域の極く一部に露出が見られる。結晶片岩の上位には暗色の石灰岩、砂岩、シルト岩、粘土岩から成るジュラ紀から白亜紀（中生代）の堆積岩がある。硬い中生層の岩盤はアブルコ川流域に広く分布し、ソレダッド・ダム集水域の下流半分の急峻な分水嶺を形成している。

第三紀の後期から第四紀にかけて、中生層の表面は新しい火山噴出物によって覆われた。その中でも広範に堆積した第三紀の噴出物は安山岩溶岩と、火山角礫岩、火山泥流などの火砕岩であり、アブルコ川集水域の上流半分の殆どを占めている。

第四紀の火山噴出物は谷底を埋めてほぼ水平に成層する酸性凝灰岩である。この凝灰岩の基底にはイグニンプライト、即ち良く固結した硬い酸性溶結凝灰岩がある。溶結は所により明瞭でないが、非常に硬く強い岩盤であって、サウトラより下流の狭い流路の両側に高さ20mから30mの殆ど垂直、時にオーバーハングした堅固な崖を作っている。これよりも固結度の低い酸性凝灰岩がイグニンプライトの崖よりも高い位置に緩傾斜の谷中丘陵を形成している。この凝灰岩は様々な程度に風化され軟化していることが多い。酸性凝灰岩の最上部層は固結が弱く、軟かい岩の層である。このような強度に変化のある第四紀の酸性凝灰岩は主流・支流に沿う谷底の大部分を覆っている。上部の2層はまた、中生代の堆積岩の上に載って、斜面上のかなり高い位置に分布、残存している。

シュカユカン流域もまたアテスカコ取水ダムから上流では同様の地層によって構成されている。その大部分は第四紀の玄武岩溶岩流と酸性凝灰岩である。流域の最上流地域はかなり緩やかな斜面と玄武岩溶岩や火山角礫岩の台地によって特徴づけられる。この台地はまた厚さ1~2mの軽石流によって広く覆われている。台地はカルデラの跡であって、その上にあるロス・ウメロスでは地熱発電が開発されている。一方シュカユカン集水域の下流部の特徴はトラトラウキテベックの町から北側で先第三紀層が露出する地域に見られるような急峻な峡谷と尾根である。

この地域の地質構造は先第三紀層の褶曲が特色であり、中生代の堆積岩がいくつかの場所で北西—南東方向の褶曲軸を持ったアンチクリノリウム、即ち大褶曲の中で地層が更に小さい褶曲をしている複合構造を成している。公刊されている縮尺1/250,000の地質図には長さ5kmから10kmの断層が数多く記録されている。しかし、地質工学的に実用上の困難を生ずると思われるような大断層や破砕帯の存在を示す兆候はない。

4.2.2 堆砂の地質的要因

川の流れによってソレダッド貯水池に運ばれる土砂は集水域の地表浸蝕によって生産されたものである。流域内の各地質構成単位の浸蝕され易さを評価すると次のようになる。

(1) 先第三紀層の岩盤

すべての先第三紀層、即ち古生層の結晶片岩と古生層の石灰岩、砂岩、粘土岩は表面浸蝕に対しては非常に強く、大量の土砂の供給源とはなり得ない。強い風化は最大3m程の深さに達するに過ぎず、大抵は1m以下である。

(2) 第三紀安山岩および火山砕屑岩

火山角礫岩と火山泥流堆積物を伴う安山岩はアブルコ川流域のサウトラより上流に分布する。安山岩の表層は時に深さ数mまで強く風化されていることもある。火山角礫岩のマトリックスは風化のため、非常に軟化していることが多いので、流水による表面浸蝕に対しては弱いであろう。

(3) 第四紀玄武岩溶岩流

シュカユカン川流域の最上流にある玄武岩は表層が著しく風化してはいるが、先ず第一に浸蝕の対象となるのはそれを覆っている新期の軽石流であろう。

(4) イグニンプライト

第四紀酸性凝灰岩の基底を成すイグニンプライトはよく固結した硬岩である。サウトラの下流の河道内で深さ30mの深い溝をつくる程浸蝕されたとは言え、なお溝の両側には安定した岩壁が残っている。この岩盤を、貯水池へ毎年入る大量の土砂の供給源と考えることは困難である。

(5) 第四紀酸性凝灰岩上部層

アブルコ川の谷底を埋めるこのメンバーは弱く、中軟ないし極軟岩であって、明らかに浸蝕され易い地層である。豪雨による浸蝕で刻まれる裂け目（雨裂）や丘陵側面の局所的崩壊は、この種の凝灰岩の地域では、非常に多くとは言えないまでも、あちらこちらで認められる。このメンバーが河川への土砂の大供給源であることはかなり確実である。この他、巾数m、長さ数十mの大きい裂け目がシュカユカン流域最上流の台地上で見られるが、ここでは軽石流に覆われた広い平地が植生もないうまま大気に曝されている。

(6) 表層土

表層土は沢の中や斜面上の窪地など所によって数mの厚さがあるが、通常は遥に薄い。表層土の一つの型は褐色の粘土質土壌であって、その起源は新期の火山灰または岩盤の強風化残留土であろう。もう一つの型はシルト質有機質土壌と岩屑の混った斜面上の匍行堆積物または崖錐堆積物である。この種の物質は流水に曝されれば容易に侵食される。しかし、その厚さが限られていること、および、特に集水域下流半分での植生による一見良好な土壌保全がなされていることから、表層土が土砂の大きい供給源であるとは考えられない。

4.3 気象

4.3.1 気象観測所

ソレダッド貯水池の集水域で、CFEが、降雨量、気温及び蒸発量観測を管理している14ヶ所の気象観測所を表4.1に示す。

4.3.2 降雨量

気象観測所の位置を、対象地域の年平均の等雨量線とともに図4.4に示すが、各観測所の年間降雨量にはかなりの差異が見られる。ソレダッド貯水池集水域の下流部やシュカユカン川流域においては2,000mmかそれ以上の年間降雨量があるが、特に、アテスカコ及びラ・ソレダッドでは、各々3,647mm、3,325mmと3,000mmを越す年間降雨量がある。しかしながら、集水域上流部においてはサウトラの543mmを最小として、1,000mm以下の年間降雨量である。

月平均降雨量を表4.2及び図4.5に示す。乾期は12月から5月までの期間であり、雨期は6月に始まり11月頃終わる。最大月平均降雨量は、通常ほとんどの観測所において9月に発生する。ソレダッド貯水池の集水域全体の年平均雨量を図4.6に示すティーセン法により算出した結果、1,024mmとなった。

ラ・ソレダッドにおける時間雨量を表4.3に示す。

4.3.3 蒸発量

月平均蒸発量を表4.4に示す。全ての観測所において比較的高い蒸発率が観測されるのは、3月から5月までの期間である。年間可能蒸発量は下流集水域及びシュカユカン川流域で1,000mm以下、上流集水域では1,300mm以上である。中流及び上流集水域に位置する観測所においては、年間降雨量を越える年間蒸発量が記録されている。

4.3.4 気温

月平均気温を表4.5に示す。各観測所において最高気温は5月または6月に、最低気温は1月に記録されている。年平均気温はテベカバン（標高542m）で20.7℃、サン・アントニオ（標高3,140m）で9.3℃である。標高1,500m以上に位置する観測所の月平均気温は全ての月において20℃以下である。

4.4 水文

4.4.1 流量

(1) 流量記録

ソレダッド貯水池への流入量を観測するために流量観測所がブエノスアイレス、ソントラコ、水路トンネルNo.1に設置されている（図4.4参照）。これらの観測所は、マサテベック発電所が発電を開始した1962年に設置されている。水文観測所の観測記録はCFEにより管理され、CFEは水位観測の管理と流量観測による水位 - 流量曲線の見直しを1年毎に行っている。

上記3ヶ所の観測所においては1963年から1991年までの29年間の日流量のデータが入手可能である。日流量データから計算された月平均流量を表4.6から表4.8に示す。

観測所の主要な諸元は以下の通りである。

ブエノスアイレス観測所

- 位置 : 北緯 19° 51' 31" 西経 97° 30' 45"

- 集水面積 : 1,405km²

ブエノスアイレス観測所は、ソレダッド・ダム上流約7kmのアプルコ川本流の断崖が形成されている地点に位置する。河川流況の観測によれば、貯水池からの背水の影響は観測所に到達していないと判断された。この観測所での平均流量は、8.85m³/secと算出された。

ソントラコ観測所

- 位置 : 北緯 19° 57' 12" 西経 97° 29' 06"

- 集水面積 : 25km²

ソントラコ観測所は、ダムより約5km上流でアプルコ川に合流するソントラコ川の合流点から約1kmの地点に設置されている。ソントラコ川はかなり急流である。この観測所での平均流量は1.29m³/secである。

水路トンネルNo.1観測所

- 位置 : 北緯 19° 57' 24" 西経 97° 26' 54"

- 集水面積 : 370km² (アテスカコ堰における集水面積)

水路トンネルNo.1観測所は、アテスカコ堰によるシュカユカン川からソレダッド貯水池への転流のため

のトンネルNo.1の放流水路に位置する。平均流量は $8.05\text{m}^3/\text{sec}$ であり、集水面積は比較的小さいが、豊富な降雨量のため流量に恵まれている。

3ヶ所の観測所の流量記録に加えて、表4.9に示すランチョアブルコにおけるアブルコ川本流の日流量データが入手可能である。この観測所は、プエノスアイレスの上流約20kmに位置する。ランチョアブルコにおける記録期間は1945年から1978年までである。

各観測所の年平均流量を以下に要約する。

観測所	集水面積 (km^2)	年平均流量 (m^3/sec)	観測期間 (年)
プエノスアイレス	1,405	8.85	1963 - 1991
ソントラコ	25	1.29	1963 - 1991
水路トンネルNo.1	370	8.05	1963 - 1991
ランチョアブルコ	1,204	4.49	1945 - 1978

注：1) 転流域を含めた貯水池の総集水面積は $1,830\text{km}^2$ である。

2) プエノスアイレスから貯水池までの残流域は 55km^2 である。(ソントラコの 25km^2 を含む)

3) 転流域面積の合計は 370km^2 である。(アテスカコの 280km^2 を含む)

(2) 流出特性

流域内の観測所において年平均流量とテューセン法(図4.6参照)によって求めた流域年平均雨量から流出係数を推定した結果を以下に示す。

観測所	集水面積 (km^2)	年流出高 (mm)	流域平均雨量 (mm)	流出係数
プエノスアイレス	1,405	199	942	0.21
ソントラコ	25	1,627	3,256	0.50
ランチョアブルコ	1,204	122	794	0.15

注：プエノスアイレスおよびソントラコは1963～1991年、ランチョアブルコは1957～1977年の資料によりそれぞれ推定。

降雨と同様に流出係数も下流域と上流域では著しく異なり、下流域の0.50に対しソレダッド貯水池から本川沿いにわずか20km上流のランチョアブルコでは0.15となっている。

シュカユカン川からの転流はアテスカコ地点に設けられた堰によるシュカユカン川からの取水、およびいくつかの溪流取水を転流トンネルと水路によってソレダッド貯水池に流入させているものである。この転流による流量は集水面積が比較的小さいにもかかわらず流況が安定しており、乾季にはアブルコ本川からの流入量を上回り、貯水池全流入量の約40%を占めている。

(3) 貯水池流入量

ソレグッド貯水池の全流入量は、貯水池に直接流入するが観測されない30km²の地域における流量は考慮していないが、前出の3ヶ所の観測所における流量の和にほぼ等しい。

表4.10にソレグッド貯水池の月平均流入量を示す。平均流入量は18.19m³/secとなる。図4.7に各観測所の流量ハイドログラフを示し、図4.8に貯水池流入量ハイドログラフを示す。なお、水路トンネルNo.1観測所の流量は、乾季ではアブルコ川の流量を上回っている。

1963～1991年の29年間の貯水池日流入量から作成した流況曲線を図4.9に示す。以下に流入量とそれに対する超過確率を示す。

超過確率 (%)	流入量 (m ³ /sec)	超過確率 (%)	流入量 (m ³ /sec)
2	67.41	50	13.02
5	43.21	60	11.39
10	31.21	70	9.97
20	22.15	80	8.75
30	17.96	90	7.57
40	15.15	100	2.86

4.4.2 洪水解析

(1) 洪水記録

アブルコ川流域では6月から11月にかけて洪水が発生する。図4.10に過去にブエノスアイレスにおいて観測された主な洪水ハイドログラフを、また表4.11にはその期間に対応する上流域の日雨量を示す。これらの資料よりアブルコ川流域の洪水特徴として下記が挙げられる。

- 1) 洪水継続期間は2～3日
- 2) 豪雨の継続期間は1～2日
- 3) 洪水ピークの立ち上がり時間は12～24時間
- 4) 洪水は主に下流域～中流域の豪雨によって発生している。

3ヶ所の観測所における年最大ピーク流量を表4.12に示す。ブエノスアイレス観測所における年最大ピーク流量は711m³/sec (1974年)、ソントラコ観測所では282m³/sec (1980年)、水路トンネルNo.1観測所では41.9m³/sec (1964年)である。また、表4.12にはランチャアブルコ観測所における年最大洪水ピーク流量も示す。

流量資料の精度について見直しを行った結果、ランチャアブルコ観測所の1954年～1956年の資料は以下の理由により解析資料から除外した。

- 1) 1954年～1956年の資料は近傍の支川合流点の下流の観測所（アブルコ・ラ・グロリア）の資料から推定したものである。
- 2) 1954年～1956年の流出率を計算すると0.40となり、ランチョアブルコおよびブエノスアイレスにおける長期間の資料から求めた流出率0.15、0.21と比べてかなり大きい。

表4.13、表4.14および図4.12はブエノスアイレスおよびランチョアブルコの観測所について年最大ピーク流量が発生したときの流域平均雨量の関係を示したものである。ブエノスアイレスについては相関が認められるのに対し、ランチョアブルコについては相関が非常に低い。これよりブエノスアイレスの資料の方がより信頼性があるものと判断された。したがって以下に記述するソレダッド貯水池および砂防ダム候補地点の確率洪水ピーク流量の推定には、ブエノスアイレスの資料を用いるものとする。

(2) 確率洪水ピーク流量の推定

最初にブエノスアイレス観測所について確率洪水ピーク流量の推定を行った。確率計算を、岩井、ガンベルおよびピアソンⅢ型の3つの方法で行った結果を以下に示す。

確率年	確率ピーク流量 (m ³ /sec)		
	岩井	ガンベル	ピアソンⅢ型
5	364	404	372
10	465	513	484
20	569	616	602
50	712	750	769
100	825	851	905
200	945	951	1,050
1,000	1,247	1,183	1,429
10,000	1,747	1,515	2,081

図4.12はブエノスアイレスの年最大ピーク流量のプロット・ポジションと上記3つの方法による計算結果を示したものである。図4.12に示される通り3つの確率分布およびプロット・ポジションには顕著な差異はみられない。よって高い確率年において大きい値を与えるピアソンⅢの結果を採用することにした。

次に上記の結果を基にソレダッド貯水池および砂防ダム候補地点-B（7章に記述されている貯水池堆砂のための代替対策案）の確率洪水ピーク流量を以下の式により推定した。

$$Q_2 = Q_1 \times (A_2/A_1)^{0.5}$$

ここに Q_2 : 確率洪水ピーク流量 (m³/sec)

Q_1 : ブエノスアイレス観測所における確率洪水ピーク流量 (m^3/sec)

A_2 : 確率洪水ピーク流量推定地点の集水面積 (km^2)

A_1 : ブエノスアイレス観測所の集水面積 (km^2)

ソレグッド貯水池および砂防ダム候補地点 - Bについて、それぞれ確率洪水ピーク流量を推定した結果を以下に示す。

確率年	確率洪水ピーク流量 (m^3/sec)		
	ブエノスアイレス (1405)	ソレグッド貯水池 (1460)	砂防ダム候補地点 - B (1173)
5	372	379	340
10	484	493	442
20	602	614	550
50	769	784	703
100	905	923	827
200	1,050	1,070	959
1,000	1,429	1,457	1,306
10,000	2,081	2,121	1,901

注：() は各観測所の集水面積をあらわす (km^2)。

4.4.3 流出土砂

(1) 概要

土砂の流砂量は一定流域から流出し、一定断面に於て一定時間に流出する土砂の総量と定義される。通常、これは重量、体積又は単位面積あたりの侵食深さとして表わされる。ソレグッド貯水池に関しては、流砂量とは貯水池に流入する年間平均土砂流入量と定義する。

土砂の供給源としては、3流域、即ち (1) アブルコ川流域、(2) ソンタラコ川流域及び (3) シュカユカン川流域 (水路No.1による流域変更) がある。これらの流域の総面積は $1,830km^2$ であるが、その内訳は下記の通りである。

1. アブルコ川のブエノスアイレス : $1,405km^2$
2. ソンタラコ川のソンタラコ (含支川 $30km^2$) : $55km^2$
3. 水路No.1 (シュカユカン川の流域変更分 $280km^2$) : $370km^2$

CFEはマサテベック発電所が運転を開始した直後の1963年にブエノスアイレス、ソンタラコ、水路トンネルNo.1の3ヶ所の観測所において浮遊砂量の観測を開始している。

(2) 浮遊砂サンプリングの器具及びサンプリングの手順

CFEは浮遊砂量を知るため、1リッターのビンに1cm径の穴の空いたプラスチックカバーのついたものを使用している。サンプリングの目的はウォッシュロードのみを採取すると説明された。即ち流砂量が全水深に均等に分布し、水面より数cm下の水深が全水深を代表すると想定している。しかしながら、1985年に粒径が0.062mm以上の浮遊砂が大量に測定されたことからわかる様に、この仮定は正確性をそこなうと判断される。図4.13に示す様に細・粗粒分の濃度が深さ方向に変化することが一般的である。なお、サンプリングはほぼ1日おきに行われている。サンプリングは、川幅の1/4、1/2、3/4地点で行い、全流砂量を求めている。

(3) 浮遊砂の分析

1985年以前、浮遊砂の濃度は蒸発法により測定されていた。荷重計の精度は0.01グラムであり、20mg/l程度の濃度を計測するためには、かなり精度が低かった。

1985年以降サンプルはNo.200ふるいに残る粒径（浮遊砂）と、通りぬける粒径（ウォッシュロード）との2種類に分類された。サンプリングの日時、観測所の流量及び各2種類の土砂重量が記録されている。しかし、サンプリング及び解析を担うCFEの部門では粒度分析のための器具を持っていない。一方CFEの土質工学試験所では、粒径0.062mm以下の粒度分析が可能である。

流送土砂は、ウォッシュロードと浮遊土砂量との和によって算出される。両者とも土砂の濃度は m^3/day で表される。サンプルが得られない日があるが、この時の土砂濃度は、流量の大きさを無視して内挿している。

CFEによる3ヶ所の観測所における月平均流砂量を表4.15から表4.17までに示すが、その要約は以下の通りである。

観測所	年平均土砂量 ($\times 10m^3/年$)	流域面積 (km^2)	侵食率 ($mm/年$)
ブエノスアイレス	450,000	1,405	0.320
ソントラコ	3,130	25	0.125
水路トンネルNo.1	31,600	370	0.85

以上がCFEが行っている貯水池に流入する土砂量の算出方法である。しかしながら、サンプリングの手順が妥当でないため、粗粒径土砂量が、実際の値よりもかなり少なく計測されている。従って、上記結果は、真の値よりも小さいと判断される。現在CFEが使用しているサンプリング器具及び手順と計算方法を改善し、貯水池へ流入する土砂量をより正確に求めることを提案する。これについては、第6章及び付録Bにてさらに述べる。