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

付属書

平成５年11月

日本工営株式会社

鉱調資
JR
93 −160

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 付属書 平成5年11月
615
643
MPN

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

付属書

JICA LIBRARY
1112191[0]

平成5年11月

日本工営株式会社

国際協力事業団
26101

目次

ページ

付録A　土木構造物、水力機器および電気設備の現況 …… A - 1

A-1　土木構造物 …… A - 1

A-2　水力機械 …… A - 7

A-3　電気設備 …… A - 20

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 …… B - 1

B-1　サンプリング器具 …… B - 1

B-2　サンプリングの手順 …… B - 2

B-3　室内試験方法－濃度の決定 …… B - 4

B-4　浮遊砂の粒度分布 …… B - 6

B-5　河川材料の分析 …… B - 11

B-6　堆積物の密度 …… B - 11

B-7　流砂量の計算 …… B - 12

B-7.1　CFEの方法 …… B - 12

B-7.2　浮遊砂の濃度 …… B - 12

B-7.3　計算方法 …… B - 13

付録C　JICA調査で提案した現地調査の仕様（抄訳） …… C - 1

C-1　現地調査の必要性 …… C - 1

C-2　サンプリング、ボーリング及び室内試験 …… C - 1

C-3　貯水池堆砂測量プログラム …… C - 2

C-4　河川流砂量測定 …… C - 3

C-5　河川横断測量 …… C - 3

C-6　濁度測定 …… C - 3

C-7　サンプリングと室内試験 …… C - 3

付録D　水力発電所の維持・管理 …… D - 1

D-1　序 …… D - 1

D-2　信頼性に重点を置いた仕様 …… D - 2

D-3　経済的維持・管理計画 …… D - 2

D-4　水車監視機器（HTSI） …… D - 3

D-5　インデックステスト …… D - 3

D-6　最適運転計画 …… D - 3

D-7　オーバーホールと改良 …… D - 4

付録E　調査で入手した地形図 …… E - 1

付録　A

土木構造物、水力機器および電気設備の現況

付録A　土木構造物、水力機器、および電気設備の現況

A-1　土木構造物

本発電所の主要土木構造物にはダム、洪水吐、発電取水口、導水路トンネル、底部放流施設、地上式発電所、放水路、および屋外開閉所がある。ソレダッド貯水池への流域変更のための施設としては、アテスカコ転流堰、トンネルNo.1、放流路があるが、この他にいくつかの小規模転流堰、鉄管路、トンネルがある。

総じてこれらの施設の維持管理状況は良好である。維持管理は定期的に行われているが、その維持管理スケジュールでは、各構造物の維持管理の必要度に応じて予算が割り当てられる様になっている。

(1) ダム

主要諸元は下記の通りである。

ーダムの構成	：アーチダム、左右岸重力式、翼壁ダム、洪水吐
ーダム堤頂長さ	：約1,220m
ー堤頂	：標高806.5m、幅2.5m
ーパラペット	：ダム上流側、頂部標高808.05m
ーアーチダム	：左右岸スラストブロック付ダブルカーブ型
ー左岸翼壁	：長さ453m
ー右岸翼壁	：長さ557m（含、洪水吐部）
ー翼壁型式	：バットレス式、表面コンクリート張りの石積み
	上流面勾配　0.205H：1.0V
	下流面勾配　0.666H：1.0V

ダム工事中の転流は、右岸の径4.0mの仮排水路トンネルを通して行われた。トンネルの上流側敷高標高は726.5mで勾配は0.02611、長さは約267mである。又、通水能力は150m^3/sと報告されている。プラグコンクリートの長さは入手した図面によれば12mであるが、発電所の土木担当主任によるとプラグ長は80mまで延長されたとのことである。

アーチダムおよび翼壁の維持状況は外見を見る限り良好である。大きなクラックや損傷は見当たらない。又、本調査の踏査中はダムアバットや基礎からの漏水は見られなかった。右岸翼壁の洪水吐との接合部、標高800m付近の施工継目にクラックが発見されたがこのクラックは定期的に監視されて

いる。ダムの内部を監査廊から点検した。監査廊は左右岸から底部放流口に連結している。監査廊は良好に維持されており、少量の漏水しか認められない。又、モニター用の施設・機器も良好な状態にある。ダム下流の地山に不安定要素は見えない。10本のポストテンションアンカーが右岸のいくつかの異なった標高に設けられている。これはダム工事中の岩のゆるみをおさえるために設けられたものである。

ダムの監視は完成直後から定期的に実施されてきた。温度、降雨量、貯水池水位は毎日記録されているが下記の項目については週一回の観測が行われている。

－ダムセンターの水平・鉛直方向変位

－ダム上部・下部の施工継目の開き具合

－左右岸スラストブロックの水平・鉛直方向変位

－左右岸スラストブロックの岩の変位

－ダム左右岸の排水廊の漏水

これらの観測データはメキシコ市にあるCFEの技術研究所に送られて分析される。結果は前回の結果と比較検討され２年まとめてレポートにされる。最近の1988－89年レポートをレビューした結果、異常な変位や挙動は認められなかった。しかし増加する水圧と土圧に対し、ダムの安定について再計算することを提言する。

(2) 洪水吐

洪水吐はゲート式でありオギー越流頂、シュート、フリップバケットから構成される。洪水吐の全幅は71mで、５門のゲートからなる。ピアーの幅は2.5mである。越流頂標高は789.5mである。各スパンの幅は11.2mで、有効越流幅は合計56mとなる。各ゲートの規模は幅11.2m、高さ15.0mである。ゲートの天端標高は804.5mで、その天端には高さ2.0mのフラップゲートが全幅に設けられている。

越流部の長さは30m、シュート部の長さは355m、全長385mとなる。シュートの中央部敷高標高は上流部の782.57mからシュート部末端（フリップバケット流入部）の749.02mまで変化する。

洪水吐のシュートは水平方向に左へ曲がり、シュート底部は右から左へ向けて低く傾斜している。シュート幅は漸縮し上流部66m、下流部23mである。シュートの両側にはコンクリート壁が設けられている。洪水吐末端では河川水面に対して約30mの落差があり、そこの小さな池に洪水吐放流水が放流される。この池は、設計時から計画され掘削されたものかどうか不明である。岩や玉石は、洪水吐放流水の衝撃により削り取られ池の下流端にある。

概して、洪水吐は良い状態を維持していると見られる。コンクリートの劣化や構造物の変位の形跡

はない。視察中は、洪水吐は運転されていなかった。洪水吐の運転手順は "PROCEDIMENTO PARA LA OPERACION DE COMPUERTAS DE LA PRESA, LA SOLEDAD, CENTRAL HE. MAZATEPEC" (CFE) に従っている。通常、洪水吐ゲートは洪水時や、貯水池がすでに常時満水位にありそこに発電最大流量を上回る流入量があるときのように、常時満水位を越えたときに運転される。当初貯水池満水位は、798.4mと設計されていた。この常時最高水位は、貯水池堆砂標高の上昇にあわせ適時変更されてきた。現在の貯水池水位を以下に示す。

常時満水位：804.5m

常時最低水位：797.5m

洪水吐の放流能力は、設計最高水位805.0mのとき6,835m^3/S である。洪水時流入量の情報は、貯水池近くに設置された水文観測所から発電所に伝送される。無線によって送られるデターはアプルコ川、ソンタラコ川およびシュカユカン川の流量である。

この情報が得られないときは、流量は一定時間の貯水池水位変動を観測してコンピュータにより計算する。通常、貯水池水位は２時間毎に観測し記録される。洪水時においては１時間毎に観測記録し、以下に示すようなゲート操作がされている。

－洪水吐ゲートは貯水池水位が804.42mに達したとき運転を開始する。

－水位が804.5mのとき、ゲートNo. 1（最右端）を0.5m開門する。

－流入量を基に必要に応じて、残り４ゲートをNo. 5、No. 3、No. 2、No. 4 の順序で0.5m開門する。

－５ゲートを開いた後、同様な手順により、さらに各々のゲートを0.5mまで開門する。

－洪水がさらに激しいと予測される場合、水路No. 1 を通じソレダット貯水池に転流するアテスカコ堰のゲートを閉じる命令を与える。この場合、アテスカコの流水はソレダッドダムより下流でアプルコ川に合流するシュカユカン川の下流域に流れる。

－洪水吐ゲートは洪水吐ゲート操作室内にいる職員により操作されている。洪水吐ゲート開門の命令は、発電所から貯水池取水口の運転員に対して伝達される。更に、これらの命令は、洪水吐ゲート操作室の運転員に無線で中継される。

フラップゲートはほとんど使用されないが、オギー越流部上流に浮遊する大型のゴミを押し流すために開くことがある。

洪水吐構造物の安定のため、水圧およびシルトの増加の影響を考慮した安定解析の再計算を行うことを推奨する。

(3) 底部放流施設

底部放流施設はアーチダム中心のやや左側の位置に設置されている。放流施設の中心線は標高750mである。放流施設は、ダム上流面のトラッシュラックにより保護されている取水口、直径1.88mの鉄管、直径1.88mの制水バルブおよびハウエルバンガーバルブから構成されている。ハウエルバンガーバルブの放流能力は、当初計画での貯水地常時満水位798.4mのとき72.7m^3/Sと推定される。

底部放流施設は、1985年から使用されていないが、堆砂が最近ではバルブ中心より約25m上方の標高775mまで達していると報告されている。

(4) 発電取水口および導水路トンネル

取水口は標高765mに位置する傾斜コンクリート構造物である。取水口施設の最頂部はダム高と同じ標高806.5mに達する。構造物の鉛直方向の高さは41.5mであり、傾斜部の長さは約54mである。構造物の幅は、取水口で9.8mだがゲート部の5.7mまで漸縮する。取水口から通気孔の後部までの長さは約11.5mである。取水口の開口部は幅5.7mの3断面に区切られている。トラッシュラックは傾斜部の底部シルから標高781.25mの台までに設置されている。トンネルのインバート標高は768.76mである。ゲート開口部は3.8m四方で、長さ5.1mの遷移部の後、直径4.0mの円型断面管路をもつ。このトンネルの敷高は標高765.0mにある。導水路トンネルは取水口から発電所まで総延長7.4kmとなり、トンネル、ペンストック、傾斜管路および各々の水車に連結する4本の分岐管ペンストックから成り立っている。各々の断面における長さおよび直径を以下に示す。

	直径 (m)	長さ (m)
トンネル	4.0	6,570
ペンストック (露出部)	4.0	120
傾斜管路	4.0	400
ペンストック		
トンネル内	4.0-3.2	230
第4号機近くのトンネル出口	3.2	27
第4号機から第1号機への主管路部	2-1.6	53
分枝管		
第1号機	1.6	13
第2号機	1.6	21
第3号機	1.6	29
第4号機	1.6	37

トンネルは上流の6.26kmの区間はコンクリートで、その下流は内張鋼管である。傾斜管路は全て

鋼管である。バルブ室はトンネル出口に位置し、サージタンクはバルブ室上流に設置されている。サージタンクの最上部の標高は設計最高水位819.18mに対して821.3mに設定されている。

設計流量55.2m³/Sにおいて、流速は直径4.0m断面で4.39m/s、発電所に近い部分では6.87m/sまで増加する。流水の損失水頭は、設計流量で総落差の約５％にあたる25mと計算される。

取水口からバルブ室までの区間のトンネルはCFEにより1992年4月に点検されている。点検の結果および点検時の写真は "REPORTE FOTOGRAFICO, INSPECCION TUNNEL DE PRESION DE OBRA DE TOMA A CASA DE VALVULAS - ABRIL 1992" にまとめて報告されている。点検は、トンネルの取水口ゲートを閉じて抜水後に行われた。以下にCFEの報告の主要な点を要約する。

－取水口のコンクリートは、著しい劣化も見当たらず良い状態にある。

－点検されたトンネルのコンクリートは概して良好の状態である。

－取水口から2,600mまでのトンネル第一区間では工事用の直径２インチの排水孔を多く見受けた。

－2,600mから4,500mまでのトンネル区間では、排水孔は直径３インチであり、有効に機能している。

－サージタンク近くの6,199m地点に、排砂ますがあり、長さ2.2mに格子のついたものである。このますには堆砂物は見受けられない。

－6,262m地点にコンクリートから鉄管への遷移部がある。鉄管は良好な状態である。

－サージタンク内側は、点検時は良好な状態と見受けられた。

－6,537m地点のバタフライバルブは点検時において良好である。水圧トンネルなので、小量の漏水が見られるが、無視できる程度と思われる。

CFEによる点検結果を要約すれば、劣化は見受けられず、良好な状態であったと言うことができる。

本調査団による点検においても全設備とも良好な状態にあると見受けられた。発電所土木主任のOrtega氏との話し合いで得られた設備の状態についての追加情報は以下の通りである。

－ペンストック内側を点検し、鋼厚を測定した。報告には何も記述されていないが、発電所所員は摩擦損傷はないと報告されている。Ortega氏は、来年、彼自身によりペンストックの鋼厚を調査したい意向があると調査団に説明した。調査団は、その調査をサージタンクおよびペンストックを含む構造物の評価をするため可能な限り早く行うべきことを提言した。

－現在、サージタンク近くのバタフライバルブは手動操作されている。来年には電気制御運転のバルブに交換される。

通常、取水口バルブは開いた状態にされている。トンネルの流水量は、流量が発電により決定されるため、タービンバルブによってコントロールされる。

サージタンク近くのバタフライバルブは、発電所までのトンネルに対し緊急時流水遮断するために使用される。

サージタンクは長期間作動していないように見える。サージタンクは系統の運転面からはその必要性は疑問である。

(5) 発電所

発電所は高さ34.4m、幅34m、長さ78.9mのコンクリート構造物である。基礎部分が標高283.0mに位置し、屋根は、標高317.4mである。発電機の間隔は15.0mでエレクションベイは発電所西側に位置し幅15.3mである。タービンの中心線は標高295.3mであり、排水ピットは標高289.5mである。排水ピットの底と放水路床までは5mの落差がある。

発電所内部の管理状態は良好である。第3号機と第4号機の間に、上部階を支持するため2本の梁の下に鉄製の柱がある。これらの柱は、荷重増加と沈下のため、建設期間中に設けられたことは明白である。タービン用排水ピットの内側はタービン点検期間中に観察した。コンクリートは良好であった。発電所構造物の外側についても、管理状態は良好である。2つの大きなクラックが、排水ピットのピアーによって支持されている上部コンクリート表面に生じている。クラックのひとつは第2号機のピアーの中心線上に位置し、もう一方は第3号機の中心線に位置している。これらのクラックは、コンクリート部分の建設中に生じたことは明らかであり、さほど重大な問題ではない。

(6) 放水路

タービン用排水ピットからの水はアプルコ川に流れ込む前に小さな溜池に入る。タービンからの放流水は下流へ堆砂を運ぶのに十分であり、アプルコ川下流やこの溜池には堆砂による堆積物は見受けられない。放水路における堆砂問題は何も報告されていない。アプルコ川の発電所から上流地点についても観察を行った。多量の降雨が前日に発生したので、水位が通常水位よりも高くなっていた。そのような日でも堆積物は見受けられなかった。

(7) 屋外開閉所

屋外開閉所は発電所西側に位置し、幅約90m、長さ140mである。屋外開閉所の土木構造物及び設備は非常に良好な状態であることが視察された。

(8) トンネルNo. 1 および放流路

トンネルNo. 1 を通じシュカユカン川からソレダッド貯水池へ転流が行われている。コンクリート水路が、トンネルの出口からソレダッド貯水池まで設置されている。貯水池水位より約5m上方に位置する放流端から、水は貯水池へ自由落下している。設備は良好な状態にある。調査団点検時、放流路の両側に安全柵がないことがわかった。できる限り早い時期に安全柵を設置することが望まれる。

シュカユカン川流域からの転流は、転流堰、管路およびトンネルによって行われている。カラバ、テテリジャス、アロジョ第3およびアテスカコ転流設備を点検したが、良好な状態にあり良く管理されていた。

A-2 水力機械

本発電所に含まれる水力機械には下記のものがある。

- トラッシュラック、かき上げ機、ストップログ、傾斜タワーに収納される取水ゲート
- バルブ室に収納されるバタフライゲート、水圧鉄管、4つの分岐鉄管
- 4つのロータリー弁（各水車に一台）
- 4つの水車および調速機
- 発電所クレーン
- 圧さく空気、冷却装置および空調設備等の機械
- 5つの洪水吐ゲート、および巻き上げ機
- アーチダムの標高750mに置かれたハウエルバンガーバルブによる底部放流施設

以下に各機械の詳細を記述する。

(1) トラッシュラック

取水口タワーとトラッシュラックは57°の傾斜角度をもつ。取水口は標高765.00mから781.25mまでの高さにあり2つの鉛直方向ピアーと3つの水平方向桁から構成され、12個のオープニングがある。トラッシュラックパネルの大きさは幅2,230mm×高さ4,748.7mmである。ラックバーは783mm間隔に置かれた横桁によって支持されている。横桁は2つの鉛直方向桁によって支持されている。パネルは2つのピヤーで上部に固定されている。取水口上部は標高781.25mの水平プラットフォームで上部を制限されている。このトラッシュラックは土木工事業者が契約の一部として納入したものである。トラッシュラックの最大流速（最大流量55.2m^3/s）は下記の通りである。

ー見かけの流水面積に対して　0.5m/s

ー実質流水面積に対して　　0.7m/s

トラッシュラックは1962年に設置された。トラッシュラックは水中にあり、実際に点検はできなかったが最近の再塗装を行った時の点検記録もなかった。トラッシュラックはもし定期的に修繕、塗装を行えば長期の使用に耐えるものである。トラッシュラック上下流の損失水頭を測る水位差計は設置されていない。水頭差が大きければかき上げが必要となる。水圧計の設置は望ましいがダイバーによって設置する必要があり、その工事は難しく費用がかかる。但し、取水口が修理されるならその際とりつけることもできる。

(2) かき上げ機

かき上げ機と走行ガントリーが取水口デッキに設置されている。ガントリーはレール上を走行し、ごみはその下に進入するトラックに入れる様になっている。かき上げ機のメーカーはイタリアのガルゾーニ社であり1962年に設置された。このかき上げ機は当初から満足に機能しなかったと報告されている。但し、取水口の水深が深いのでゴミはあまり問題になっていない。最近、最低水位は砂の侵入を防ぐために上げられた。かき上げ機とガントリーの表面はさびが目立つ。ゴミのかき上げが不要なので、リハビリのコストが正当化できないかも知れない。しかし、将来ゴミでつまる様なことが生じることがある場合、修理、塗装が必要となる。

(3) ストップログ

ストップログのスロットはトラッシュラックの下流にあり水平に対し60°の傾斜をもっている。スロットの純スパンは4.4m、高さは5.9mである。各ストップログの大きさは幅5,016.5mm、高さ508mmである。ストップログはリフトビームを使用し手動ホイストによって操作される。このストップログを閉じることにより、取水ゲートや埋め込み材の点検が可能となる。ストップログはトラッシュラックの位置に設置することもできる。しかし、ストップログはめったに使用されない。

CFEはリハビリ計画の完了した時点で、トラッシュラック、かき上げ機、ストップログの修理を行う予定と言っている。

(4) キャタピラー型取水ゲート

取水ゲートスロットの傾斜は60°である。取水ゲートの大きさは3.80m×3.80mであり、ゲートシル部の水圧は36.75mである。貯水水位804.5mに於ける水圧は36.58mである。シーリング位置のゲート

敷高は767.925mである。ゲートは厚さ16mm、センターの曲率半径3,980mmのスキンプレートを有する。ラバーシールは、3mmのプレコンプレッションを与えられたJ-型である。直径220mmのローラーがゲート両サイド上下についている。

ゲートの各片側には４つのガイドパットが上流側に、又２つのサイドガイドパットがついている。最大流量時の取水口流速は3.8m/sとなる。ゲート下流には幅1m×長さ1mの空気孔と点検を兼ねたシャフトがある。シャフトは７つの水平ガーダーがあり、600mm間隔でスキンプレートを支持している。水平ガーダーの最大高さはスパン中央で533mmである。下流フランジの断面は300mm×20mmである。ゲートは"Acier Martin A-42"スチールで製造されている。

取水ゲート操置はフランスのネールピック社製である。キャタピラー型ゲートは非常時閉鎖を想定し設計され、油圧ピストンによって操作される。ホイストや油圧系統は標高806.5mのデッキに設置される。ゲートには９つのピストンロッドが接続しているが、そのロッドの長さは7×3.74m、1×3.84m、1×5.3mである。ロッドは２つのアングル材によって構成された溝の中を移動する様になっている。

ゲートローラーは直径50mm、幅63mmでピンの直径は15mmである。ローラーは13%クロームのスチールでUTS（最終強度）95±5kg/mm^{2}で最小降状点強度は70kg/mm^{2}である。

ゲートの水密部にはゴムパッドが設けられ、ゲートが傾いても水密が維持できる様になっている。ホイストサーボモーターはクッションなしで通常のピストン型であるがその仕様は下記の通りである。

最大能力	上昇	96t
	下降	71t
最大圧力	上昇	137kg/cm^2
	下降	102kg/cm^2
テスト圧力		205kg/cm^2
容量		273ﾘｯﾄﾙ
ピストンロッド	直径	100mm
	材質	13%Cr

取水ゲートには下記の操作モードが規定されている。

－ゲート室から手動ボタンにより操作

－緊急時閉鎖はバッテリーによるDC－ソレノイド操作

（但し、ドッギングディバイスをはずすために使用すると作動しなくなる。）

取水ゲートは1962年に設置された。調査中は水中にあるので点検の機会はなかった。ゲートはドッ

ギングディバイスによって全面開放状態で保持されている。閉鎖するためには10mm上方に上げドッギングをはずす必要がある。

導水路の点検のため抜水した時、貯水池水位は洪水吐越流部標高789.5m以下に下げられたと報告されている。この時ゲートをひき上げてシール部等の点検を行い、修理とペイントが行われた。シールはオリジナルのままである。

取水ゲートは緊急時閉鎖の必要がないので、その役割が低くなっているが、運開後30年たっているのでオーバーホールの必要がある。オーバーホールでは下記の事項が必要である。

－超音波による構造物部材の厚さの点検

－キャタピラートラック、ローラー、ピン、リンク、クリップ等の点検

－ゴムパッドおよびローラートラックの点検

－シールおよびシールファスナーの点検

－ガイドローラーおよびガイドの点検

－ホイストロッド、ピストンロッドの点検

－油圧機械（油もれ、ローリングの交換）の点検

－サーボモーターの油もれの点検

オーバーホールは、経験のあるコントラクターにまかせるべきである。又は、メーカーの専門家の監督のもとに行う必要がある。

CFEは乾期にゲートシールの点検やサーボモーターのオーバーホールを実施する計画を持っている。

(5) バタフライバルブ

ペンストックは内径4.0mで発電所の上流で４つに分岐されるが、その仕様は次の通りである。

－導水路はトンネルNo.2と呼ばれ標高765mに水平に置かれ、末端にはサージタンクとバルブ室が接続する。

－傾斜部は斜坑部に置かれ標高299mまで下がる。

－トンネルNo.3は水平で標高299mである。

導水路、サージタンクについてはA-1土木構造物に述べられてる。

バタフライバルブの直径は3.7mでバルブ室に収納されている。バルブはイタリアのカルゾーニ社製（1961年）であり、２つのカウンターウエイトと２つのサーボモーターが設置され、緊急時重力閉鎖が可能になる様設計されている。バルブ下流には直径1.66mの負圧防止用の空気弁が設置されている。油圧装置もバルブの近くに設置され、電動モーターや手動ポンプもある。カウンターつきの油圧

シリンダーがアキュムレーターとして機能している。バルブはカウンターウエイトを下ろし開放状態で保持されるが、ウエイトが下がりすぎた時にはオイルポンプが働き、ウエイトをより高い位置に復元する。その位置はリミットスイッチによって修正される。

バルブ装置は1962年に設置されたがその目的はペンストックの緊急閉鎖である。閉鎖はフロースイッチの作動又は発電所運転員によってされる。バルブの塗装は良好であり、漏水もバイパスバルブで少量のものが見られるだけである。外部ヒーターがモーターに接続している。CFEは新型のデジタルタイプのフロースイッチを設置する計画を持っている。

(6) ロータリーバルブ（スペリカルバルブ）

流水を遮断するため、直径1.5mのロータリーバルブが各水車の直上流に設置されている。このバルブはガーバーナーによって制御されサーボモーターによって作動する。サーボモーターの水は3つのフィルターを通してろ過される。バルブセンターの標高は295.3mである。サーボモーターの仕様は次の通りである。

－内径　710mm

－操置圧力　58.9kg/cm^2

－テスト圧力　97kg/cm^2

バルブのトラニオン、ピストンロッド、レバー、サーボモーター、ベアリング等は水車自動グリーシングシステムによってルブリケーションが維持されている。バルブはフランスのネールピック社製であり、1962年に設置された。外見では維持状態は良好である。（1992年9月5日に点検した時、ジャッキによって漏水を止める試みがされた。）1994年には4台全てのシールリング、ニードル型バイパスバルブ等を交換する予定である。1992年4月に抜水した時の写真を見ると鉱物の付着はほとんどない。この時サーボモーターフィルターも清掃されたが、さほどひどく汚れてはいなかったと報告されている。

(7) タービン

水車は4台でフランスのネールピック社製であり、6ジェットを持つ立軸ペルトン型である。その仕様は下記通りである。

－出力　：74,600HP（54.86MW）

－純落差　：480m

－回転数　：360rpm（60Hz）

ー定格流量　　：13.8m^3/s

ーバケット数　　：22

ー材質　　：13%Cr.ステンレススチール、UTS62.75kg/mm^2、降伏点45kg/mm^2

ーベアリング　　：ジャーナル型自動ポンプ式

ー潤滑　　：自動グリースシステム

1、2号機は1962年に運開、3号機は1963年、4号機は1964年に運開した。周波数を50Hzから60Hzに変換する前、回転数は375rpm（50Hz,16極）であった。変換は1974年から1976年にかけて行われたが現在の回転数は60Hz、20極に基づき360rpmである。

水車は維持点検、オーバーホール、周波数変換以外は連続的に運転されている。給電指令所の指示により下記の運転が義務づけられている。

ー系統周波数の制御

ー全面運転（雨期7～10月）

ー同期コンデンサー運転

第1、第2号機は所内電源用に交互に連続的に運転されているので、第3、第4号機に比べ磨耗が進んでいる。定格出力時の定格流量は4×13.8＝55.2m^3/sである。

1963～1990年に貯水池へ流入する日流量流況持続曲線によれば50m^3/sを越える頻度は5%、13.8m^3/sを越える頻度は50%しかない。従って水車は流入量のほとんどを利用できることになる。水車ランナーは毎年点検されるが、過去30年間に更新や修繕がされたことはない。疲労も問題になっていない。ランナーにはキャビテーションによる損傷が若干みられるが砂の磨耗による損傷はほとんどないと報告されている。水車に入る土粒子は細いシルトであり砂は実質的には含んでいない。ニードルとノズルはキャビテーションの損傷がひどいので定期的な修繕が必要である。新しく取り替えたニードルの寿命は4～5年である。ニードルは3mm程度削り取り、ステンレススチールで溶接されるが、その寿命は1.5～2.5年である。2回程修繕した後は母材が劣化しているので新しいものに取り換える必要がある。従って新しいニードルとシートの寿命は修繕を含めると7～10年となる。年間の修繕費は1号機当たり、7年寿命の場合24,714新ペソ、又は10年寿命の場合17,300新ペソと報告されている。ノズルも同様に修繕されている。ノズルの近くのガードもキャビテーションによる損傷が激しい。損傷部分は溶接によってうめもどしが行われている。

水車ー発電機のベアリングの構成は下記の通りである。

ーガーバナーローター上にあるジェネレータースラスト

ースラストベアリング上のアッパーガイド

ージェネレーターローターの下のローアーガイド

ータービンランナー上のタービンガイドベアリング

タービンガイドベアリングは直径650mmで、水冷式スリーブベアリングでオイル容量190ﾘｯﾄﾙをもつタンクを持っている。

タービンのスペアーパーツとしては下記のものがある。

ー4台に対する1台のスペアーランナー

ー各ユニットに対する6つのニードルとノズルのセット

これらのスペアーパーツは十分であり、それ以上をストックする必要はない。

1992年9月5日に1号機を点検した。バケットの砂による磨耗はみとめられなかった。しかし、1993年の3号機の点検ではバケットに最大9.5mmの磨耗が発生していると報告されている。バケットスプリッターにそってまたバケット自体にも損傷がある。ガードには深いキャビテーションのあとがある。ニードルやノズルにもキャビテーションは見られるが全面的に更新する程ではない。

水車はスムーズに回転しており有害な振動は認められない。これは1992年9月16日の1号機の水車ガイドベアリングでの計測によっても実証された。計測には東京のリノン社製VM-80の振動測定器を使用した。振動は2つの場所、即ちタービンガイドベアリングカバーとガイドベアリングの片側に接続するジョイントフランジで行った。

ジョイントフランジは厚くコーティングされマグネットピックアップとの接触はよくない。タービンガイドベアリングカバーで計測した有効振動速度（RMS値）は1.2mm/sであった。この許容値はISO2372によれば下記の通りである。

ー大規模機械　　1.8mm/s

ー回転機械　　2.8mm/s

土砂流入を避けるため貯水池の水位が標高797.5mまで上げられた。又、修繕の頻度を少なくするためできる限り水車の全面運転が試みられたきた。1993年にはオーバーホールを第3号機に対して行う計画がある。他のユニットに対しては翌年引き続き行われる。水力機械のオーバーホールは25～50年毎に行われるのが通常である。オーバーホールでは下記事項が実施される。

ーランナーの更新

ーニードルとシートの新設、ガードの修理

ータービンガイドベアリングの修理、サービスベアリングクーラーの更新

ージェットデフレクターの修理

主要なオーバーホールが完了した後、各ユニットの効率、電流、出力が当初の仕様と異なっている

かどうかについてインデックステストを行う。このテストは5年おきにすべきである。

(8) ガーバナー（調速機）

ガーバナーはネールピック社製の570型であり、下記から構成される。

－ニードルバルブおよびデフレクター

－ロータリーバルブ

－バイパスバルブ

－カーバナー圧力タンク分離式バルブ

カーバナー廃油タンクの上にガーバナー圧力タンクが置かれる。常用オイルポンプは電動モーターによって作動し、予備オイルポンプはペルトン水車によって作動する。常用オイルポンプが作動しない場合は、電動バルブが自動的に作動し、予備オイルポンプがスタートする。ガーバナーオイルポンプ、ガーバナーオイルクーラー、ジェットデフレクターサーボモーターおよびニードルの位置を制御する6つの流量調節バルブはガーバナーキャビネットの外側に設置される。

CFEは現在のガーバナーをオーバーホール時にネールピック社製のディジピットカーバナーに取り換える予定にしている。このガーバナーを使用すれば部分負荷時にジェットをペアーで止めることができる。ジェットを全面開放で運転すればニードルとシートの磨耗の程度を減少させることになる。既存ガーバナーは1962年に設置されたものである。

(9) 洪水吐ゲート

洪水吐ゲート5門は、全て仏－ポルトガルのネールピック－ソレフレーム社製であり、下記の仕様になっている。

－ゲート幅11.2m、高さ15.15m、スキンプレートの内側半径13.98m

－越流部頂部標高789.5m、ゲートシル標高789.41m（越流頂部より1.163m下流）

－幅8.3m、高さ2.0mのスプリッター付油圧操作のフラップゲート

－スキンプレートの上流に接続したチューンホイスト

－コンクリート製装置室

－チェーン式巻き上げ装置とフラップサーボ用油圧装置

ゲート巻き上げ装置は、ブレーキ付モーター、ギア、ギアボックス、ジャックシャフト、スプロケット等により構成される。フラップゲートのため、2つのサーボモーターを作動させる油圧装置もある。ヘッドタンクは、ゲート上に設けられて、常に負圧がかからない様になっている。

バルクヘッドゲートも、戸溝は設けられていない。雨期以外は、貯水位を越流部頂部より低く維持

することが可能なので、バルクヘッドゲートは、当初は必要なかった。水位低下は、水車・放流口の流量を流入量より大きくすれば下げられた。トンネルNo.1の水も遮断し流入量の制限も行うことができる。現在、土砂流入防止のため、常時満水位を標高797.5mに設定しているが、これは越流部標高789.5mより高くなっている。底部放流口も堆砂によって作動不能となっている。

洪水吐ゲートは、1962年に設置されたが、その後大きな修繕はされていない。洪水吐ゲートが使用されるのは年の一ヶ月程度である。フラップゲートは浮きゴミを流すために使用されるが、調査した際多くのゴミが見られた。ゲートの維持管理状況は良好である。調査ではゲートの上流部については、貯水位が高かったので、その上部しか見ることができなかった。若干の漏水がゲート両側やフラップゲートから見られた。巻き上げ装置は良好であり管理状態もよく、外界から遮断されている。

(10) 冷却装置

原水はテキュイスキュラ川の湧水を使用し、冷却水取水口まで導かれる。この水は大気圧下にあり、貯水池の水に比べ温度が低く、かつ土砂の割合も少ない。この川は放水路で本川に合流する。水は5台のポンプ（内2台の容量は他の3台よりも大きい）で汲み上げられパイプを通じ発電所裏側の標高335.0mのタンクに導かれる。ポンプの仕様は下記の通りである。

ーメーカー：	バイロン・ジャクソン、メキシコ
ー電気：	440V、1,765rpm、60Hz
ー定格揚程：	54m
ーポンプ：	214.5l/s、200hp×2units
	164.1l/s、150hp×3units

ヘッドタンクは2つに分けられており、厚さ30cmの鉄筋コンクリート製で、幅10.9m、長さ15.6m、高さ4.05mである。全幅10.9mが2つに仕切られている。堆砂は排出できる様になっている。冷却水はここから16インチのパイプで発電所の1号機に重力で送られ、更にバスケットストレーナーや16インチのヘッダーパイプを通して循環する。

各ユニットへの送水はモーターによるバルブによって制御され次の機器に供給される。

ー発電機まわりの空気

ー発電機上部ガイドベアリング・スラストベアリング

ー発電機下部ガイドベアリング・タービンガイドベアリング

ーガーバナーサンプタンク

スラストベアリングとエアークーラーには、アラームコンタクト付の流量計がついている。タービ

ンガイトベアリングクーラーには、アラームコンタクト付の水循環指示計がついている。

冷却装置は、1962年に設置された。クーリングコイル（国内産）は必要に応じ更新されてきた。ポンプのオーバーホールも行われているが、大きな修理はメキシコのメーカーであるパイロンジャクソンに持ち込んで行われている。200hpポンプのひとつは流況改善のため再設置されたが、同様の改善が他のユニットにも実施される見通しである（ヘッダーにスムーズに送水できる様にされた）。冷却装置は、正常に機能しているので現在の維持管理を続けていけば、当分の間は機能を果たしてゆくものと思われる。

(11) 圧さく空気

ガーバナー装置に対する圧さく空気や発電機エアブレーキへの空気は３つのコンプレッサーとタンクによって供給される。コンプレッサーは、内部クーラによって２～３段階に冷却される。装置は、1962年に設置されたが、必要に応じ更新されてきた。当初のコンプレッサーのひとつは現在ドーリーの上に置かれている。３段インゲルソルランドにとりかえられる予定である。装置は、正常に機能しており、現在の維持管理を続けてゆくべきである。

(12) 空調システム

発電所には、４つのブロワーがある。更に、ローターとランナーの間にある各タービンピットにはファンが置かれ送風されている。

３つの集中空調装置が事務所及び制御室に置かれている。この装置は、外部の業者によって維持管理が行われている。

(13) 発電所クレーン

機器の据え付け及び維持管理サービスのため、天井走行クレーンが設けられている。メーカーは、日本の石川島播磨重工である。スパンは、15mでトゥイントロリー方式で、定格つり上げ荷重は95/20トンである。仕様は、次の通りである。

	スピード（m／min）	モーター
主巻き上げ機	1	30×2
補助巻き上げ機	3	15×2
横移動	10	7.5×2
縦移動（走行）	20	0×1

主巻き上げ機のテスト荷重は定格の120%である114トン。

主フックリフト：クレーンレールより10m下から15m下まで。

補助フックリフト：クレーンレールより0.15m上から20.5m下まで。

ローターをつり上げる場合、主巻き上げ機を連結させるためにリフティングビームが置かれている。クレーンは、1962年に設置されたが、使用頻度は低い。もし、長い間使用しない場合下記の点検が必要である。

－電流ピックアップアームの接触状況

－モーター類（含むブレーキ）

－ギアボックスのオイルレベル

－ワイヤーロープ

クレーンは使用可能と思われるが、維持管理を続けるべきである。

(14) 非常用電源

非常用電源として、横軸ペルトン水車、発電機が置かれている。水車とガーバーナーは、ニールペック社製で発電機はエリン社製である。発電機は1号機の近くに置かれて、標高335mにあるタンクからの水が使用され、その容量によって発電時間が決まる。仕様は以下の通りである。

－出力：	510hp
－回転：	1,500rpm
－導水パイプ：	内径125mm
－ジェット：	内径35mm
－スピアートラベル：	32.5mm

装置は1962年に設置され、毎週土曜に1～3時間のテストオペレーションが行われているが特に問題はない。

(15) 防火装置

温度感知機によって、作動するCO_2消火装置が置かれている。スペアーもひとつある。手動消火器も必要な場所に置かれている。

トランス用に、2つのオイルタンクが第4号機の近くに置かれている。各タンクのまわりにバンドウォールを設けることを提案する。

このウォールによってたまるオイルの量はタンクの量と同じにすべきである。

(16) 底部放流施設

非常時水位低下のため、ダム中央部標高750mに放流バルブが設けられている。

取水口には、半円トラッシュラック構造物がある。トラッシュラックパネルはボルトで固定されている。パネルの大きさは、1,700mm×1,991.8mmで、ラックバーは厚さ19mm、高さ152.4mm、間隔は150mmである。長さ1,879.6mmの四角の鋼鉄製ライナーは、ベルマウスに形成されている。

トランジッションのあとは、内径1,879.6mmのパイプが連結している。図面ではストップログのスロットが取水口の前に設置されているが、ストップログが設置された様には見えない。電動式ゲートバルブとハウエルバンカーバルブが設置されている。ゲートバルブはハウエルバンカーバルブが作動不能になった時に非常閉鎖できる設計にはなっていない。バルブ類はＡＴＢ製である。

施設は1962年に設置され、1985年までは排砂に作用されてきた。1986年の測量によれば、堆砂面の標高は772mであり、1992年9月では約777mになっている。放流施設は1985年以降使用されていない。

(17) 水力機械の維持管理

年維持管理レポート（1991、1989、1988年）をレビューした。このレポートには、維持管理の項目と所要時間、コストが報告されている。維持管理の程度はメジャー、マイナー、ルーティンの３つのレベルに分けている。ルーティン維持管理では、油、ペルトンジェットニードルとシート、ニードルサーボモーターのシール等が更新される。

1993、1994の維持管理予定も決まっている。チャートには日、週、月、隔月、４半期、半期に行う維持管理が示されているが、これらについてもレビューを行った。

1991年のマイナー維持管理の要点は下記の通りである。

－１号機：メインバス出口のインシュレーションの更新、ペルトンジェットのニードル、シート、ニードルサーボモーターの交換
所要日数８日、費用56,426,000ペソ

－２号機：１号機と同じ維持管理、所要日数８日、費用61,490,000ペソ（費用の差はニードルとシートのコスト差による）

－４号機：１号機と同じ維持管理＋エキサイター、所要日数９日間、費用42,136,000ペソ

1990年のマイナー維持管理レポートは見つからなかったが、３号機に対し１号機と同様な修理が行われたとの報告があった。又、このとき、１、２号機についてもいくつかの修理が行われた。

1989年のマイナー維持管理レポートの要点は下記の通りである。

－３号機：５ジェットのニードルサーボモーターシールの交換、１ジェットのサーボモーターは前回交換、費用は12,840,000ペソ

－４号機：ニードルサーボモーターの交換、ガーバナーオイルクーラーの新設、プロテクションリレイの清掃と調整、費用は14,738,000ペソ

－発電の全面停止：４つのロータリーバルブのシールの点検、所要日数３日、費用22,656,000ペソ

1988年のマイナー維持管理レポートの要点は以下の通りである。

－４号機：変電所の電気系統のテスト、発電機感温器の点検、ジェット、ディフレクター、ギアシステムの点検、所要日数５日、費用21,220,000ペソ

－３号機：４号機と同じ、日数及び費用も同じ。

－発電の全面停止：サーキットブレーカーの電気系統テスト、４台のガーバナーオイル系統のチェックバルブの交換、所要日数５日、費用55,453,000ペソ

1988年のニードルとシートの摩耗に関する報告書のレビューも行った。結論は下記の通りである。

－給電指令所の指示による低負荷運転（10MW）は、ニードルとシートの摩耗を促進する。最低20MWの出力を提案。

－水位低下運転は、水車に多量の土砂の流入を許し、ニードルとシートの摩耗を著しく促進する。

－以上の２点は、ランナーに関しては損傷を与えていない。

現在、流入土砂は主としてシルトと粘土の様な細粒子で砂は実質的に含まれていないので、ランナーにさほど大きく損傷は与えていない。

1992年4月の取水口、トンネル、バルブハウスの点検に関する写真集についてもレビューを行った。

1993年メジャー維持管理レポートでは、３号機に対する点検に関し下記の通り報告している。

－スペアーランナーとの交換、既存ランナーは修理し、1994年に第４号機のランナーと交換予定

－発電機ステーター及びローターの電気テスト

－PMG、エキサイター及びパイロットエキサイターの分解

－発電機カバーの取りはずし

－ニードル及びシートの交換、サーボモーターシールの交換

－ステーターウェッジの点検とその１０％の交換

－発電機クーラーの更新

－一連の維持管理作業が終った後、ステーター及びローターの電気テスト

このメジャー維持管理の所要日数は80日で、費用は900,000新ペソと報告されている。

1994年のメジャー維持管理では、1993年のものと同様のものが予定されている。又、1994年以降のオーバーホールでは、下記の交換が提案されている。

－スタティックエキサイターシステムへの変更

－ディジタルガーバナーへの変更

ディジタルガーバナーは、ジェットを独立して制御することができるので、２、４、６と偶数個のジェットの組み合わせによる運転が可能である。低負荷時にジェットをペアーで閉鎖することにより、水車効率は上昇しニードルやシートの損傷も低く押さえることができる。

A-3　電気設備

電気設備には下記の様なものがある。

－４つの発電機及びエキサイター

－コントロール装置一式

－１３機のトランスフォーマー

－８つのサーキットブレーカー

－３０の開閉スイッチ

（1）発電機

発電機は、立軸３相同期型である。冷却装置は、発電機風胴内空気クーラーによる自冷式である。メーカーは東芝である。各発電機の仕様は次の通りである。

－型　式　：	連続定格式
－定格容量：	58,000KVA
－定格電圧：	13,800V
－定格電流：	2,427A
－定格周波数：	60Hz
－力　率　：	0.9

１号機、２号機は、1962年に運開し、３号機は1963年、４号機は1964年に各々運開された。周波数の変更がされる前の発電機は、50Hzに相当する16極375rpmの回転数であった。

1974年から1976年に60Hzへの周波数変更で回転数は20極360rpmとなった。運開以後、発電機は連

続して運転されている。運転は、発電のみならず、同期コンデンサー運転として230KVの系統電圧の調節の役割ももっている。オーバーロード運転は長期的観点から厳しく制限されているので、運転に関しトラブルは発生していない。

(2) 主変圧器

各発電機は、主変圧バンクを持ったユニットシステムから構成されている。主変圧器は、３つの単相変圧器から構成され、発電所横の屋外開閉所に設置されている。ひとつのスペアーを含め全部で１３台の単相変圧器がある。走行用レールも用意されている。メーカーはＧＥ社である。各変圧器の仕様は次の通りである。

－型式：　オイル交換、オイル自然循環式、ファンクーラー付

－定格容量：　単相20,000KVA

(3) 屋外開閉器

８つのサーキットブレーカーの仕様は、次の通りである。

－型式：　３極、電動シングルスロー型式

－名目電圧：　230KV

－定格最大電圧：　250KV　rms

－遮断容量：　11KA

３０コの開閉ギアの各仕様は、次の通りである。

－型式：　３極、シングルスロー型式
水平ダブルブレーキ、回転遮断式

－定格最大電圧：　250KV

－定格電流：　250A

230KV開閉ギアーは、ダブルバスシステムで、４つの発電回路と３つの送電回線、ひとつの母線連絡回路を有する（図３．７参照）。

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B　流砂のサンプリングと室内試験および流砂量の分析

流送土砂の挙動とその貯水池での堆砂問題について知ることは貯水池の機能の評価およびそのリハビリテーション計画策定の上で重要である。貯水池への土砂流入量は季節によって変化する。したがって、継続的あるいは定期的な流砂の観測が必要である。

貯水池へ流入する土砂を推定するためには、浮遊砂の量と特性および河床に堆積した土砂（河床材料）の特性に関する流砂データが必要である。貯水池堆砂のメカニズムを知るためには、貯水池堆積物の特性データが必要である。

この付属書では流砂サンプリングと分析のための手順とその所要器具、および河川の流砂量計算の手順についてまとめたものである。

B-1　サンプリング器具

現在CFEが使用している流砂のサンプラーは水面下約数センチメーターの部分のサンプルしかとることができない。これは、このサンプラーが軽く、流水の影響を受けやすいためである。適切なサンプルを採取するためには、水深全部についての総和をとる必要がある。数々のサンプラーが提案されているが、マサテペックプロジェクトについては、図B.1から図B.3に示すような、米国水資源協会がスポンサーとなっている連邦堆砂計画（Federal Inter-Agency Sedimentation Project）で開発された深度－加積サンプラー（Depth-Integration Sampler）またはこれと同等のものを使用するのが適当である。これらのサンプラーは浅いまたは深い水深についてDepth-Integrationとよばれるサンプリング方法で使用されるように設計されている。

DH-48サンプラーは、長さ13インチの流線型のアルミ製の本体にパイントボトルを装填する構造となっている。採水口ノズルはサンプラー本体の先端部を通って水平に伸びている。サンプラーの流線型の部分には、採水が進むにつれて採水ビンから空気を抜くためのポートがサンプラーの先端側に、後方に向かって装着されている。採水ビンは、サンプラー後部の手動式のスプリング締め具で所定の位置にセットされ、サンプラー頭部のrubber gasketで密封される。この器具では河床より上3.5インチのところまでサンプリングができる。このサンプラーには内径0.25インチの真鍮製ノズルが付いており、重さは約0.4ポンドである。

DH-59サンプラーは手でつり下げるケーブルに取り付ける方式の中程度の重量の浮遊砂サンプラーである。このサンプラーはパイントサイズのガラス採水ビンを装填でき、長さ15インチで本体は流線型の鉛製

である。このサンプラーの重さは約22ポンドで、サンプラーが水中にさげられるときにサンプラーのノズルを流れの方向に正対するための尾翼が付いている。採水ビンはサンプラー後部の手動式のスプリング式締め具で所定の位置にセットされ、サンプラー頭部のrubber gasketで密封される。

DH-74は、重さ70ポンドでケーブルリールまたはクレーンでつり下げる方式の浮遊砂採取サンプラーである。このサンプラーは流線形の銅製の本体にパイントあるいはクオートサイズのガラスまたはプラスチックの容器をとりつけるものである。サンプラーの頭部は容器を出し入れできるようにちょうつがいになっている。サンプラーは尾翼によって流れに正対される。このサンプラーはケーブルに取り付けたHanger barでつり下げる。

B-2 サンプリングの手順

浮遊砂サンプルは（1）ある位置および時刻における浮遊砂濃度（2）ある観測所における単位時間の浮遊砂流量、および（3）浮遊砂の粒度分布を決めるために必要である。サンプリングは、プエノスアイレスとソンタラコにおいて実施すべきである。これらの河川は、砂（粒径0.062mm～2.0mm）、シルト（0.004mm～0.062mm）、および粘土（0.004mm以下）が混合したものを流送する。シルトと粘土の粒子は、水深および横断方向に均一に分布するが、砂の分布は横方向、垂直方向の両方で変化する。

Depth-Integration法では、サンプリングは連続的で、ある鉛直深さの全部にわたって一定の速度（Transit rate）でサンプラーを下ろし、引き上げる。サンプラーがノズルのすぐ近くの流速で、水と流砂の混合物をとり入れるので水深全部についてサンプリングができる。

垂直方向のtransit rateは、その深さと流速によって定まる。最大のtransit rateは、その垂直深の平均流速の0.4倍を越えるべきではなく、また最小は、採水容器があふれないような十分な速さとすべきである。実用上は、transit rateは約350mlから400mlのサンプルが２回の試行で採取できるものとすべきである。Figure B.4にtransit rateのガイダンスを示す。

浮遊砂サンプリングにおいては、川床近くで方向を変える間、サンプラーを河床近くで静止すべきではない。それは、より粗い粒子が採水ビンにはいるからである。サンプルには、時間、日付、観測所等が分かるようにラベルをつける。

一般には２つのDepth-Integretion法が使われている。１つは均等流量増加法（equate-discharge-increment、EDI）、もう１つは等幅／等速度法（equal-width/equal-transit-tate、ETR）である。それぞれの方法に長所と短所がある。

マサテベックプロジェクトにおいてはEDI法を推奨する。この方法を使うに際しては、流量測定から得

られる横断方向の流量分布について知っておく必要がある。河川断面は、それぞれ等しい流量となるような、3つの断面に分割する必要がある。サンプルは1つの分割断面において、その断面内の流量が等分される位置の垂直方向で採取する。個々の分割断面において、鉛直方向のtransit rateはサンプル量が350ml～400mlとなるように選ぶ。以上の手順によって、ほぼ同じサイズで河川断面のサンプリングを行なった部分を通る総流量と同じ比率を示す、1セットのサンプルが得られる。

これらのサンプルは分析のため1つに合成できる。各サンプルの量が相当に異なる場合には、各サンプルを別々に分析し、サンプルの濃度を平均しなければならない。

これらのサンプルは適当な処置をほどこし、サンプリング後2～4週間以内に分析すべきである。

図B.5に示すのはBMH-60型で河床または貯水池のサンプリングのための重量30ポンドのサンプラーである。河床材料への貫入深さは約5cmである。このサンプラーは弾力性のあるケーブルでつり下げ、手動で上げ下げできる。本体はアルミ製で、尾翼が付いており、長さは22インチである。サンプリング容器には約175ccの試料をとり入れることができる。サンプリング容器は、サンプラーが手動ケーブルで支えられている時には閉口した状態になっている（サンプラー本体内に格納されている）。手動ケーブルで支えられている張力が、解かれると（サンプラーが河床に到着した時）容器は徐々に閉じていき河床に貫入し、河床材料を取り込む。

BHM-60型サンプラーはアブルコ川とソンタラコ川においてのサンプリングに使用できると考えられる。貯水池底のサンプリングには図B.6に示すコアタイプサンプラーが必要である。

図B.7のコアタイプサンプラーは、米国開拓局によって開発されたものである。このサンプラーは約6mの深さまで貫入できる。このサンプラーは、重いため、いかだまたははしけから水中に降下される。トリガーウエイトが堆積土砂の表面に到達すると、サンプラーのトリガーアームがコアリングベッドを解放し、サンプラーが自重で降下し、カッティングシューが堆積土砂に貫入する。降下ウエイトによりチューブは最大貫入深まで打ちこまれる。サンプラーが水面まで引き上げられるときには、部分的に生じた真空によってサンプルはそのままの位置に保持される。このサンプラーは堆積土砂の密度を決めるために乱さない試料を採取することができる。

図B.7に示したサンプラーは比較的軽く、貫入深さは約3mである。さらに深い位置のサンプリングには、ドリリング機器が必要である。この場合には乱された、また締固められたサンプルが採取される。

河床材料のサンプルは、流量測定と浮遊砂サンプリングと同時に採取すべきである。サンプルの位置と数は浮遊砂サンプルと同じにすべきである。サンプルは容器に収納し、分かりやすいように適当にラベルをつける。貯水池堆積土砂のサンプルは、貯水池堆砂測量と同時に採取すべきである。サンプルの位置は過去の経験に基づいて決める。

B-3　室内試験方法ー濃度の決定

流送土砂の濃度は、ミリグラム／リットルで表される。室内試験では、体積を決めるよりも重量の方が容易に求めることができる。したがって、濃度は水と土砂の混合物の重量に対する土砂の乾燥重量の比として得られ、百万分の１単位（ppm）で表される。ppmからmg/lへの変換はmg/l="A"×（ppm）で、Aの値は下記の表から決めることができる。

PPM	A	PPM	A
0-7,950	1.00	98,000-111,000	1.07
8,000-23,700	1.01	112,000-125,000	1.08
23,800-39,100	1.02	126,000-139,000	1.09
39,200-54,300	1.03	140,000-152,000	1.10
54,400-69,200	1.04	153,000-165,000	1.11
69,300-83,700	1.05	166,000-178,000	1.12
83,800-97,900	1.06	179,000-191,000	1.13

サンプルには、少量あるいは多量の土砂が含まれている。場合によっては適当な精度の濃度を得るには２つ以上のサンプルが必要となることもある。

最も一般的には、蒸発法が採用されている。この方法では特に低い濃度の場合に、溶解した固形物についての補正が必要である。良好な分析をするためには、最低限の器具として、

1. 水ー土砂サンプルの容器
2. てんびん、容器ビンの重さを測るもので精度0.1グラムのもの
3. 分析用てんびん、精度0.1ミリグラム
4. 蒸留水
5. 蒸発皿
6. 乾燥用オーブン（対流型）
7. 種々のサイズのガラス製ビーカー
8. 種々のサイズの目盛付きシリンダー
9. 洗浄用のビン
10. 乾燥箱

11. エナメルトレイ

12. エナメル容器

13. 分析用用紙等

先に述べた通り、サイトにおいて採取した３つのサンプルは、合成することができ、合成したサンプルを分析するかまたは各サンプルを別々に分析するかのどちらかである。サンプルの手順を以下に示す。

1. サンプルを観測所名に従って、時系列に整理する。
2. 時系列に従って連番をつけた分析用フォームを用意する。図B.8のフォームを推奨する。
3. サンプリング容器のラベルをはがし、すべての関連する情報をラベルからフォームに移す。また、室内試験でとりあつかったすべてのサンプルについて記録紙を保存しておくことを推奨する。この記録紙はサンプルを受領した日付および各観測所についての分析の日付を示しておく。
4. 容器＋混合物の重量を測り、分析用紙に記入する。
5. 土砂が容器の底に沈殿したことを確認する。これには３～４日要する。
6. 上ずみ液をサイフォンでとり出し、ビーカーに移す。このとき35～40ccの混合液はボトルに残し、沈殿した土砂が乱されないように注意する。
7. 上ずみ液を使って混合液（ボトルに残っているもの）を洗い流し、メスシリンダーに入れる。ビン内に土砂がくっついて残っていないことを確かめる。
8. ボトルを完全に乾燥し、0.1グラム単位で重量を測る。
9. メスシリンダー内の土砂混合液の体積が50cc以下のときは、さらに上ずみ液を加えて50ccにする。50cc以上のときは、正確にその体積を記しておく。
10. 混合液を重量既知の蒸発皿に移し、メスシリンダー内を蒸留水で完全に洗い流し、蒸発皿に移す。
11. 蒸発皿を電気炉に入れ、105℃～110℃で一晩乾燥する。土砂を沸騰によって蒸発皿からこぼしてはならない。このためには、沸点よりも少し低い温度で目に見える水分がすべて蒸発するまで乾燥しておくことが必要である。
12. 炉から蒸発皿をとり出し、乾燥箱の内に冷えるまで置いておく。冷えたらすぐにサンプルの重量を0.1ミリグラム単位で測る。
13. 上ずみ液をろ過し、50ccまたは、蒸発皿に移された混合液の体積に等しい量とする。
14. この体積の液を重量既知の蒸発皿に移し、水分を蒸発させ、乾燥器の中で冷やし、重さを0.1ミリグラムまで測る。

15. すべてのデータを分析用紙に記録し、土砂濃度PPMを以下のようにして計算する。

ボトルと混合液の重量	＝W1
ボトルの重量	＝W2
混合液の重量	＝W1－W2
第１蒸発皿の重量	＝T1
浮遊砂＋溶解物＋蒸発皿の重量	＝S1
第２蒸発皿の重量	＝T2
溶解物＋蒸発皿の重量	＝S2
浮遊砂＋溶解物の重量	＝S1－T1
溶解物の重量	＝S2－T2
浮遊砂の重量	＝（S1－T1）－（S2－T2）
濃度	＝（S1－T1－S2＋T2）／（W1－W2）

濃度はPPMに変換される。上記の式は、等しい体積の土砂の混合液と上ずみ液が使われた時に成り立つ。そうでない場合には溶解補正値を適当な体積について計算し、補正値を重量／cm^3で示しておく。

B-4　浮遊砂の粒度分布

浮遊砂の粒度分析は異なる流量に対し、それぞれ採取したサンプルについて行う必要がある。採取したサンプルのうち約３分の１について、粒度分布の分析を行う。

流砂のサンプルは通常、広範囲の粒径の粒子を含んでいる。このため、粒径0.062mmにおいて、粗い粒子（砂）と細かい粒子（シルト、粘土）を分ける必要がある。分けた後、粒度分布は粗粒分、細粒分別々に決める。粒度の決定は、粒径1.0，0.50，0.125，0.062m（粗粒分）、および0.044，0.031，0.022，0.016，0.008，0.004mについて行う。

推奨する方法はふるい分けおよびピペット法である。土砂濃度が比較的小さい場合は、サンプルを多く採取して、十分な量の水と土砂の混合物を収集する必要がある。粗粒分と細粒分の分離とふるい分けとピペットによる粒度分析についての手順を以下に記す。

粗粒分と細粒分は次のようにして分離する。

1.　“蒸発法”の手順１～８に従う。

2. メスシリンダー内の土砂混合液の体積を記録する。この体積は、溶解固形物の補正のために使用する。
3. 230ふるい（U.S.規格、0.062mm）をビーカーの上におき、メスシリンダーをよく降り、混合液をふるいに通過させる。細粒分を通過させるためふるいは蒸留水でよく洗う。洗浄のため、ふるいを傾けたり、回転させたり、軽くたたいたりする。
4. ビーカーにはピペット法による分析のためのサンプルを保存しておく。ふるいをとり除き、重量既知の蒸発皿にふるいを通った液を蒸留水で洗い流して入れる。
5. オーブンで水分を蒸発させ、乾燥器の中で冷やし、重量を0.1ミリグラムの精度で測る。
6. 砂には有機物が含まれていると考えられる。乾燥砂のグラムあたり、約2ミリリットルの30%過酸化水素水を加え、さらに蒸留水を加えて約40ミリリットルにする。有機物が酸化されるまで数時間そのままにしておく。沈殿物が付着していなければ浮いている有機物をすくい取る。サンプルをゆっくりと沸騰させることにより、酸化物を分解する。
7. 砂のサンプルをオーブンで乾燥し、冷やした後、重量を0.1グラムまで測る。
8. 細粒分、粗粒分の濃度を以下の通り定める。（有機物はないものと仮定する）

容器＋混合液の重量	＝W1
容器の重量	＝W2
混合液の重量	＝W1－W2
第1蒸発皿の重量	＝T1
細粒分＋溶解物＋蒸発皿の重量	＝S1
第2蒸発皿の重量	＝T2
溶解物＋蒸発皿の重量	＝S2
細粒分＋溶解物の重量	＝S1－T1
細粒分の重量	＝S1－T1－S2＋T2
第3蒸発皿の重量	＝T3
砂＋蒸発皿の重量	＝S3
砂の重量	＝S3－T3
細粒分の濃度	＝（S1－T1－S2＋T2）／（W1－W2）
砂の濃度	＝（S3－T3）／（W1－W2）
PPMへの変換	

ふるい分け－ピペット法はおそらく最も正確でかつ、一般的に使用されている粒度分析の方法である。粗粒分はふるいで分析される。ふるいによる分析を正確に行うには最小でも約0.02グラムの砂が必要である。

ピペット法において、基本的な原理はある決まった深さにおけるけん濁物の濃度を、沈殿する時間の関数として定めるというものである。分離される粒径よりも沈降速度が大きい粒子は、ある時間を経過した後、"point of withdrawal"より下に沈降する。"withdrawal"の時間と深さはストークスの法則に基づいて定められている。この方法は粒径0.062mm以下について適用される。

ふるい－ピペット法の分析に用いる器具は、

1. 土砂と水の混合液を入れるガラスビン
2. 50あるいは25mlの上下動ができるピペット器具、可動式のもの。
3. てんびん、精度0.1グラム
4. 分析用てんびん、精度0.1ミリグラム
5. 蒸留水
6. 真空装置
7. メスシリンダー、容器1,000ml、ゴム製ストッパー付き
8. かきまぜ棒、一方の端に50ミリ径のプラスチック板のついたもの
9. 温度計
10. 蒸発皿
11 乾燥用オーブン
12. 種々のサイズのビーカー、メスシリンダー
13. 洗浄用のビン
14. 乾燥箱
15. ストップウォッチ
16. ふるい
17. エナメルトレー、容器
18. その他、用紙、過酸化水素水、ナトリウム等

手順は次の通りである。

1. １つの観測所のサンプルを時系列に整理する。サンプルは合成するか個別に分析するかのどちら

かになるが各々十分な量の土砂が得られるように合成する。

2. 1度に2つ以上の合成サンプルを分析するので、必要なだけ番号を付けた分析用紙を用意する。フォームの例は図B.10に示す。

3. サンプリング容器のラベルを取りはずし、分析用紙に情報を記入する。

4. 容器の重量を測り、容器と土砂混合液の重量を記入する。

5. 各容器の土砂が沈殿したのを確認し、上ずみ液をサイフォンでビーカーにそそぐ。このとき沈殿した土砂が乱されないよう注意する。沈殿した土砂を乱さずにできる限り上ずみ液をとり除く。これは、溶液補正を避けるために必要である。また、ナトリウム塩には凝固作用があるため、土砂粒子がサンプル水内に入らないようにする。

6. 2つ以上のサンプルの場合には、これらをビーカー内で蒸留水を用いて合成する。土砂全部がビーカーに移ったことを確認する。

7. 空のサンプリング容器を完全に乾燥し、0.1グラムまで重量を測って合成サンプルの混合液の総重量を決める。

8. 体積既知のN／10（10パーセント標準液）のシュウ酸ナトリウムを分散剤として合成サンプルに加えよく混合し粒子を沈降させる。

9. 230ふるいをビーカーにかけ、サンプルを通過させ粒径0.062mm以上の粒子をふるいに残す。ふるいは蒸留水で洗い、すべての粒径0.062mm以下の粒子を通過させる。洗浄のため、ふるいをかたむけたり、回転させたり、軽くたたいたりする。

10. 230ふるいに残った土砂を重量既知の蒸発皿に移す。ふるいは蒸留水で洗い、土砂がふるいに残らないようにする。

11. 蒸発皿をオーブンに入れ、105℃～110℃で一夜乾燥させる。この際、土砂が蒸発皿からこぼれないように注意する。

12. オーブンから蒸発皿をとり出し、乾燥箱に冷めるまで入れておく。

13. 冷えたら、蒸発皿の重量を0.1ミリグラムまで測定し、蒸発皿だけの重量をさし引いて土砂粒子の重量を決める。

14. 手順13で計算した土砂の重量を細粒分の重量（砂と粘土、次の手順で述べる様に決定される）に加え、土砂の総重量を得る。種々の粒径のパーセンテージはこの重量によって計算される。

15. ふるいのセットと乾燥砂を用いて粒径を決める。乾燥砂を3インチ径のふるい群に移し、粒径1.0，0.5，0.25，0.125および0.062mm以下について分離する。35番ふるいに残った砂の粒子は粒径0.5mmからそれ以上、60番ふるいに残ったものは粒径0.25mmからそれ以上、120番ふるいに残っ

たものは0.125mmからそれ以上である。各ふるいに残った土砂の重量を0.1ミリグラムまで測定する。測定結果は分析用紙に記入する。

16. 体積既知のシュウ酸ナトリウムを加え、重量既知の蒸発皿に入れて一夜105℃～110℃で乾燥させる。これは、シュウ酸ナトリウムが分散剤として用いられるため、必要な手順である。
17. 蒸発皿を乾燥箱に入れ、冷えたら重量測定とシュウ酸ナトリウムに対する溶解補正をグラム／mlで定める。サンプル水内の溶解補正は必要ない。これは、ほぼすべてのサンプル水が上ずみでとり除かれたからである。
18. 手順9にてサンプルをビーカーからメスシリンダーに移し、ビーカーを蒸留水で洗って洗浄液をメスシリンダーに移す。土砂がビーカーの内側に残っていないか確認する。土砂濃度が大きい場合は1,000mlのメスシリンダーを使い、その他は500mlのメスシリンダーを使う。
19. 蒸留水を加えて、メスシリンダーの水位を上げる。
20. シリンダーを強く振り、回転させて、シリンダー内の土砂を浮遊させる。さらにかきまぜ棒でかきまぜ、一様に拡散させる。
21. かきまぜた後、ピペットのとり入れ口先端を水面から10cmの深さまで下げる。約6～10秒でピペットを満たし"zero-time"withdrawalを得る。水温を記録しておく。このwithdrawalは細粒分の濃度を与える。すばやくwithdrawalするため、ピペットの取り入れ口より10cm上に印をつける。
22. ピペット内の水を重量既知の蒸発皿に入れて空にし、ピペットは蒸留水で洗う。ピペット内に残った水は取り入れ口から吹き出す。
23. 蒸発皿をオーブンに入れ、105℃～110℃で一夜乾燥させる。乾燥器内で冷やし、土砂＋蒸発皿の重量を0.1ミリグラムまで測定する。
24. 細粒分の重量を以下のように計算する。

ピペット内サンプルの体積	＝X
メスシリンダーの体積	＝Y
体積比	＝Y／X
蒸発皿の重量	＝T1
土砂＋分散剤＋蒸発皿の重量	＝S1
土砂＋分散剤の重量	＝S1－T1
分散剤の補正	＝D（グラム／ml）
土砂の重量	＝（S1－T1－D(X)）／（Y／X）

25. メスシリンダーをよく振り、テーブルの上に置いてストップウォッチを動かす。

26. 水温を記録し、観測された水温、粒径、withdrawalの時間を決める。図B.11には粒径0.0442, 0.0312, 0.0221, 0.0156, 0.0110, 0.0078, 0.0055, 0.0039mmについてのwithdrawalの時間とそれぞれについての水温を示す。
27. 予定時間でwithdrawalが10cm深となるようにする。ピペット内サンプルを重量既知の蒸発皿に移す。ピペットは毎回蒸留水で洗う。
28. 蒸発皿をオーブンに入れ105℃～110℃で一夜乾燥させ、乾燥器内で冷やし、重量を0.1ミリグラムまで測る。
29. 各withdrawalについて、手順24に示すように計算する。
30. 分析用紙に記入する。計算は濃度PPMと各粒径より細いもののパーセンテージについて行う。

B.5 河床材料の分析

分析には約100gのサンプルで十分である。粒度分布はふるい分けで決める。径3インチと径8インチのふるいのセットを用いる。以下の手順を推奨する。

1. ある位置におけるサンプルを時系列に整理する。
2. ラベルのフィールドデータを分析フォームに記入する（図B.12参照）。
3. 必要があればサンプルをオーブンで乾燥させる。
4. 乾燥させたサンプルをふるい群に移す。粒径が5.6mm以上のものには径8インチのふるいを使用する。
5. 各ふるいに残った土砂の重量を0.1ミリグラムまで測定する。ふるいに残った土砂は入念にブラシをかけててんびんの皿に移す。
6. フォームに示されたデータを記録する（図B.12参照）。
7. 図B.13に示すような粒径加積曲線を作成する。

B-6 堆積物の密度

貯水池堆積土砂の密度（単位重量または比重と呼ばれることがある）は、貯水池堆積物のサンプルから求められる。コアサンプラーでサンプルがいくつか採取された場合には、比重は各サンプル毎に求め平均する。計算は以下のようにする。

サンプルの湿潤重量＋プラスチック容器＋ふた　＝W1

プラスチック容器＋ふた	＝W2
サンプルの湿潤重量	＝W1－W2
水－土砂サンプルの体積	＝V（サンプル容器を満たすのに必要な水の体積から求められる）
サンプルの乾燥重量	＝W3
湿潤密度	＝（W1－W2）／V
乾燥密度	＝W3／V

B-7　流砂量の計算

ここでは、流砂サンプルと流量データを用いた日、月および年間の流砂量の計算方法について述べる。この方法は今日、アメリカ合衆国において行われている方法に基づいている。CFEにより行われている方法についても議論する。

B-7.1　CFEの方法

観測所で採取された浮遊砂サンプルは現地試験所にて分析される。一般に３つのサンプルを採取し合成する。サンプルは２つに分離される。すなわち、200番ふるいに残るものと通過するもの（ウオッシュロードと呼ばれる）である。ミリグラム／リットルで示されるそれぞれの流砂のタイプについて定められる濃度は、日平均と仮定され、立方メートルで示される日流量が掛けられる。サンプルが採取されなかった日については、濃度は間に入る日数の期間について（流量の大きさにかかわらず）内挿される。日総流砂量は、日ウオッシュロードと日浮遊砂の粗粒分の和として表される。ある期間においては、月流砂量は、細粒分と粗粒分に分けて計算され、月総流砂量と年流砂量はこれらを合成したものとなっている。

B-7.2　浮遊砂の濃度

浮遊砂の濃度データ（ミリグラム／リットルで表される）はサンプルを採取した時刻の流量に対する断面においての平均濃度、および平均濃度の時間による変化を規定する。したがって流砂量を計算する前に、流砂濃度データの妥当性を慎重に検証する必要がある。流量に対する濃度の値および時間的変化の誤差は、サンプルの量が自然界のランダムに変化する流送土砂の濃度や粒度分布をカバーするには少なすぎること、あるいはサンプリングの方法が適切でないことによって生じる。よって、ある観測所の流砂量を計算する前に、サンプリングの方法、使用されているサンプリング器具、洪水時および平常時

のサンプリングの回数を検討しなければならない。

濃度の時間的変化を決めるために必要なサンプル数を得ることは、新しい観測所では困難である。しかし、時間をかければサンプルの妥当性を確立することができる。サンプリングの妥当性を吟味するための効果的な方法は洪水時あるいは日流量のハイドログラフ上に濃度の値をプロットするものである。

図B.14と図B.15は浮遊砂の細粒分（径0.074mm以下）と粗粒分（径0.074mm以上）の濃度の変化をそれぞれアプルコ川のブエノスアイレスの流量とともに示したものである。細粒分の流砂濃度（ウオッシュロードとして知られる）は約6 m^3/sの流砂に対し約4～4,000mg/lというように流量に対して大きく変化している。流水で運ばれる細粒分の濃度は、流水の水理特性よりもむしろ土砂の供給率（浸食された土砂）によって決まるものである。粗粒分の濃度（図B.15）も流量に対し変動しているが、濃度は流量とともに増加する傾向にある。図B.14および図B.15に見られる点のバラツキは、現在CFEが行っているサンプリングおよび室内分析の双方において器具が適当でないことによるものと思われる。

洪水時に流砂サンプリングを十分に行なえば、河川水位の上昇と低下とともに濃度が変化していることがわかる。図B.16は河川水位（観測所水位）と濃度との一般的な関係を示したものである。濃度変化が流量の変化に対し、先行、同時あるいは遅れを示すのは、流域の特性と浸食率によるものである。

B-7.3 計算方法

日流砂量は以下の関係を用いて決定される。

$$Qs = Qw \times Cs \times K$$

ここに

Qs ＝流砂量（トン／日）

Qw ＝日平均流量（立方メートル／秒）

Cs ＝日平均浮遊砂濃度（mg/l）

K ＝測定単位による係数、メーター系では0.0864

日平均流砂濃度（または流量）は時間の重さを用いた平均値で、濃度表（または水位記録表と水位流量曲線）から計算される。

水位または濃度の変動が1日の間でそれほど大きくない場合は、1回の観測または推定した濃度をその日の平均と仮定できる。同様に日平均観測水位に対する流量を日平均流量と仮定する。変動が大きい場合には1日を分割する必要がある。“分割”とは、正確な日平均流量または流砂濃度を得るため、歴日のデータをさらに短い時間間隔に分割することである。選ばれた期間の値は平均値を得るために加算される。日の分割は1日のうちの水位と濃度の変化に基づいて決められる。図B.17に分割が必要な水位

と濃度のグラフの形を示す。

水位－流量の関係と継続的な水位記録が、観測所においては利用できるので、日平均流量の計算は簡単にできる。個別の濃度の値を時間的に継続した濃度のグラフにすることは、サンプルが少なければ困難である。流砂の濃度があまり大きくないか、平常時の日サンプリングおよび洪水時に適切な回数のサンプリングが行なわれていれば、濃度のグラフ化は簡単であろう。

図B.18はアブルコ川ブエノスアイレス地点の日流量ハイドログラフと浮遊砂濃度（細粒分＋粗粒分）である。表B.1は観測された濃度とその時の流量を示したものである。これらのデータを見直すと同じ流量に対し濃度に大きな変動があることが分かる。また、分割が必要と思われる日においては、観測された濃度は日平均流量と比べるとかなり小さい流量に対するものとなっている。たとえば、1988年9月5日には、6,657mg/lの観測濃度に対し流量は37.3m^3/sであるが、この日の日平均流量は373m^3/sおよび最大流量は540m^3/sである。

ソンタラコ川と水路No.1の浮遊砂濃度と流量を表B.2と表B.3に示す。これらの表からもほぼ同じ流量の値に対する濃度が大きく変動していることが分かる。

図B.18の欠測日、または小さい流量でサンプルが採取されている場合、大きい流量に対する浮遊砂濃度は、(1) 推定を行なう水文専門家の経験、(2) 類似流域において適切に作成された濃度グラフとの目視による比較、および (3) 上下流観測所の記録との水文的比較に基づいて推定される。アブルコ川の場合は適切にサンプリングしたデータがないのでこのような推定はできない。

日の濃度グラフと洪水グラフを図B.19に示す。

季節、年または長期の浮遊砂量を計算するための他の方法として米国開拓局で開発された流砂量－流況法がある。この方法は流量とその流量に対する流砂濃度との平均的な関係を求め、この関係（Sediment rating curve、Sediment curveまたはSediment transport curveとしても知られる）と季節、年または長期の流況曲線を利用するものである。流砂量曲線は分割された日の日流砂量の推定にも利用することができる。

図B.20にアブルコ川ブエノスアイレスの流砂量曲線と流況曲線を示す。流況曲線は1988年のものである。流砂量曲線は1988年と1989年の浮遊砂データに基づいている。流量に対し、流砂量の変動が大きいため、流砂量曲線は水文専門家の経験と判断によって作成された。データが明らかに特徴のある関係を示さない時は、１つの数式を使うべきではない。C.R.Millerの"Analysis of Flow-duration Sediment-Rating Curve Method of Computing Sediment Yield, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado,1951"に示されているガイドラインに従うべきである。

流況曲線と流砂量曲線を用いた年流砂量の計算を表B.4に示す。この方法による1988年の年流砂量は

約2.15百万トン、すなわち密度を1.12トン／立方メートルとすれば、約1.92百万立方メートルとなる。この推定値はCFEによる推定値の0.38百万立方メートルの約5倍である。これは現在CFEが行なっている方法が適切でないことを示している。

洪水時の流砂量推定に流砂量曲線を利用したものを表B.5に示す。この表では測定時間間隔は３時間である。しかし、流量ー流砂量の関係は非線形的であるため、時間間隔は１時間にした方がよい。

付　表

表 B.1 (1/2)

アブルコ川ブエノスアイレス地点の浮遊砂濃度（１９８８年）

Date		Flow	Concentration Fine	Coarse	Total	Load
		m3/s	mg/l	mg/l	mg/l	t/d
Jan.	4	2.9	12	12	24	6.0
	6	3.0	8	8	16	4.1
	8	2.9	12	12	24	6.0
	11	3.0	12	8	20	5.2
	13	2.9	8	17	25	6.3
	15	2.9	4	12	16	4.0
	18	2.8	8	17	25	6.0
	20	2.8	17	12	29	7.0
	22	2.8	17	17	34	8.2
	25	2.7	4	8	12	2.8
	27	2.8	12	8	20	4.8
	29	2.9	8	17	25	6.3
Feb.	1	2.8	25	20	45	10.9
	3	2.6	8	8	16	3.6
	8	2.6	4	12	16	3.6
	10	2.9	4	8	12	3.0
	12	3.6	8	8	16	5.0
	15	2.8	4	8	12	2.9
	17	2.8	4	8	12	2.9
	19	2.6	4	4	8	1.8
	22	2.6	8	12	20	4.5
	24	2.6	4	8	12	2.7
	26	2.8	4	8	12	2.9
	29	2.6	4	8	12	2.7
Mar.	2	2.6	4	4	8	1.8
	4	2.5	4	4	8	1.7
	7	2.6	4	4	8	1.8
	9	2.6	4	4	8	1.8
	11	2.5	4	4	8	1.7
	14	2.5	4	4	8	1.7
	16	2.6	4	4	8	1.8
	18	2.6	4	8	12	2.7
	23	2.3	4	4	8	1.6
	25	2.4	4	4	8	1.7
	28	2.4	8	4	12	2.5
	30	2.7	4	8	12	2.8
Apr.	4	2.4	12	8	20	4.1
	6	6.4	654	104	758	419.0
	8	4.7	37	12	49	19.9
	11	14.3	79	12	91	112.0
	13	6.7	29	12	41	23.7
	15	4.9	12	8	20	8.5
	18	3.9	4	4	8	2.7
	20	3.2	4	0	4	1.1
	22	3.2	4	4	8	2.2
	25	2.7	4	4	8	1.9
	27	2.8	12	8	20	4.8
	29	2.8	4	8	12	2.9

Date		Flow	Concentration Fine	Coarse	Total	Load
		m3/s	mg/l	mg/l	mg/l	t/d
May	2	2.5	12	0	12	2.6
	4	2.6	4	4	8	1.8
	6	2.6	4	0	4	0.9
	9	2.4	0	4	4	0.8
	11	2.5	4	4	8	1.7
	13	2.6	4	8	12	2.7
	16	2.4	4	4	8	1.7
	18	2.3	4	4	8	1.6
	20	2.2	8	0	8	1.5
	23	2.5	25	17	42	9.1
	25	2.2	4	4	8	1.5
	27	5.1	83	33	116	51.1
	30	2.5	4	4	8	1.7
Jun.	1	2.4	8	4	12	2.5
	3	2.3	4	0	4	0.8
	5	2.4	0	4	4	0.8
	8	2.3	0	0	0	0.0
	10	2.2	4	0	4	0.8
	13	2.3	4	4	8	1.6
	15	6.1	12	4	16	8.4
	17	7.5	8	3	11	7.1
	20	11.6	171	8	179	179.0
	22	42.5	554	400	954	3500.0
	24	12.8	42	4	46	50.9
	27	8.9	2,712	29	2,741	2110.0
	28	11.3	2,233	21	2,254	2200.0
	29	10.1	1,541	17	1,558	1360.0
Jul.	1	7.3	2,000	58	2,058	1298.0
	2	15.1	8,557	2,341	10,898	14200.0
	4	7.2	1,479	75	1,554	966.0
	5	6.9	646	58	704	420.0
	7	6.1	137	8	145	76.4
	8	5.4	100	4	104	48.5
	11	6.1	1,587	187	1,774	935.0
	12	5.2	1,304	42	1,346	605.0
	13	4.7	746	8	754	306.0
	14	7.3	246	17	263	166.0
	15	8.1	592	37	629	440.0
	16	8.9	379	79	458	352.0
	18	11.6	462	8	470	471.0
	19	9.1	292	8	300	236.0
	20	9.7	362	8	370	310.0
	21	22.1	7,740	3,920	11,660	22300.0
	22	13.6	837	67	904	1060.0
	23	9.7	192	8	200	168.0
	25	6.6	42	12	54	30.8
	26	6.0	21	4	25	13.0
	27	6.4	42	4	46	25.4
	28	6.4	4,154	42	4,196	2320.0
	29	5.5	300	12	312	148.0
	30	5.4	104	17	121	56.5

表 B.1 (2/2)

アブルコ川ブエノスアイレス地点の浮遊砂濃度（１９８８年）

Date		Flow m3/s	Concentration Fine mg/l	Coarse mg/l	Total mg/l	Load t/d
Aug.	2	5.1	33	17	50	22.0
	3	4.7	37	8	45	18.3
	4	4.7	42	8	50	20.3
	5	4.6	21	17	38	15.1
	8	4.7	83	58	141	57.3
	9	4.6	279	8	287	114.0
	12	6.0	508	17	525	272.0
	15	10.3	96	8	104	92.6
	16	13.6	112	46	158	186.0
	17	14.1	125	25	150	183.0
	18	12.8	1,812	133	1,945	2,150.0
	19	31.0	408	42	450	1,210.0
	20	28.1	13,031	3,195	16,226	39,400.0
	22	10.7	692	146	838	775.0
	23	10.1	1,008	112	1,120	977.0
	24	8.7	137	42	179	135.0
	25	7.7	133	29	162	108.0
	26	7.0	54	17	71	42.9
	29	6.9	42	12	54	32.2
	31	7.7	12	8	20	13.3
Sep.	1	18.7	3,374	1,614	4,988	8,060.0
	2	32.0	917	254	1,171	3,240.0
	3	34.6	708	567	1,275	3,810.0
	5	37.3	1,554	5,103	6,657	21,500.0
	6	99.8	571	1,237	1,808	15,600.0
	7	46.1	167	354	521	2,080.0
	8	29.1	92	29	121	304.0
	9	21.7	42	21	63	118.0
	10	17.2	33	37	70	104.0
	12	13.8	83	46	129	154.0
	13	12.1	42	4	46	48.1
	14	11.8	4	4	8	8.2
	15	12.3	62	8	70	74.4
	19	8.7	287	42	329	247.0
	20	8.3	250	8	258	185.0
	21	7.7	96	17	113	75.2
	22	7.0	83	92	175	106.0
	23	6.9	62	29	91	54.3
	24	6.3	21	17	38	20.7
	26	6.0	46	8	54	28.0
	27	5.8	21	21	42	21.0
	28	5.5	842	46	888	422.0
	29	5.4	42	37	79	36.9
	30	5.2	37	25	62	27.9
Oct.	3	16.6	254	87	341	489.0
	4	12.1	75	17	92	96.2
	5	9.9	12	4	16	13.7
	6	9.5	21	8	29	23.8
	7	8.9	12	8	20	15.4
	10	8.9	21	8	29	22.3
	12	8.9	17	8	25	19.2
Oct.	14	8.5	12	4	16	11.8
	17	7.3	17	233	250	21.6
	19	6.6	12	4	16	9.1
	21	6.0	12	4	16	8.3
	24	5.5	12	4	16	7.6
	26	5.2	12	4	16	7.2
	28	4.7	21	8	29	11.8
Nov.	2	10.5	75	8	83	75.3
	4	7.3	8	4	12	7.6
	7	5.7	4	4	8	3.9
	9	5.2	0	4	4	1.8
	11	5.0	17	4	21	9.1
	14	4.6	4	4	8	3.2
	16	4.3	8	4	12	4.5
	18	4.3	4	8	12	4.5
	21	4.7	17	4	21	8.5
	23	4.3	0	8	8	3.0
	25	4.1	8	8	16	5.7
	28	3.9	4	4	8	2.7
	30	3.6	12	8	20	6.2
Dec.	5	7.3	4	12	16	10.1
	7	6.0	4	4	8	4.1
	9	5.0	4	4	8	3.5
	12	4.6	8	8	16	6.4
	14	4.1	8	8	16	5.7
	16	4.1	4	4	8	2.8
	19	4.3	4	4	8	3.0
	21	3.9	4	8	12	1.0
	23	3.9	4	8	12	4.0
	26	3.9	4	4	8	2.7
	28	3.8	8	8	16	5.3
	30	3.8	4	8	12	3.9

表 B.2

ソンタラコ川の浮遊砂濃度（１９８８年－１９８９年）

Date 1988	Flow m3/s	Concentration Fine mg/l	Coarse mg/l	Total mg/l	Load t/d
Jan. 1	0.32	17	8	25	0.7
Feb. 1	0.93	17	8	25	2.0
2	1.09	33	17	50	4.7
Mar. 2	0.40	12	4	16	0.6
Apr. 11	1.44	37	17	54	6.7
Jul. 1	0.28	29	4	33	0.8
25	1.65	258	46	304	43.3
27	3.33	8	12	20	5.8
28	4.28	21	29	50	18.5
29	3.48	29	12	41	12.3
Aug. 1	2.37	1776	899	2675	548.0
2	2.15	188	46	234	43.5
4	1.75	112	21	133	20.1
28	1.24	408	125	533	57.1
Sep. 6	8.85	71	129	200	153.0
11	2.05	245	100	345	61.1
12	1.95	71	25	96	16.2
14	1.48	154	37	191	24.4
18	11.10	50	21	71	68.1
20	19.40	25	17	42	72.1
23	17.10	25	50	75	111.0
29	2.05	12	8	20	3.5

Date 1989	Flow m3/s	Concentration Fine mg/l	Coarse mg/l	Total mg/l	Load t/d
Jan. 1	0.20	8	12	20	0.3
21	0.20	12	17	29	0.5
Feb. 25	0.23	8	12	20	0.4
Mar. 26	0.15	4	4	8	0.1
Apr. 7	2.98	12	17	29	7.5
12	3.75	8	8	16	5.2
14	1.62	8	4	12	1.7
19	0.60	4	8	12	0.6
May 17	0.18	4	4	8	0.1
Jun. 16	5.38	8	12	20	9.3
21	4.41	8	4	12	4.6
22	6.43	453	179	632	351.0
23	4.06	17	4	21	7.4
Jul. 14	2.06	112	92	204	36.3
18	4.23	8	12	20	7.3
5	29.20	200	21	221	558.0
8	4.79	470	4	474	196.0
6	11.10	71	54	125	120.0
3	2.84	71	71	142	34.8

表 B.3 (1/2)

水路No.1の浮遊砂濃度（１９８８年－１９８９年）

Date 1988	Flow m3/s	Concentration Fine mg/l	Coarse mg/l	Total mg/l	Load t/d
Jan. 30	4.8	25	25	50	20.7
Feb. 12	5.5	25	25	50	23.8
Mar. 5	4.6	38	25	63	25.0
23	4.2	25	38	63	22.9
Apr. 7	7.9	100	63	163	111.0
11	16.5	50	38	88	125.0
13	9.1	63	38	101	79.4
22	4.6	75	50	125	49.7
May 6	4.0	63	25	88	30.4
27	7.1	50	88	138	84.7
Jun. 22	28.4	188	225	413	1,013.0
23	14.1	25	38	63	76.7
24	11.4	12	13	25	24.6
28	11.0	263	488	751	714.0
30	9.8	13	25	38	32.2
Jul. 1	10.6	75	88	163	149.0
2	11.2	1,213	363	1,576	1,525.0
4	10.6	188	150	338	310.0
6	9.7	75	100	175	147.0
14	10.2	63	100	163	144.0
23	10.8	13	25	38	35.5
Aug. 16	10.6	38	50	88	80.6
27	7.9	338	88	426	291.0
Sep. 2	19.8	150	38	188	322.0
3	19.1	838	2,038	2,876	4,746.0
5	3.5	1,200	1,463	2,663	805.0
14	13.3	13	12	25	28.7
Oct. 10	10.4	50	88	138	124.0
20	8.9	13	25	38	29.2
Dec. 12	7.1	25	25	50	30.7
Jan. 5	5.5	25	50	75	35.6
9	5.3	25	13	38	17.4
21	8.3	38	13	51	36.6
30	7.3	25	13	38	24.0
Feb. 6	6.7	88	87	175	101.0
16	5.9	25	13	38	19.4
23	6.1	25	13	38	20.0
Mar. 7	5.2	38	25	63	28.3
10	4.8	138	63	201	83.4
20	4.8	88	125	213	88.3
Apr. 5	6.3	25	50	75	40.8
8	4.5	88	50	138	53.7
11	9.3	75	50	125	100.0
20	4.6	88	50	138	54.8
Mar. 12	5.2	38	37	75	33.7
27	6.1	13	12	25	13.2
Jun. 2	4.6	63	25	88	35.0
15	6.9	275	825	1,100	656.0
24	4.6	313	200	513	199.0
26	5.5	525	88	613	291.0
27	3.3	975	1,638	2,613	745.0

Date 1989	Flow m3/s	Concentration Fine mg/l	Coarse mg/l	Total mg/l	Load t/d
Jun. 28	6.7	1,025	1,400	2,425	1,404.0
29	7.5	438	275	713	462.0
30	6.7	38	150	188	109.0
Jul. 1	7.5	163	150	313	203.0
3	5.2	413	500	913	410.0
4	6.3	463	251	714	388.0
5	6.5	163	100	263	148.0
6	8.9	100	100	200	154.0
7	9.7	275	138	413	346.0
8	10.2	350	175	525	463.0
10	7.5	138	88	226	146.0
11	7.7	125	38	163	108.0
12	8.9	13	50	63	48.4
13	8.3	38	25	63	45.2
14	7.3	25	38	63	39.7
15	6.7	50	75	125	72.4
17	6.1	50	13	63	33.2
18	5.9	25	25	50	25.5
19	5.5	188	100	288	137.0
20	5.5	88	75	163	77.5
21	5.5	50	13	63	29.9
22	6.3	13	25	38	20.7
24	6.7	13	50	63	36.4
25	9.8	50	63	113	95.7
26	10.6	38	13	51	46.7
27	11.2	25	25	50	48.4
28	13.5	13	38	51	59.5
29	13.5	38	38	76	88.6
31	11.6	50	13	63	63.1
Aug. 1	10.2	75	138	213	188.0
2	9.3	50	113	163	131.0
3	8.7	63	63	126	94.7
4	8.9	63	50	113	86.9
5	7.7	163	138	301	200.0
7	8.4	200	75	275	200.0
8	8.4	150	125	275	200.0
9	8.9	188	113	301	231.0
10	8.7	88	75	163	123.0
11	8.3	100	88	188	135.0
12	7.5	50	38	88	57.0
14	7.1	88	50	138	84.7
15	7.1	38	50	88	54.0
16	7.5	100	25	125	81.0
17	7.3	275	63	338	213.0
18	7.1	238	63	301	185.0
19	6.9	63	38	101	60.2
21	6.3	113	75	188	102.0
22	6.1	163	200	363	191.0
23	6.1	125	50	175	92.2
24	4.8	1,650	1,875	3,525	1,462.0
25	5.9	375	363	738	376.0

表 B.3 (2/2)

水路No.1の浮遊砂濃度（１９８８年ー１９８９年）

Date 1988	Flow m3/s	Concentration Fine mg/l	Coarse mg/l	Total mg/l	Load t/d	Date 1989	Flow m3/s	Concentration Fine mg/l	Coarse mg/l	Total mg/l	Load t/d
Aug. 26	5.7	363	375	738	363.0						
28	9.1	263	488	751	590.0						
29	7.9	188	375	563	384.0						
30	8.7	325	213	538	404.0						
31	8.4	138	138	276	200.0						
Sep. 2	8.3	313	150	463	332.0						
4	11.0	275	513	788	749.0						
5	11.8	200	475	675	688.0						
6	23.2	238	475	713	1,429.0						
7	19.1	3,875	2,300	6,175	10,190.0						
8	16.5	2,200	725	2,925	4,170.0						
9	13.1	350	63	413	467.0						
11	11.0	363	88	451	429.0						
14	11.2	13	13	26	25.0						
Oct. 2	14.1	363	1,450	1,813	2,209.0						
3	12.6	475	1,288	1,763	1,919.0						
4	11.6	438	1,150	1,588	1,592.0						
9	17.8	13	25	38	58.4						

表 B.4

アプルコ川ブエノスアイレス地点における年浮遊砂量計算（１９８８年）

Percent (1)	Mid-Value (2)	Flow m3/s (3)	Susp. Load t/d (4)	Percent Inter. (5)	Flow x Inter. (6)=(3)x(5)	Susp. Load x Inter. (7)=(4)x(5)
0.001 - 0.010	0.0055	470	940,000	0.009	4.2	8,460
0.010 - 0.100	0.055	400	800,000	0.090	36.0	72,000
0.100 - 0.200	0.150	370	750,000	0.100	37.0	75,000
0.200 - 0.268	0.234	360	730,000	0.068	24.5	49,640
0.268 - 0.272	0.270	330	670,000	0.040	13.2	26,800
0.272 - 0.280	0.276	210	450,000	0.080	16.8	36,000
0.280 - 0.400	0.340	100	205,000	0.120	12.0	24,600
0.400 - 0.540	0.470	92	185,000	0.140	12.9	25,900
0.540 - 0.810	0.685	80	155,000	0.270	21.6	41,850
0.810 - 0.820	0.815	63	112,000	0.010	0.6	1,120
0.820 - 1.000	0.910	48	79,000	0.180	8.6	14,220
1.0 - 1.4	1.20	44	69,000	0.400	17.6	27,600
1.4 - 2.2	1.80	33.5	44,000	0.800	26.8	35,200
2.2 - 2.8	2.50	28	33,000	0.600	16.8	19,800
2.8 - 3.6	3.20	23	23,000	0.800	18.4	18,400
3.6 - 3.8	3.70	19.5	16,500	0.200	3.9	3,300
3.8 - 4.9	4.35	16.2	11,500	1	17.8	12,650
4.9 - 7.0	5.95	14	8,000	2	29.4	16,800
7 - 10	8.5	12.7	6,400	3	38.1	19,200
10 - 13	11.5	11	4,400	3	33.0	13,200
13 - 20	16.5	9	2,200	7	63.0	15,400
20 - 30	25	7.3	240	10	73.0	2,400
30 - 40	35	5.5	30	10	55.0	300
40 - 60	50	4	6	20	80.0	120
60 - 64	62	3.2	5	4	12.8	20
64 - 86	75	2.7	4	22	59.4	88
86 - 100	93	2.3	2	14	32.2	28
				Total	**764.7**	**560,096**

Annual mean flow = 764.6/100 = 7.65 m3/s
Annual load = (560,096/100) x 365 = 2.04 million tons

表 B.5

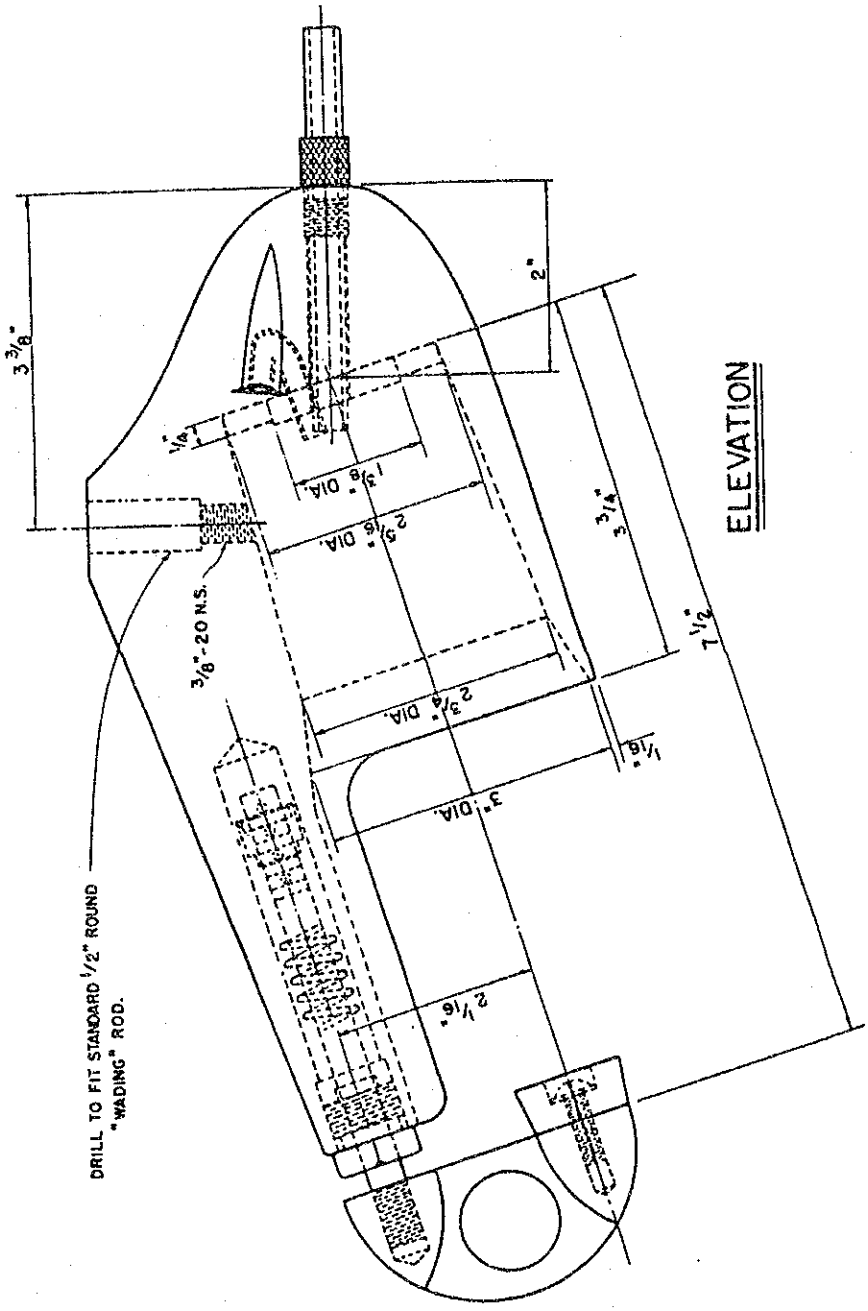
アブルコ川ブエノスアイレス地点の洪水時浮遊砂量（１９８８年９月１－１０日）

Date	Time	Flow m3/s	Susp. Load (t/d)	Date	Time	Flow m3/s	Susp. Load (t/d)	Date	Time	Flow m3/s	Susp. Load (t/d)
9-01	0	10	3,200								
	3	10	3,200	9-05	3	539	1,100,000	9-09	3	24	24,500
	6	20	16,500		6	520	1,000,000		6	23	22,500
	9	34	45,000		9	450	880,000		9	23	22,500
	12	23	22,500		12	400	800,000		12	22	22,000
	15	19	15,200		15	330	660,000		15	21	18,500
	18	20	16,500		18	275	560,000		18	21	18,500
	21	21	18,500		21	220	460,000		21	20	16,500
	24	22	22,000		24	170	360,000		24	20	16,500
9-02	3	24	24,000	9-06	3	145	310,000	9-10	3	19	15,200
	6	24	24,000		6	120	250,000		6	19	15,200
	9	27	29,500		9	110	225,000		9	18	13,500
	12	35	47,000		12	100	209,000		12	18	13,500
	15	42	63,000		15	90	175,000		15	17	12,500
	18	40	59,000		18	82	162,000		18	17	12,500
	21	38	53,000		21	74	130,000		21	16	11,000
	24	36	50,000		24	65	115,000		24	16	11,000
9-03	3	36	50,000	9-07	3	60	114,000				
	6	36	50,000		6	55	93,000				
	9	36	50,000		9	50	83,000				
	12	36	50,000		12	46	72,000				
	15	38	53,000		15	43	64,000				
	18	38	53,000		18	40	59,000				
	21	39	55,000		21	37	51,000				
	24	39	55,000		24	34	47,000				
9-04	3	39	55,000	9-08	3	32	41,000				
	6	40	59,000		6	31	39,000				
	9	40	59,000		9	30	36,000				
	12	40	59,000		12	29	34,000				
	15	45	68,000		15	28	32,000				
	18	100	209,000		18	27	31,000				
	21	330	660,000		21	26	28,000				
	24	540	1,100,000		24	25	26,000				

Total : 1.46 x 10^6 tons
or 1.30 x 10^6 m3

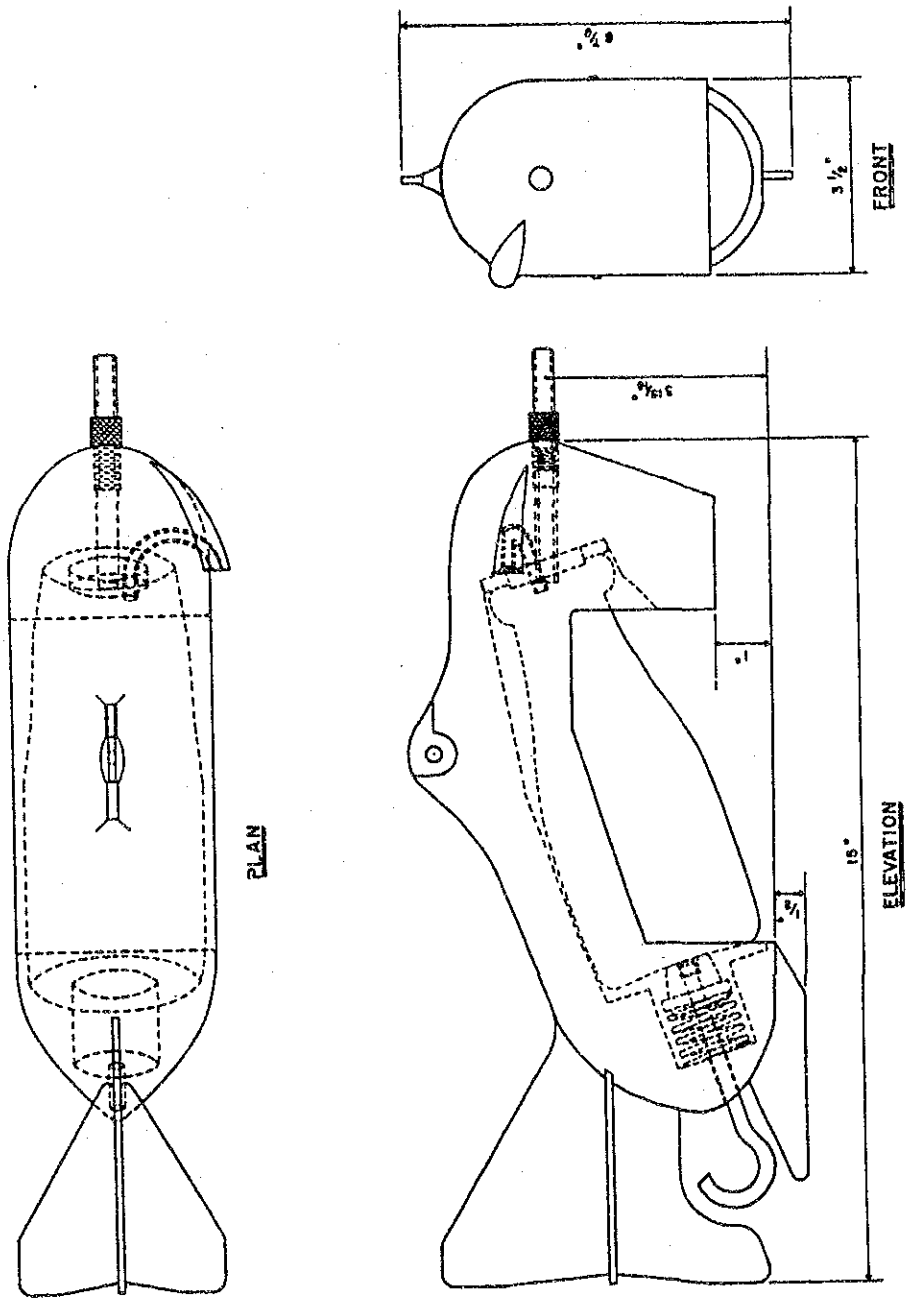
付　図

図 B.1



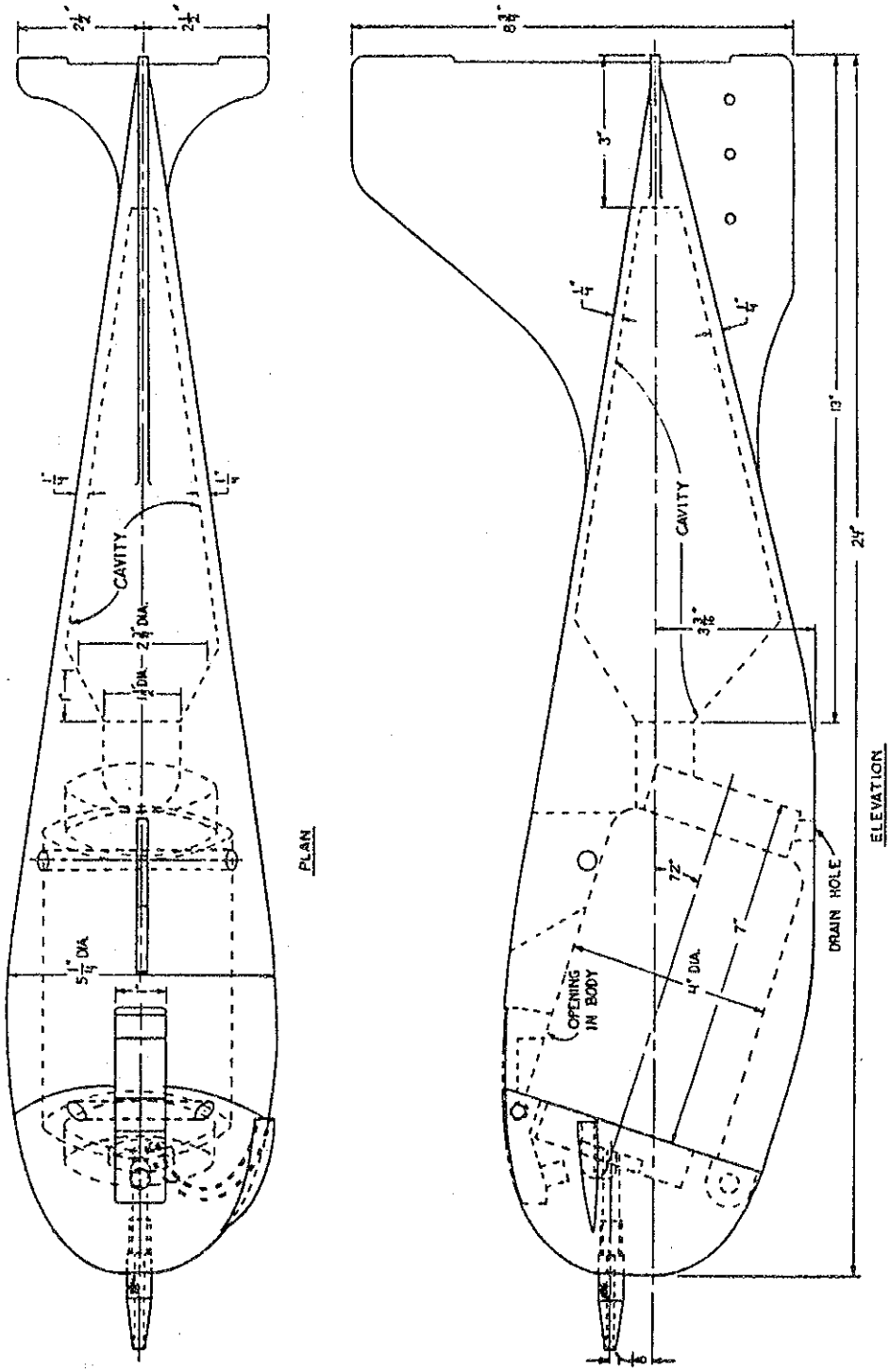
DEPTH INTEGRATION SAMPLER (DH-48)

図 B.2



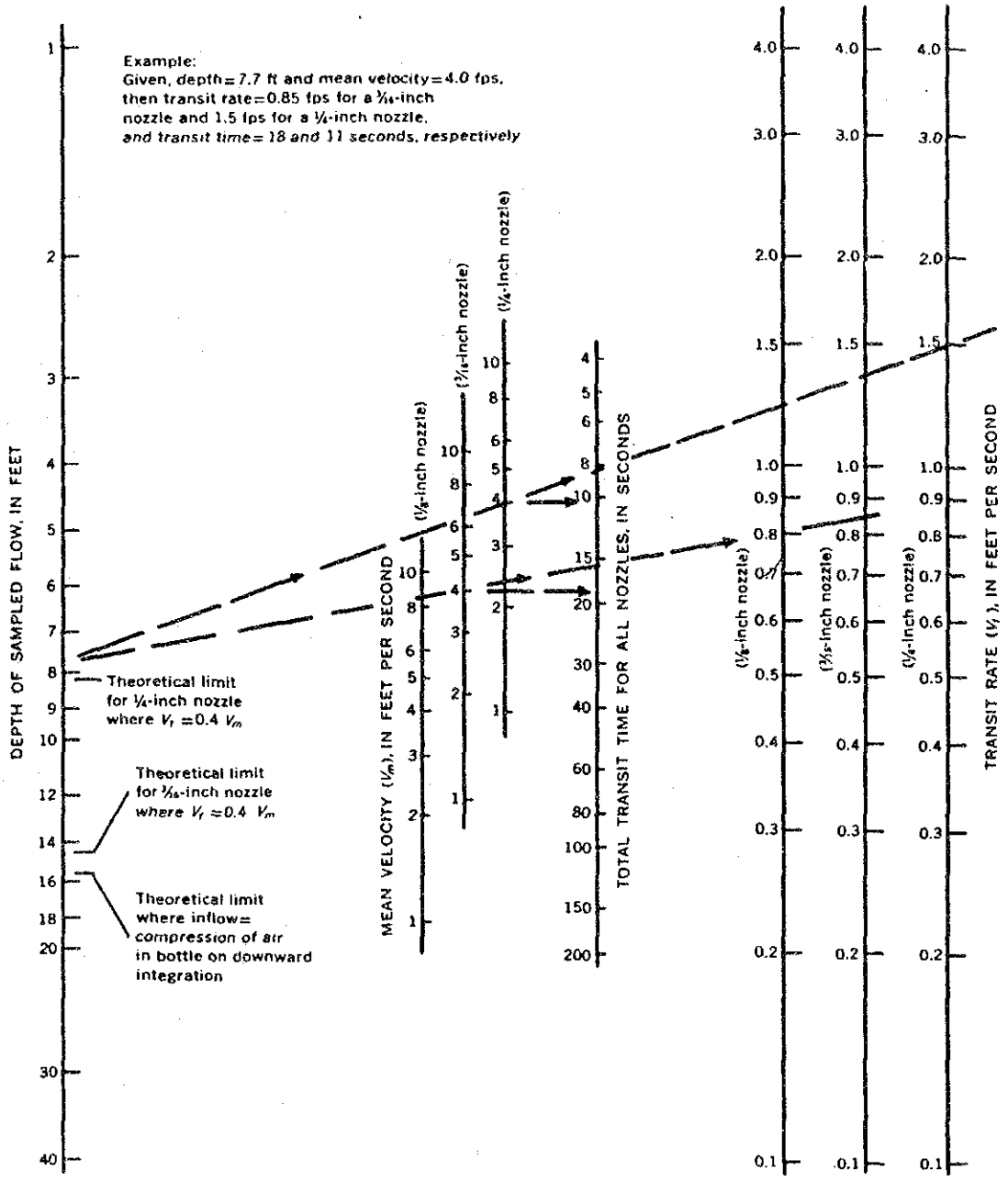
DEPTH INTEGRATION SAMPLER (DH-59)

図 B.3



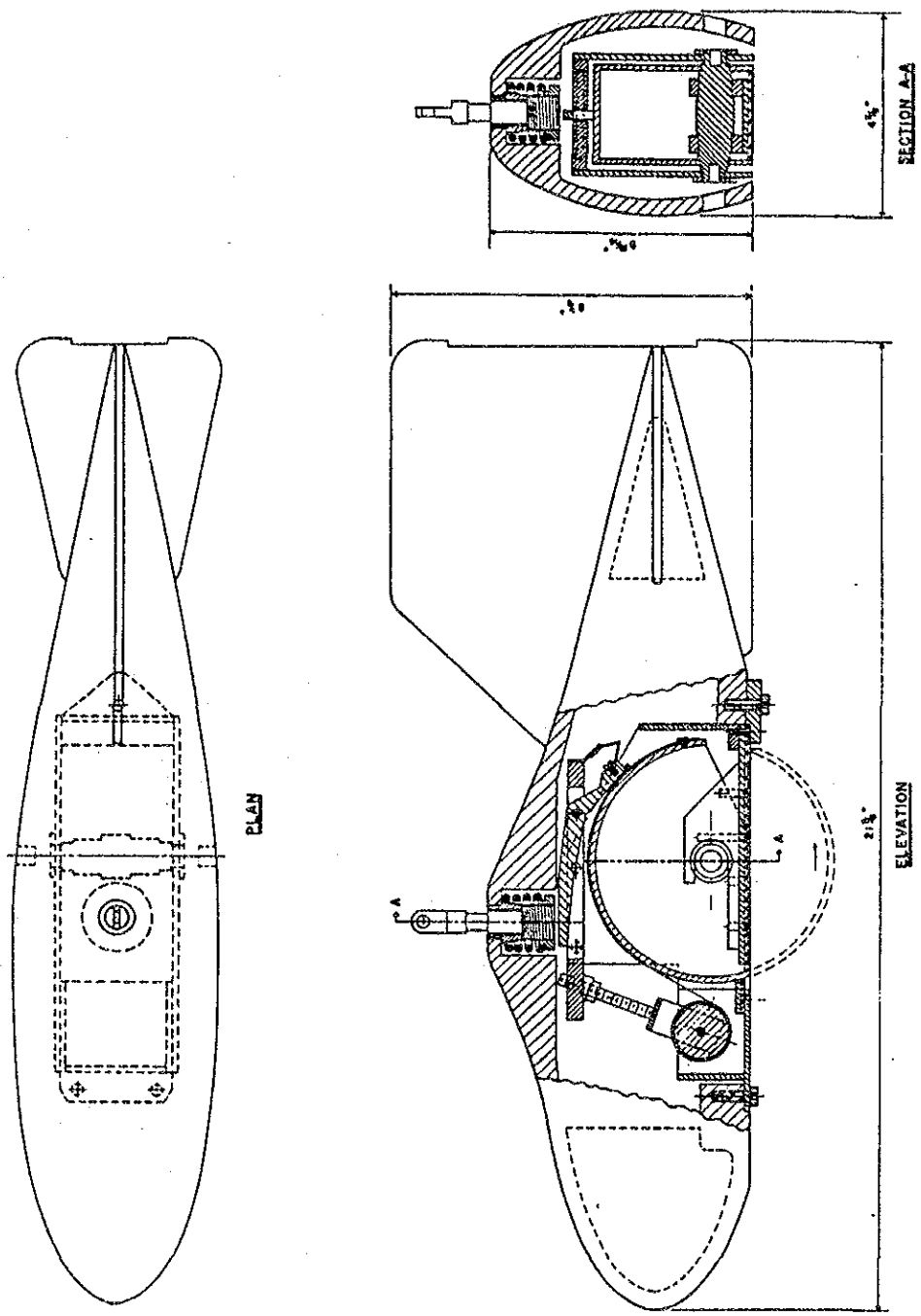
DEPTH INTEGRATION SAMPLER (D-74)

図 B.4



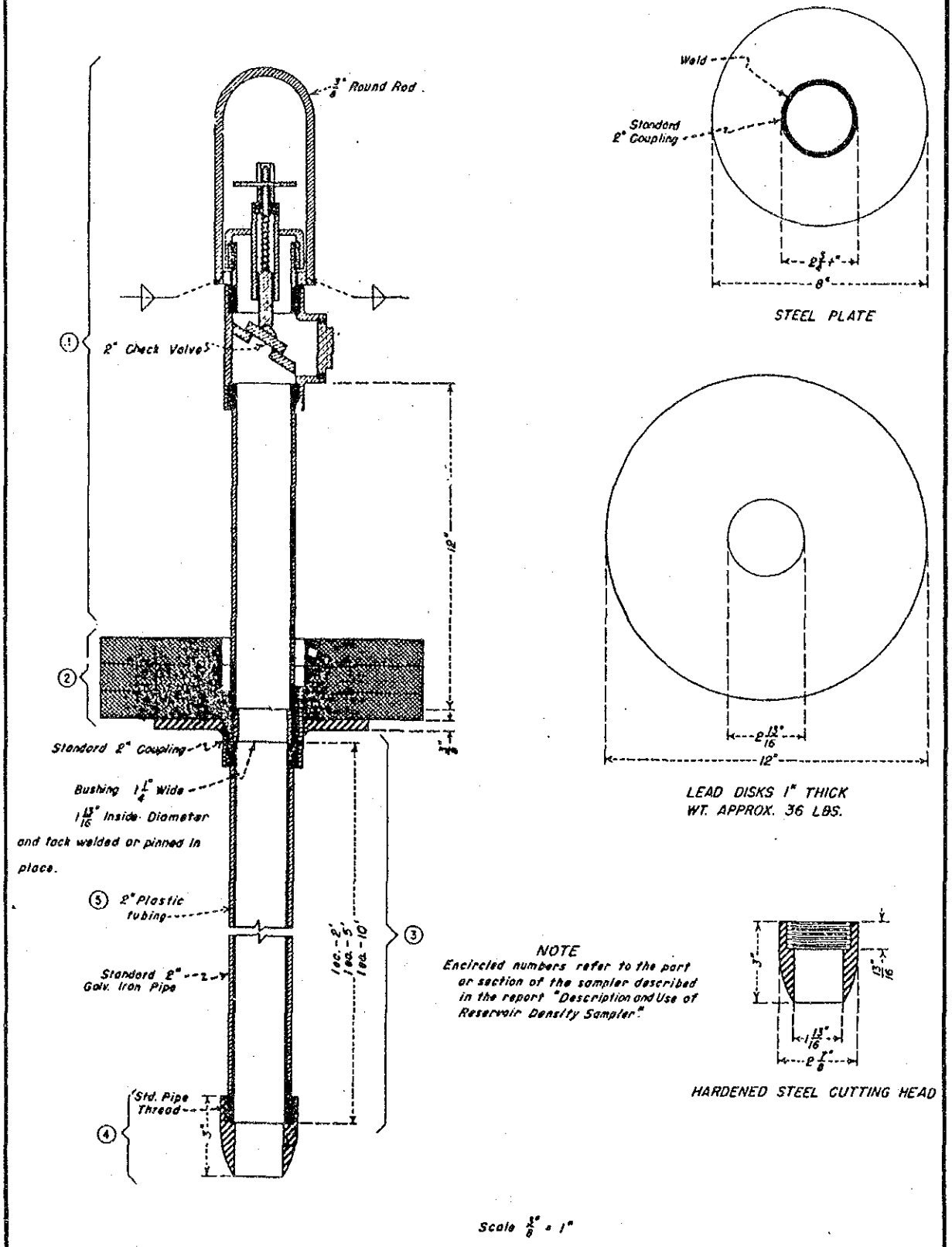
TWO-WAY SUSPENDED SEDIMENT SAMPLING TRANSIT TIME, ASSUMED SAMPLE VOLUME IS 395 ML

図 B.5



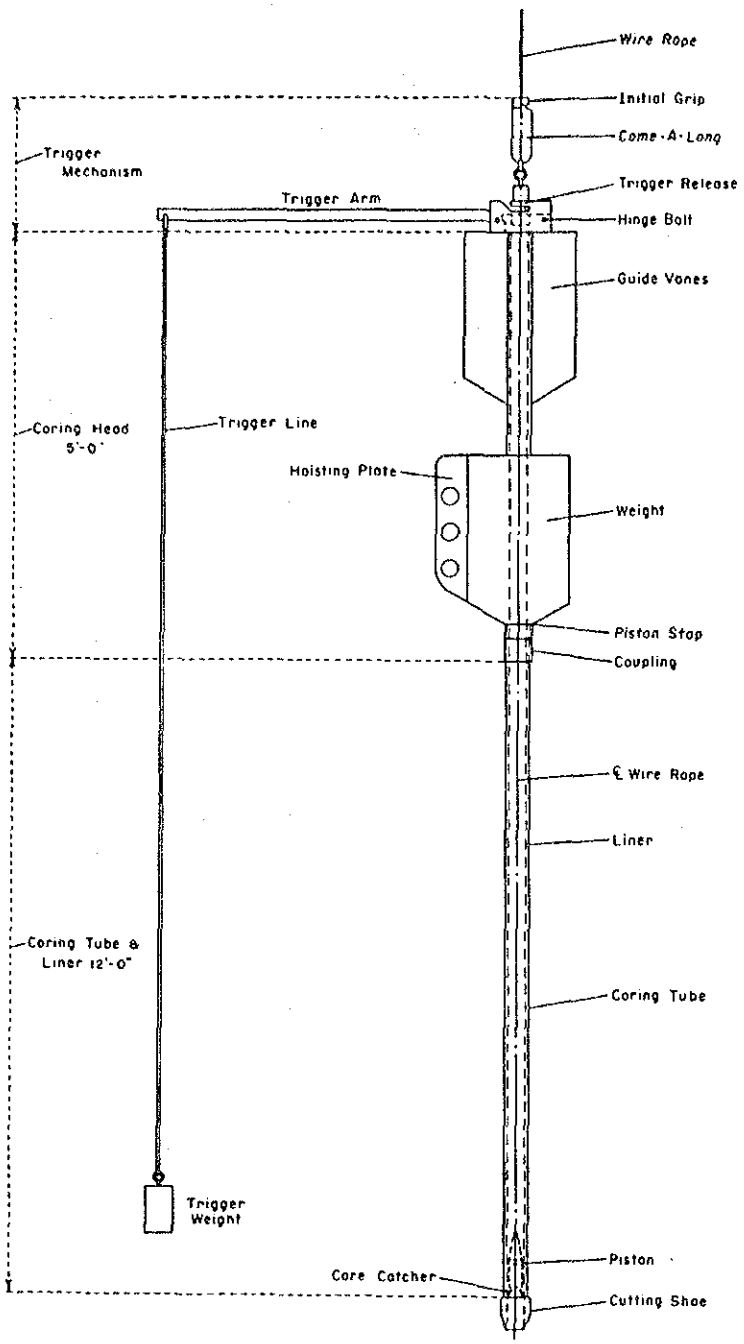
RIVERBED MATERIAL SAMPLER (BHM-60)

図 B.6



RESERVOIR BED MATERIAL SAMPLER

図 B.7



SCHEMATIC DRAWING OF PISTON-CORE SAMPLER

EXAMPLE OF FORM

SEDIMENT ANALYSIS FOR TOTAL CONCENTRATION

SEDIMENT ANALYSIS FORM FOR TOTAL CONCENTRATION

_____ River At _____ Sampler _____

Date Collected _____ Date Analyzed _____ Canal Water Temperature _____

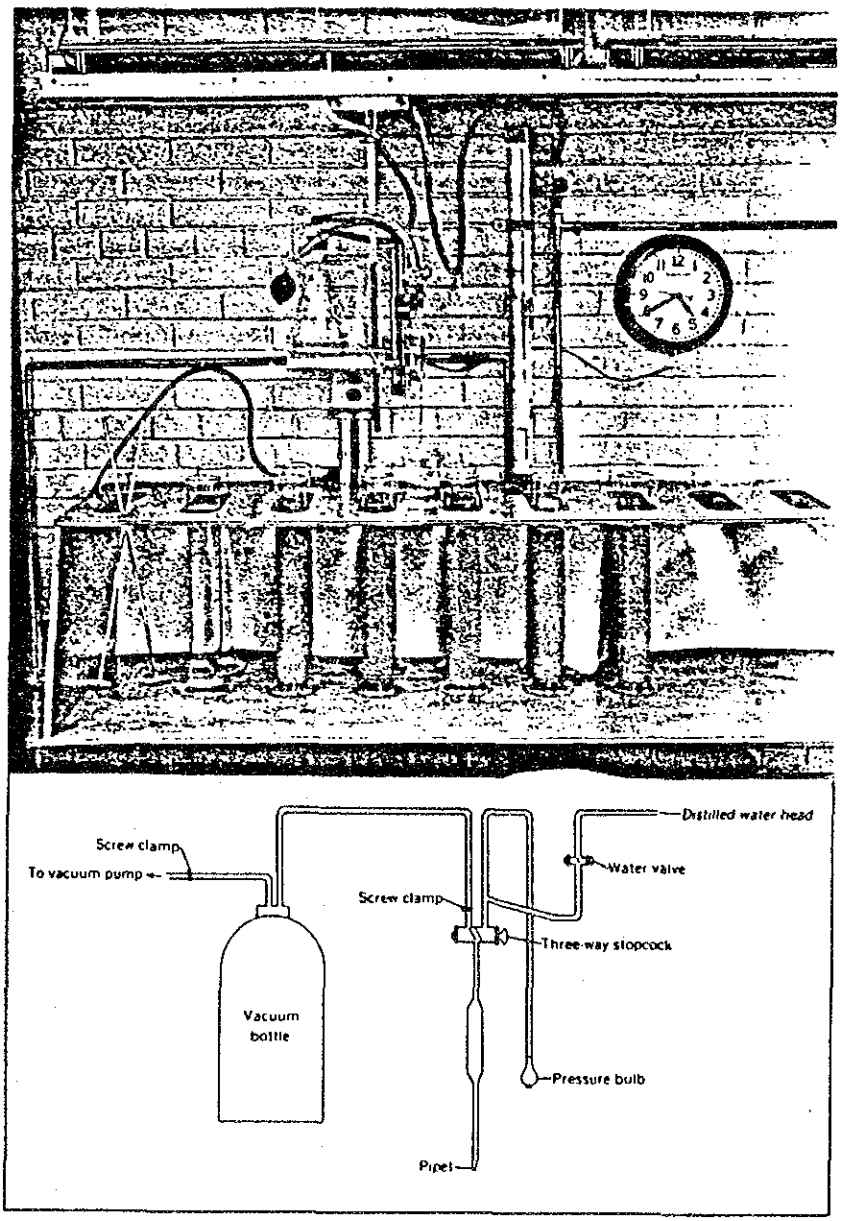
Label Number	Gage Height	Sampling Location	Sampling Location	Sampling Depth	Total Depth	Computations		PPM
						Bottlet & Mixtures = Bottle = Mixture =	Dish & Sediment = Dish = Sediment = Diss. Corr. = Net =	
						Bottle & Mixtures = Bottle = Mixture =	Dish & Sediment = Dish = Sediment = Diss. Corr. = Net =	
						Bottle & Mixture = Bottle = Mixture =	Dish & Sediment = Dish = Sediment = Diss. Corr. = Net =	
							Dish & Sediment = Dish = Sediment = Diss. Corr. = Net =	

Dissolved Solid Correction: ___ cc
W (Sample & Dish) =
W (Dish) =
Difference: =

Analyzed By: _____

Computed By: _____

Checked By: _____



PIPETTE APPARATUS

PARTICLE SIZE ANALYSIS, SIEVE - PIPETTE METHOD

_____ River at _____ Sampler _____ Date Collected _____ Water Temp. _____
Gate Height _____ Sampling Depth _____ Sampling Time _____ Sampling Location _____

Analysis Data

Date _____ Analyzed By _____ Computed By _____ Checked By _____

Water - Sediment Mixture			Dissolved Correction	Results
No.	Bottle + Mixture	Bottle		
1			Disp. Agent = _____	No. of Sample Composed = _____
2			Volume = _____ cc	Wt. of Sediment Mixture = _____ gm
3			Tare Dish = _____ gm	Net Sediment = _____ gm
Total Bottles + Mix =		gpm	Dish + Agent = _____ gm	Mean Concentration = _____ ppm
Total Bottles =		gpm	Net Agent = _____ gm	Sand ≥ .062 = _____ %
Sediment Mix =		gpm	Correction = _____ gm/cc	Silt, between .062-.0055 = _____ %
				Clay < .0055 = _____ %

Sieve Analysis

Particle Size, mm										Pan
Container No.										
Weight-gm	Gross									
	Tare									
	Net									
% of Total										
% Finer than										

Pipette Analysis

Cylinder Volume = cc Pipette No. and Volume = cc Volume Factor =

Particle Size, mm		Conc.								
Clock Time										
Temperature										
Fall Distance										
Settling Time										
Dish No.										
Weight-gm	Gross									
	Tare									
	Net									
	D. Corr.									
	Net Sed.									
	Finer than									
% Finer than										

EXAMPLE OF FORM
SIEVE-PIPETTE METHOD

Size of Particles in mm Time in min. second									Size of Particles in mm Time in min. second								
T°C	.0442	.0312	.0221	.0156	.0110	.0078	.0055	.0039	T°C	.0442	.0312	.0221	.0156	.0110	.0078	.0055	.0039
10	1'-14"	2'-23"	4'-58"	9'-58"	20'-0"	39'-54"	1-20'-12"	2-39-20	25	0'-50"	1'-40"	3'-19"	6'-40"	13'-24"	26'-36"	53'-24"	1-45'-30"
10.5	1-13	2-27	4-54	9-49	19-45	39-21	1-19-06	2-37-13	26.5	0-49	1-39	3-17	6-36	13-15	26-18	52-54	1-44-51
11	1-12	2-25	4-50	9-41	19-30	38-48	1-18-0	2-35-06	27	0-49	1-38	3-14	6-31	13-06	26-00	52-24	1-44-12
11.5	1-11	2-24	4-46	9-39	19-12	38-15	1-16-54	2-32-54	27.5	0-48	1-37	3-12	6-27	12-57	25-52	51-48	1-42-57
12	1-10	2-22	4-41	9-37	18-54	37-42	1-15-48	2-30-42	28	0-48	1-35	3-10	6-22	12-48	25-48	51-12	1-41-42
12.5	1-09	2-20	4-38	9-23	18-45	37-12	1-14-45	2-28-39	28.5	0-48	1-35	3-09	6-15	12-42	25-21	50-27	1-40-42
13	1-08	2-17	4-34	9-09	18-36	36-42	1-13-42	2-26-36	29	0-47	1-34	3-07	6-14	12-36	24-54	50-06	1-39-42
13.5	1-08	2-16	4-31	9-02	18-18	36-12	1-12-45	2-24-42	29.5	0-47	1-33	3-05	6-10	12-27	24-39	49-36	1-38-45
14	1-07	2-14	4-27	8-55	18-00	35-42	1-11-48	2-22-48	30	0-46	1-32	3-02	6-06	12-18	24-24	44-06	1-37-40
14.5	1-06	2-12	4-24	8-48	17-45	35-15	1-10-48	2-20-53	30.5	0-45	1-31	3-01	6-02	12-09	24-09	48-36	1-36-42
15	1-05	2-10	4-20	8-41	17-30	34-48	1-9-48	2-19-06	31	0-45	1-29	2-59	5-58	12-00	23-54	48-06	1-35-36
15.5	1-05	2-09	4-17	8-35	17-15	34-21	1-8-57	2-17-15	31.5	0-44	1-28	2-57	5-55	11-54	23-39	47-36	1-34-36
16	1-04	2-07	4-13	8-27	17-00	33-54	1-8-06	2-15-24	32	0-44	1-28	2-55	5-51	11-48	23-24	47-06	1-33-36
16.5	1-03	2-06	4-10	8-22	16-48	33-27	1-7-15	2-13-42	32.5	0-42	1-24	2-46	5-47	11-39	23-09	46-36	1-32-36
17	1-02	2-04	4-07	8-15	16-36	33-00	1-6-24	2-12-00	33	0-39	1-19	2-37	5-43	11-30	22-54	46-06	1-31-36
17.5	1-01	2-03	4-04	8-09	16-24	32-36	1-5-33	2-10-24	33.5	0-39	1-18	2-35	5-40	11-24	22-39	45-36	1-30-36
18	1-00	2-01	4-01	8-01	16-12	32-12	1-4-42	2-8-48	34	0-38	1-17	2-33	5-36	11-18	22-24	45-06	1-29-36
18.5	1-00	2-00	3-57	7-57	16-00	31-48	1-3-54	2-7-37	34.5	0-38	1-16	2-32	5-32	11-09	22-09	44-36	1-28-33
19	0-59	1-58	3-55	7-51	15-48	31-24	1-3-06	2-6-26	35	0-38	1-15	2-30	5-28	11-00	21-54	44-06	1-27-30
19.5	0-57	1-57	3-52	7-45	15-36	31-00	1-2-21	2-4-28	35.5	0-37	1-15	2-29	5-24	10-54	21-36	43-33	1-26-27
20	0-57	1-55	3-49	7-40	15-24	30-36	1-1-36	2-2-30	36	0-37	1-14	2-27	5-20	10-48	21-18	43-00	1-25-24
20.5	0-57	1-54	3-47	7-35	15-18	30-30	1-0-54	2-1-12	36.5	0-36	1-13	2-25	5-17	10-39	21-00	42-27	1-24-21
21	0-56	1-52	3-44	7-29	15-06	29-54	1-0-12	1-59-36	37	0-36	1-12	2-24	5-13	10-30	20-42	41-54	1-23-15
21.5	0-55	1-51	3-41	7-24	14-54	29-33	1-0-0	1-57-54									
22	0-55	1-50	3-38	7-18	14-42	29-12	0-58-42	1-56-48									
22.5	0-54	1-49	3-36	7-13	14-30	28-51	58-03	1-55-27									
23	0-53	1-47	3-33	7-08	14-18	28-30	57-24	1-54-06									
23.5	0-53	1-46	3-31	7-03	14-09	28-12	56-42	1-52-48									
24	0-52	1-44	3-28	6-58	14-00	27-54	56-00	1-51-44									
24.5	0-52	1-43	3-25	6-53	13-54	27-36	55-24	1-18-12									
25	0-51	1-42	3-23	6-49	13-42	27-18	54-48	1-49-00									
25.5	0-50	1-41	3-22	6-44	13-36	27-00	54-06	1-47-15									

TIME CHART FOR PIPETTE ANALYSIS

図 B.12

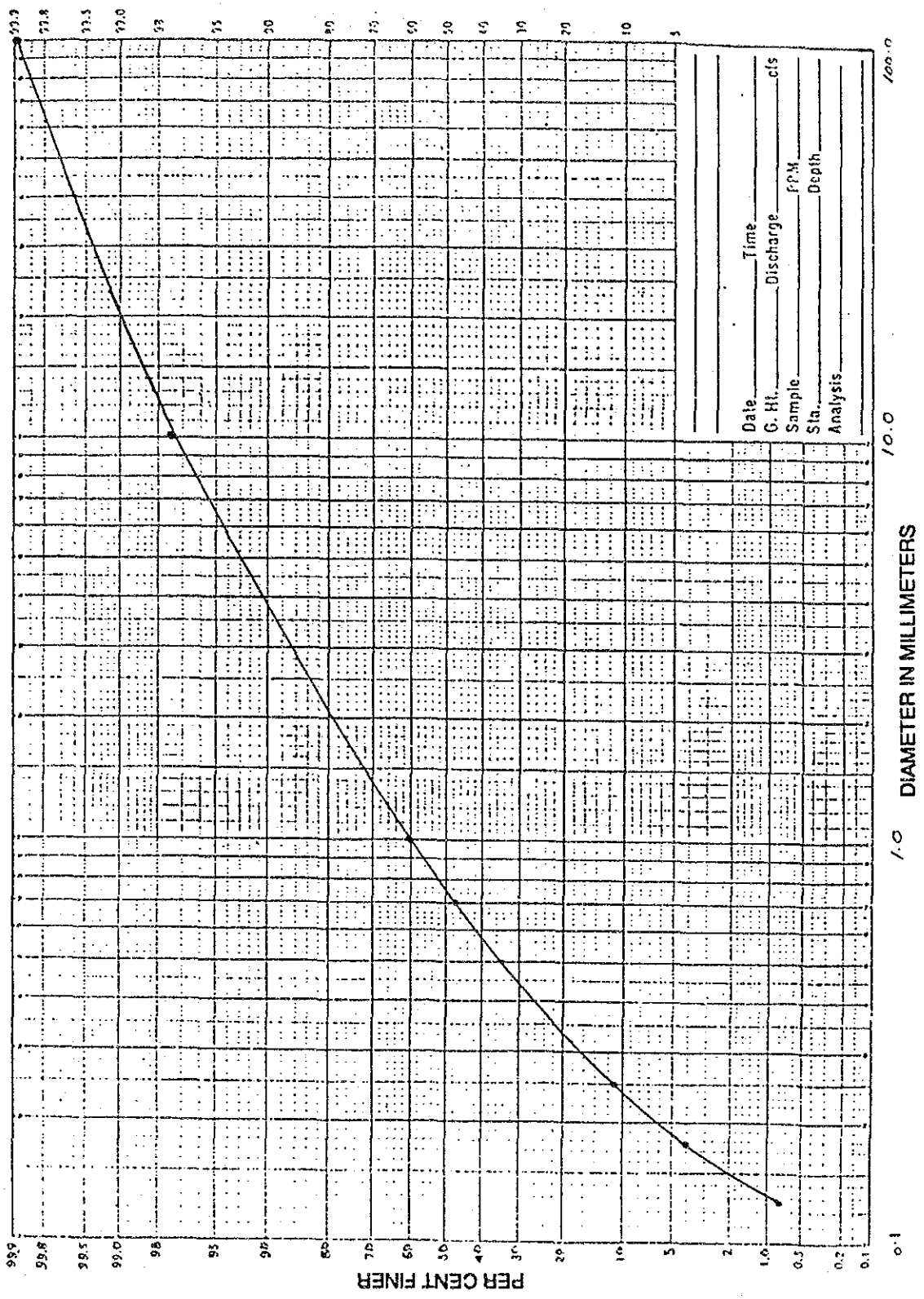
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION, BED MATERIAL SIEVE ANALYSIS

_____ River at _____ Date Collected _____
Gate Height _____ Sampling Time _____ Sampling Location _____
Date Analyzed _____ Analyzed By _____ Checked By _____

Particle Size	Sieve No.	Container No.	Weight (gm)			% of Total	% Finer
			Gross	Tare	Net		

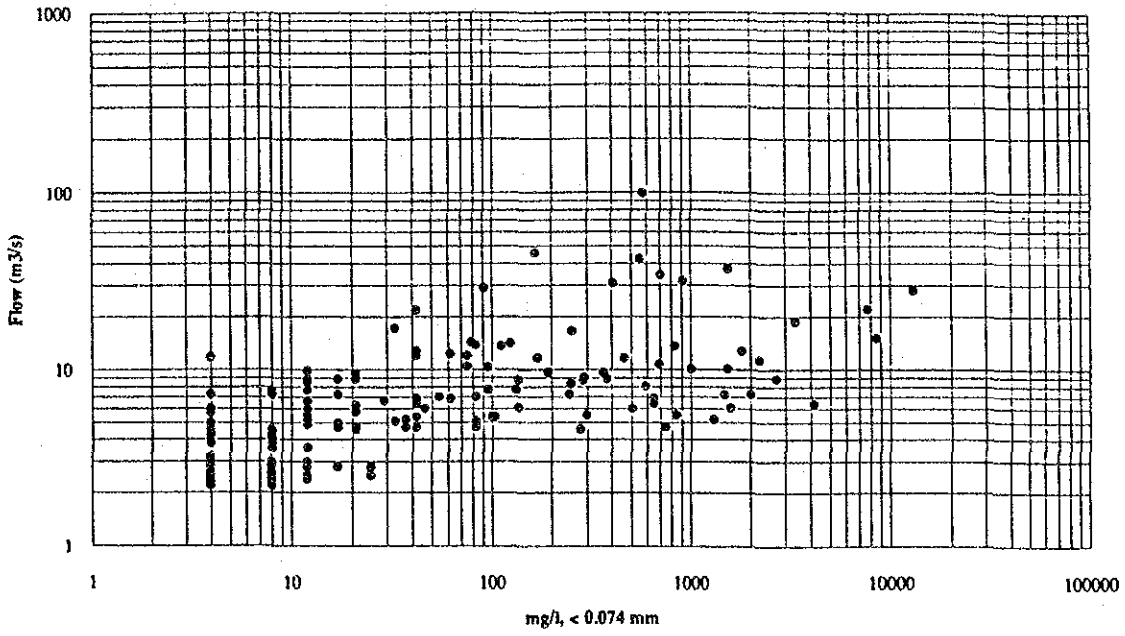
EXAMPLE OF FORM
BED MATERIAL SIEVE ANALYSIS

図 B.13



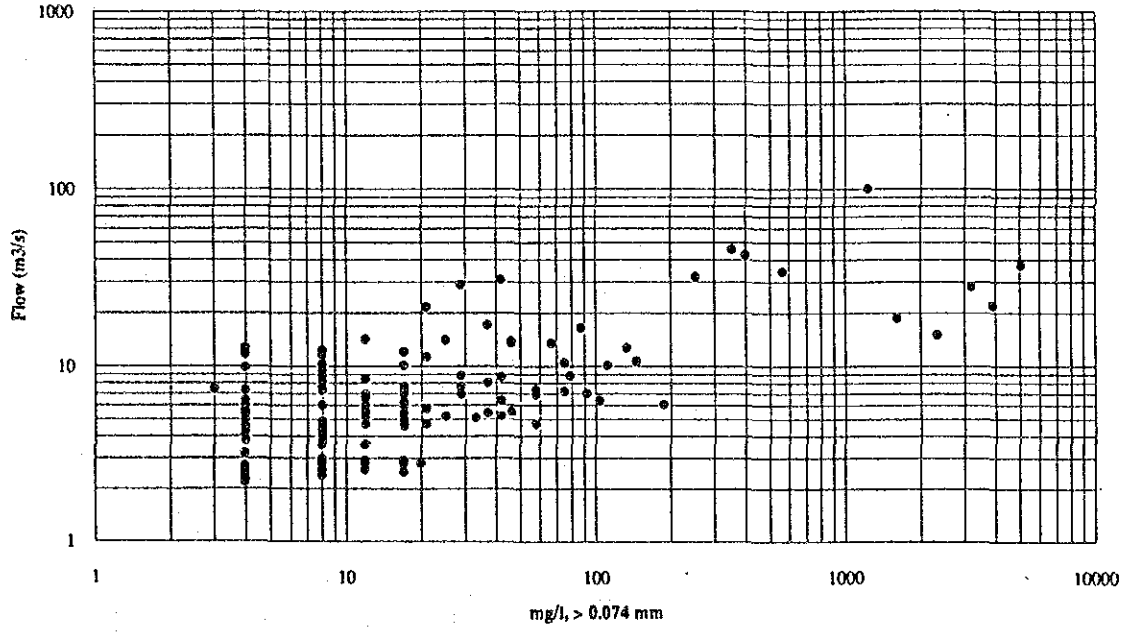
EXAMPLE OF GRADATION CURVE FOR BED MATERIAL

図 B.14



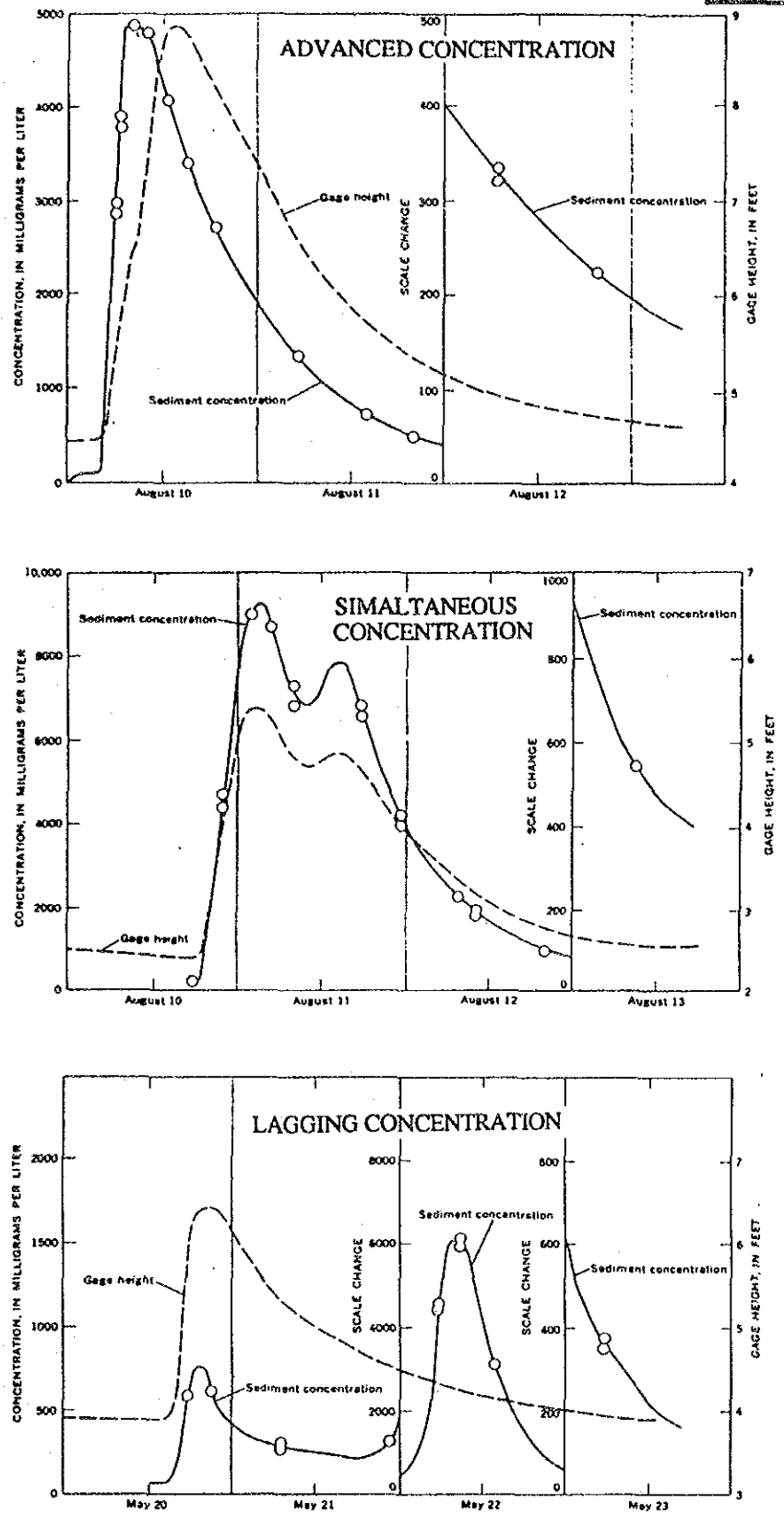
APULCO RIVER AT BUENOS AIRES
SUSPENDED CONCENTRATION < 0.074 mm

図 B.15



APULCO RIVER AT BUENOS AIRES
SUSPENDED CONCENTRATION > 0.074 mm

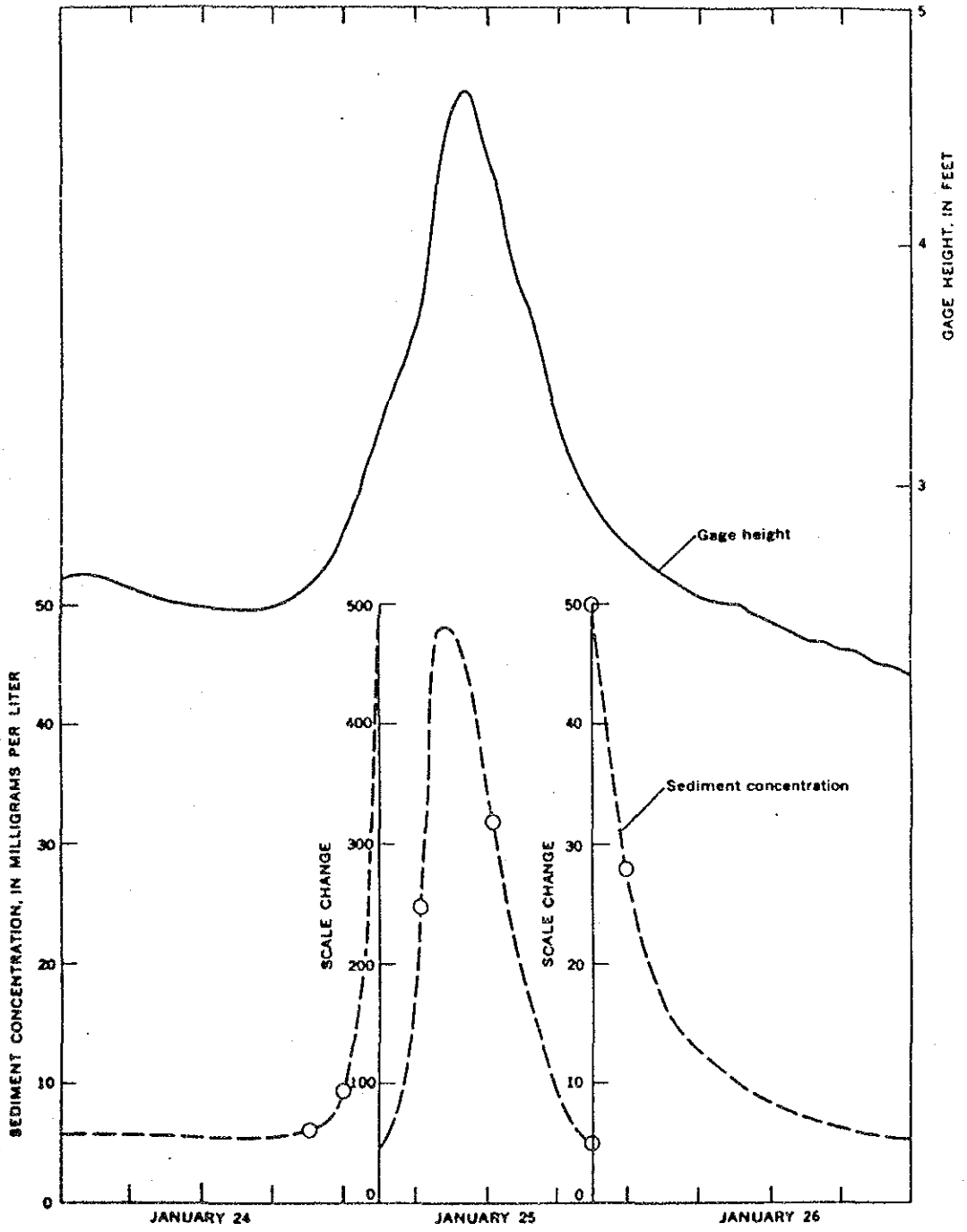
図 B.16



SOURCE: Techniques of Water Resources Investigation of the United States Geological Survey, Computation of Fluvial-Sediment Discharge, Book 3, Chapter C3

GAGE HEIGHT AND SEDIMENT CONCENTRATION

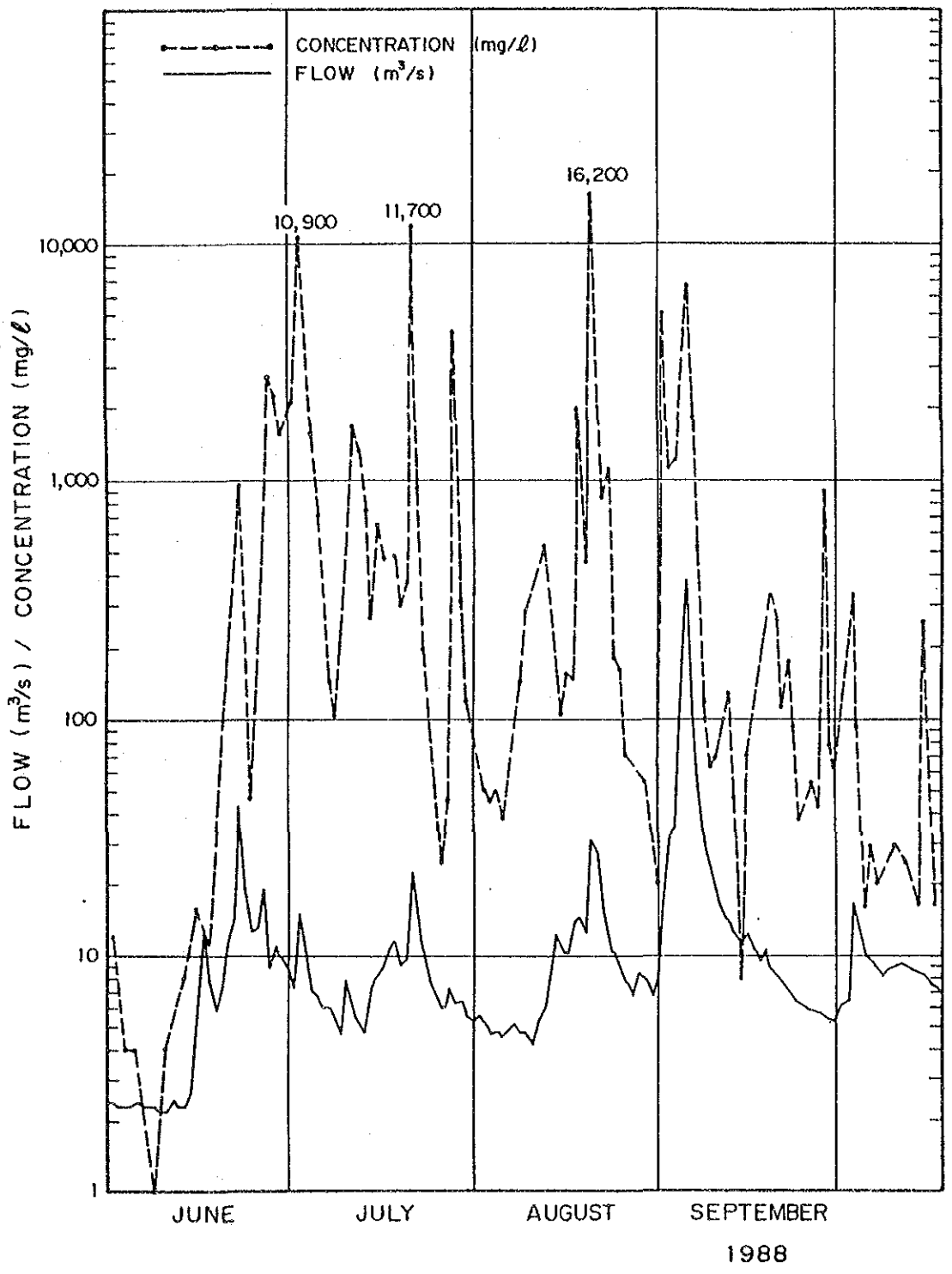
図 B.17



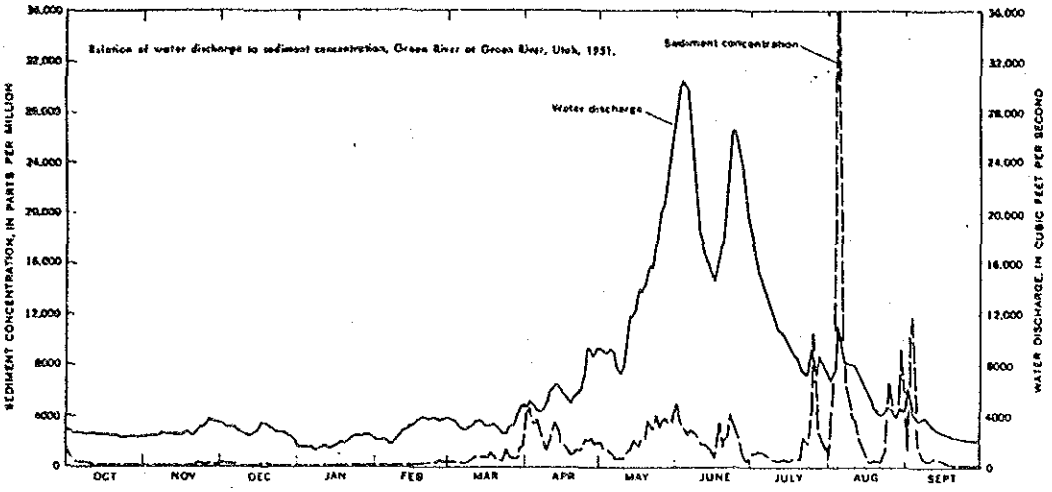
SOURCE: Techniques of Water Resources Investigation of the United States Geological Survey, Computation of Fluvial-Sediment Discharge, Book 3, Chapter C3

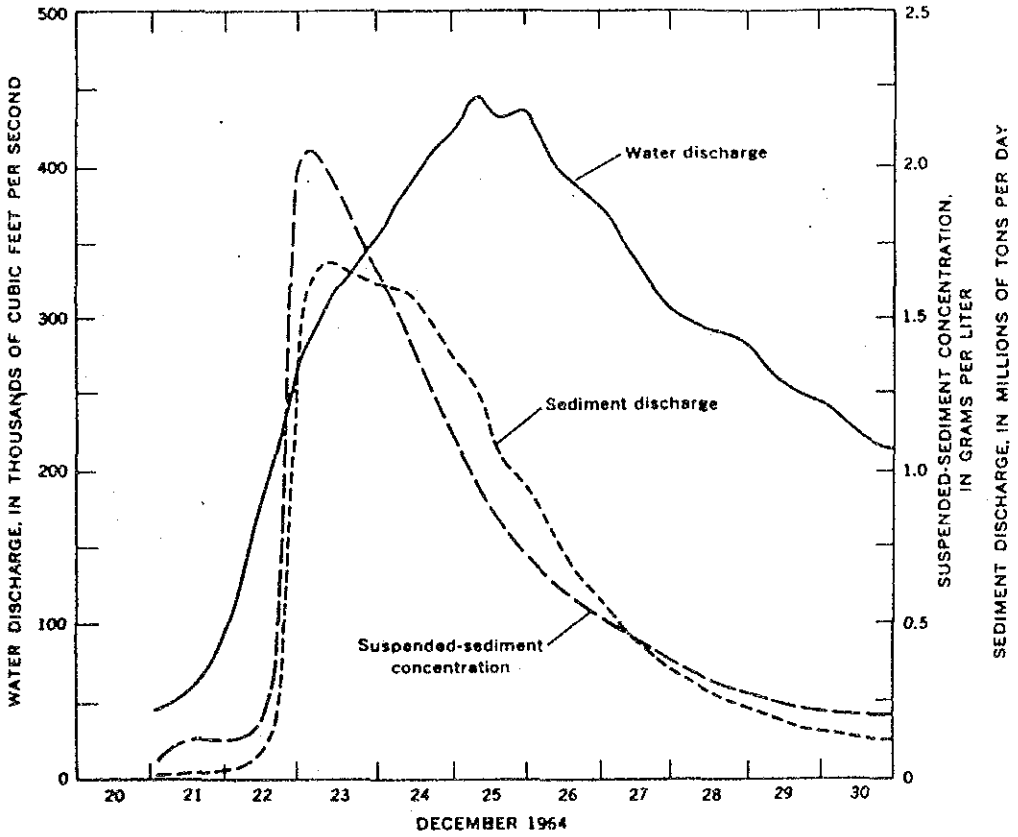
GAGE HEIGHT AND SEDIMENT CONCENTRATION, COREY CREEK NEAR MAINESBURG, PA.

図 B.18



FLOWS AND SUSPENDED SEDIMENT CONCENTRATIONS
OF APULCO RIVER AT BUENOS AIRES

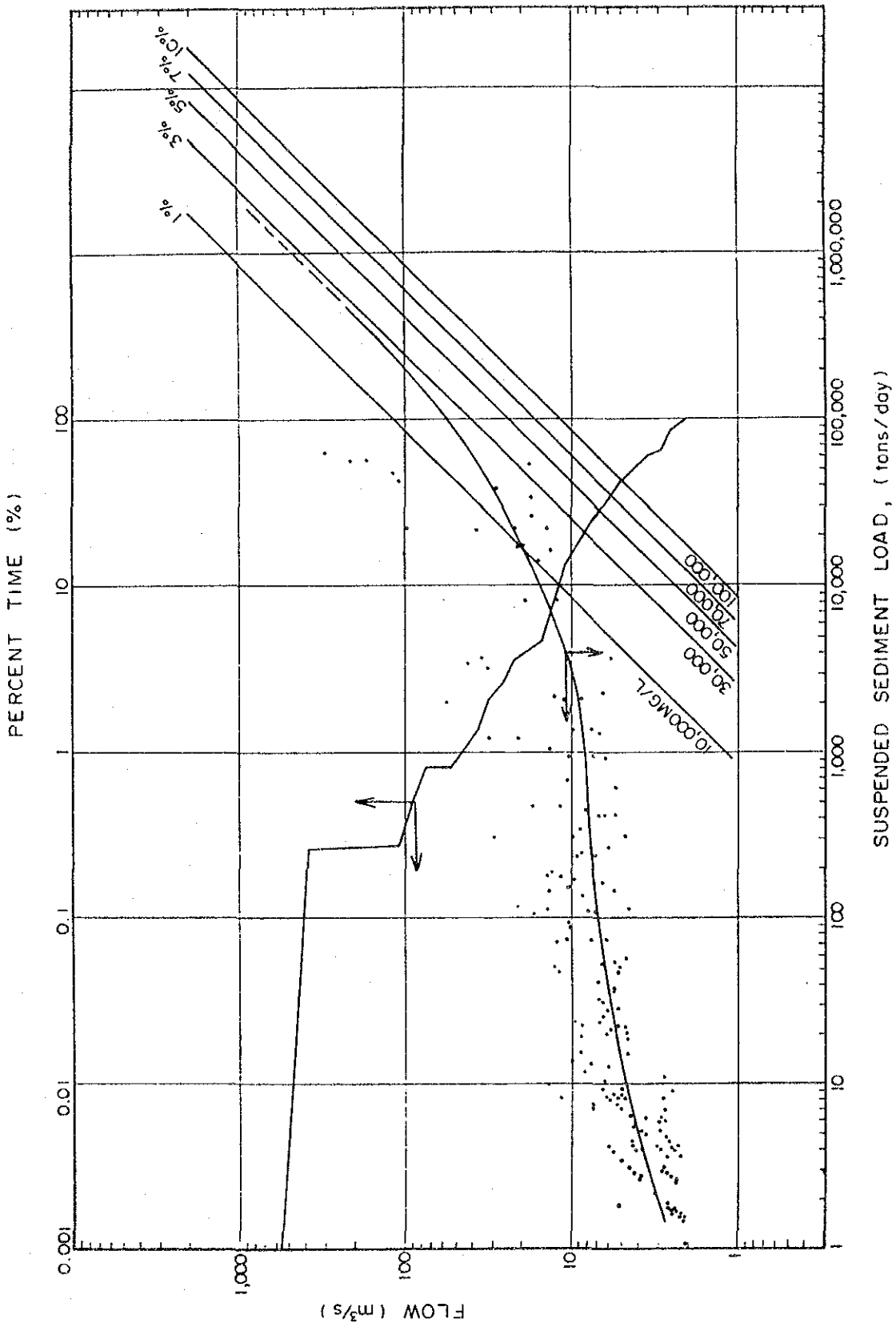




SOURCE: Techniques of Water Resources Investigation of the United States Geological Survey, Computation of Fluvial-Sediment Discharge, Book 3, Chapter C3

TIME-LAGS BETWEEN WATER DISCHARGE AND SEDIMENT DISCHARGE PEAKS

図 B.20



SEDIMENT RATING CURVE AT BUENOS AIRES

付録　C

JICA 調査で提案した現地調査の仕様（抄訳）

付録C　ＪＩＣＡ調査で提案した現地調査の仕様（抄訳）

C-1　現地調査の必要性

将来の堆砂予測を行うため、堆砂データ及び地形データの追加が必要になった。この調査はCFEが実施することで了承された。

C-2　サンプリング、ボーリング及び室内試験

堆砂の粒径分布及び密度を調べるため、堆砂のサンプリングを行う。また、試料採取ばかりでなく原河床の確認のためにボーリングも行う。

(1) 作業範囲

—堆積土砂上層３m（乱さない試料）：コアータイプサンプラーの使用、及び全堆砂層のボーリングによる原河床の確認

—場所：上層３m、１５ヵ所、ボーリング５ヵ所

(2) 使用機材

—ポンツーンに乗せた作業架台

—ボーリング機械（孔径86mm以上、深さ100m以上の能力）

—ドリルチップはアロイチップ

—コアータイプサンプラー（乱さない試料の採取）

—標準貫入試験機材：USBRアースマニュアル　E-21

(3) サンプリングとボーリング

標準貫入試験は、1.5m間隔（５つのボーリング孔について）。試料は、ビニール袋に保管してサンプルボックスに保管。

(4) 室内試験

室内試験の項目は、次の通り。

（a）　粒度試験

（b）　土粒子比重試験

（c）　含水比試験

（d）　密度試験

上層3m層に対しては、上記4項目すべて行い、ボーリングについては上記（a）、（b）のみを実施。試験は、ASTM又は同等の手順に従って行う。

(5) ボーリング位置の選定

ボーリング位置の測量、ケーシングパイプの頭部、底部標高の計測。

(6) ボーリングの記録

日報には、以下を記載。

（a）　ボーリング孔番号、位置

（b）　孔口の標高

（c）　日付

（d）　ボーリング機械

（e）　前日の進捗、当日の進捗

（f）　サンプル採取率

（g）　サンプルの観測記録

（h）　標準貫入試験の記録

（i）　同一孔での上層サンプリングの深さ、サンプル番号

（j）　朝、夕方の貯水池水位

ボーリングログには上記データを記載する。

C-3　貯水池堆砂測量プログラム

堆砂測量に対する提言は下記の通り。

(1)　測量線の固定

(2)　詳細測量は、5年に1回

(3)　概略測量は、年に１回、又は、半年に１回（雨期の前後）

(4)　縦断測量は、年に１回（貯水池中央部）

(5)　乱さない試料は、コアータイプサンプラーを使用して採取

C-4　河川流砂量測定

流砂量測定には、深度ー加積サンプラーを使用すること。下記の地点の粒度分布が必要。

—サウトラ北北東オコチンゴで３試料

—フアフアストラ近くのアプルコで３試料

C-5　河川横断測量

下記の河川横断図が必要。

(1) ダム上流アプルコ本川

—プエノスアイレス流量観測所

—上記より50m下流、100m上流及び200m上流

(2) ダム下流アプルコ本川

—洪水吐末端と発電所間、1km間隔

—放流路下流

—上記下流150m間隔で３ヵ所

C-6　濁度測定

濁度測定は濁度計を使用（取水口と放水路）、測定は雨期は週１回、乾期は月１回。但し、測定値は間接的方法によっているので正確ではない。従って参考値とすべきである。

C-7　サンプリングと室内試験

サンプリングと室内試験の方法と手順は付録Ｂに従って実施すること。

付録　D

水力発電所の維持・管理

付録D　水力発電所の維持・管理

D-1　序

維持・管理はプロジェクトの計画・設計時点から考慮すべき問題である。

水力発電所の第一の目的は、最小の費用と最小の人的、自然資源を使用して発電を行うことである。プロジェクトの全期間を通じて発生する費用には下記のものがある。

- 初期投資額（金利や事業の運転期間も考慮する。）
- 運転費（機械の効率や運転員の技術レベルも考慮する。）
- 維持費（費用及び頻度、損傷部修理に必要な時間）
- 操業を廃業又は停止する費用

全ての関連費用を適正にかつ正確に見積る必要がある。

水力機械は長期にわたって最小の維持費用で運転が可能であり又、できる限り短い時間で維持・修理のできるものを選ぶべきであろう。維持・管理を行う場合に必要となる発電停止時間を最小限にすることは発電事業者が強く望むところである。

維持・管理を適正に行うためには運転記録の保持、記録の分析、フィードバックを行い、維持・管理手順と機器の仕様を改善してゆく必要がある。

維持・管理による発電停止を制限するためには、下記の事項がポイントになる。

- 機器の仕様が信頼性に重点を置いていること。
- 最小費用で効率的に維持・管理が行えるプログラムであること。
- 維持・管理要員の訓練。
- 維持・管理手順の確立と費用の分析。
- 適正なスペアーパーツのリスト。
- 修理室の確立・整備。
- 水車点検器具の整備。
- 最適運転指針の確立。
- 機器の更新時期の予定。

D-2 信頼性に重点を置いた仕様

大きな電力会社では設計の改善と標準化を助言するグループが存在するはずである。発電所の運転要員は点検の対象となる機器の修理や改善について彼らに相談すべきである。

これらの問題提起は分析され今後の機器購入に参考となる。維持・管理のための発電停止時間を減らすためには下記のことが考えられる。

- 大型水車の場合、下部ウイケットゲートを下方で分解することにより、水車を分解せずに下部ウイケットゲートを更新できる。
- 計測、点検、グリーシングのためのアクセスを用意しておくこと。（フランシス水車の磨耗を計測するためのアクセスポート、ランナー点検のためのプラットフォーム、はしご／台の用意）
- 維持・修繕設備／工具が容易に利用できること（工具をクレーンを使用してケーシングの中に容易に入れることができること）。
- 耐キャビテーション材料（例ステンレススチール、アルミブロンズ）をランナー、ランナーチャンバー、スロットリング、コーンバルブのシートやノズルに用いること。

D-3 経済的維持・管理計画

維持・管理計画には以下に示す通り簡単なものから複雑なものまである。

- 若干の修理は伴うが故障するまで運転する。
- 予防的維持・管理（Preventive Maintenance, PM）。
- 信頼性統合維持・管理（Reliability Centered Maintenance, RCM）

RCMは、軍や原子力発電所で使用されている。又、米国電力研究所（EPRI）でもRCMグループを統轄している。RCMは52の原子力発電所で適用されているが初期コストが低下しその効果が評価されているので他の産業にも普及しはじめている。

PMは水力発電所で適用されているものである。以下にPMについて述べる。

維持費用は下記のものを含んでいる。

- 発電停止による損失
- 人件費／労務費
- スペヤーパーツ費（金利、保管料、間接費を含む。）

- 技術費（監督費、検査費、分析費を含む。）

PMを導入すれば、初期の技術費は高くなるが、もしこの投資を十分に行わなければ、PMは無効となり、不必要な維持を行うか又はスペアーパーツが大量に必要となる。

又、多くのコンピューター維持・管理システム（Computer Maintenance Management System, CMMS）も顧客のニーズによって修正され導入されている。この場合、まず全ての機器をラベル化する必要がある。次はCMMSを導入し適正な維持・点検プログラムを作成することである。最後はプログラムを実施し、O & M要員の実際の経験をフィードバックさせることである。

D-4 水車監視機器（HTSI）

新しい水車・発電機では監視制御とデータ入力機器を備えているものだ多い。この費用は水車・発電機の費用に比べれば安い。通常スラストベアリングの故障による費用よりも安い。HTSIでは振動特性を計って故障の予測をすることもできる。計測するものは下記の通りである。

- ガイドベアリングと水車ランナーの振動
- 軸スラストの位置
- 温度
- ウィケットゲートの位置、水車流量、水圧、貯水位、放水位、回転数、電圧、出力
- キャビテーション

コンピューターによってアナログデータはディジタルデータに変換する。

水車・発電機を新たに購入する場合、監視機器システムを導入することは意義がある。購入時、価格よりも品質に重点を置くことが重要である。

D-5 インデックステスト

水車に関してはインデックステストを2年から5年の間隔で実施すべきである。これによりキャビネーション、磨耗、その他の損傷による損失を計ることができる。

D-6 最適運転計画

部分負荷の場合、全てのジェットを部分開放するよりも、使用ジェットの数を対で減らし全開にし

て運転することにより砂による磨耗の軽減を図ることができる。

1993年8月、アキューソニックは、スクールストリート水力発電所の制御システムでの実績に基づいて"水力システムの性能改善"という論文を発表している。これは貯水位と放水位の変動に従って発電分担を決定するものである。

D-7 オーバーホールと改良

水車のオーバーホールは25年～50年の間隔で行われる。マサテペック水力のオーバーホールを行う場合、下記の事項を含む必要がある。

- 水車ランナーの更新
- ニードルとシートの更新、ガードの修繕／更新
- ガイドベアリングの点検／修理、ベアリングクーラーの更新
- ジェットデフレクターの設置、ジェットデフレクターブッシングの更新

通常、フランシス水車やカプラン水車の更新では、効率が2%程度上昇する。

25年から30年前に設置された発電機のインシュレイティング材を改良すれば15%程度の出力増が期待できる。

付録　E

調査で入手した地形図

付録E　調査で入手した地形図

1. Damsite: Scale 1:1,000

- Title : Presa La Soledad, Sitio de La Cortina
- Contour line : 5 m
- Produced by : CFE, Depto. Obras Civils, OFNA de Proyectos
- Produced in : 1974
- No. of sheets : 1
- Remarks : Rock contour lines are shown. A reservoir area of 300 m in distance from dam is covered.

2. Apulco basin/Check dam sites: Scale 1:50,000

- Title : Planta Hidroelectrica Mazatepec, Puebla, Cuenca del Rio Apulco
- Contour line : not shown
- Produced by : CFE, Gerencia Gral de Operacion, Depto. Ingenieria Civil, Oflcina de Rehabilitacion de Cuencas
- Produced in : 1985 (?)
- No. of sheets : 1
- Remarks : Locations of 25 check dams are shown.

3. Reservoir area: Scale 1:2,500

- Title : Presa La Soledad, PUE, Batimetria Sept. 1988, Configuracion del Vaso
- Contour line : 5 m
- Produced by : CFE, Unidad de Estudios de Ing. Civil, Departamento de Topografia y Batimetria
- Produced in : Sept. 1988
- No. of sheets : 2
- Remarks : Storage volume curve is shown.

4. Reservoir area: Scale 1:2,500

- Title : Presa La Soledad, PUE, Batimetria May - 1990, Configuracion del Vaso
- Contour line : 5 m
- Produced by : CFE, Subdireccion de Construccion, Gerencia de Ingeneria Civil, Subunidad de Est Civiles, Departamento de Top y Bat, Superintendencia de Estudios Zona Golfo
- Produced in : June 1990
- No. of sheets : 2
- Remarks : River profile and storage volume curves are shown.

5. Reservoir area: Scale 1:2,500

- Title : Batimetria de Detalle Area Critica
- Contour line : 5 m
- Producedby : CFE, Subdireccion de Construccion, Gerencia de Ingeneria Civil Subunidad de Est Civiles Departamento de Top y Bat Superintendencia de Estudios Zona Golfo
- Produced in : May 1990
- No. of sheets : 1
- Remarks : River profile is shown. Near dam and intake site only.

6. Reservoir area: Scale 1:2,000

- Title : Presa La Soledad, EDO de Puebla, Batimetria
- Contour line : 5 m
- Produced by : CFE, Subdireccion Techica, Gerencia de Ingenieria Civil, Subgerencia de Estudios Civiles, Departamento de Topografia y Batimetria, Superintendencia de Estudios Zona Golfo
- Produced in : June 1992
- No. of sheets : 3
- Remarks : River profile and storage curve are shown.

7. Reservoir area: Scale 1:1,000

- Title : Presa Soledad, Edo, de Puebla, Batimetria Area Critica
- Contour line : 1 m

- Produced by : CFE, Subdireccion Techica, Gerencia de Ingenieria Civil, Subgerencia de Estudios Civiles, Departamento de Topografia y Batimetria, Superintendencia de Estudios Zona Golfo
- Produced in : June 1992
- No. of sheets : 1
- Remarks : Near dam and intake sites only.

8. Reservoir area: Scale 1:500

- Title : Vaso La Soledad, Plano Batimetrico de la Ampliacion del Area Critica en la Zona de la Cortina
- Contour line : 1 m
- Produced by : CFE, Gerencia General de Estudios e Ingenieria Preliminar, Subgerencia de Ing. Basica, Depto. de Geologia, Brigada de Evaluacion y Estudios Especiales
- Produced in : November and December 1977, Jan. 1988
- No. of sheets : 6 (2/6 not available)
- Remarks : 1/6 shows poligonal de Apoyo in 1:2,000 scale.
  5/6 shows a critical area in 1/500.
  6/6 shows river profile and storage volume curve.

9. River profile: Scale 1:500 V, 1:5,000 H

- Title : Vaso La Soledad, Perfil Rio Apulco, Calculo de Areas y Capacidades
- Produced by : CFE, Gerencia General de Estudios E Ingenieria Preliminar, Subgerencia de Ing. Basica, Depto. de Geologia, Brigada de Evaluacion y Estudios Especiales
- Produced in : January 1978
- No. of sheets : 6 (only 6/6 provided)
- Remarks : River profile and storage capacity curve are shown. Original riverbed profile is shown. 6/6 shows the river profile and storage volume curve.

10. Damsite topo. map: Scale 1:2,000

- Title : Sistema Hidroelectrico del Rio Apulco, PUE, Planta de Mazatepec, Levantamiento Vaso La Soledad

- Contour line : 5 m
- Produced by : CFE, OFNA de Estudios, Secc. Topografia
- Produced in : (?)
- No. of sheets : 1
- Remarks : Only reservoir area of 700 m for dam covered.

11. Topo-map of Rio Apulco: Scale 1:10,000

- Title : Sistema Hidroelectrico del Rio Apulco, PUE, Levantamiento Aero-Foto Grametrico
- Produced by : CFE, Departamento de Estudios
- Produced in : May 1955
- No. of sheets : 9

12. Project area: Scale 1:250,000 in colour

- Title	:	Poza Rica	F14-12
		Veracruz	E14-3
		Ciudad de Mexico	E14-2

13. Catchment area: Scale 1:50,000 in colour

- Tital : D85
  B14, B15
  B23, B24, B25
  B33, B34
- No. of sheets : 8

JICA