

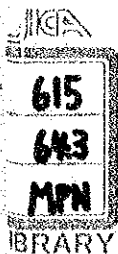
国際協力事業団
メキシコ合衆国
連邦電力庁

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
要約

平成5年11月

日本工営株式会社



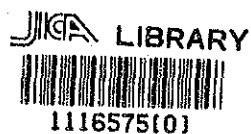
鉦調資
J R
93-160

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

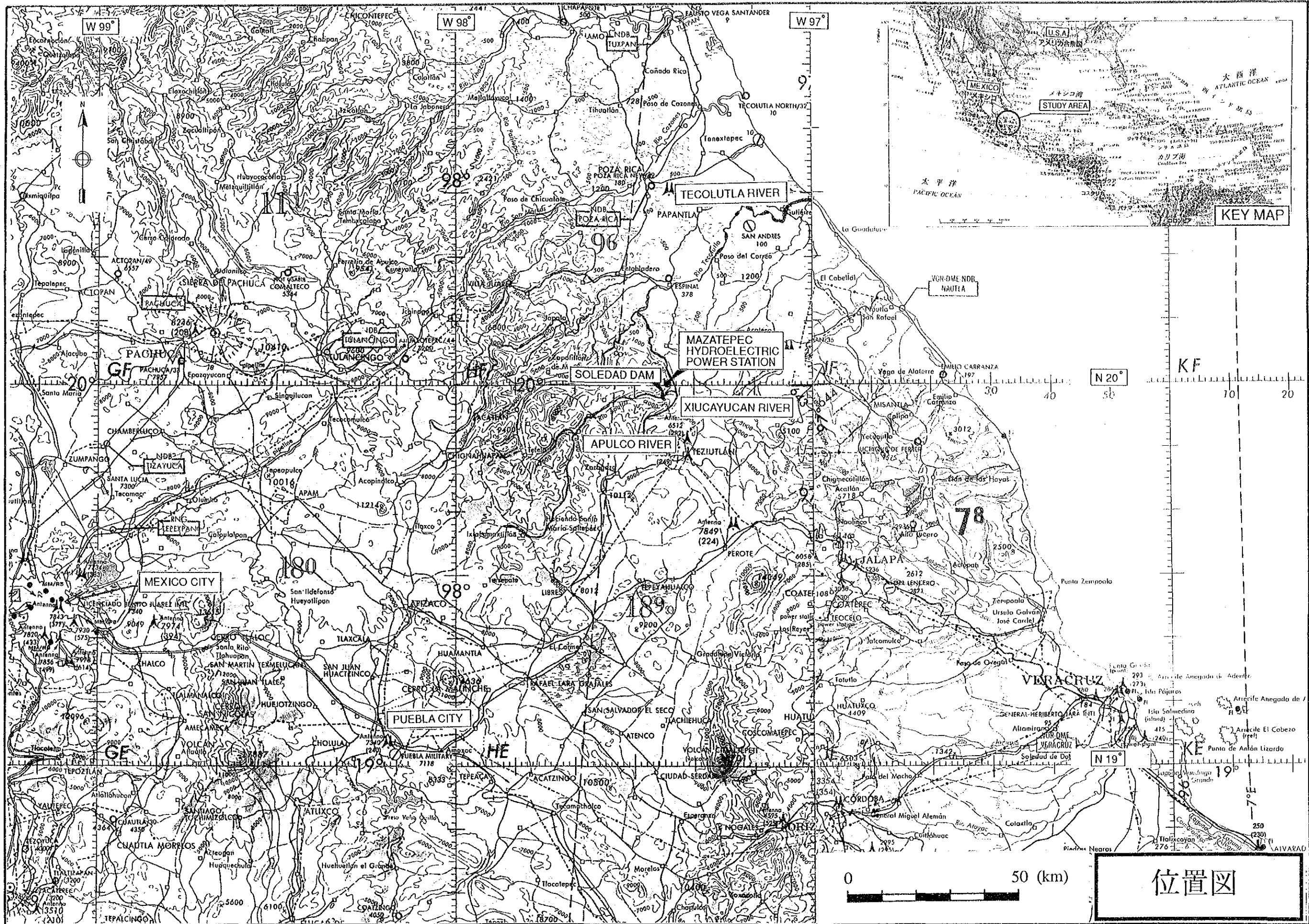
要約



平成 5 年11月

日本工営株式会社





位置図

目次

	ページ
要約	
1. マサテバック水力発電所	1
2. ソレグッド貯水池の堆砂量	1
3. 堆砂形状と粒径	2
4. 貯水池堆砂による悪影響	2
5. 土砂生産の供給源及びCFEの流域管理	2
6. CFEの実施した対策	3
7. 貯水容量と発電量との関係	4
8. 排砂のための利用可能流量	5
9. 流砂の測定	6
10. 貯水池堆砂の予測	6
11. 貯水池堆砂対策の必要性	7
12. 堆砂対策の代替案	7
13. リハビリテーション計画の工事費積算	9
14. 実施計画	10
15. 経済評価	10
16. 財務評価	11
17. リハビリテーション計画の環境的側面	12
18. 流域管理への提言	12
19. 結論と提言	13

付 表

要約

	ページ
表 1 流出土砂量の算定	T-1
表 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-2
表 3 経済分析キャッシュフロー（石炭火力発電所の設置、運転を考慮した場合）	T-2
表 4 財務的内部収益率のキャッシュフロー	T-3
表 5 ローン返済のキャッシュフロー	T-3

付 図

要約

		ページ
図 1	マサテベックプロジェクトの概要図	F - 1
図 2	導水路の断面図	F - 2
図 3	ダム、洪水吐および取水口の概要図	F - 3
図 4	貯水池堆砂の進行および水文条件経年変化	F - 4
図 5	貯水池堆砂面の縦断面図	F - 5
図 6	貯水池堆砂の進行と予測	F - 6
図 7	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 - 7
図 8	上流域の既設砂防ダム位置図	F - 8
図 9	ソレダッド貯水池流量の流況曲線	F - 9
図 10	HEC-6 モデルにより推定した貯水池堆砂面の縦断面図	F - 10
図 11	リハビリテーション計画の土砂収支	F - 11
図 12	新取水口および新放流施設の一般平面図	F - 12
図 13	新取水口の平面図	F - 13
図 14	新取水口の縦断面	F - 14
図 15	新設トンネルの縦断面図	F - 15
図 16	新放流施設の縦断面図	F - 16
図 17	砂防ダムおよび転流排砂トンネルの候補地点	F - 17
図 18	新設砂防ダムの平面図	F - 18
図 19	新設砂防ダムの断面図	F - 19
図 20	新設砂防ダムの転流及び放流施設	F - 20
図 21	リハビリテーション計画実施工程	F - 21
図 22	現地調査スケジュール	F - 22
図 23	新取水口、放流施設及び新設砂防ダムの建設工程	F - 23

要 約

1. マサテベック水力発電所：

マサテベック水力発電所はメキシコ市北東170 kmのアブルコ川に位置する。本発電所は、1962年に運開した後、全国及び地域に電力を供給してきた。発電所は54.86MW、4台の水車・発電機を容し（合計設備容量220MW）、年間500～800GWhの電力を生産してきた（過去28年間平均621GWh）。本計画には高さ92mのアーチダムによってつくられた貯水池（ソレダッド貯水池）、洪水吐、底部放流施設、取水口、導水路、サージタンク、水圧鉄管、発電所及び屋外変電所等が含まれる。本発電所は系統の中でエネルギーの生産のみでなく電圧調整機能を持った水力発電所の役割を担っている。[図-1、図-2、図-3]

2. ソレダッド貯水池の堆砂量：

本発電所では発電開始後、貯水池に堆砂が進行し貯水容量が減少した。当初貯水位804.5m以下の総貯水量は $58.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ であったが1992年の測量によれば、この貯水位以下に堆積した土砂量は $40.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ であり過去30年間の平均としては年間 $1.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ の堆砂量となる。

通常貯水池は100年程度の貯砂容量を考慮するので、この堆砂スピードはかなり早いと言える。貯水池の捕捉率を貯水容量-流入量の関係から65%と想定すると、貯水池への年間流入土砂量は $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ となり、これを流域の侵食深に換算すれば1.4mm/年となる。[表-1]

更に、過去の測量結果によれば、堆砂は1962年から1977年までの初期に急速に進行し、その後、1977年から1990年までに鈍化した。最近2年間に再び増加している。過去に堆砂速度が鈍化した理由を全て上流域に築造した砂防ダムやその期間に比較的降雨が少なかったことに帰することは難しい。1977年の貯水池測量の精度にも問題があるかも知れない。[図-4]

3. 堆砂形状と粒径：

堆砂は鉛直方向ばかりでなく水平方向にも進行する。測量結果によれば堆砂前置層はダム・取水口方向に進行していることがわかる。現在、ダム近くの堆砂レベルは標高775mで、原河床より55m高い位置にある。一方、取水口から40m区間の堆砂面は、ほぼ取水口の敷高標高769mまで低下している。[図-5、図-6]

低部放流施設は標高750mに設置されているが、すでに土砂によって埋没し機能していない。この放流施設は1970年から1977年の間に堆砂の影響を受けていたと想像される。[図-5、図-6]

現在、取水口付近の堆積土砂のほとんどは粒径0.062mm以下の細粒子で占められているが少量の細砂も含んでいる。しかし堆砂前置層が進行すればより粗い粒子が取水口に入り、水車のランナー、ニードルバルブ、シート等の磨耗を促進させることになる。

4. 貯水池堆砂による悪影響：

貯水池の堆砂は貯水池が築造された場合に生ずる河川流水の水理特性の変化によってもたらされるものである。この堆砂は一般に下記の様な悪影響を与える。

- 貯水池容量の減少、発電量減少、又は発電の停止
- 貯水池上流域における背砂による洪水水位の上昇
- 水路の閉塞
- 土砂供給量減少による下流の洗掘
- 構造物に作用する土圧の上昇
- 水力機械に対する磨耗

5. 土砂生産の供給源及びCFEの流域管理：

土砂の生産量に影響を与える主な要因は下記の通りである。

- 流域面積

- － 流域地質・土壌
- － 地形
- － 植生
- － 降雨
- － 河川水理特性
- － 伐採、耕作、道路建設等の人間の生産活動

ソレダッド貯水池は合計1,860km²の流域面積を持ち、アブルコ川、ソントラコ川、シユカユカン川流域が含まれている。シカユカン川流域の水は堰とトンネルによって貯水池に転流されている。流域の降雨特性や土地利用形態は、上下流域で大きな差がある。下流域の400km²は植生も豊かであり、降雨量も年間3,000mmに達する。一方で上流域は様々な生産活動により植生に乏しく、サウトラ付近では降雨量も600mmと低い。上流域は総じて侵食作用に弱く、これが土砂生産の主要供給源と思われる。[図-7]

6. CFEの実施した対策：

CFEはこの侵食の激しい地域に対し、1976年以降、棚段の造成、排水路の設置、植林や砂防ダムを構築してきた。その内容は下記の通りである。

- － テラスの造成 (延長43,100 m、面積100m ha)
- － ロックウォールの設置 (5,019ヶ所)
- － 排水路 (延長255,000 m、対象面積640 ha)
- － 植林 (450,000本、対象面積625m)
- － 砂防ダム (25ヶ所) [図-8]

これらの方策が実施されたのは比較的限られた地域である。又、砂防ダムは支流に設けられた。サウトラ下流の砂防ダムは今でも機能しているが上流のものは砂で満杯になっており中には5年以下で埋没したものもある。この25ヶ所の砂防ダムが貯水池の堆砂を減少する上でどの程度寄与したかということについては明確でないが、この基本的アプローチは妥当である。これらの砂防ダムは土砂流出対象面積に対し小さく、又捕捉率も低いので有効ではなかった可能性もある。しかしこれらのダムが水車に対し有害で確実に貯水池に堆積する比較的粗い粒子を捕捉したことは確かである。

7. 貯水容量と発電量との関係：

貯水ダムは通常、季節により変動する河川流量を調節するために築造される。ソレダッド貯水池の貯水容量は堆砂により徐々にかつ早い速度で減少してきた。しかしマサテベック発電所の発電量の経年変化を流入量に関連づけたダブルマスカーブで調べたが、貯水量の減少に伴って発電量が減少したという顕著な傾向は認められなかった。

この貯水池の流量調節機能が発電量に影響する程度をシミュレーションによって検討した。このシミュレーションでは、いくつかの貯水容量と運転水位を想定し、1963年から1991年までの計29年間の日流量シリーズを適用して行った。結果は下記の通りである。

最高水位／最低水位 (EL. m)	有効貯水容量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	年間発生電力量 (GWh/yr)
804.5／797.5	10.2	629.2
804.5／797.5	11.3	630.0
804.5／797.5	13.3	631.2
804.5／775	18.4	612.8
804.5／775	22.3	614.8
804.5／775	41.6	620.8

上記検討結果より、貯水容量は発生電力量にほとんど影響しないことがわかる。むしろ運転水位の影響の方が大きい。このことは当初、 $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ と設定された有効貯水量が年間総流入量 $573 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($18.19 \text{ m}^3/\text{s}$) を平均化するためには、十分ではなかったということを示すものである。

一方、発電最大使用水量は、 $55.2 \text{ m}^3/\text{s}$ と設定されているが、この流量を越える河川流量は全期間の3パーセントしかないことが流況曲線からわかる。このことは大規模な貯水池がなくとも、もし適性な運転を行えば河川流入量のほとんどが発電に利用できることを意味するものである。[図-9]

8. 排砂のための利用可能流量：

土砂を流水によって排砂する案が考えられる。ひとつは堆砂又は流入土砂を洪水吐又は放流施設を通して排出することである。もうひとつは、土砂を貯水池に流入する前に捕捉しそれを他の隣接流域へ流水によって転流することである。この排砂に必要な水の量は土砂の粒度分布、比重、形状、濃度、水理条件によって異なる。通常この方法による排砂には余剰水が用いられ土砂濃度の高い洪水期に行うのが通常である。

この排砂に利用できる流量をシミュレーションによって検討した。しかし、流況曲線から明らかな様に発電の最大使用水量が大きく設定されているので、流入量に対し余剰水はほとんどないことがわかる。最大使用水量を越える流量の発生頻度は3%程度であり、かつ最大使用水量以上の余剰水の量は全体の8%程度である。このことは、流水によって排砂運転を行う場合には発電を犠牲にしなければ成立しないことを意味するものである。

シミュレーションの結果は下記の通りである。

貯水池からの排砂

排砂開始流量 (m ³ /s)	排砂利用水量 (×10 ⁶ m ³ /yr)	発生電力量 (GWh/yr)
30	90.6	560.8
40	65.4	588.9
50	50.5	604.9
*排砂なし	-	629.2

上流地点での排砂

排砂開始流量 (m ³ /s)	排砂利用水量 (×10 ⁶ m ³ /yr)	発生電力量 (GWh/yr)
30	20.4	625.8
40	15.1	627.9
50	11.8	628.7
*排砂なし	-	629.2

9. 流砂の測定：

CFEは流砂の測定を3地点で実施してきた。サンプリングはポイントサンプラーを使用しているが、より正確な流砂量の把握と貯水池流入土砂の算定のためには、深度一加積サンプラーを使用することを推奨する。

CFEによる流砂量の測定結果は下記の通りである。

位置	流砂量 (m^3 /年)	流域面積 (km^2)	侵食深 (mm /年)
アブルコ川のプロエノスアイレス	450,000	1,405	0.302
ソントラコ川のソントラコ	3,130	25	0.125
水路No.1	31,600	370	0.085

上記より、流出土砂のほとんど、即ち約90%以上はアブルコ川、特に植生の乏しい上流域から来ることがわかる。しかし上記の値そのものは貯水池堆砂量測量結果との比較からわかる通り、実際よりもかなり少なめに算定されている。この原因は不適性な測定器具の使用、洪水期の測定の不足、計算の誤り等に起因するものと考えられる。[表-1]

10. 貯水池堆砂の予測：

将来の堆砂形状をシュミレーションによって予測した。シュミレーションでは、下記事項を前提条件とした。

- 一年間堆砂率を1990年から1992年の実測に基づいて、 $1.4 \times 10^6 m^3$ /年と推定した。
- 流入土砂は1988-89年に実施した流量-土砂流送曲線に基づいて求めた。
- 浮遊砂及び掃流砂の粒度分布は資料が十分ではなかったが入手資料を補足・修正して求めた。

シュミレーションには、経験的面積減少法とHEC-6モデルを使用した。面積減少法によれば、2000年頃には貯水池はほぼ満砂してしまうとの結果が得られた。即ち、ダム近くの堆砂面は1992年に標高775mであったが、標高796mに上昇する。HEC-6モデルは、一次元数値計算モデルである。これによれば、堆砂前置層（フォーセット）は8年後には発電取水口側に約900m移動し、ダム近くの堆

砂面は標高788.5mに達するとの予測が得られた。【図-10】

上記2つの方法は西暦2000年の貯水池堆砂面をほぼ妥当に予測している。面積減少法で求めた標高796mは諸仮定を単純化しているため、少々高めの値となっている。一方、HEC-6モデルによる標高788.5mは、計算の中で貯留効果を無視しているため低めになっている。2つの値の平均値、即ち標高792m程度がダム上流100m付近に於ける妥当な予測値と判断した。但し洪水吐前面の堆砂面は越流部標高789.5mを越えず、又取水口前面の堆砂面もこれよりは低い値となる。【図-6、図-10】

11. 貯水池堆砂対策の必要性：

堆砂シュミレーションにより、今後何も対策をしなければ8年後には貯水池は実質的に土砂で満杯になると予測された。この予測は流入土砂の値として平均値を使用しているため、絶対的なものではないことに留意すべきである。適正な緊急対策を取る必要があることは明かである。【図-6】

12. 堆砂対策の代替案：

堆砂に対しいくつかの代替案を下記の通り選定した。これらは最終的には単独に、または組み合わせて提案されることとなる。

(I) 底部放流施設のリハビリ

- 1) 代替案A：既存放流施設のリハビリ
- 2) 代替案B：放流施設をより高い位置に新設
- 3) 代替案C：既存発電取水口を放流施設に転用

(II) 発電取水口の新設

- 1) 代替案D：既存取水口近くに新設
- 2) 代替案E：既存取水口に上流側に新設（方向1）
- 3) 代替案F：既存取水口の上流側に新設（方向2）

(Ⅲ) 他の構造物的施策

- 1) 代替案G：沈砂池の新設
- 2) 代替案H：洪水吐前面の水路改修
- 3) 代替案I：砂防ダム（貯砂ダム）の設置
- 4) 代替案J：土砂転流トンネルの設置

(Ⅳ) 貯水池堆砂の除去

- 1) 代替案K：ポンプによる浚渫と土捨場までの輸送

(Ⅴ) CFEの提案

- 1) 代替案L： 既存放流施設を大口径のものに更新（発電所の併設も考慮）
- 2) 代替案M： 放流施設をダム左側アバットに新設
- 3) 代替案N： ダム底部に放流施設を新設し下流に発電所を接続
- 4) 代替案O： 既存ダムの下流にダムを新設し、その新しい貯水池に水路No. 1の水を導水、取水口を新設し既存ダムは貯砂ダムとして利用

(Ⅵ) 水車の磨耗軽減

- 1) 代替案P： 部分負荷運転の制限と使用ノズル数の制限
- 2) 代替案Q： デジタルピット調速機の導入

これらすべての代替案を比較検討し、有望代替案を選定した。

このスクリーニングは技術的妥当性、施工性、効果、工費等を考慮して行なった。

提案するリハビリ計画の基本的な考え方は貯水池への砂の流入を防ぐため大規模砂防ダムをアブルコ川本川に設け、既存取水口を放流施設として使用して貯水池の堆砂を排出し、又その放流施設に近接させて新しい発電取水口を設けるというものである。〔図-11〕

これらの構造物的施策の他に、水車の耐磨耗運転や浚渫も必要である。

スクリーニングの結果、下記代替案を取り上げる事を提案する。

- (1) 代替案C+F 水車に土砂が流入するのを防ぎ、貯水池堆砂を排出する目的で放流施設を設けかつ取水口を新設すること（既存取水口の放流施設への転換及び取水口の新設）〔図-12、図-13、図-14、図-15、図-16〕
- (2) 代替案I 貯水池へ土砂が流入するのを防ぐ目的で大規模砂防ダムを新設すること（砂防ダムの新設）〔図-17、図-18、図-19、図-20〕
- (3) 代替案K 堆砂を除去するため浚渫をおこなうこと（ポンプ浚渫）
- (4) 代替案P+Q 磨耗を低減する運転（ノズル数の制限、ディジビット調速機の導入）

尚、浚渫を再開する理由は下記の通りである。

- 砂防ダムや放流施設が完成するまで堆砂面上昇を防ぐため
- 放流施設や洪水吐で排出できないアーチダム近傍の土砂を排出するため
- 発電取水口付近の土砂を放流施設と共に排出するため

上記リハビリ対策案によりソレダット貯水池への流入土砂量は、砂防ダムの効果により年間 $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ から $0.83 \times 10^6 \text{ m}^3$ に減少する。この流入量のうち $0.29 \times 10^6 \text{ m}^3$ は発電取水口を通過し、残りの $0.54 \times 10^6 \text{ m}^3$ を主として放流施設又は部分的に洪水吐又は浚渫によって排出することを計画する。

〔図-11〕

13. リハビリテーション計画の工事費積算：

提案したリハビリテーション計画の工事費の積算を予備設計に基づいて行った。構造物の工事費の積算結果は次の通りである。（直接工事費、予備費、技術費、管理費を含む）

代替案C+F	：	新ベソ	35.2×10^6
代替案I	：	新ベソ	47.0×10^6
小計		新ベソ	82.2×10^6
			(27.4×10^6 米ドル相当)
代替案K		新ベソ	30.0×10^6
			(10.0×10^6 米ドル相当)
代替案P+Q		新ベソ	1.2×10^6
			(0.4×10^6 米ドル相当)

合計	新ベソ	113.4×10^6 (代替案Kを含む)
		(37.8米ドル相当)
	新ベソ	83.4×10^6 (代替案Kを含まず)
		(27.8米ドル相当)

上記浚渫の費用は既存浚渫システムの代わりに新しい大規模ドレッジャーを導入した場合の参考としてあげた。さらに、地形、地質、工事材料に関する現地調査に必要な費用と既存アーチダムの安定解析のための技術費用は下記の通り算定された。

現地調査	:	新ベソ	795,000
			(0.265×10^6 米ドル相当)
ダム安定解析	:	新ベソ	600,000
			(0.200×10^6 米ドル相当)

14. 実施計画：

資金手当てを終えた後、ただちに、資格のあるコンサルタントにダムの安定解析を委ねるべきである。この解析では予測される堆砂面上昇に対し、地震荷重、温度荷重等、を考慮してダム及び地山の変形や応力の分布について調査をするものである。この解析と同時に現地調査（地形、地質、材料）をCFEの機関又は業者によって行う必要がある。現地調査結果を基に設計を確定した後、競争入札によって選定された業者によって工事を開始する。[図-21、図-22、図-23]

取水口と底部放流施設は2段階に分けて施工することもできるが、ここでは工期短縮のために同時に施工される。砂防ダムは半川締め切りにより工事をを行う。この砂防ダムは技術的かつ経済的観点からRCC（ローラーコンパクティドコンクリート）でつくることを提案する。これらの構造物の全工事期間は2年を要する。[図-23]

15. 経済評価：

リハビリテーション計画の経済的フィージビリティは、便宜上、代替石炭火力のコストを便益と見なして評価を行った。経済的内部収益率はリハビリ案が代替火力の燃料費の節約のみに貢献すると

仮定した場合18.3%であり、又、リハビリ計画がマサテベック発電所と同等の出力と発電量を生産する火力を新設すると想定した場合には177%となる。[表2、表3]

上記評価には浚渫の費用が含まれていない。もし新しいドレッジャーを導入した場合のEIRRは燃料費節約ベースで10.9%又、新規更新ベースで137%となる。もし既存ドレッジャーが新規ドレッジャーの費用の25%で修理可能となればEIRRの各々の値は16.2%及び165%となる。これらの指標はいずれも提案したりハビリ計画が経済的に十分フィージビリティを持っていることを示すものである。上記経済評価の結果を下記に要約する。

項目	ドレッシング なし	既存ドレッジャー の修理*1	新しいドレッジャー の購入
1. 追加費用	-	2.5×10 ⁶ 米ドル	10.0×10 ⁶ 米ドル
2. 追加年経費	-	0.5×10 ⁶ 米ドル	2.0×10 ⁶ 米ドル
3. 全初期投資額	28.25×10 ⁶ 米ドル	30.75×10 ⁶ 米ドル	38.25×10 ⁶ 米ドル
4. EIRR (燃料節約)	18.3%	16.2%	10.9%
5. EIRR (新規更新)	177%	165%	137%

注) *1 修理費は新規購入費の25%と想定

16. 財務評価：

リハビリ計画の財務的フィージビリティについては財務的内部収益率 (FIRR) とローンの返済能力に対して評価を行った。但し、ローンの条件や実施体制については何も決まっていない。

ここでは、リハビリ計画として既存のドレッジャーを修理する案を想定した。収益は発生電力量から所内電源、送配電損失、排砂のためのエネルギー損失を引いた売電可能電力量に現行料金をかけて求めた。その結果、年間の収益は下記に示す通り25.15×10⁶米ドルと算定された。

$$621 \times 10^6 \text{ kWh} \times (1 - 0.1) \times (1 - 0.1) \times 0.050 \text{ 米ドル/kWh} = 25.15 \times 10^6 \text{ 米ドル/年}$$

但し

年間平均発生電力量 : 621×10⁶kWh

平均電力料金 : 0.150新ペソ/kWh (0.050米ドル/kWh)

所内電源及び送配電損失	：	10%
排砂用消費	：	10%

上記、全収益は発電側のみならず送配電側の費用に対しても正当に配分する必要があるが、その割合を正確に求めることは難しい。そこで、収益の半分が発電側に配分されるものと仮定し、FIRRを求めると表4に示す通り14.05%となった。これは十分妥当な値である。〔表-4〕

財務的フィージビリティは初期投資に対するローンの返済能力の面からも検討を行った。ローンの条件として下記を暫定的に定めた。

- － 金利 ： 年5%
- － 返済期間 ： 15年（5年の支払猶予期間を含む）

更に元金を支払猶予期間後10年間に均等に返済するものと仮定した。表-5のキャッシュフローに示す通りリハビリ計画は累積収支がローン借入開始後7年で黒字となるので財務的にも健全である。

17. リハビリテーション計画の環境的側面：

ダム・発電所の下流域では天水型農業が行われており、河川水の利用は限られている。漁業は河口から20km区域で行われている。又、砂利の採取が行われているが、空中踏査及び地上踏査から判断する限り、リハビリ計画が下流域の状況や利水に重大な悪影響を及ぼすとは考えられない。

一方、砂防ダムは、その貯砂予定地域に移転を必要とする様な家屋はないが、アブルコ川に沿う砂利道があるのでこの道路の付け替え工事が必要である。

18. 流域管理への提言：

将来、アブルコ上流域において流域管理が問題になる時、その計画の実施については流域の環境の維持改善に責任のあるプエブラ州の関連機関と協力して行なうべきである。また、その計画は地域計画と関連させ、かつ流域の住民が参加できるものでなければならない。即ち、地域住民と発電事業者双方にとって経済的な便益がもたらされる流域管理対策を実施することが重要である。長期に

わたって、流域管理計画が実行可能となるためには地域住民の参加が大きな鍵となる。

19. 結論と提言：

結論

マサテベック発電所は1962年に運開した後30年間運転を続けてきたが今後もこの運転を続けるべきである。しかしながら今後貯水池の堆砂がさらに進行し発電ができなくなることが危惧される。貯水池への総流入土砂量は年間平均 $2.0 \times 10^6 \text{m}^3$ であるが、このうち $1.3 \times 10^6 \text{m}^3$ が貯水池に堆砂し、残りが主として水車を通じて排出されてきた。将来、粒子の粗い土砂が取水口に進入し水車の磨耗が以前にもまして進行することも予想される。貯水池堆砂のシミュレーションによれば貯水池の堆砂面は2,000年頃には標高792mまで上昇し実質的に砂で満杯になることが予想される。

上記の状況に対し、現地調査を行い堆砂対策のための代替案を選定し比較検討を行ったが、技術的及び経済的観点から下記の代替案の組み合わせが最適と判断した。

- 新取水口の設置と既存取水口を底部放流施設に変更
- アブルコ本川に砂防ダムを建設
- 既存浚渫システムの修理・利用（又は新しいドレッジャーの導入）
- 水車に対する耐磨耗運転の導入

これらの対策案は技術的かつ経済的に妥当と判断された。

環境に関しては、貯水池からの排砂（放流口又は、浚渫）が下流域に対し、重大な悪影響を及ぼすとは考えられない。砂防ダムに関しては、貯砂ダムの中に植林による森林があり、トウモロコシ及び豆等の耕作が行われているが、家屋の水没・移転の問題が生ずるとは予想されない。しかし、アトザランにつながる砂利敷道路が貯砂池内にあるので、この道路の付け替えが必要となる。

提言

マサテベック発電所の機能と役割を維持し、かつ施設の有用期間を延長するために下記の事項を提言する

- (1) 貯水池の堆砂測量を注意深くかつ定期的を実施すること。この場合、測量線を常に固定しておくことも重要である。測量線の両端にポストを設置し、その間の距離を測定しておくことが重要である。
- (2) 現在3観測所で行っている流砂量測定方法では、貯水池への土砂流入量を正しく推定することはできない。測定には深度一加積サンプラーの使用を推奨する。
- (3) CFEは原設計の設計基準、特にアーチダムに作用する許容土圧力について明らかにしておくことを提言する。データが入手できない場合、原設計に参加したコンサルタントに打診することを提言する。又、なるべく早い時期に専門家によってアーチダムの安定解析が実施されることを提言する。
- (4) CFEは、水車の磨耗の低減のため部分負荷時にノズルジェットの数制限できるディジピット调速機の採用が可能かどうか水車メーカーに問い合わせをすることを提言する。
- (5) CFEは既存浚渫設備の修理を含みハビリテーション計画実施のために必要な行動を直ちにとることを提言する。又、資金調達や工事実施方式（通常的设计、請負の契約工事か又はターンキイ方式）についても早期に決定する必要がある。
- (6) 貯水池からの排砂は、洪水期の土砂濃度が高い時に行うべきである。又、エネルギーの損失につながるが、排砂放流をする場合には貯水位をできる限り下げることが提言する。
- (7) 土砂排出や浚渫時の下流河川水の濁度を制限するため適当な監視システムと通信システムをCFEの水文部の協力を得て発電所と下流域の間に設けるべきである。
- (8) 現在の発電施設は既存のガイドラインやマニュアルによって良好に維持管理が行われている。この維持管理を今後も続けてゆくべきである。維持管理に関し、下記の提言する。
 - ー トンネルNo.1の放流側開水路に対する安全柵の設置すること。
 - ー 導水路を抜水した時に水圧鉄管の管厚を測定すること。
 - ー トランス用オイルタンクのまわりに防火用壁を設けること。

付 表

表 1 流出土砂量の算定

方法	年平均土砂量 ($\times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$)	流域面積 (km^2)	単位面積 当たりの土砂量 ($\text{mm}/\text{年}$)	侵食深 ($\text{mm}/\text{年}$)
(1) 1962～1992年 の30年間の 堆砂量測定	1,345,000	1,460	0.921	1.417 ¹⁾
(2) 1962～1977年 の15年間の 堆砂量測定	1,995,000	1,460	1.366	2.102 ¹⁾
(3) 1977～1990年 の13年間の 堆砂量測定	589,000	1,460	0.403	0.621 ¹⁾
(4) 1990～1992年 の2年間の 堆砂量測定	1,386,500	1,460	0.950	1.461 ¹⁾
(5) 25砂防ダム の堆砂量測定	70～35,500 (計184,000)	0.09～168.8 (計450.6)	0.08～8.33 (平均0.98)	0.14～10.2 (平均1.52) ²⁾
(6) ヴェノスアイレス に於ける 浮遊砂測定 (1965～1990年)	450,000	1,405	—	0.32 ³⁾
(7) ソンタラコ に於ける 浮遊砂測定 (1965～1990年)	3,130	25	—	0.125 ³⁾
(8) 水路No. 1 に於ける 浮遊砂測定 (1977～1992年)	31,600	370	—	0.085 ³⁾

- 注) 1): 侵食率は捕捉率を65%と想定
 2): 侵食率は捕捉率を各サイトの貯水容量—流入量の関係から0.35～0.82と想定
 3): 浮遊砂量測定値のみからの推定

表 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)

(Unit : million US\$)

Year	Cost			Benefit				Net Benefit (B-C)
	Capital Cost	O&M Cost	Total Cost	Capital Cost	O&M Cost	Fuel Cost	Total Cost	
1	1995	9.42	9.42					-9.42
2	1996	9.42	9.42					-9.42
3	1997	9.42	11.82					-11.82
4	1998		2.55					-2.55
5	1999		2.55					-2.55
6	2000		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
7	2001		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
8	2002		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
9	2003		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
10	2004		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
11	2005		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
12	2006		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
13	2007		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
14	2008		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
15	2009		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
16	2010		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
17	2011		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
18	2012		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56

EIRR = 18.27%

- Notes : (1) Total construction cost is US\$ 28.25 x 10⁶.
 (2) During the construction, power stop is inevitable due to plug concrete in the power tunnel. Loss of energy is valued at US\$ 2.40 x 10⁶.
 (3) O&M cost for hydropower is assumed at 2% of capital cost plus existing cost of US\$ 2.0 x 10⁶.
 (4) O&M cost for coal-fired thermal plant is assumed at US\$ 0.00176 / kWh x 1.15.
 (5) Fuel cost is assumed at US\$ 0.0202 / kWh x 1.15.
 (6) Energy output is assumed at 90% of the past average output of 621GWh due to use of water for sluicing sediment load.

表 3 経済分析キャッシュフロー
(石炭火力発電所の設置、運転を考慮した場合)

(Unit : million US\$)

Year	Cost			Benefit				Net Benefit (B-C)
	Capital Cost	O&M Cost	Total Cost	Capital Cost	O&M Cost	Fuel Cost	Total Cost	
1	1995	9.42	9.42					-9.42
2	1996	9.42	9.42					-9.42
3	1997	9.42	11.82				74.33	62.51
4	1998		2.55	74.33			74.33	71.78
5	1999		2.55	74.33			74.33	71.78
6	2000		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
7	2001		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
8	2002		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
9	2003		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
10	2004		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
11	2005		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
12	2006		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
13	2007		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
14	2008		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
15	2009		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
16	2010		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
17	2011		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56
18	2012		2.55		1.13	12.98	14.11	11.56

EIRR = 177.33%

- Notes : (1) Peak capacity for 5 hours with 90% dependable flow :
 $220,000 \times [7.57 \times (24 / 5) / 55.2] = 144,800 \text{ kW}$
 220,000 kW : installed capacity
 7.57 m³/s : 90% dependable flow
 55.2 m³/s : max. plant discharge
 (2) Unit construction cost of coal-fired thermal plant is US\$ 1,339 / kW in 1991.
 (3) Capital cost of new thermal plant is:
 $144,800 \text{ kW} \times \text{US\$ } 1,339 / \text{kW} \times 1.15 = \text{US\$ } 222,970$

表 4 財務的内部収益率のキャッシュフロー

(Unit : million US\$)

Year	Cost			Revenue	Balance
	Capital Cost	O&M Cost	Total Cost		
1	1995	10.25			-10.25
2	1996	10.25			-10.25
3	1997	10.25	2.40		-12.65
4	1998		3.05		-3.05
5	1999		3.05		-3.05
6	2000		3.05	12.58	9.53
7	2001		3.05	12.58	9.53
8	2002		3.05	12.58	9.53
9	2003		3.05	12.58	9.53
10	2004		3.05	12.58	9.53
11	2005		3.05	12.58	9.53
12	2006		3.05	12.58	9.53
13	2007		3.05	12.58	9.53
14	2008		3.05	12.58	9.53
15	2009		3.05	12.58	9.53
16	2010		3.05	12.58	9.53
17	2011		3.05	12.58	9.53
18	2012		3.05	12.58	9.53

IRR = 14.05%

Notes : (1) Assuming that the existing dredger be repaired at US\$ 2.5 million.

(2) Revenue is assumed as follows.

Total energy generated	:	621 x 10 ⁶ kWh
Loss by flushing	:	10 %
Loss by station use and by transmission	:	10 %
Revenue attributable to generating side	:	50 %

$$621 \times 10^6 \text{ kWh} \times 0.9 \times 0.9 \times \text{US\$ } 0.05/\text{kWh} \times 0.5 = 12.575 \times 10^6 \text{ kWh}$$

表 5 ローン返済のキャッシュフロー

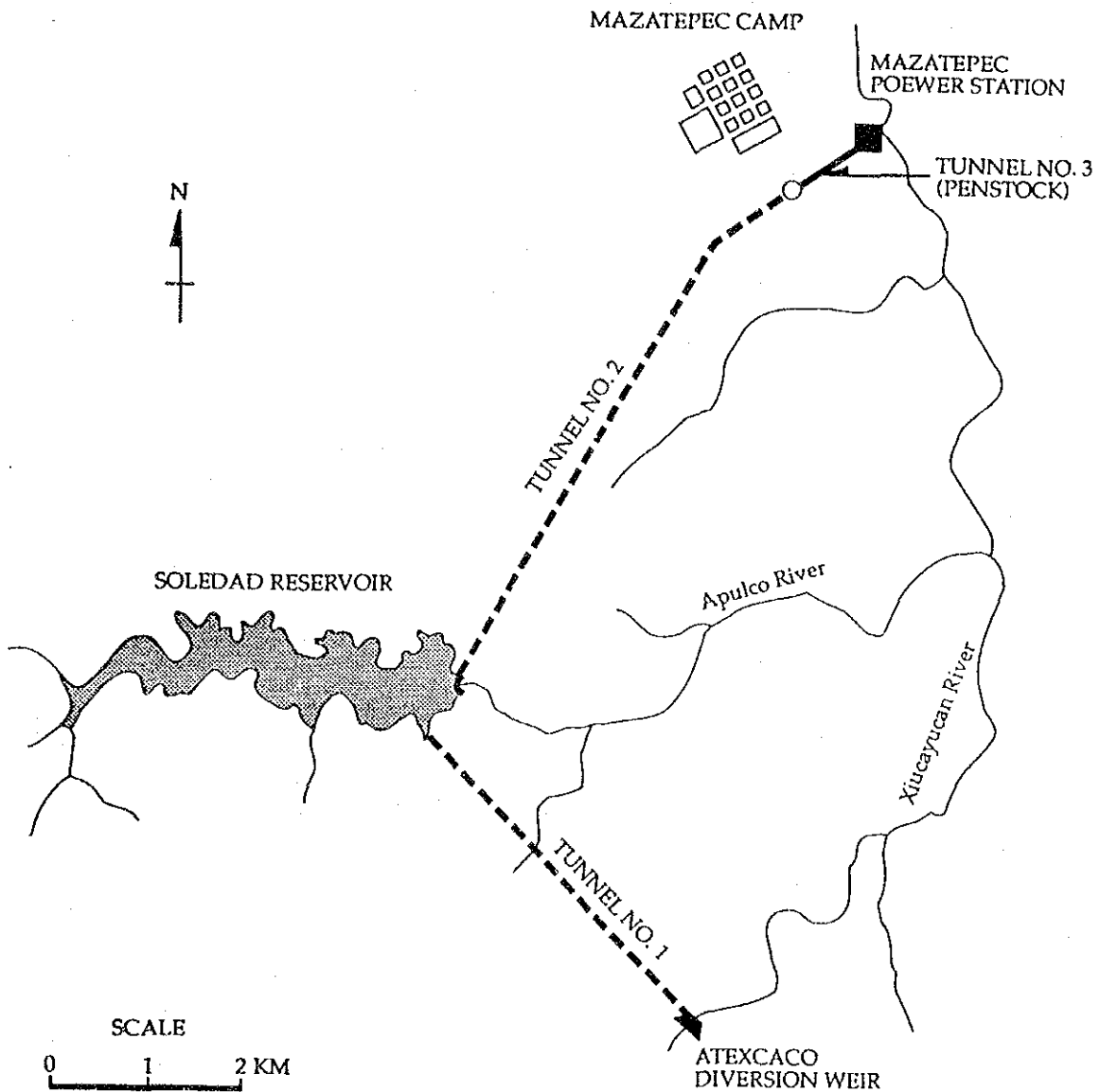
(Unit : million US\$)

Year	Cost				Revenue	Balance	Accumulation balance
	Capital Cost	O&M Cost	Interest	Repayment of principal			
1	1995	10.25		0.256		-0.256	-0.256
2	1996	10.25		0.769		-0.769	-1.025
3	1997	10.25	2.40	1.281		-3.681	-4.706
4	1998		3.05	1.538		-4.588	-9.294
5	1999		3.05	1.538		-4.588	-13.881
6	2000		3.05	1.384	3.075	12.58	-8.810
7	2001		3.05	1.230	3.075	12.58	-3.585
8	2002		3.05	1.076	3.075	12.58	1.794
9	2003		3.05	0.923	3.075	12.58	7.326
10	2004		3.05	0.769	3.075	12.58	13.013
11	2005		3.05	0.615	3.075	12.58	18.853
12	2006		3.05	0.461	3.075	12.58	24.846
13	2007		3.05	0.308	3.075	12.58	30.994
14	2008		3.05	0.154	3.075	12.58	37.295
15	2009		3.05	0	3.075	12.58	43.750
16	2010		3.05		12.58	9.530	53.280
17	2011		3.05		12.58	9.530	62.810
18	2012		3.05		12.58	9.530	72.340
Total		30.75	48.15	12.300	30.750	163.54	72.340

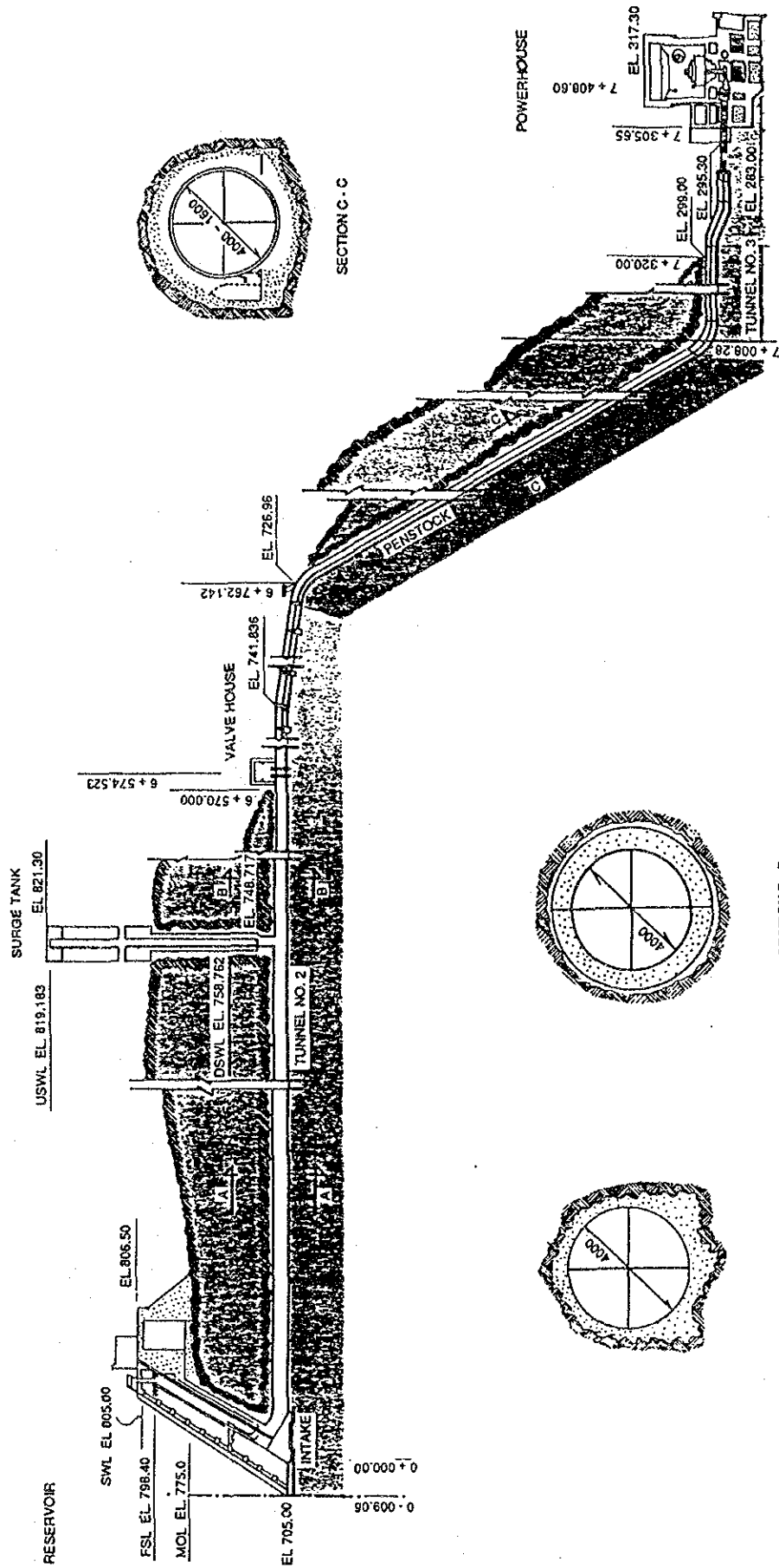
Notes : (1) Loan with an interest rate of 5% for a repayment period of 15 years including 5 year grace period.

(2) Principal is repaid uniformly over 10 years.

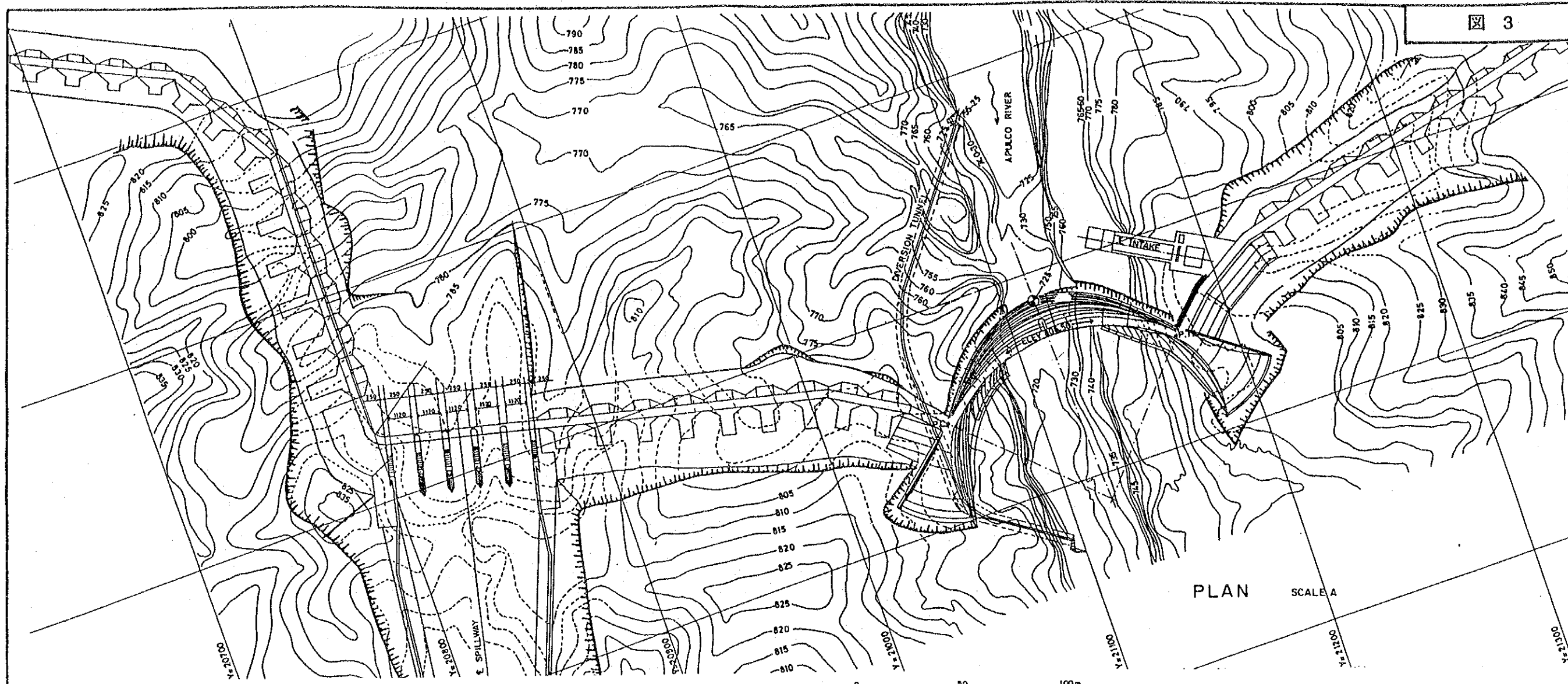
付 図



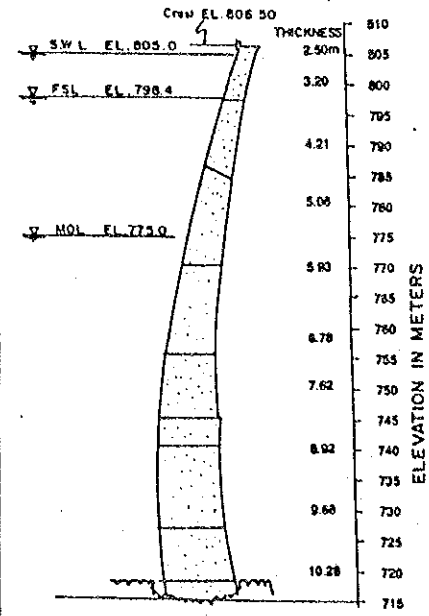
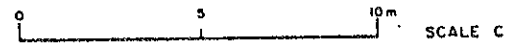
マサテペックプロジェクトの概要図



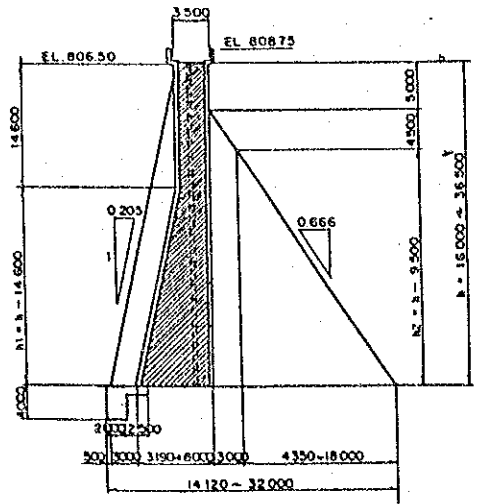
導水路の断面図



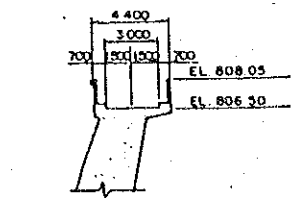
PLAN SCALE A



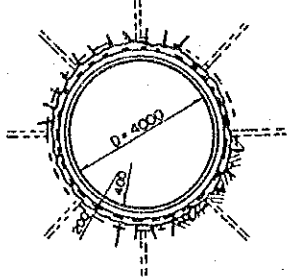
SECTION OF ARCH DAM



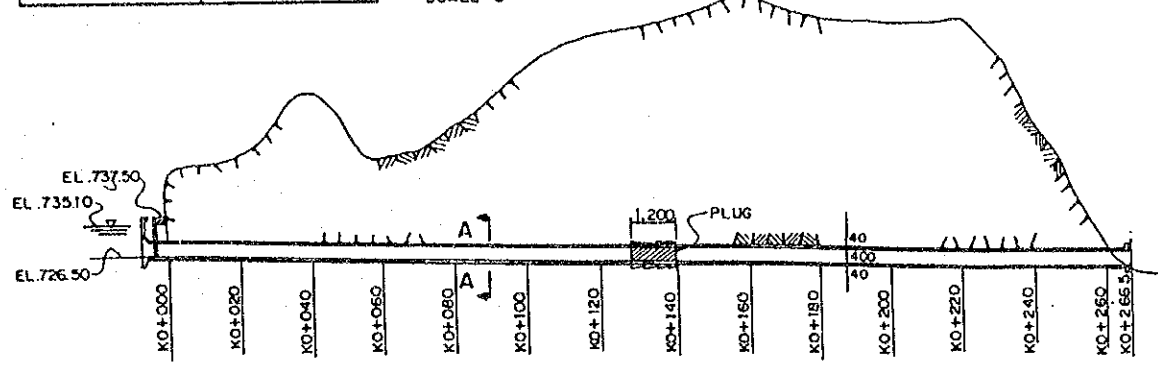
SECTION OF GRAVITY WING WALL



DAM CREST DEATAIL SCALE B

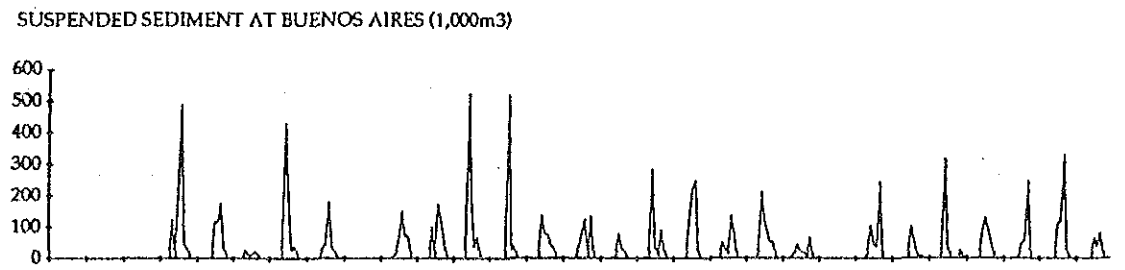
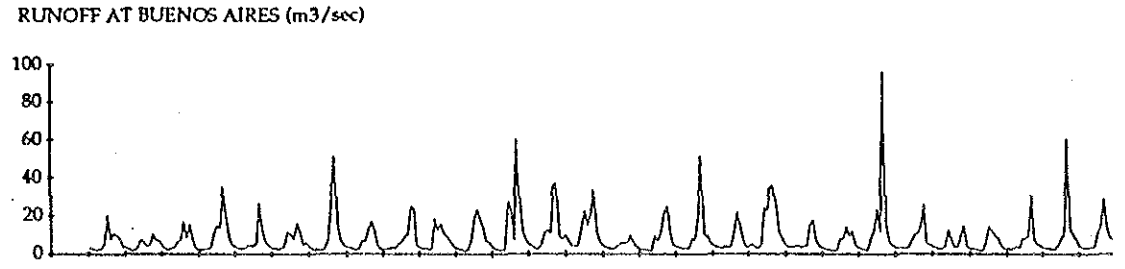
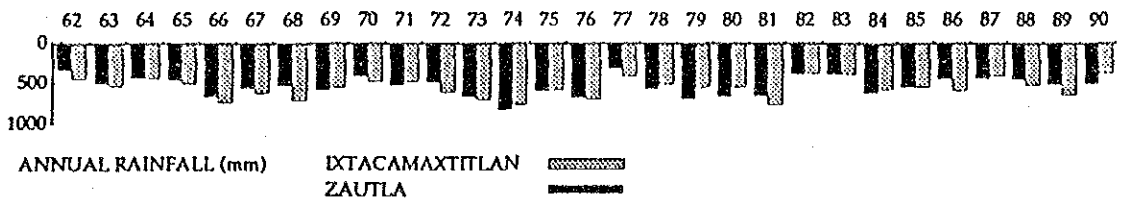


SECTION A-A SCALE C

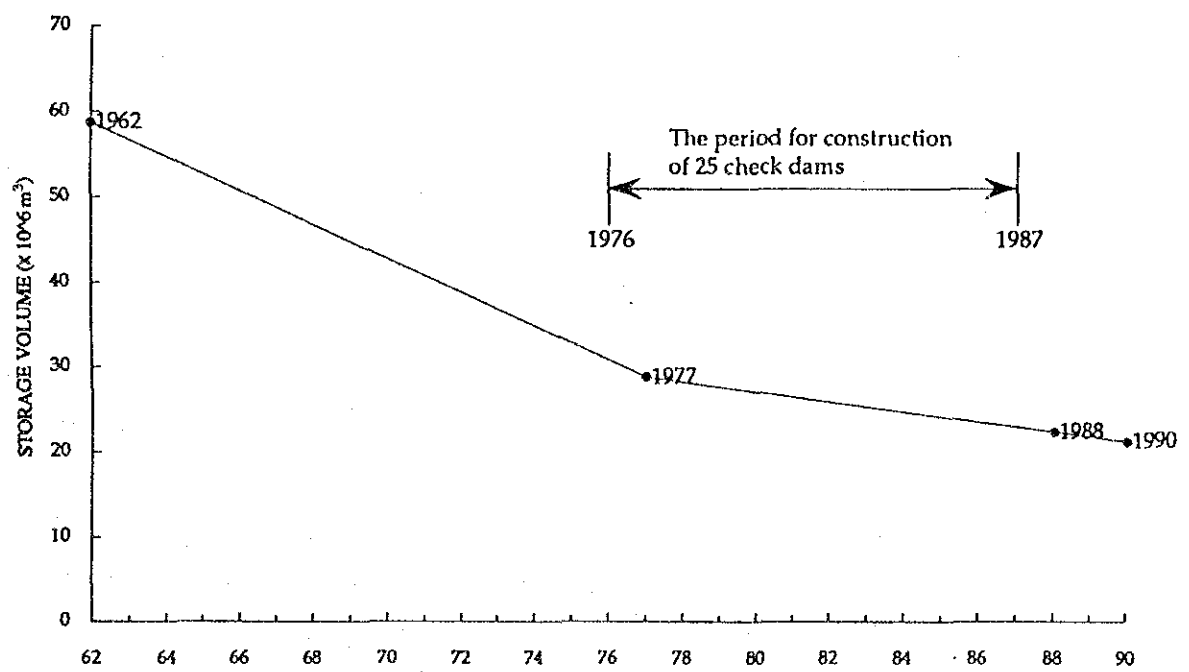


PROFILE OF DIVERSION TUNNEL SCALE A

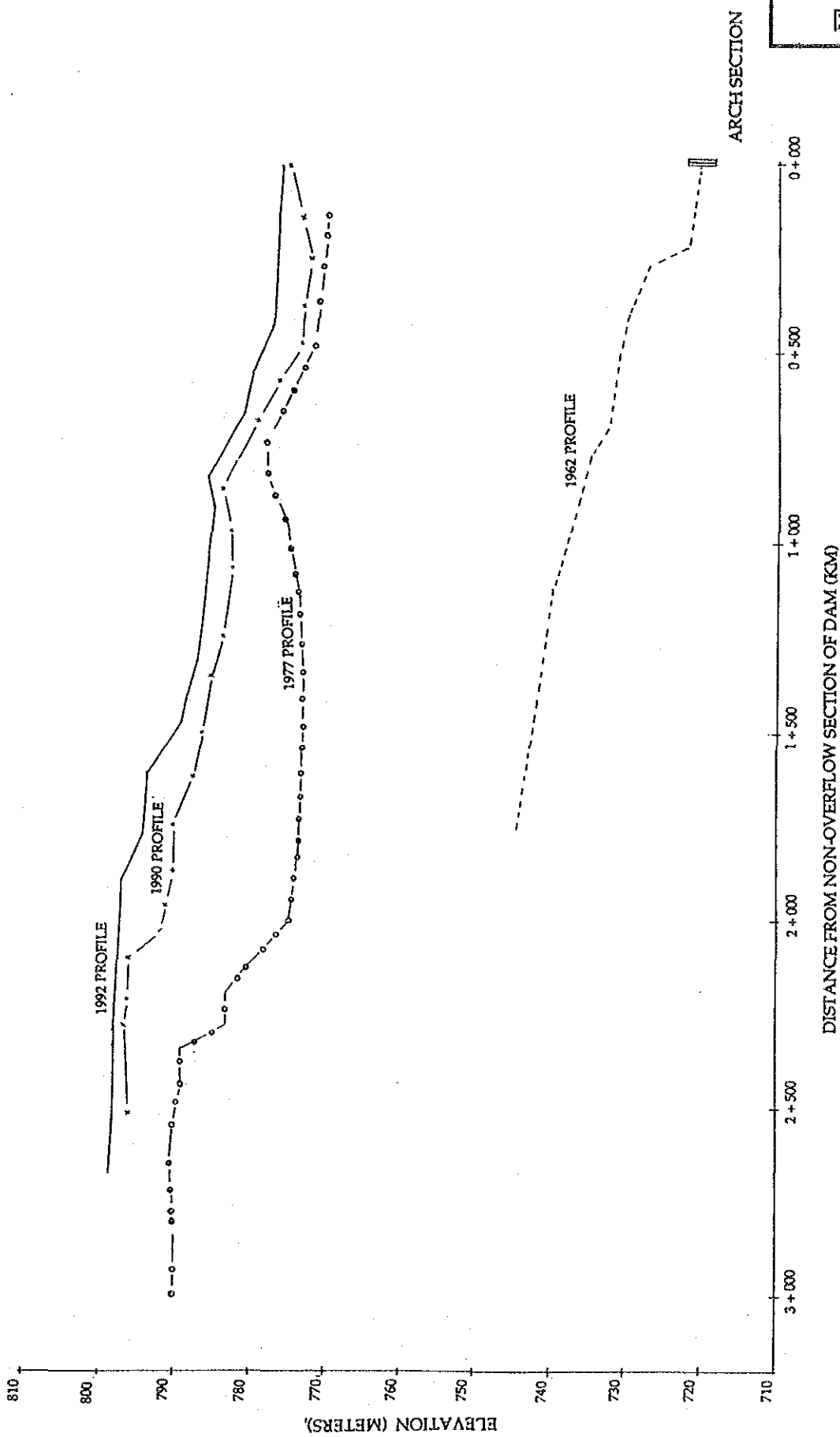
ダム、洪水吐および取水口の概要図



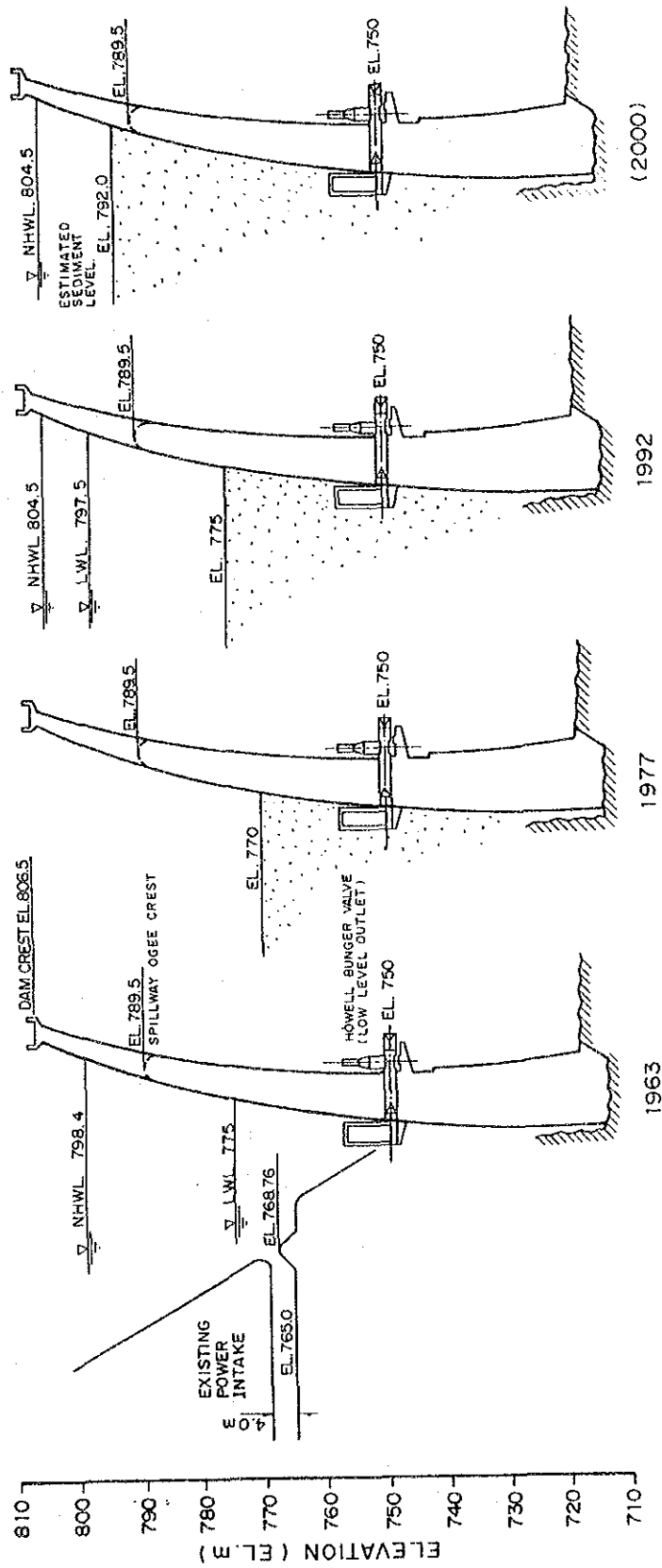
COMPARISON OF RUNOFF, RAINFALL AND SEDIMENT



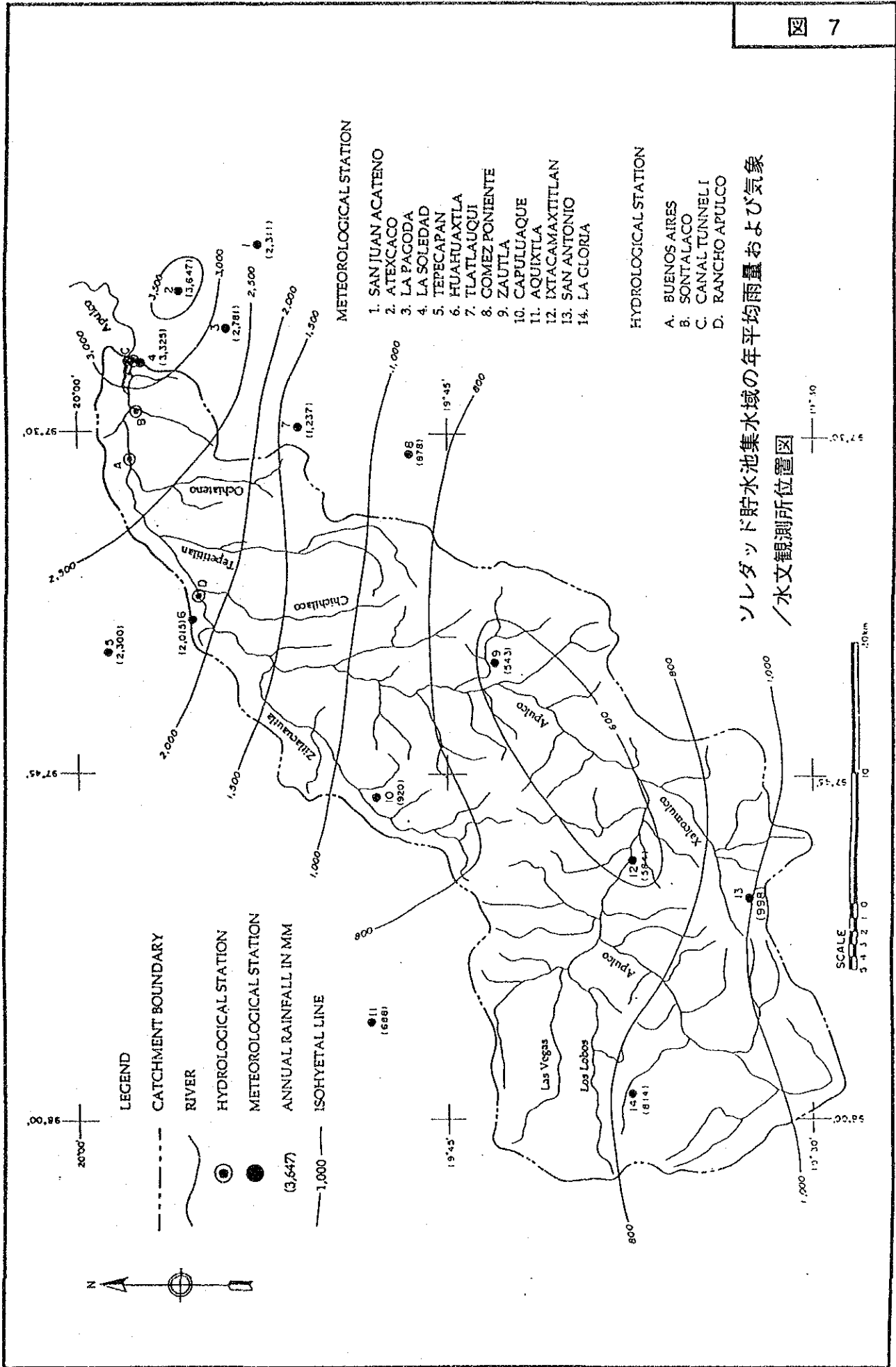
CHANGE OF RESERVOIR STORAGE VOLUME BELOW EL. 804.5 m
貯水池堆砂の進行および水文条件経年変化



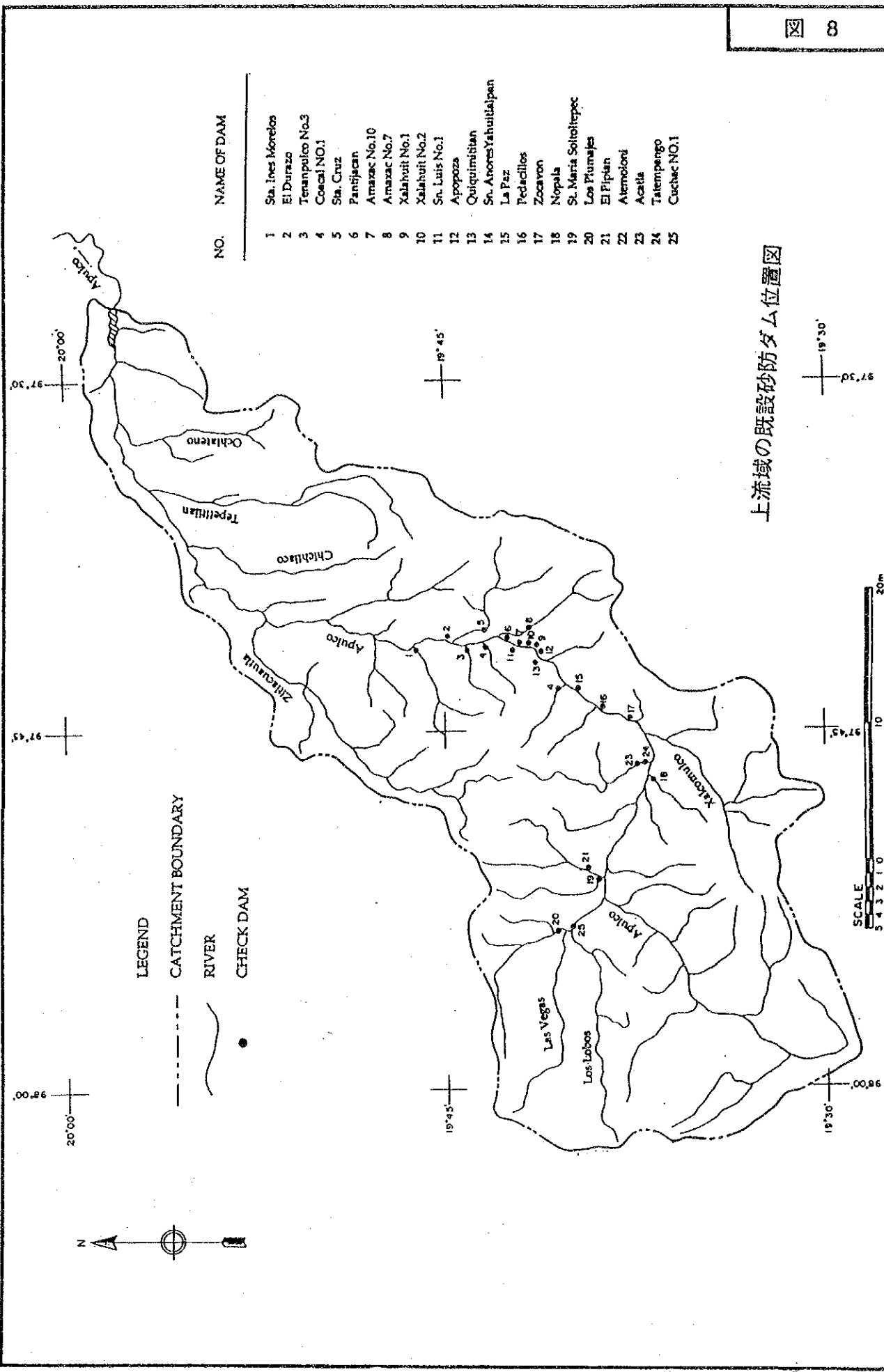
貯水池堆砂面の縦断面図



貯水池堆砂の進行と予測

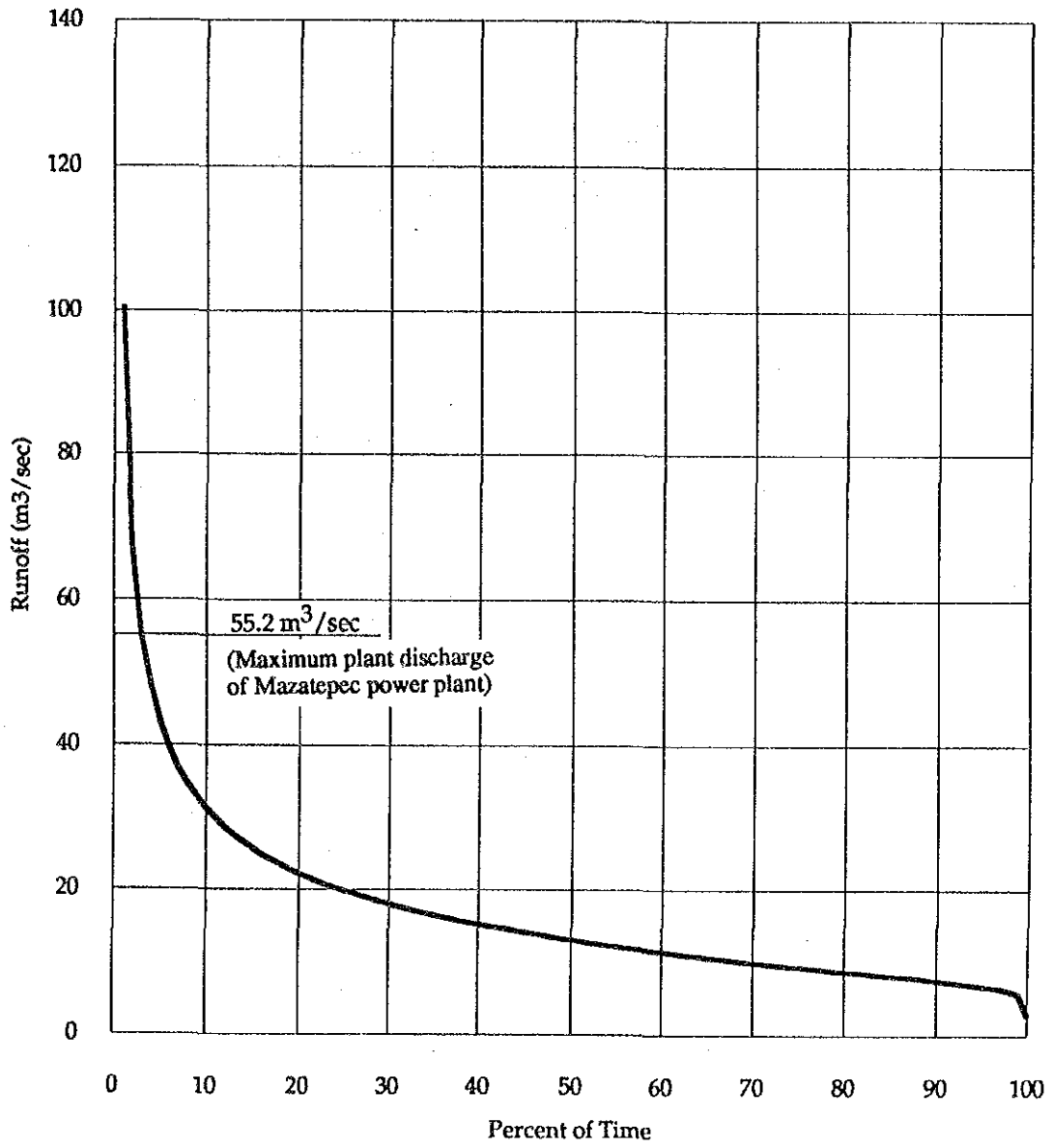


ソレダッド貯水池集水域の年平均雨量および気象
水文観測所位置図

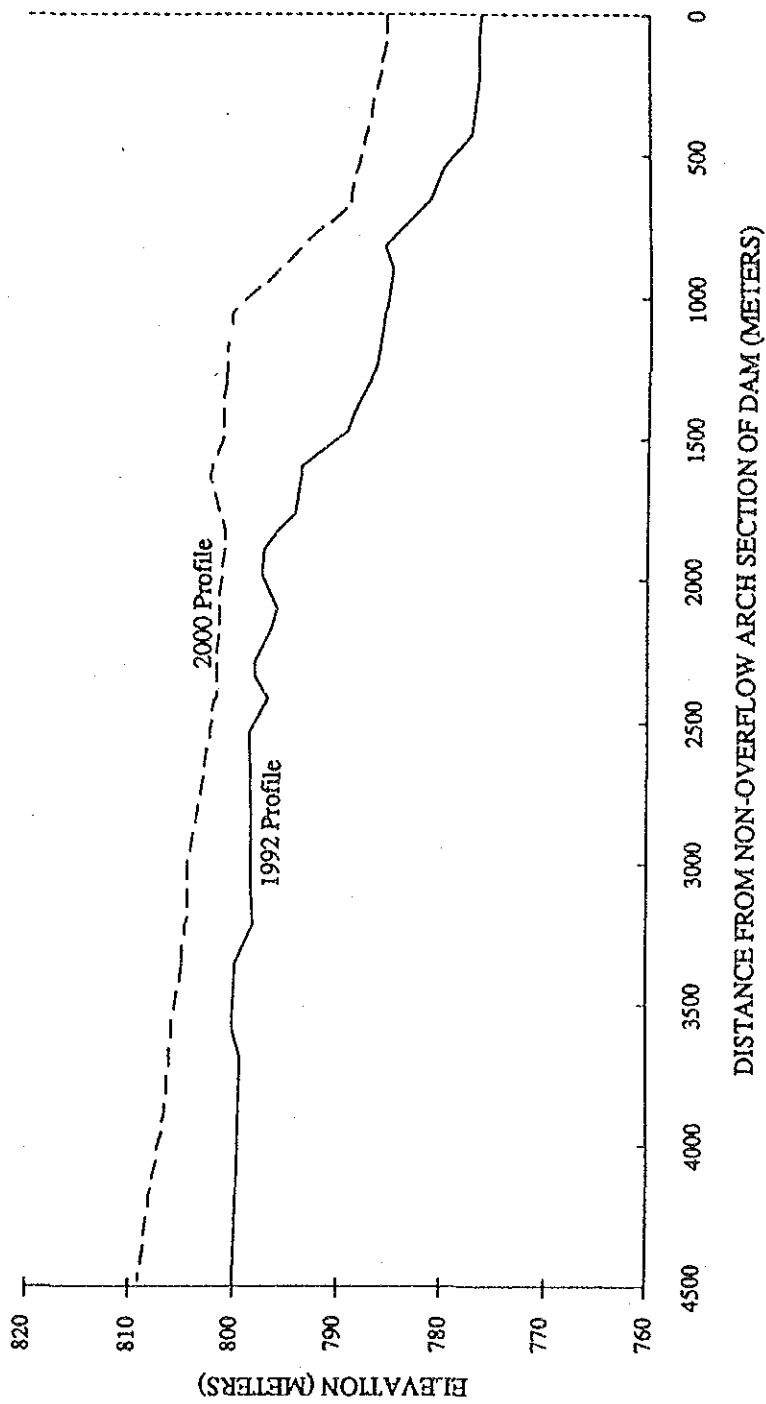


NO.	NAME OF DAM
1	Sta. Ines Morelos
2	El Durazo
3	Tenampulco No.3
4	Coacal NO.1
5	Sta. Cruz
6	Pantijacan
7	Amazac No.10
8	Amazac No.7
9	Xalahuit No.1
10	Xalahuit No.2
11	Sn. Luis No.1
12	Apopoza
13	Quiquimitlan
14	Sn. Anores Yahuitlalpan
15	La Paz
16	Pedacillos
17	Zocavon
18	Nopala
19	St. Maria Soltohtepoc
20	Los Plumas
21	El Pipian
22	Atemoloni
23	Acatla
24	Tatemengo
25	Cuchac NO.1

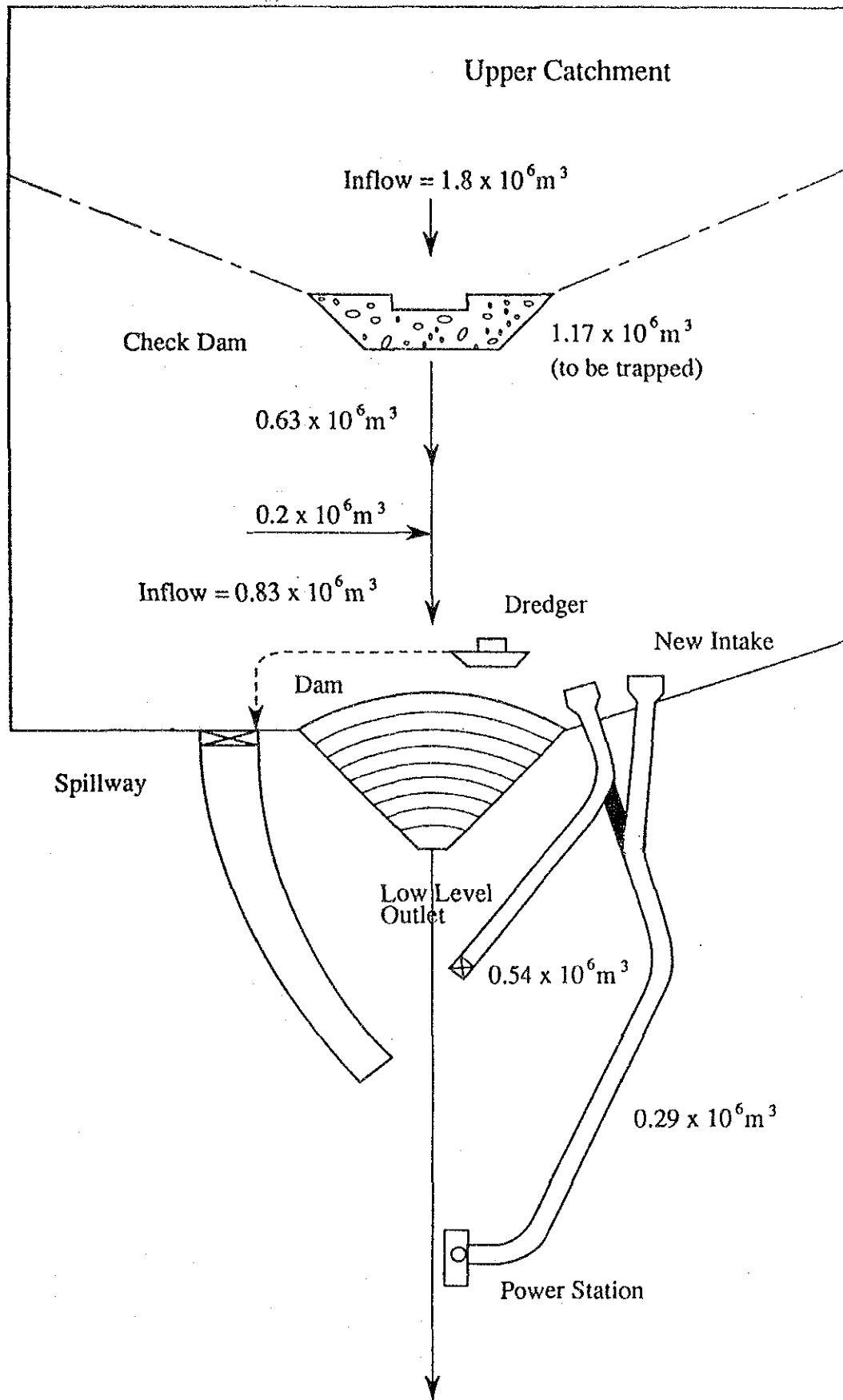
上流域の既設砂防ダム位置図



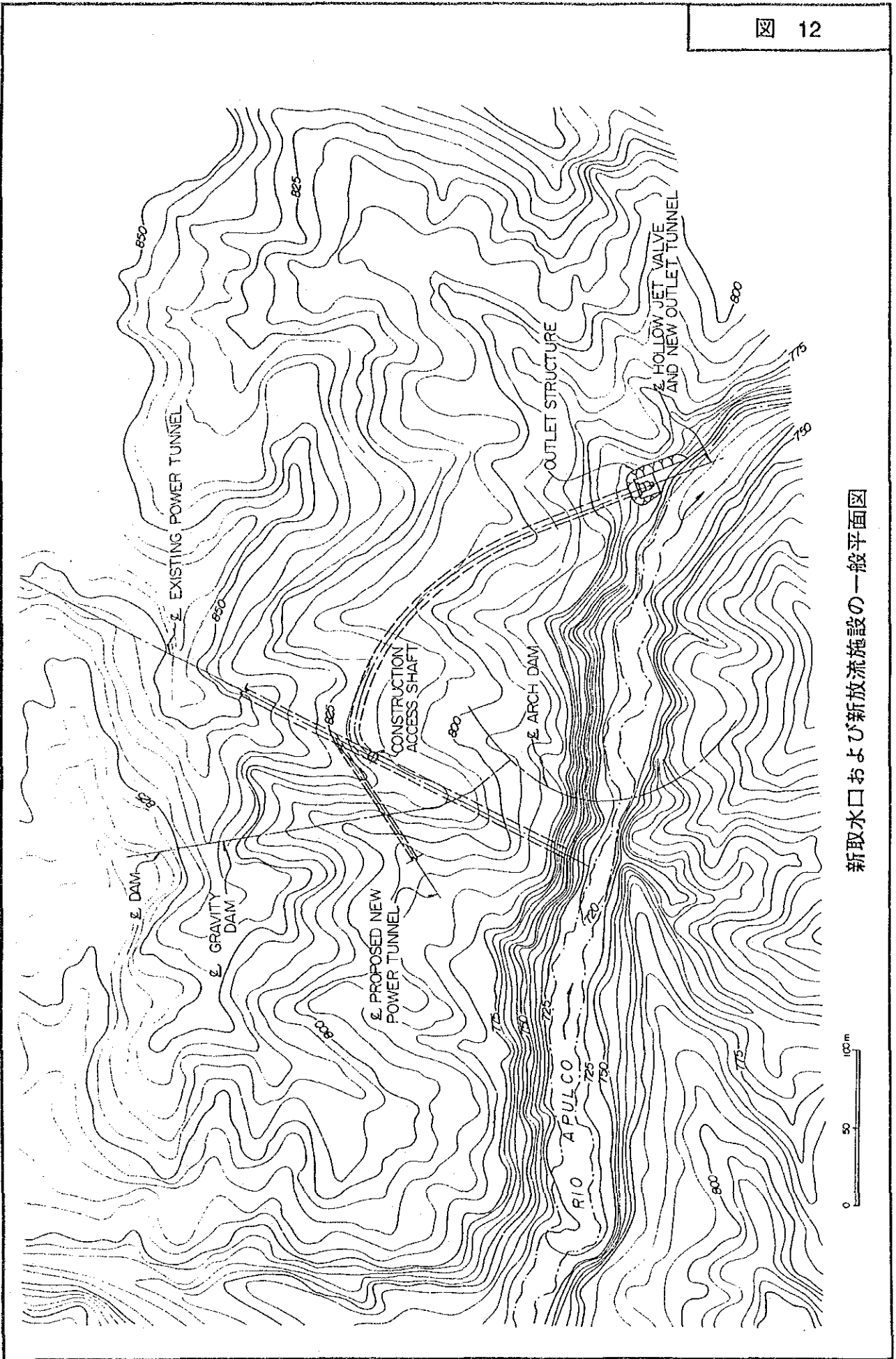
ソレダッド貯水池流入量の流況曲線



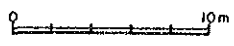
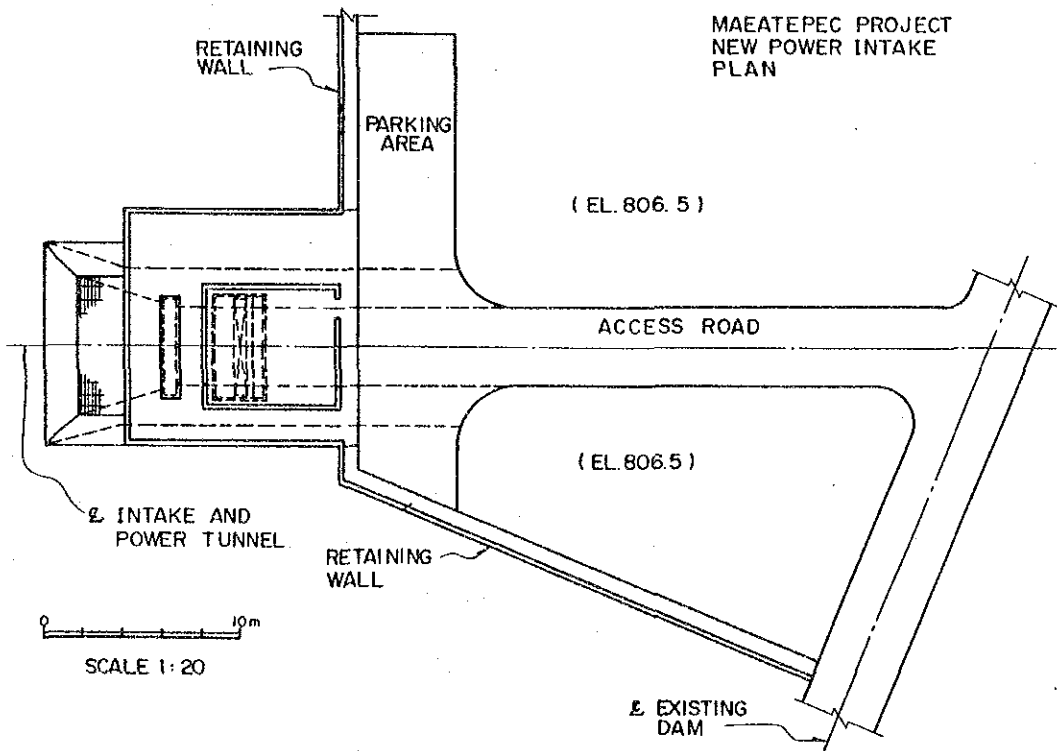
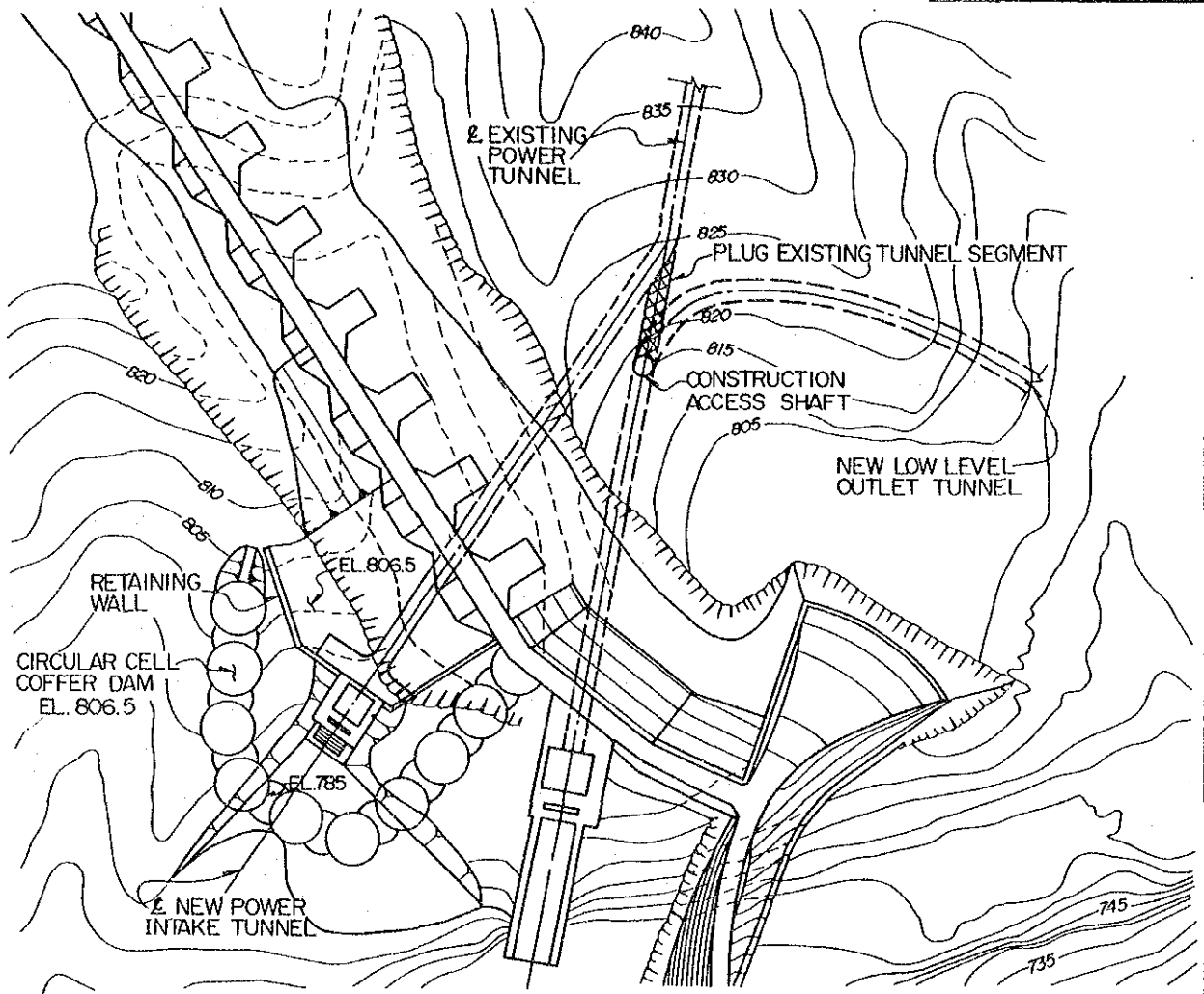
HEC-6モデルにより推定した貯水池堆砂面の縦断面図



リハビリテーション計画の土砂収支

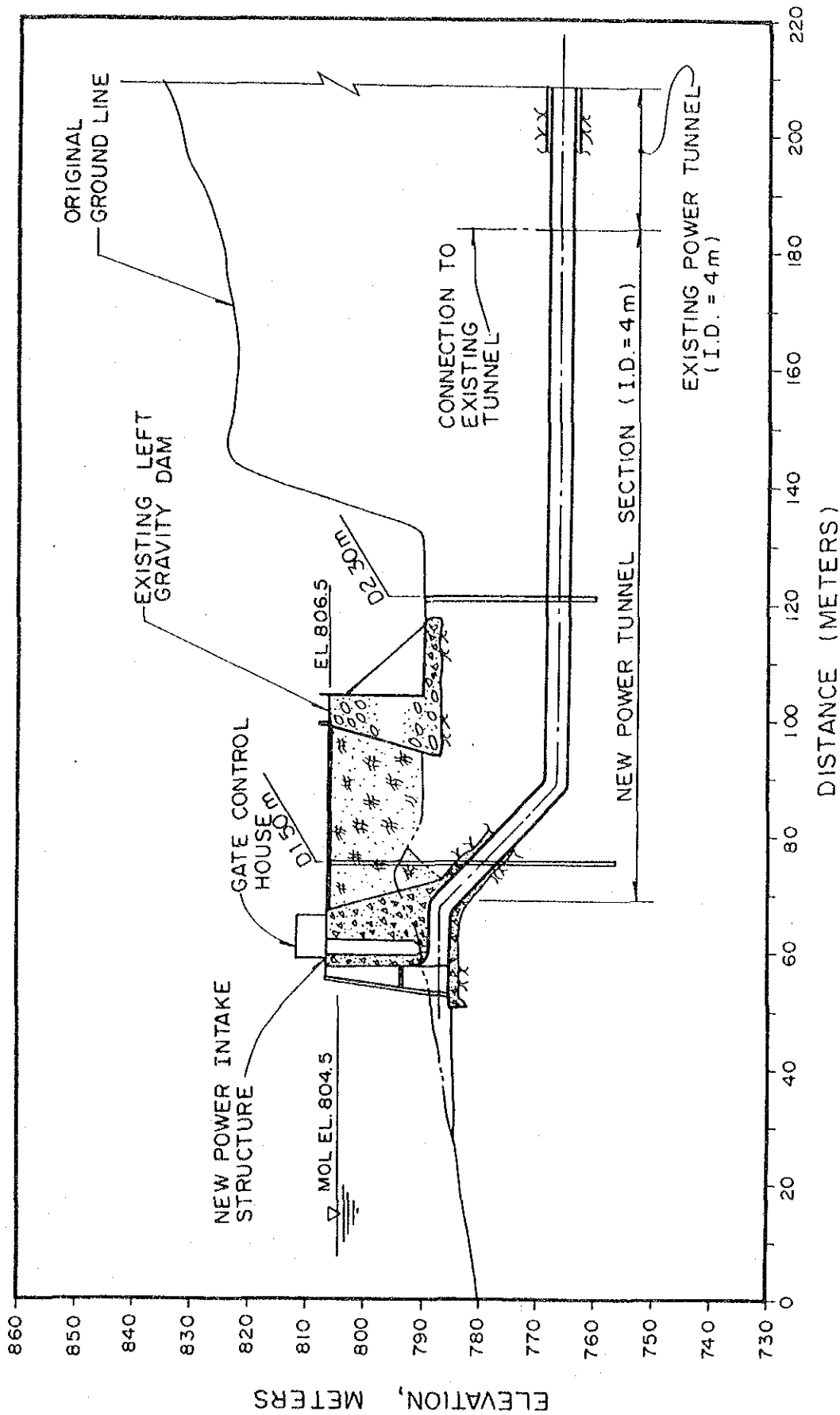


新取水口および新放流施設の一般平面図

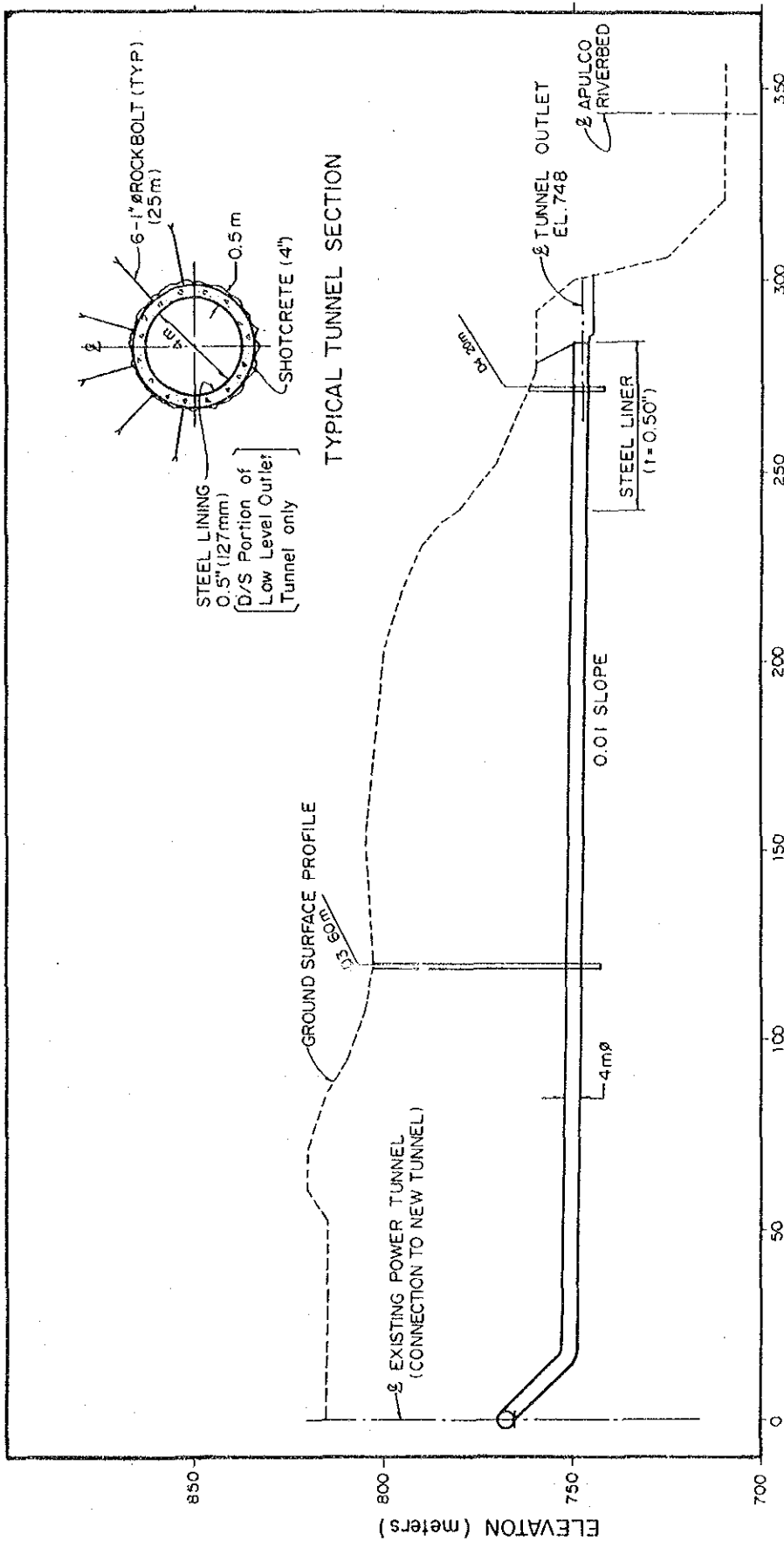


SCALE 1:20

新取水口の平面図

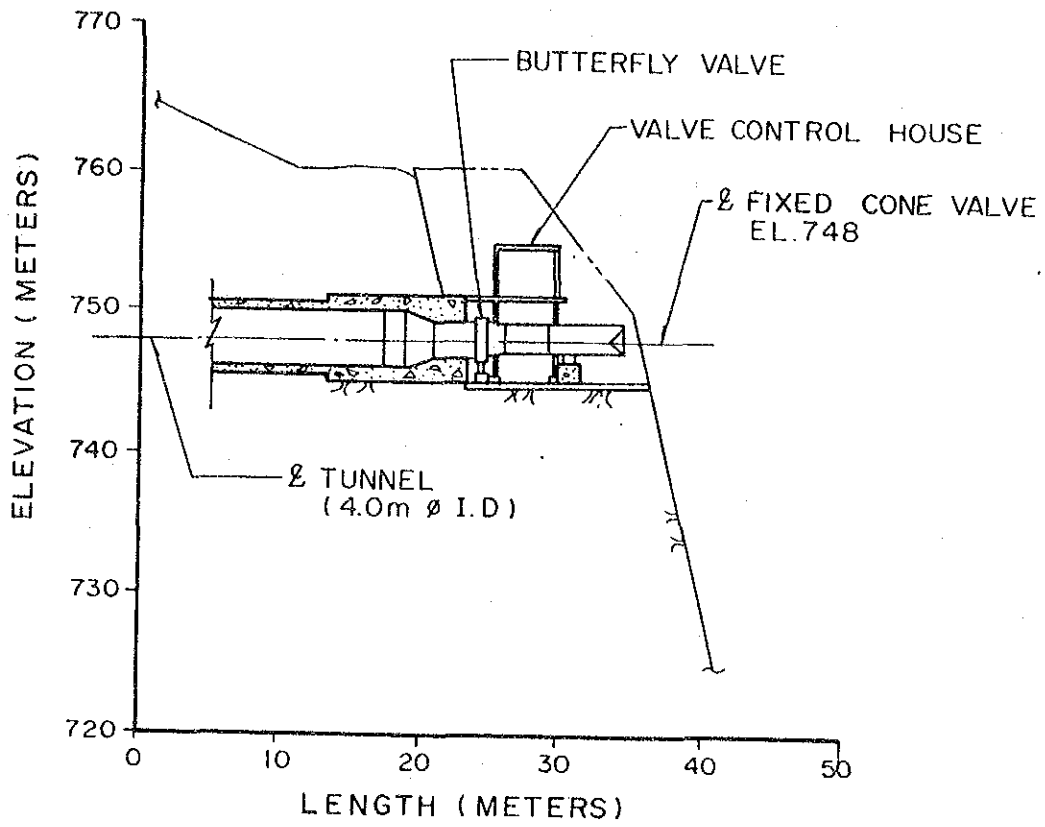


新取水口の縦断面図

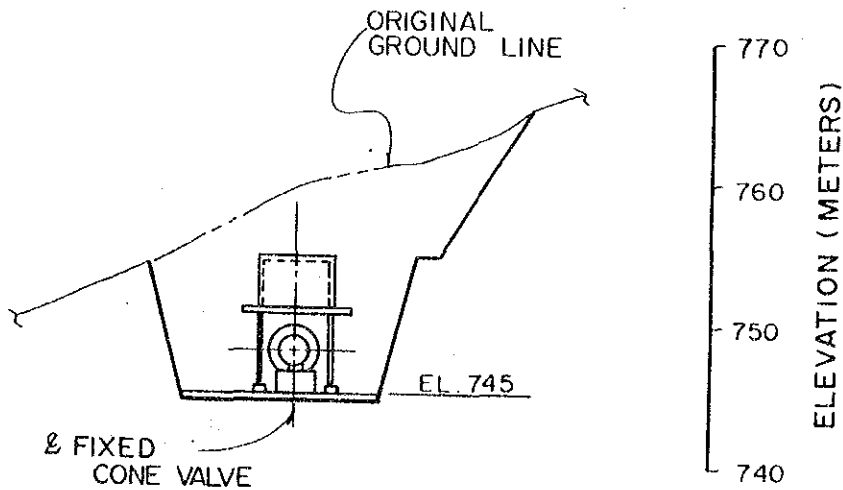


DI ~ D4 : Core Drilling

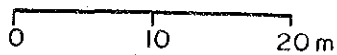
新設トンネルの縦断面図



PROFILE

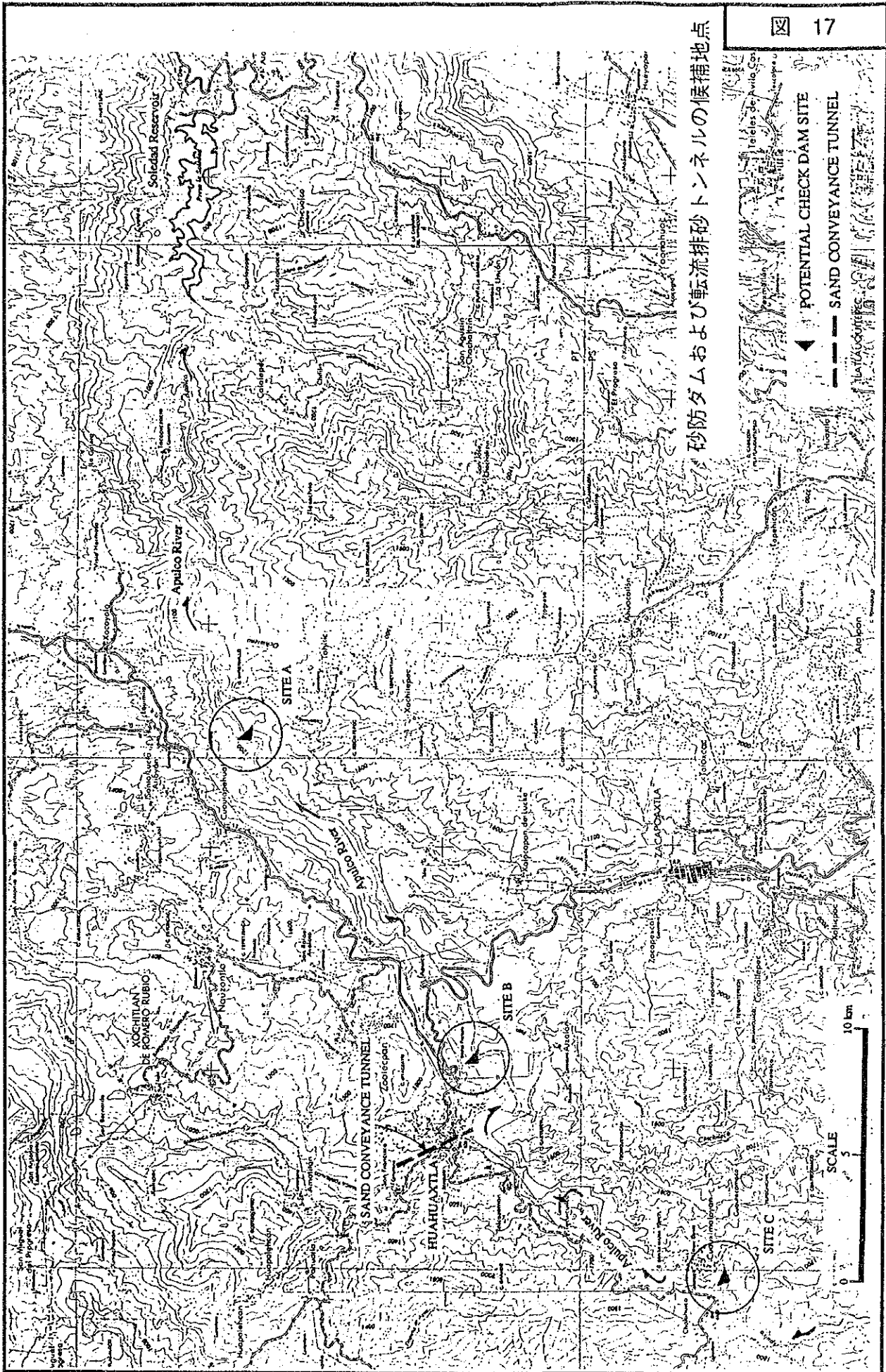


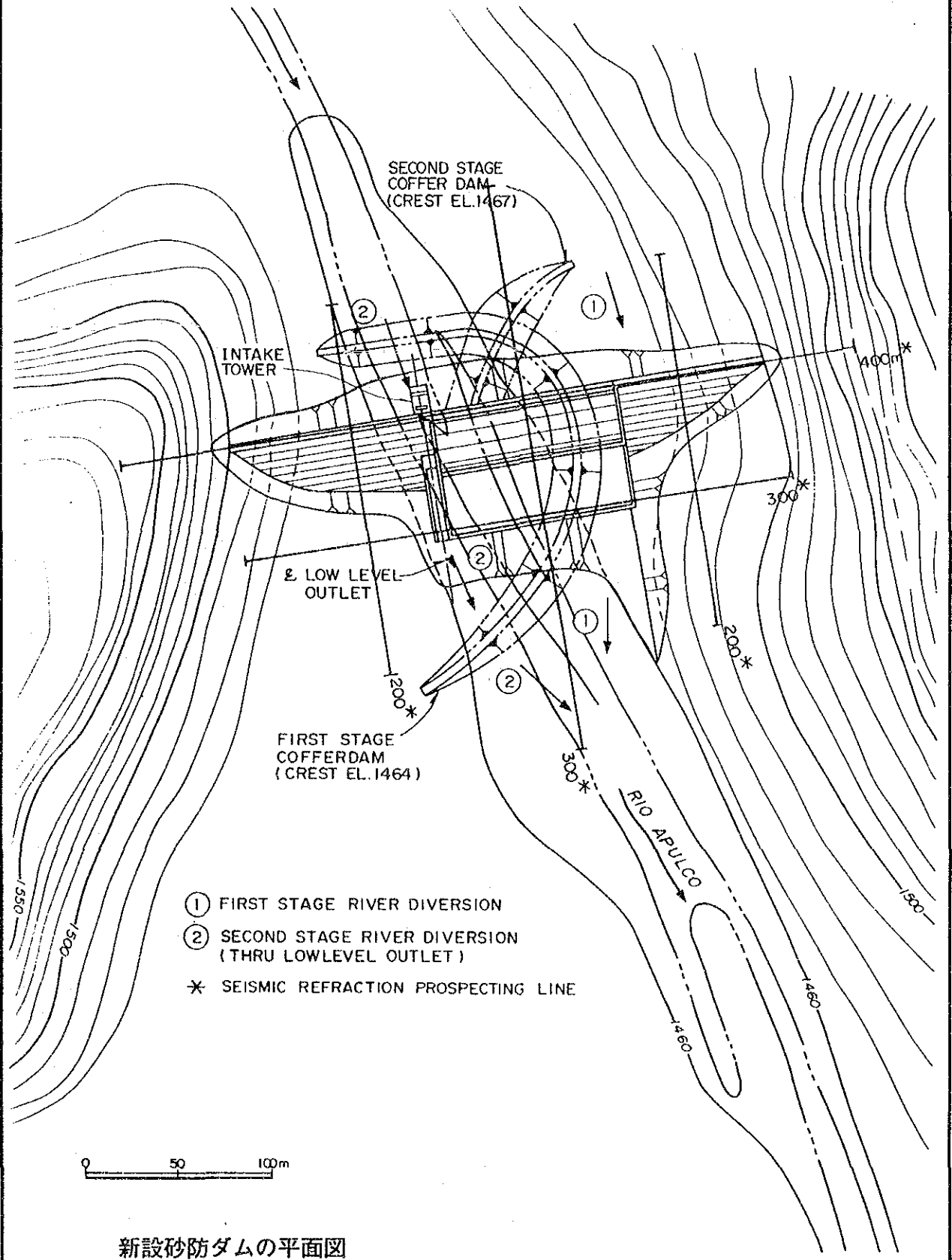
SECTION



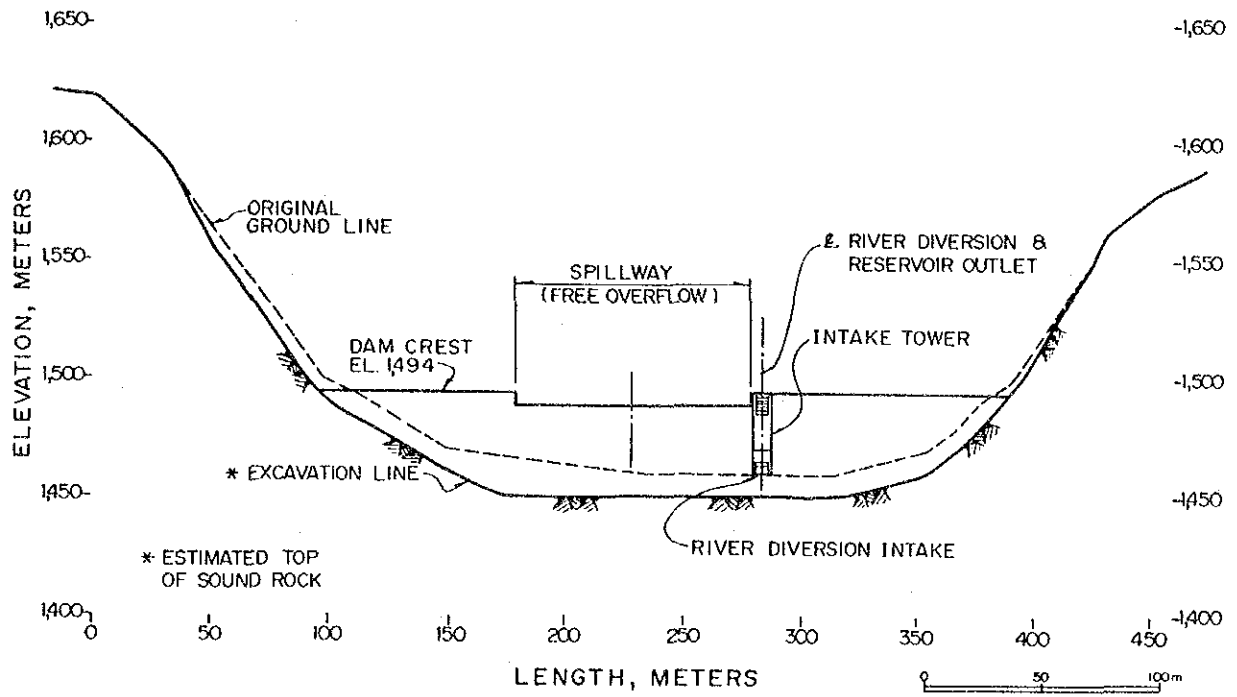
新放流施設の縦断面図

砂防ダムおよび転流排砂トンネルの候補地点

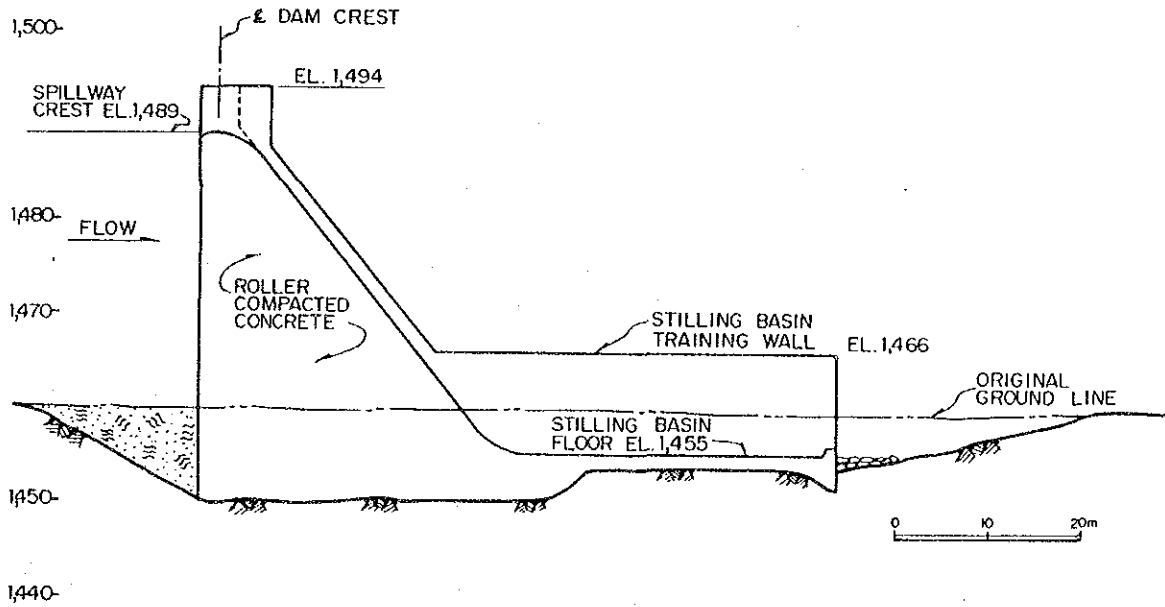




新設砂防ダムの平面図

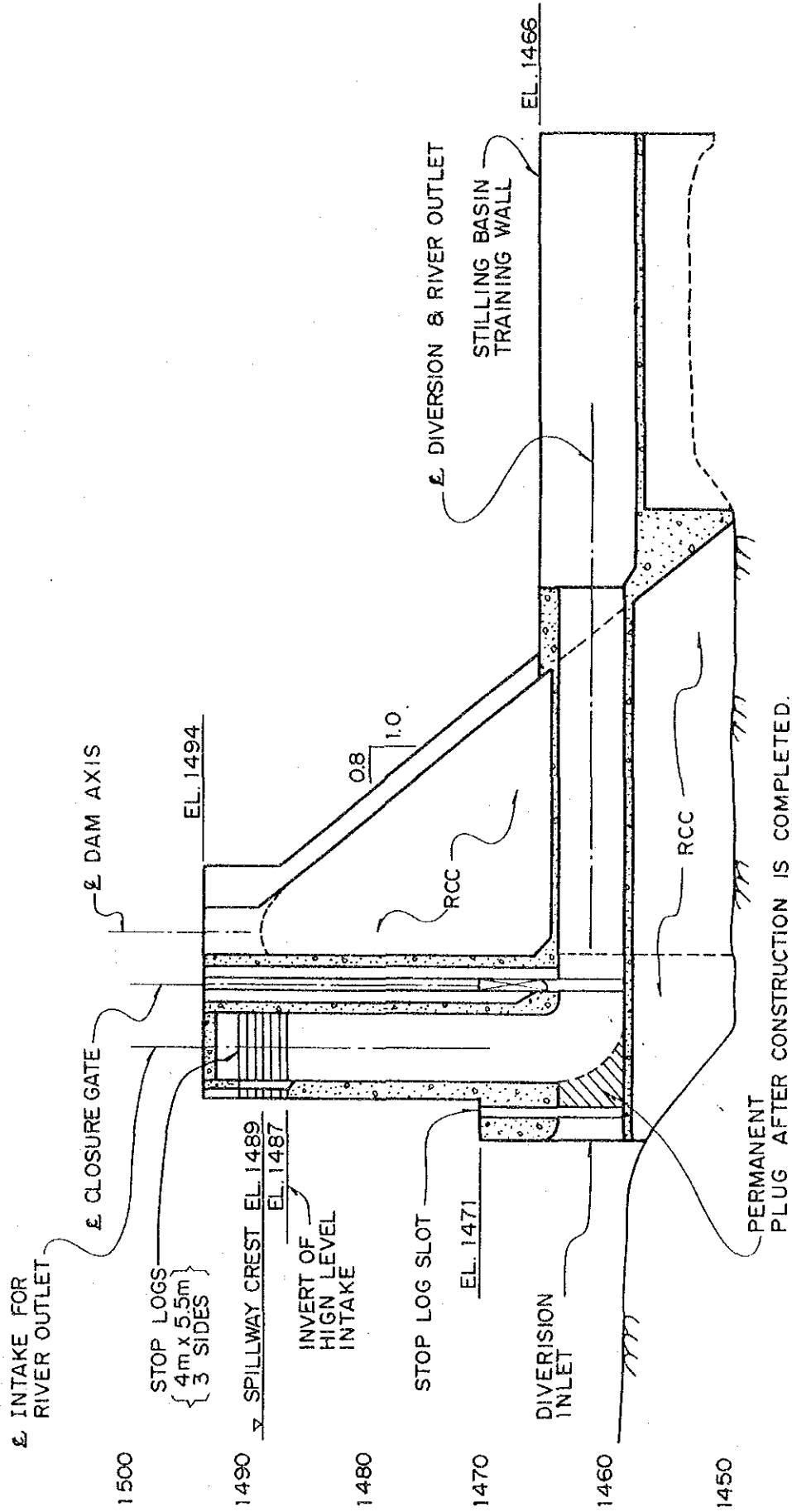


UPSTREAM ELEVATION OF CHECK DAM

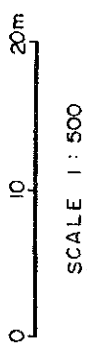


SECTION THRU SPILLWAY CENTERLINE CHECK DAM

新設砂防ダムの断面図



PERMANENT PLUG AFTER CONSTRUCTION IS COMPLETED.



新設砂防ダムの転流及び放流施設

	1st year	2nd year	3rd year	4th year
1. Financial arrangement				
2. Engineering service				
2.1 Engineering design		Re-analysis of arch dam & detail design		
2.2 Construction supervision				
3. Field investigation				
4. Construction				
4.1 Tendering				
4.2 Construction				

Note: (*1) Bathymetric survey in Soledad Reservoir

リハビリテーション計画実施工程

Work Items	Month							Remarks
	1	2	3	4	5	6	7	
A. Topographic Survey								
A-1 Preparation/Mobilization	■							
A-2 Aerial photogrammetric mapping								
(1) Shooting	■	■						For the proposed reservoir and road relocation, 20 km ² , 1/2,000
(2) Ground control survey	■	■						
(3) Levelling	■	■						
(4) Mapping			■	■				
A-3 Ground Survey								
(1) Profile/Section survey	■	■	■					For the check dam and intake site
(2) Plane table survey	■	■	■					- do -
B. Geological Survey								
B-1 Preparation/Mobilization	■							
B-2 Seismic refraction prospecting		■	■					For check dam site : 1,400 m for 5 lines
B-3 Core drilling		■	■					For check dam : 200 m long for 6 holes and intake and tunnel : 160 m long for 4 holes
C. Construction Material Survey								
C-1 Sand & gravel	■	■						For concrete aggregate for building concrete dam
C-2 Quarry site	■	■						
D. Bathymetric Survey of Soledad Reservoir								
D-1 Entire reservoir area	■	■			■			By using echo sounder at every 6 month.
D-2 Dam and intake area		■			■			
E. Measurement of Turbidity of Water								
E-1 Reservoir	■				■			By using turbidity water at every 6 month.
E-2 Downstream	■				■			

現地調査スケジュール

JICA