

# フィリピン共和国

## カリラヤダム修復計画

### 調査報告書

昭和61年9月

国際協力事業団

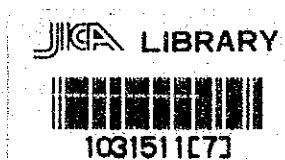
鉦計資
OR 8
86 — 96



# フィリピン共和国

## カリラヤダム修復計画

### 調査報告書



15703

昭和61年9月

## 国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '86.11.21	118
登録No. 15703	61.7
	MPN

## は し が き

日本国政府は、フィリピン共和国政府の要請に基づき、同国ルソン島における既設カリラヤダムの修復計画及び安全管理システムの策定とその評価を行うこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は、株式会社新日本技術コンサルタント松井豊氏を団長とする各分野の専門家から成る調査団を編成した。

調査団は、1985年10月8日から12月30日及び1986年7月22日から7月31日までの2回にわたる現地調査を行い、帰国後、これによって得られた結果と資料に基づいて、問題点の解析及び検討等を行った。又、1986年1月19日から1月25日及び3月9日から3月15日までの2回に亘って専門家を同国に派遣し、調査工事及びモニタリングの指導を実施した。

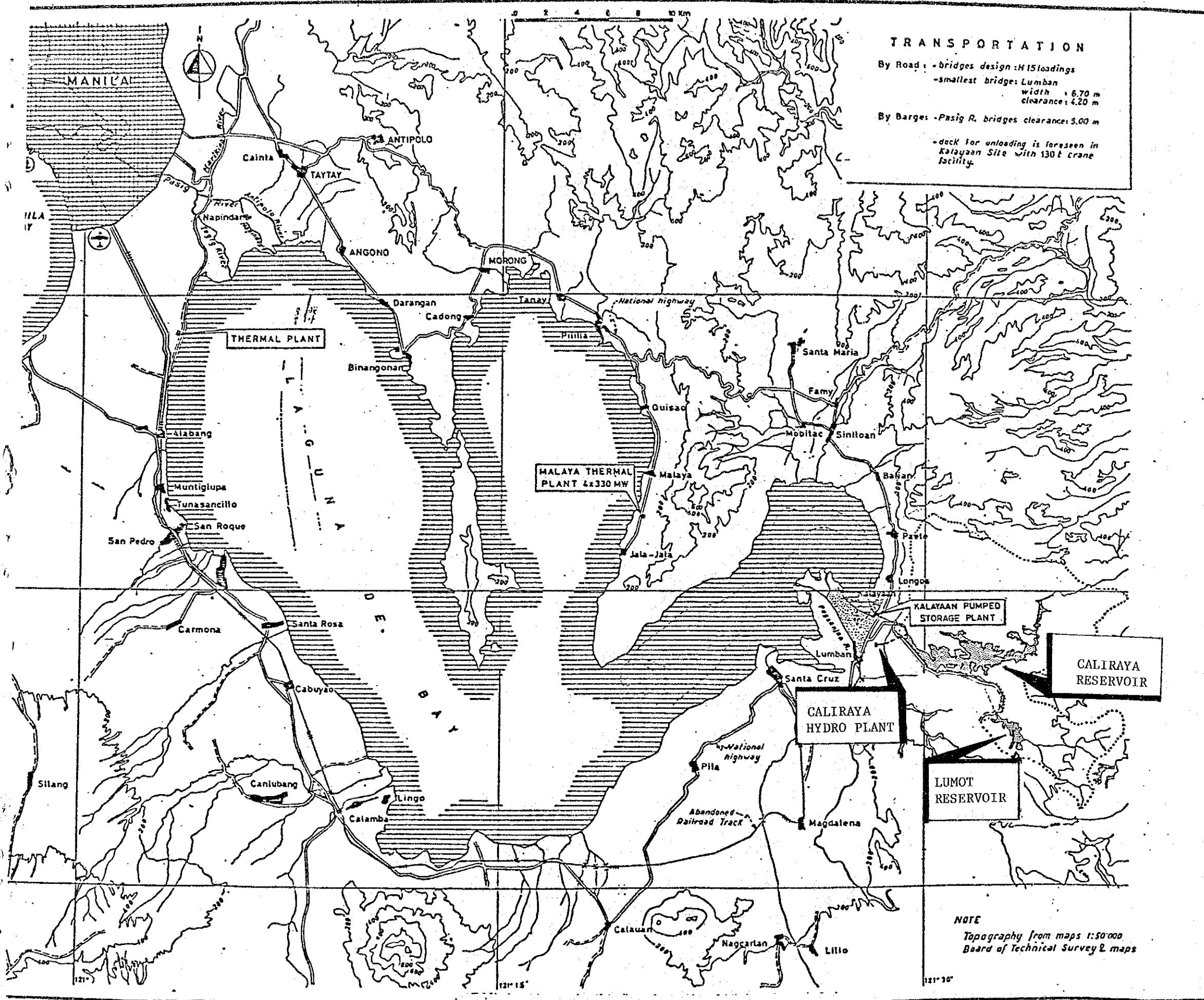
本報告書は、この成果を取りまとめたものである。本報告書が、カリラヤダムの修復及び安全管理システムの確立に役立つとともに、同国の社会的・経済的發展に寄与し、ひいては、同国とわが国との経済交流、友好親善をより一層深めることに貢献出来れば幸いである。

終りに、本調査の任に当たられた団員のご努力に敬意を表すると共に、調査に際し、多大のご協力を頂いたフィリピン共和国政府関係機関、電力公社 (NAPOCOR)、在フィリピン日本国大使館、外務省及び通商産業省の関係各位に対し、深く感謝の意を表わすものである。

1986年9月

国際協力事業団

総裁 有田 圭 輔

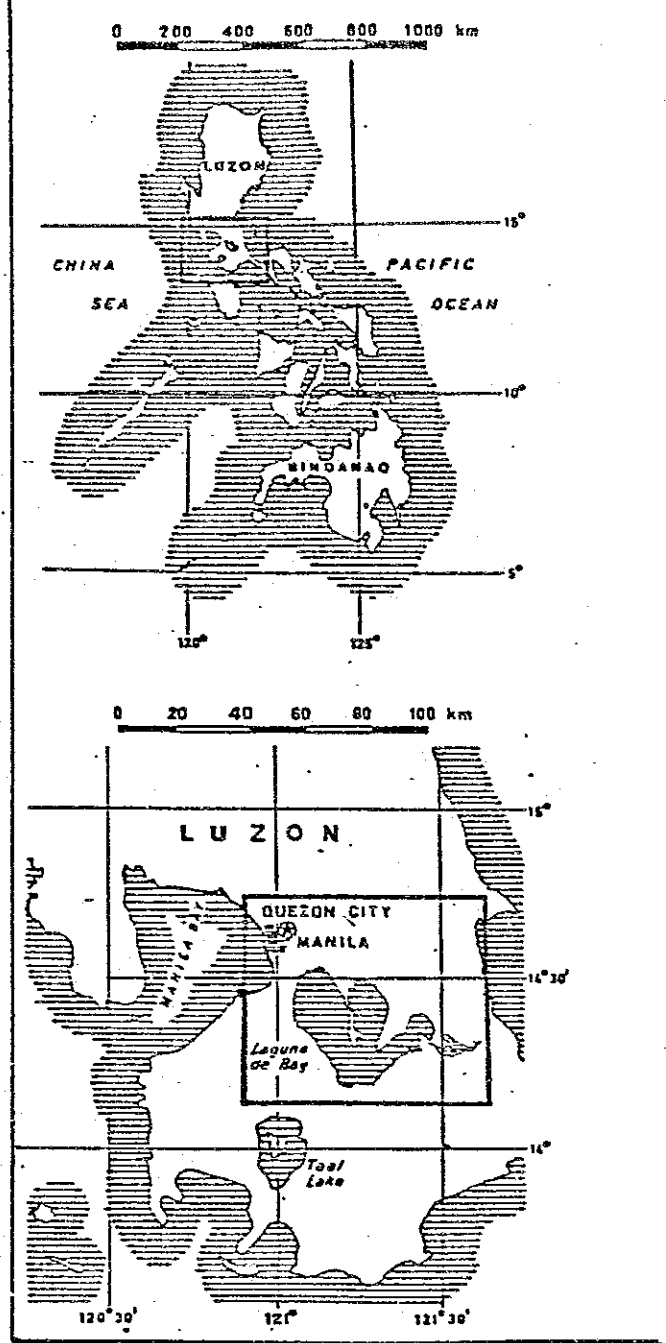


**TRANSPORTATION**

By Road: -bridges design: H15 loadings  
 -smallest bridge: Lumban  
 width: 6.70 m  
 clearance: 4.20 m

By Barge: -Pasig R. bridges clearance: 5.00 m

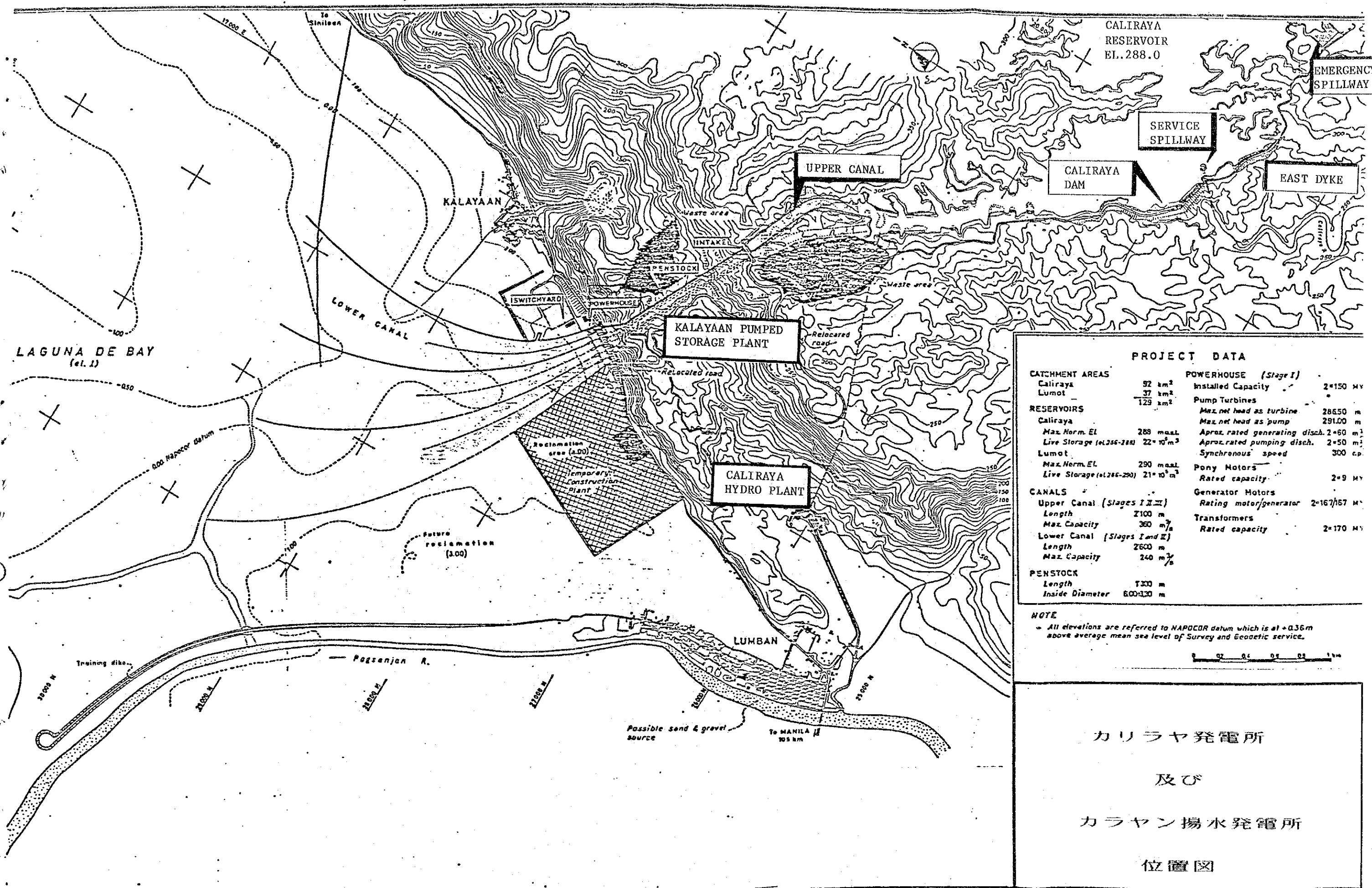
-dock for unloading is foreseen in Kalayaan Site with 130 t crane facility.



プロジェクト地域

一般平面図

NOTE  
 Topography from maps 1:50,000  
 Board of Technical Survey & maps



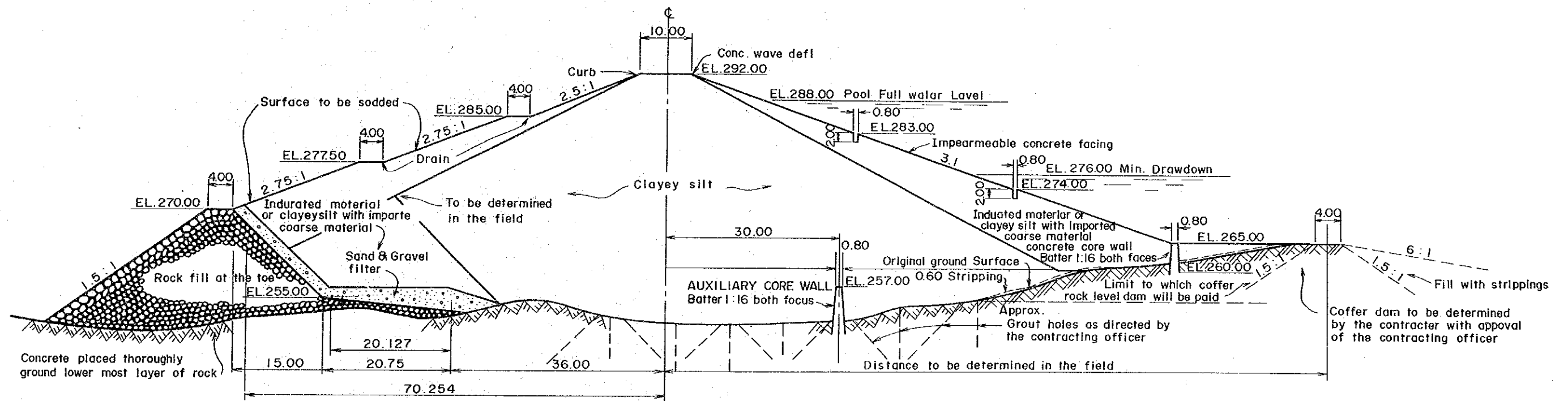
**PROJECT DATA**

<b>CATCHMENT AREAS</b>		<b>POWERHOUSE (Stage I)</b>	
Caliraya	92 km <sup>2</sup>	Installed Capacity	2*150 MW
Lumot	37 km <sup>2</sup>	Pump Turbines	
	129 km <sup>2</sup>	Max. net head as turbine	286.50 m
<b>RESERVOIRS</b>		Max. net head as pump	291.00 m
Caliraya		Approx. rated generating disch.	2*60 m <sup>3</sup> /s
Max. Norm. El.	288 masl	Approx. rated pumping disch.	2*50 m <sup>3</sup> /s
Live Storage (el. 286-280)	22*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Synchronous speed	300 c.p.
Lumot		Pony Motors	
Max. Norm. El.	290 masl	Rated capacity	2*9 MW
Live Storage (el. 286-290)	21*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Generator Motors	
<b>CANALS</b>		Rating motor/generator	2*167/157 MW
Upper Canal (Stages I, II, III)		Transformers	
Length	2100 m	Rated capacity	2*170 MW
Max. Capacity	360 m <sup>3</sup> /s		
Lower Canal (Stages I and II)			
Length	2600 m		
Max. Capacity	240 m <sup>3</sup> /s		
<b>PENSTOCK</b>			
Length	1300 m		
Inside Diameter	600-1200 m		

**NOTE**  
 - All elevations are referred to NAPCOR datum which is at +0.36m above average mean sea level of Survey and Geodetic service.

カリラヤ発電所  
 及び  
 カラヤン揚水発電所  
 位置図

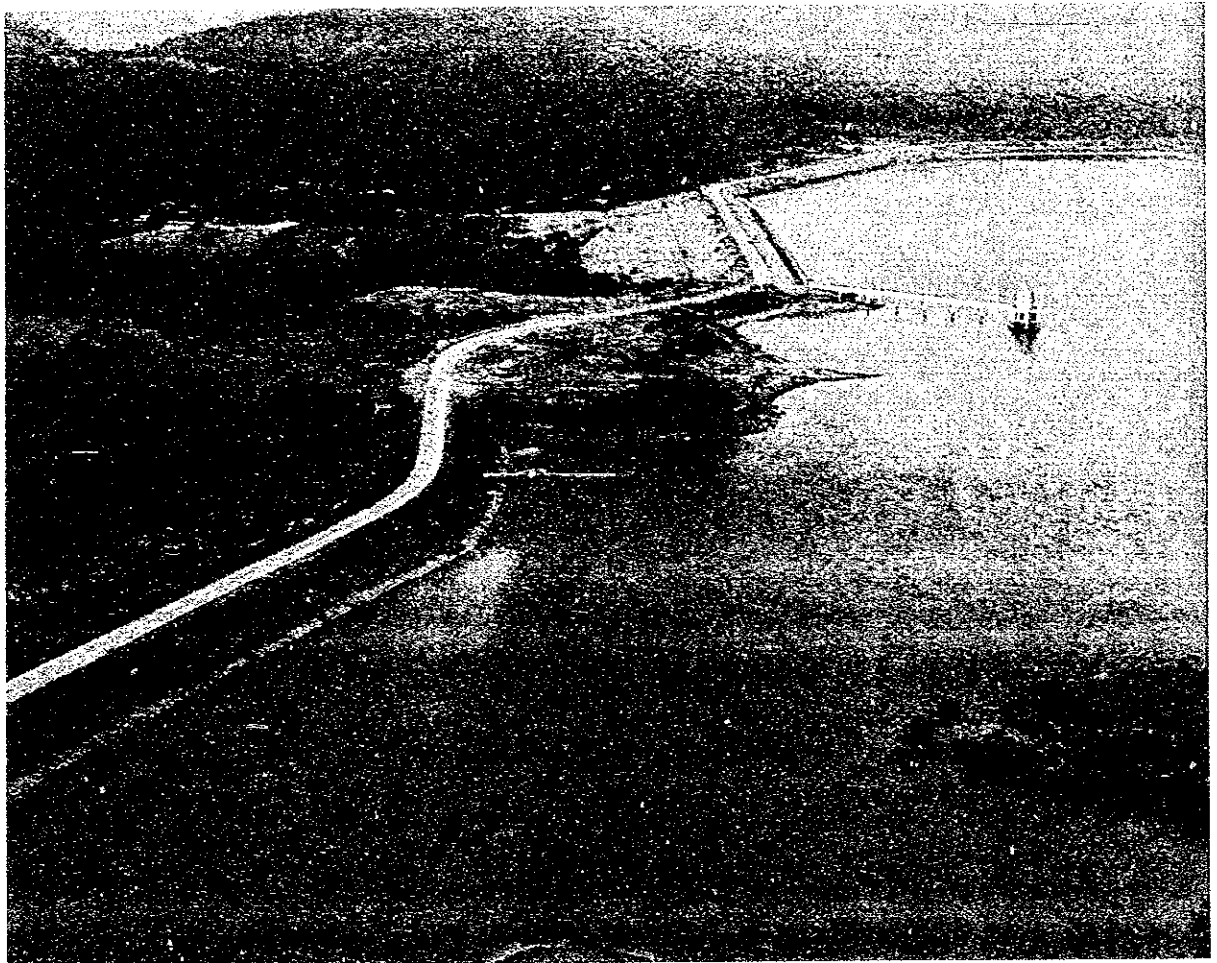
カリラヤダム標準断面図



SECTION, STA 0+380  
TYPICAL FROM STA 0+375 TO STA 0+390





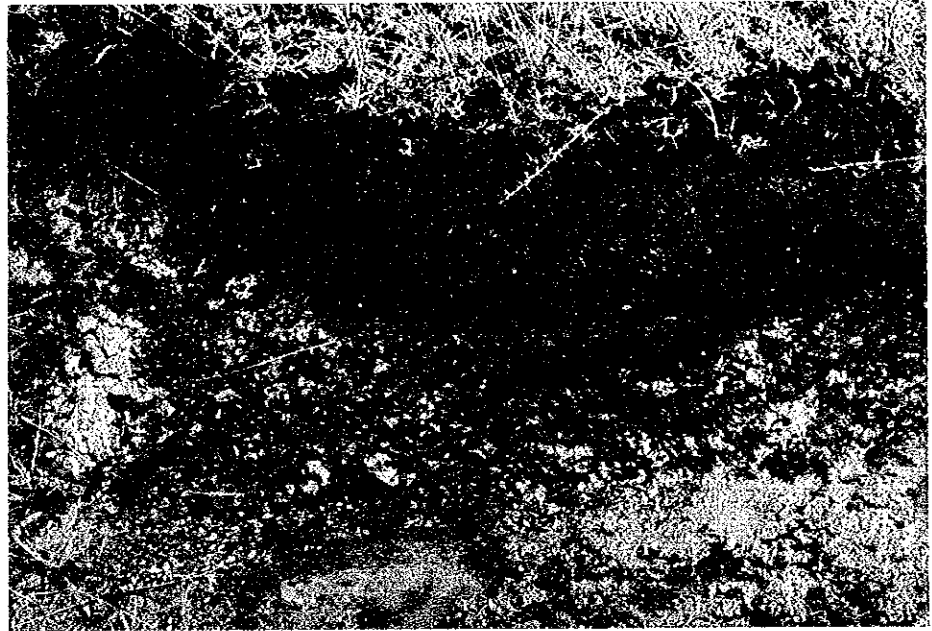


上空より見たカリラヤダム全景





• 下流法面の浸蝕跡



• 表層にみられる客土層及び下側の堤体盛土  
(客土層と堤体盛土ではクラックの入り方が異なっている。  
下側の水溜りは水牛が掘ったもの)





• 家畜が自由に歩きまわる下流面

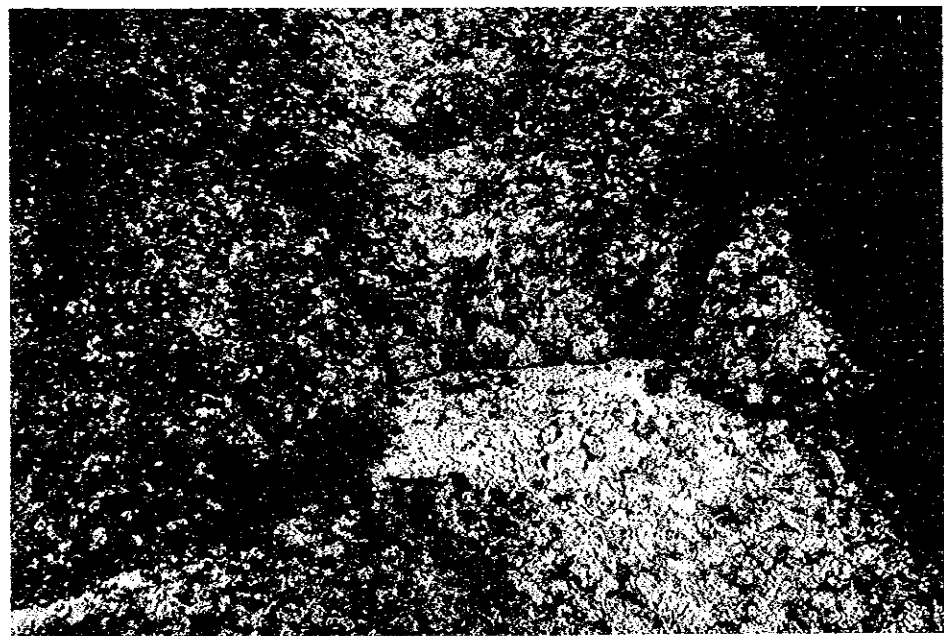


• 水牛の蹄による傷跡





• 下流面浸蝕跡の堤体盛土  
(クラックによって小ブロック化している)



• 堤体盛土材料採取跡  
(強風化岩でクラックが少なく小ブロック化していない)





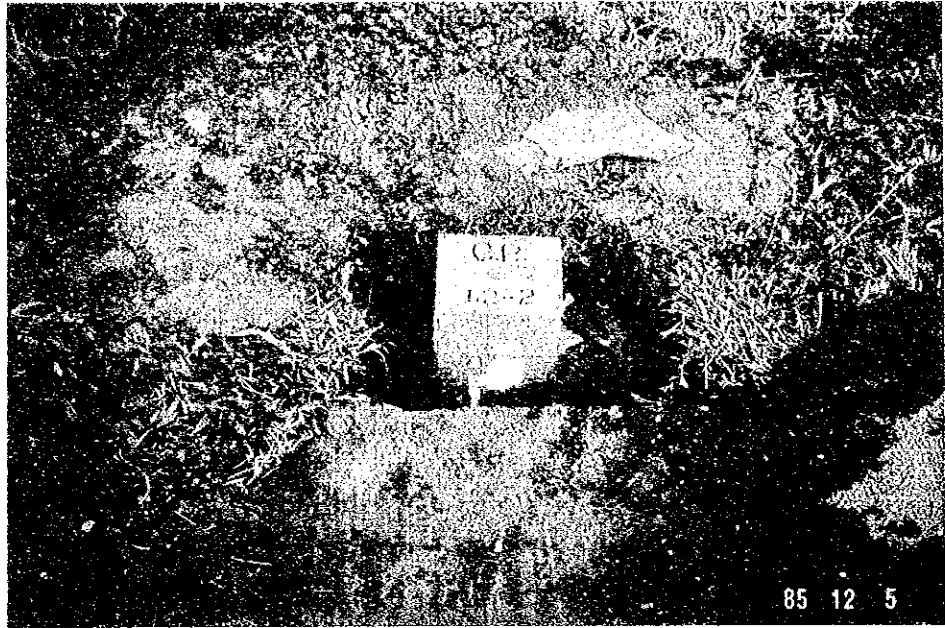


• Upper Canal 右岸の地すべり跡



• Upper Canal 右岸の地すべり跡  
(中央のロック盛立部は対策工)



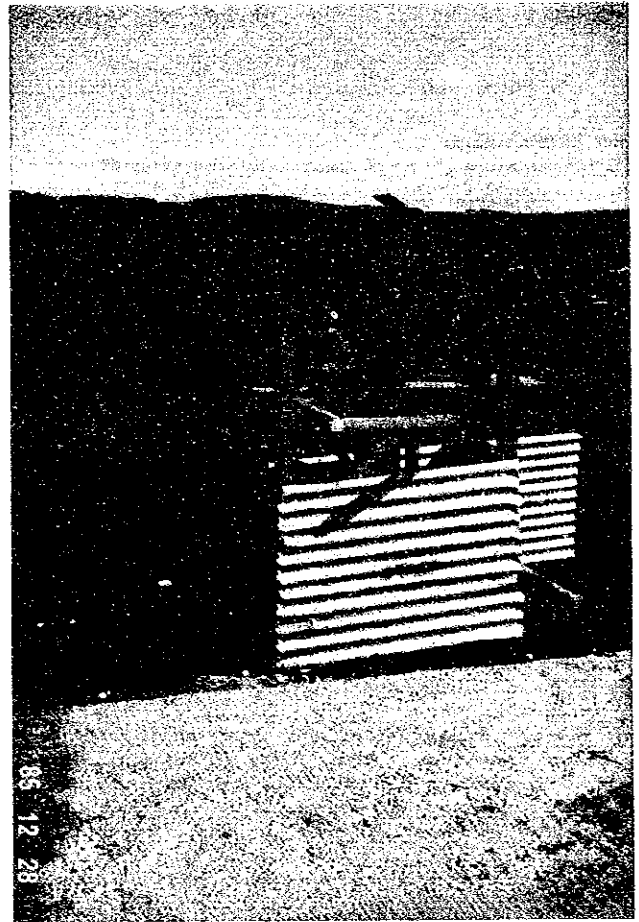
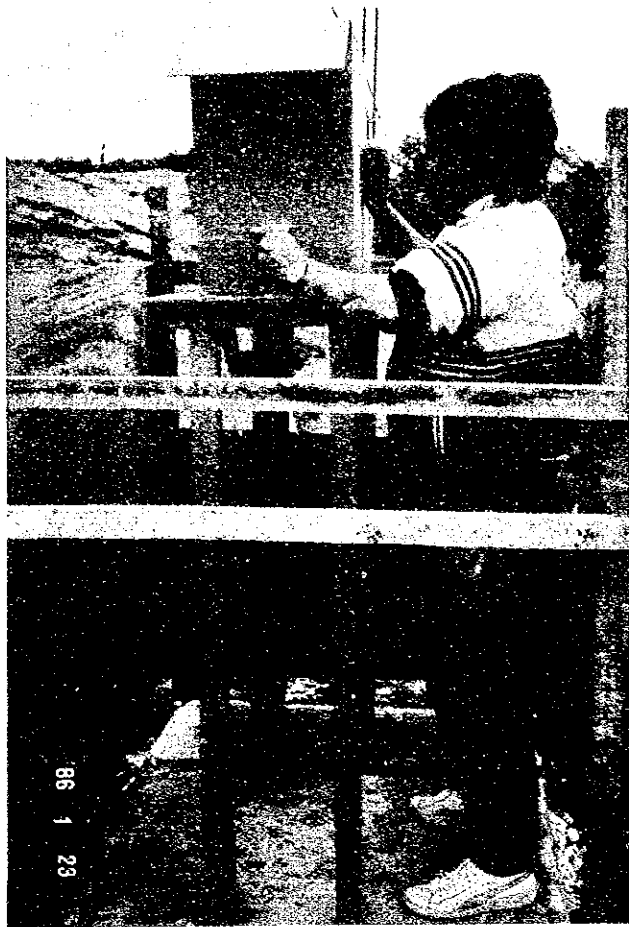


• ダム外部変形測定標識



• 東側ダイク地山のすべり



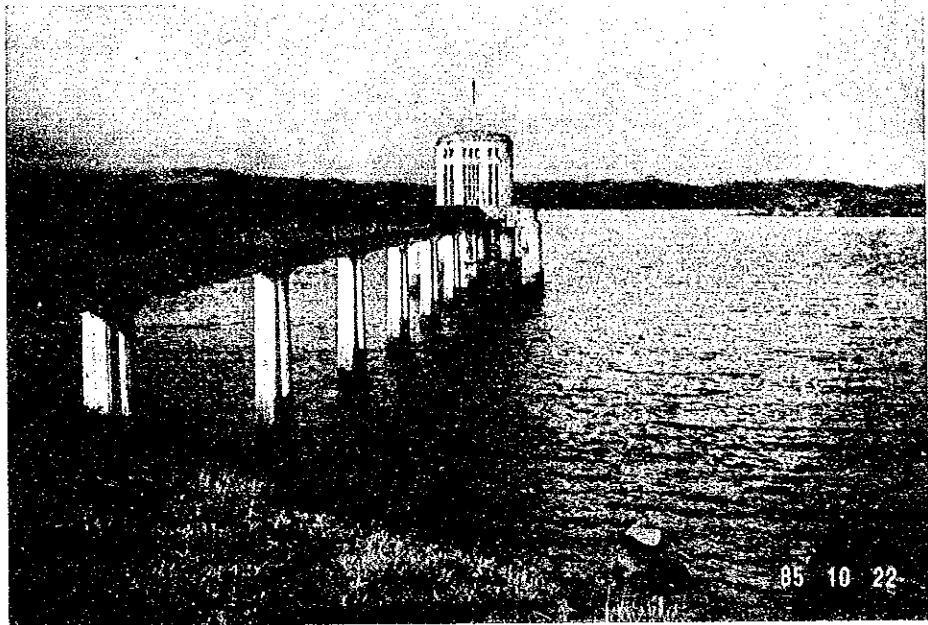


• 地下水位計

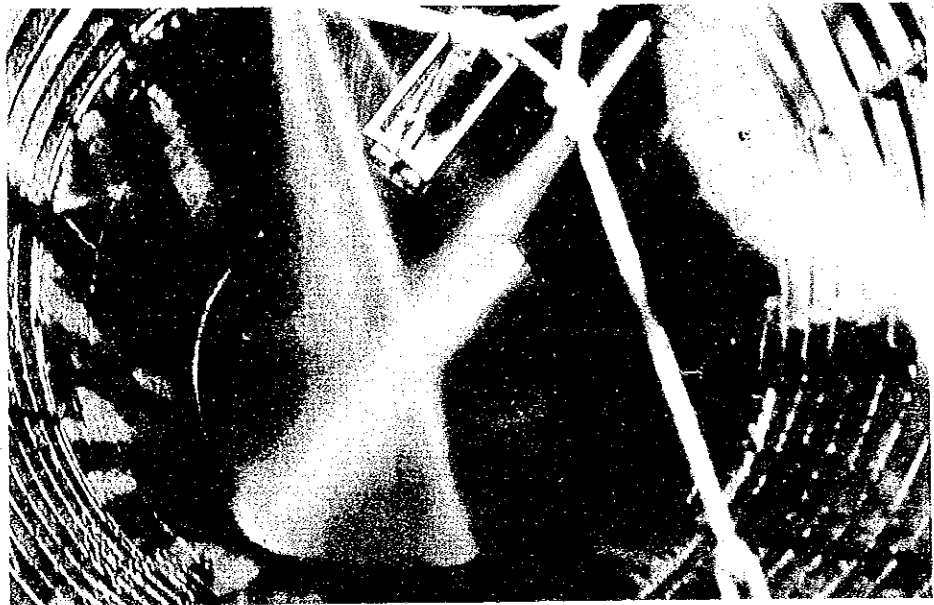


• 漏水測定堰





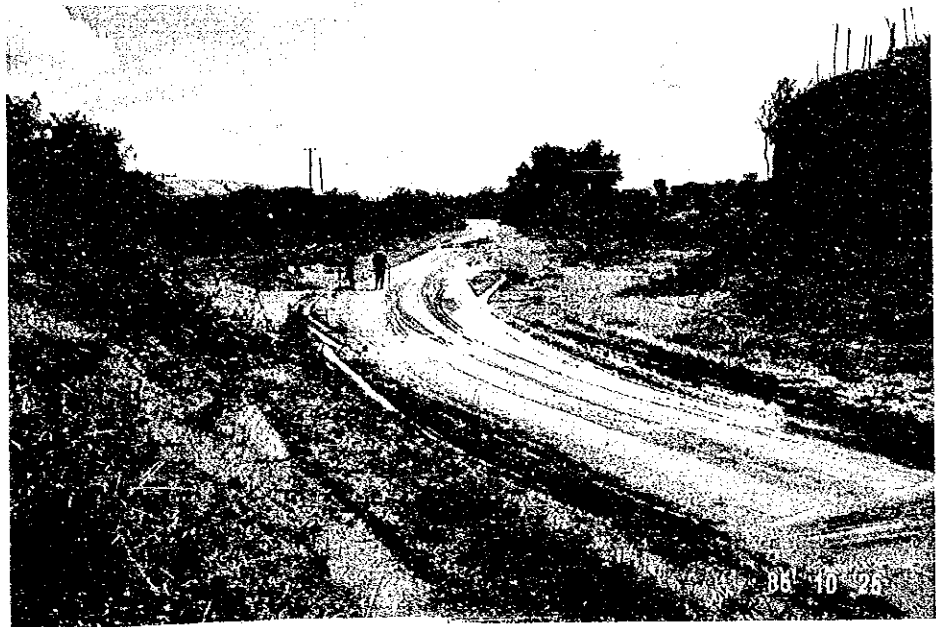
• 常用洪水吐



• 常用洪水吐立坑部の漏水  
(周囲のリブ構造はシリンダーゲート)







• 非常用洪水吐全景



• 非常用洪水吐越流部 (道路となっている)



# 目 次

## 位置図及び現地写真

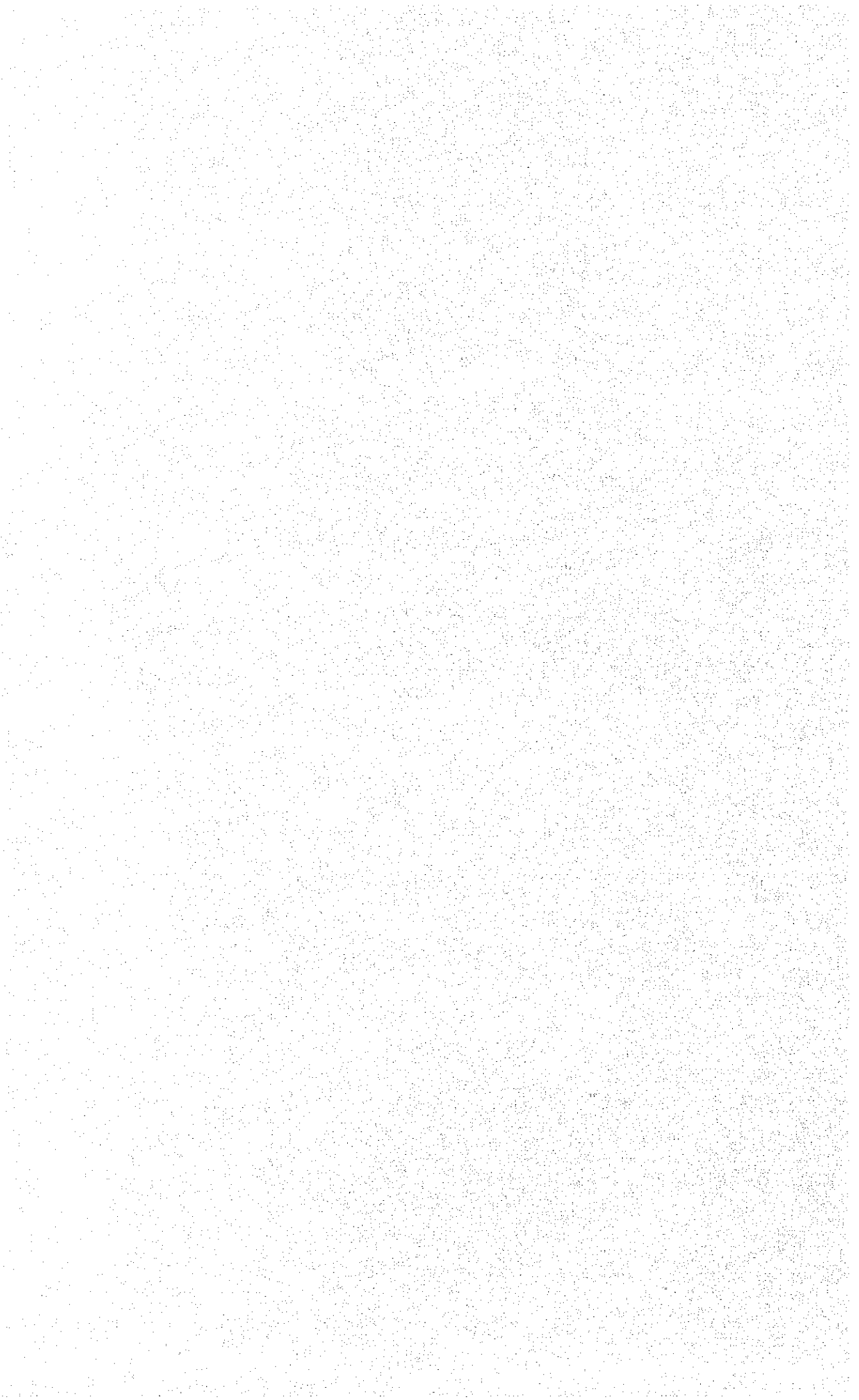
結論と勧告 .....	1～ 5
-------------	------

## 本 文

I. 調査の背景及び調査内容 .....	1-1～ 2
II. 現 地 調 査 .....	2-1
III. 調査工事、モニタリング設備 .....	3-1～11
IV. プロジェクト地域の地質 .....	4-1～ 7
V. 調 査 結 果 .....	5-1～24
VI. カリラヤ貯水池の洪水量 .....	6-1～14
VII. カリラヤダムの安定解析 .....	7-1～ 7
VIII. 修復計画及び修復工事費 .....	8-1～17
IX. 経 済 性 評 価 .....	9-1～ 9
X. 保守管理体制の確立 .....	10-1～ 7
XI. 技術移転セミナーの実施 .....	11-1～ 2



## 結 論 と 勧 告



## 結 論 と 勧 告

### I. カリラヤダム の 損 傷

i) カリラヤダム下流斜面の損傷は、雨水による浸蝕が発展したものである。現在のところすべり安全率は、地震時においても 1.5 以上確保されていると判断される。しかし、浸蝕は 30 cm/年の割合で進行していると考えられるので、このまま放置すればこれから 10 年後には、すべり安全率が日本で規定されている地震時の 1.2 を下廻る様になることが予想されるので、早急に修復する必要がある。

ii) 上流側斜面のコンクリートスラブのクラックは堤体の不等沈下が主因となっている。また、スラブのジョイント部の継目板が腐食し開口したため、スラブ下面の堤体盛立材料が部分的に流失して空隙が出来、これがクラックの広がりをも助成したものと判断される。

これらのクラックは今後急速に発展して行く可能性は小さいが、上流側斜面の風波による浸蝕防止のため修復する必要がある。そのためには、水位を低下 (EL. 282.0 以下) して修復するのがよいが、もし運転の都合上、低下出来ない時には EL. 285.0 迄全面に砂礫土砂の投棄及び蛇かごを積み、スラブの保護をする必要がある。

iii) 東側ダイク下流地山の地すべりは円弧すべりの様相を呈している。この地すべりは比較的新しいもので、ダイク盛土部の近くで発生しており、現在ダイクの基礎地山にまですべりが進行しつつあるので、直ちにロック材で埋戻す必要がある。

iv) カラヤン取水口に通ずる upper canal 右岸側に存在する地すべりは upper



canal 掘削中に発生したものであるが、これはロック盛立と排水溝によって対策されており、現在滑動を停止し小康状態にある。しかし、すべり始点付近の地山はすべり面の地肌が露出しており、滑動を再発するおそれもあるので、充分その挙動を監視して行くことが必要である。

## II. 確率洪水量及び洪水吐設備

i) カリラヤ貯水池（流域面積 92 km<sup>2</sup>）とルモト貯水池（流域面積 37 km<sup>2</sup>）への 200 年洪水量はそれぞれ 2,173 m<sup>3</sup>/sec 及び 874 m<sup>3</sup>/sec と計算される。両貯水池は直径 2.0 m、長さ 1,850 m の水路トンネルで連絡されているが、このトンネルの通水能力（約 4.6 m<sup>3</sup>/sec）が小さいため、ルモト貯水池への洪水量は殆どルモトダムの洪水吐から放流され、カリラヤ貯水池へは最大 4.6 m<sup>3</sup>/sec しか流入しない。

従って、カリラヤダムの洪水吐の検討では、ルモト側からの流入量として 4.6 m<sup>3</sup>/sec のみを考慮した。

ii) カリラヤダムの洪水吐は現在常用洪水吐（トンネル形式）と非常用洪水吐（開水路、自由越流型）より構成されている。常用洪水吐はシリンダーゲートによって流量が制御される設計になっており、その放流能力は貯水池水位 288.0 m（H.W.L.）で 252.7 m<sup>3</sup>/sec である。また、非常用洪水吐の越流敷標高は EL.289.3、越流可能な巾は約 160 m であるが、貯水池水位が満水位 288.0 m では放流出来ない。水位が EL.289.3 以上になってはじめて放流が可能となる。

iii) 現洪水吐（常用、非常用）の放流能力が小さいため（200 年確率洪水量 × 1.2 の洪水流入量に対し、貯水池水位は約 290.55 m となり、これに 30 m/sec に相当する風波高を加えるとダムの天端を溢水し、ダムの決壊につながるこ

とになる。その上、非常用洪水吐越流部の下流側一帯は私有地で占められており、越流水を安全に流下させる水路が存在しない。

従って、洪水放流能力の増加と、非常用洪水吐からの越流の機会を出来るだけ少なくするため、カリラヤ貯水池に新たな洪水吐を直ちに増設する必要がある。

この新しい洪水吐は越流敷標高 284.0 m で、巾 9.0 m × 高さ 5.0 m のゲート 2 門を備えたものである。

#### iv) 常用洪水吐の問題点

カリラヤダムは常用洪水吐はトンネル式洪水吐である。この洪水吐は建設後 40 年以上経過しており、老朽化がひどい。ゲート水密部・巻立コンクリート部・内張鉄管部等いたるところから漏水している。これらの崩壊は洪水時のダム溢水に直接結びつき、ダム決壊の原因となるので直ちに修復する必要がある。

### III. 調査・モニタリング結果

- i) カリラヤダムの盛立材料は角礫凝灰岩の強風化土であり、粒径 74  $\mu$  以下及び 1  $\mu$  以下をそれぞれ 55%、24% 含有する粒度の非常に細かい土である。粘土鉱物はカオリナイトが主で、膨潤性のあるモンモリロナイトの含有は認められない。

堤体下流法尻に一部ロック材の盛立があるが、それ以外は均質なアースダムである。

- ii) 1986 年 1 月から開始されたダム挙動モニタリングのデータからみれば、堤体漏水量は雨期で多く乾期で減少するが大体 200  $l/min$  ~ 100  $l/min$  の範囲にある。この種のダムでは、この値は正常であると考えられる。

iii) 堤体内地下水位の分布は正常で、雨期、乾期の変化は少なく、その差は約 2 m 程度である。堤体下流部のロックフィルゾーンより基盤面に沿って上流側へ伸びるドレーン層の排水効果が大きく、このドレーン層近くで地下水位が急激に低下しており、現在のところ堤体下流法面に地下水が滲出して法面を不安定化することはない。

iv) しかし、カリラヤダムで実施中のモニタリング即ち漏水量の測定、堤体内地下水位の測定及びダムの外部変形の測定を今後も継続することが必要である。

#### IV. ダム、洪水吐の修復計画

##### i) 修復計画の重要度及び修復工事量

考慮されている修復計画は、その重要性の高いものから順に I, II, III の三つのグループに大別される。即ち、

- I プライオリティ
  - ・ 東側ダイク下流地山のすべり
  - ・ 常用洪水吐の漏水防止
  - ・ 洪水吐の増設
- II プライオリティ
  - ・ ダム下流法面の浸蝕跡の修復
- III プライオリティ
  - ・ 常用洪水吐のゲート取替
  - ・ ダム上流法面コンクリートスラブのクラック修復

各グループの修復工事費（1986年のコストベース）は概略以下の通りである。

I プライオリティ	5,483,900 米ドル
II プライオリティ	1,560,000 米ドル
III プライオリティ	467,000 米ドル
合計	7,510,900 米ドル

これに、予備費、エンジニアリング費、NAPOCORの管理費を加えると修復工

事費は合計 9,542,990 米ドルと見積られる。修復工事費の内訳は表Ⅷ-1に示す。

修復工事は、原則的にはその重要度の高いものから順に実施すべきものであるが、その内容は多岐にわたっているものの各項目は互いに関連性のあるものが多いので、修復工事を細分して実施せず全体を一つの“修復工事”として同時に実施することが望ましい。

一つの工事として考えた場合の修復工事の工期は約 32 ヶ月である。

## ii) 修復計画の内部収益率

カリラヤダムを早急に修復する場合を本案とし、カリラヤダムを修復せずに現状のまま放置しておき、そのすべり安全率（下流斜面、地震時）が 1.2 まで低下した時点（約 10 年後）でダムを造り直すものを対案として、内部収益率（IRR）を求めると約 26% となり投資効果が高い。

## V. 保守管理

カリラヤダムの保守管理に関して以下に示す組織作りを勧告する。

Southern Luzon Regional Center (南ルソン地方事務所) に“土木・モニタリング”（土木技術者 2 名、補助員 3 名）を設置し、カリラヤダム関係土木設備の保守、点検、修繕及びモニタリングに専念する。この土木・モニタリング係は、ダムのみならず発電所土木構造物の保守点検も担務し、また Southern Luzon Regional Center の管轄下の他のダム、発電所の保守点検や必要とされるモニタリングをも担務するものである。

同様な機構は、必要に応じて他の Regional Center にも設置し、またこうした Regional Center のモニタリングチームの活動や、モニタリング結果を集約統括するため、本部に“土木・保守係”を設置する。



# 本 文



## I. 調査の背景及び調査内容





## I. 調査の背景及び調査内容

本報告書は、カリラヤダム設備に発生していた問題点に関する現地調査、調査工事、ダムモニタリング、及びこれらから得た諸情報をもとに実施したダム安全性の検討並びにその修復計画についてまとめたものである。

カリラヤダムは、フィリピン国マニラ市南東約60 kmの地点に存在するアースフィルダムで、1939年に建設に着工し、1947年に完成している。同ダムは高さ約42 m、堤頂長480 mで、上流面は厚さ15 cmのコンクリートスラブで保護されている。このダムによって実現されたカリラヤ貯水池（H.W.L.288.0、有効貯水量 $73 \times 10^6 \text{ m}^3$ ）と下流にある“Laguna de Bay”間には、カリラヤ水力発電所（9 MW × 4台、1950年完成）及びカラヤン揚水式発電所（150 MW × 2台、1982年完成）が存在しており両発電所は、現在マニラ首都圏の重要電源として稼動中である。

1983年、カリラヤ貯水池水位が低下したとき、ダム上流面のコンクリートスラブに、多数の水平方向のクラックが発生しているのが発見され、また、1984年8月、ダム下流法面表面の広い範囲において、数多くの“表面すべり”跡が見出されていた。これらの事実はNational Power Corporation（以下NAPOCORと略称す）関係者の間に、カリラヤダムの安全性に関する懸念をいだかせ、またその修復に関する論議の発端となった。

この問題に関してNAPOCORは独自に調査検討を加える一方、フィリピン政府から日本政府へ技術協力を要請した。これに応じて提起された問題の重要性かつ緊急性にかんがみ、1985年6月、国際協力事業団（以下JICAと略称す）から事前調査団が現地に派遣され、NAPOCORとの間で本調査に関するScope of Workが締結された。そのScope of Workにもとずき、本格調査検討業務“カリラヤダム修復計画調査”が1985年10月より開始された

のである。

カリヤダム修復計画調査の業務内容は以下の通りである。

1. 各種データ及び情報のレビュー
2. 現行モニタリングシステム（NAPOCORが実施中のもの）のレビューと調査工事の計画
3. 調査工事（測量、ボーリング、試掘ピット、土質試験、ダムモニタリング設備の設置）の実施（NAPOCORが実施）
4. ダム挙動のモニタリング（NAPOCORが実施）
5. 洪水吐を含むダムの安定性の調査解析
6. ダム貯水池の安全管理システムの確立
7. 修復計画の策定

## II. 現地調査



## II. 現地調査

JICA調査団による現地調査は、1985年10月8日より、同年11月6日までの期間、次の4名の技術者によって実施された。

1. 松井 豊 総括 1985年10月8日～11月6日
2. 鶴巻 有一郎 土木(水文) 同上
3. 田中 治雄 地質 1985年10月17日～10月30日
4. 代宮司 昇 土木(工事、金物) 1985年10月17日～11月6日

なお、代宮司 昇団員は引続きNAPOCORが実施する調査工事及びモニタリング設備の設置に関する技術指導のため1985年12月30日まで現地に滞在した。また、1986年1月19日～1月25日及び同年3月9日～3月15日の2回に亘りモニタリングの指導及び結果のチェックのため現地に出向いている。

上記4名よりなるJICA調査団の現地滞在中の主な調査活動は、次の通りである。

1. ダム、ダイク、洪水吐及び周辺構造物の実情調査
2. 貯水池湖岸調査
3. カリラヤダム地点に関する資料情報の収集  
(構造物図面、水文資料、地質、地震記録等)
4. NAPOCORが実施する調査工事計画の確定並びに位置の杭打ち
5. 将来の盛立材(ロック、砂、礫)採取、候補地の踏査及び試料のサンプリング
6. カリラヤダム盛立材料採取跡地調査並びに盛立材鉱物分析用試料のサンプリング

なお、国内作業として白井義朗と池田正時がそれぞれ土木(ダム安定解析)と土木(保守管理)を担当した。



### Ⅲ. 調査工事、モニタリング設備





### Ⅲ. 調査工事、モニタリング設備

現地踏査にもとづき決定した調査工事实施位置及びモニタリング設備設置位置を図Ⅲ-1に示す。

調査工事の主要項目とその実施状況は以下の通りである。

#### 1. ボーリング工事

- 1.1. ダム上流法面保護コンクリートスラブ基礎調査ボーリング、 $\phi 75\text{ mm}$ 、長さ1.2 m、3本（UB-1, UB-2, UB-3）

これは上流法面保護コンクリートスラブに発生したクラックの調査に関連して、スラブ支持層の流失等による空隙が、スラブ下面に発生しているかどうかを調査したものである。

- 1.2. ダム最大断面調査ボーリング、 $\phi 75\text{ mm}$ 、3本（CDB-1, CDB-2, CDB-3）

これはカリヤダム盛立材料の分布状態を調査し、基盤位置を確認し、かつN値分布測定によって締固めの程度を判断するために調査したものである。さらに、ボーリング調査後は、堤体内地下水位測定孔に転用する目的をもっている。実施された3本のボーリングは、ダムの最大断面下流側法面に配置された。

・ CDB-1	着岩深度	38.9 m
	地下水位	孔口より 7.8 m
	N値分布	0 ~ 7 m ; 10 ~ 15 7 m以深 ; 15 ~ 40
・ CDB-2	着岩深度	33.35 m
	地下水位	孔口より 6.0 m
	N値分布	0 ~ 2 m ; 10 ~ 15

		2 m 以深 ; 15 ~ 40
・ CDB - 3	着岩深度	24.5 m
	地下水位	孔底まで観測されず
	N 値分布	0 ~ 2 m ; 8 ~ 15
		2 m 以深 ; 15 ~ 40

注：地下水位は、ボーリング終了時における値を示す。

3本のボーリング孔より得られたコアの観察から、3本のボーリング位置で盛立材料に大きな差異は認められず、ともに、粒度の細かい、粘土～シルト材であり、統一分類上MH～CHに相当している。これによってカリラヤダムの主要部分は、ダムサイト近くの土取場で産出される角礫凝灰岩の強風化土による均質堤（アースダム）と判断される。

## 2. 試掘立坑（深さ2.5m 1ヶ所）

これは築堤材料の物性値を求めるため不攪乱土質試料の採取を目的とし、ダム最大断面下流法面の中間標高地点で試掘された。

## 3. 測 量

この測量は、ダム下流部地形測量、及び非常用洪水吐地域の縦横断測量、並びに東側ダイク下流側地山の地すべり部の縦横断測量の3項目から構成されており、また、各ボーリング孔、モニタリング設備等の位置、標高を測定している。

## 4. 土質試験

試掘立坑より得られた不攪乱土質試料についてNAPOCORが実施した土質試験結果を表Ⅲ-1, Ⅲ-2に示す。

## 5. モニタリング設備

今回現地に設置した、ダム挙動モニタリング設備は、次の3項目である。

- 1) 堤体地下水位測定設備
- 2) ダム外部変形測定設備
- 3) ダム漏水量測定設備

### 5.1. 堤体地下水位計測設備

堤体内地下水位（貯水池からの浸潤線）測定のため、ダム最大断面に3本の測定孔を設置した。

これらの測定孔は、CDB-1, -2, -3の3本の調査ボーリング孔を利用し、これに有孔ケーシングパイプ（ストレーナー）を挿入して、地下水位観測用にしたもので、水位の検出は、観測孔地表部に設置したフロート式自記地下水位計によった。

図Ⅲ-2は、この水位計の設置図である。この水位計によるカリラヤダムの堤体内地下水位の観測は1985年12月末より開始され、現在も継続中である。

### 5.2. ダム外部変形の測定

これは各測線に設けられた測点の基準線からの変位量及び沈下量を測量によって求めたものである。測線は、ダムクレスト沿いに2測線、中間標高（EL. 285.0）下流面バーム沿いに2測線の観測線である。これにもとづいて合計6ヶ所の基準点と、10ヶ所の測点が設置され1986年1月末よりNAPOCORによって観測が開始されている。

### 5.3. ダム漏水量の測定

カリヤダムの漏水量は以前から木製の流量測定堰によってNAPOCORが独自

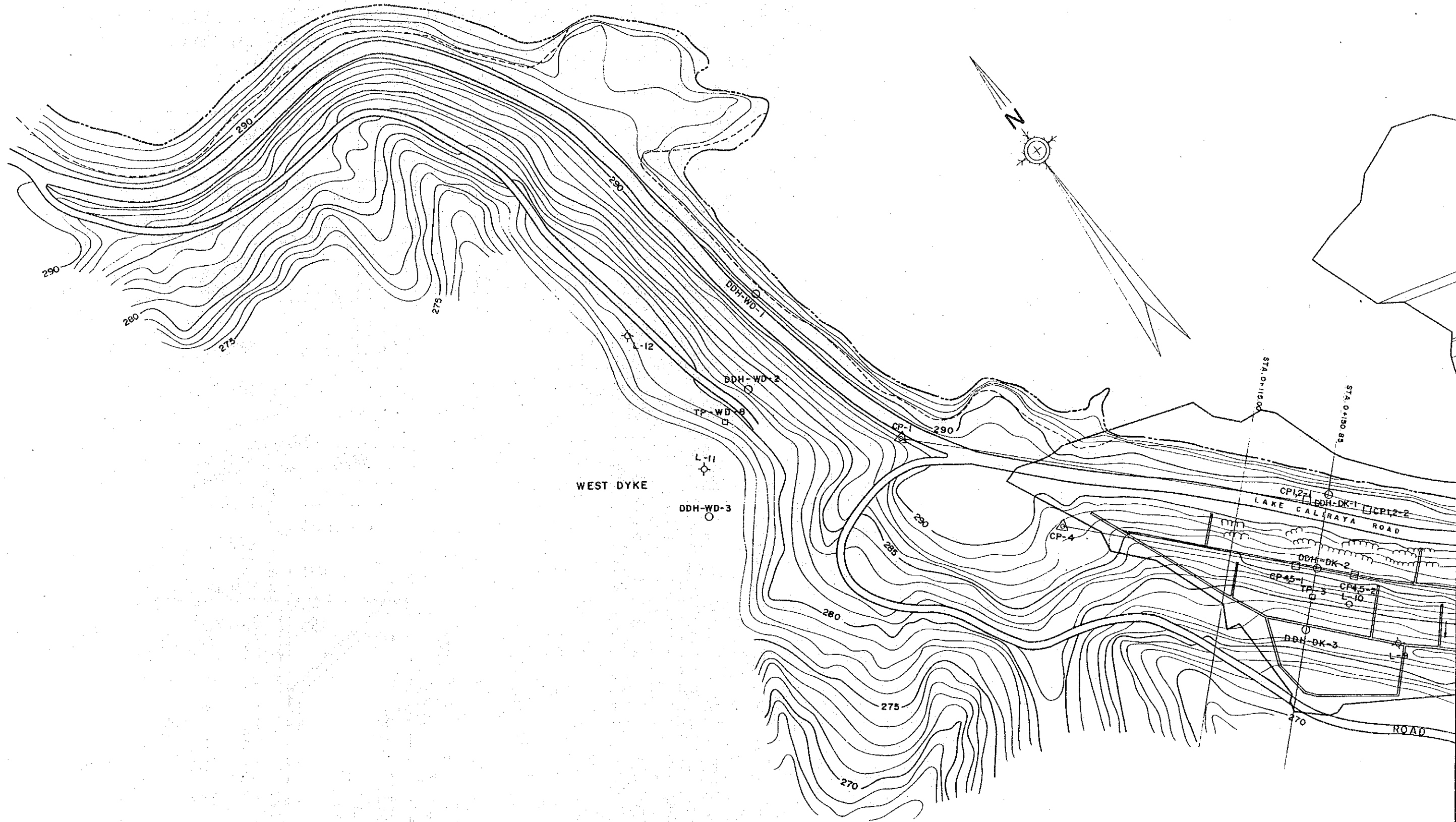
の観測を続けてきていたが、今回の現地調査の結果、既設の測定堰にその基礎部からの漏水がみられたこと、及び堰自体が、木製のため腐朽し、精度が落ちることが判ったので、今回コンクリート及び金属板による恒久的測定堰を新設した。(図Ⅲ-3, Ⅲ-4, Ⅲ-5参照)

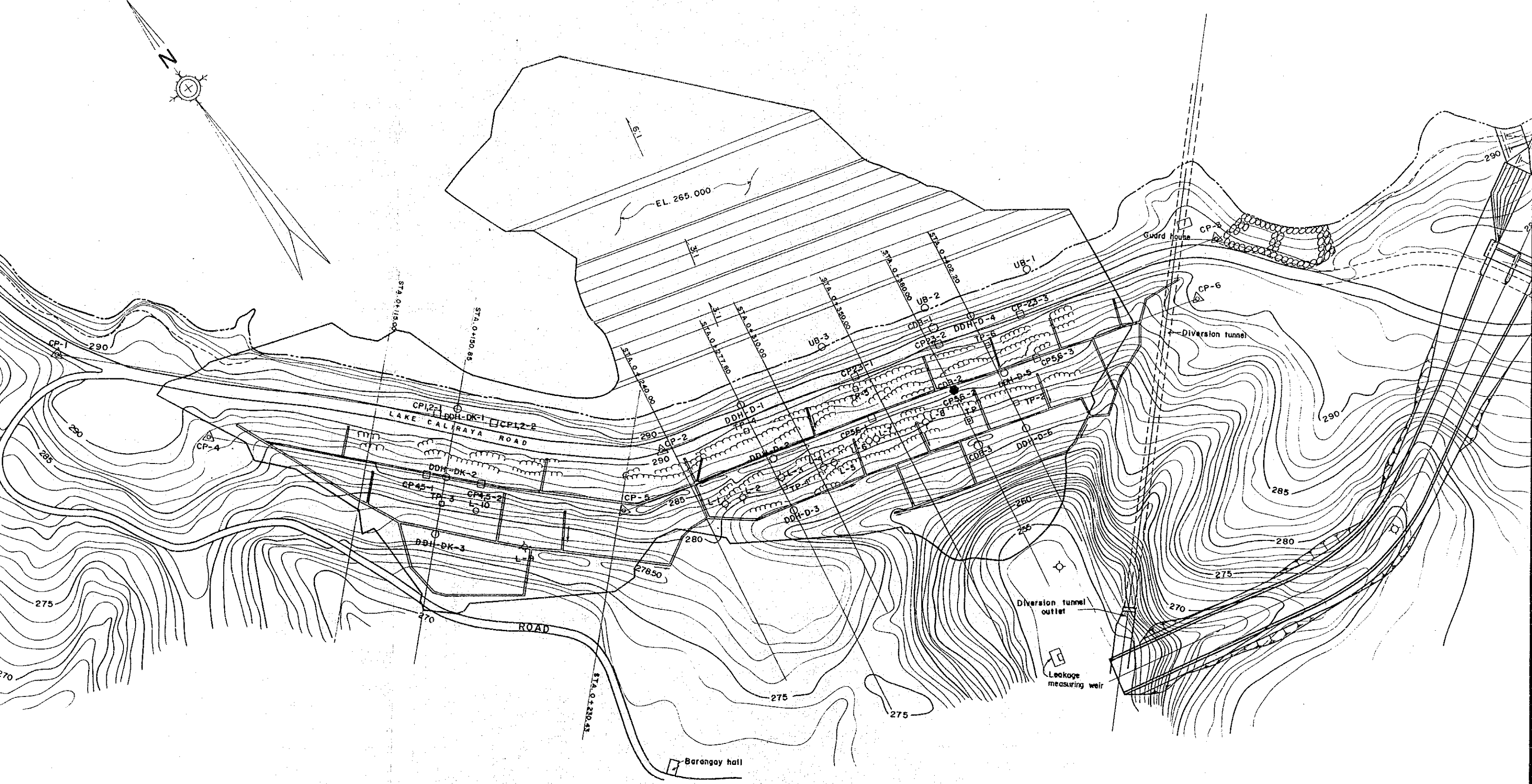
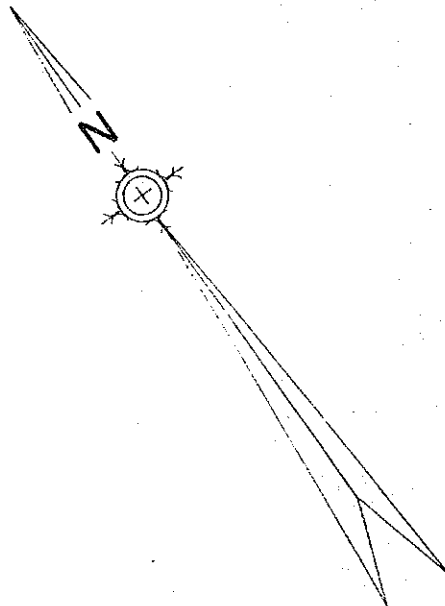
測定堰水位は、自動記録装置によって記録することとしたが、堰の設置工事が予定より遅れ、実際に記録が得られ始めたのは、1986年2月中旬からである。

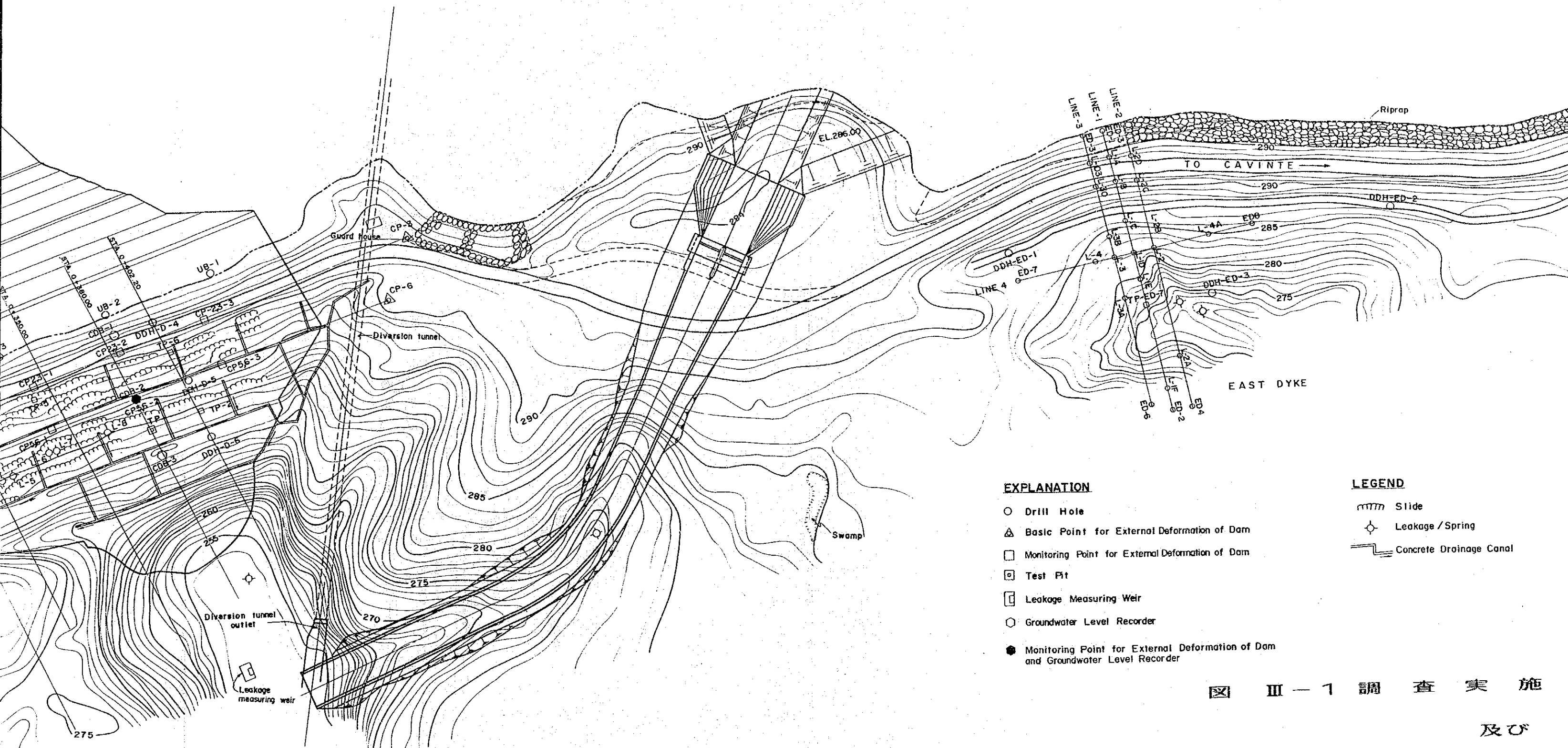
#### 5.4. モニタリング用貸与計器類

JICAよりNAPOCORに対して、次のモニタリング用計器類が貸与された。

・携帯式地下水位測定器		2台
Model SKT-2B		
・ポイントゲージ		2台
・フロート式自記地下水位計		3台
Model W-722		
・自記漏水量測定装置		1セット
Water Level Gauge	W-435	
Data Logger	W-551-02	
Auto Voltage Regulator	ARS-500	
Transformer	F3-B5	







**EXPLANATION**

- Drill Hole
- △ Basic Point for External Deformation of Dam
- Monitoring Point for External Deformation of Dam
- ⊠ Test Pit
- ▭ Leakage Measuring Weir
- Groundwater Level Recorder
- Monitoring Point for External Deformation of Dam and Groundwater Level Recorder

**LEGEND**

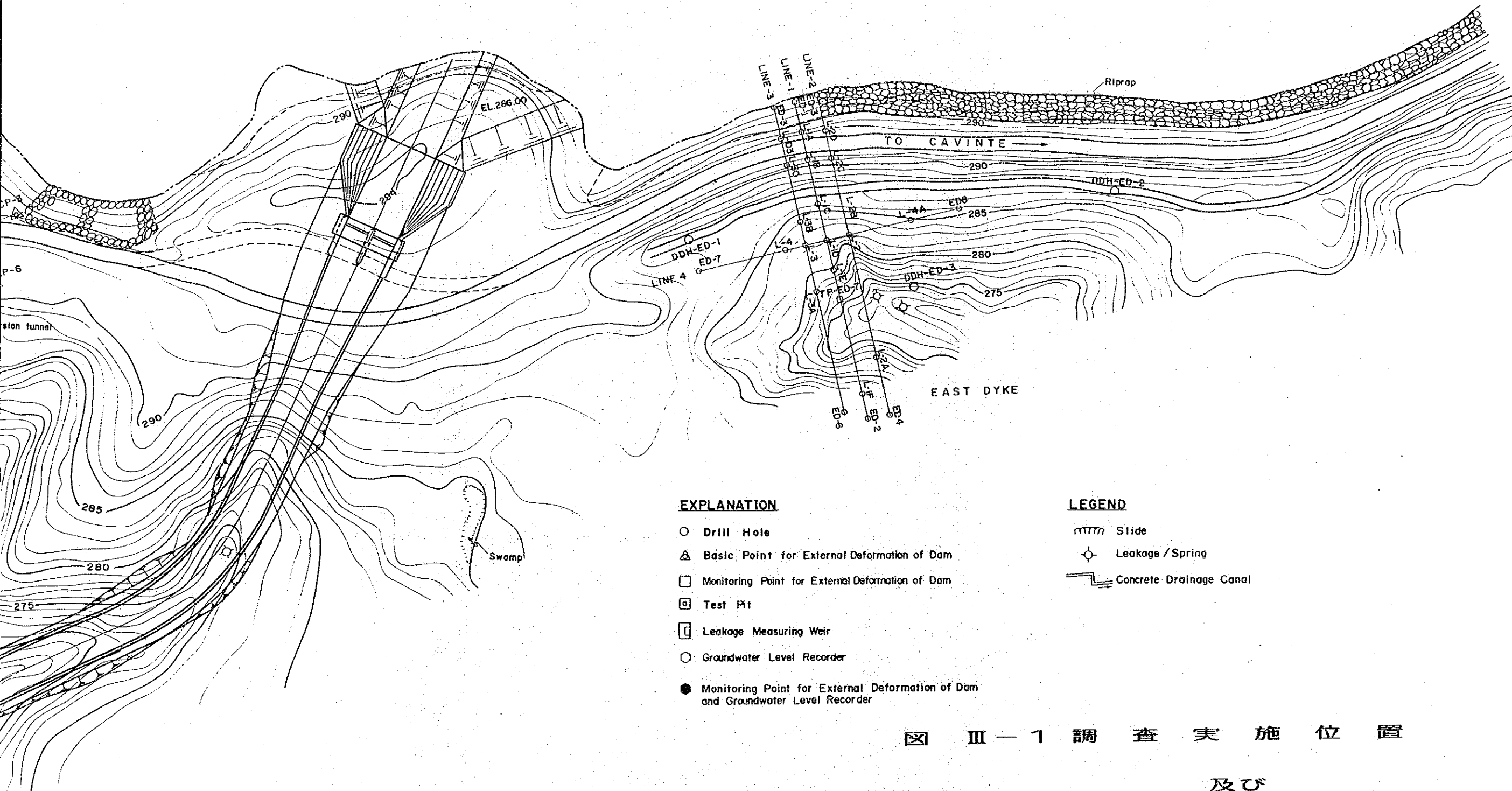
- mtm Slide
- ⊕ Leakage / Spring
- ▭ Concrete Drainage Canal

図 III-1 調査実施

及び

モニタリング設備





**EXPLANATION**

- Drill Hole
- △ Basic Point for External Deformation of Dam
- Monitoring Point for External Deformation of Dam
- ▣ Test Pit
- ▤ Leakage Measuring Weir
- Groundwater Level Recorder
- Monitoring Point for External Deformation of Dam and Groundwater Level Recorder

**LEGEND**

- ▨ Slide
- ⊕ Leakage / Spring
- ▬ Concrete Drainage Canal

図 Ⅲ-1 調査実施位置

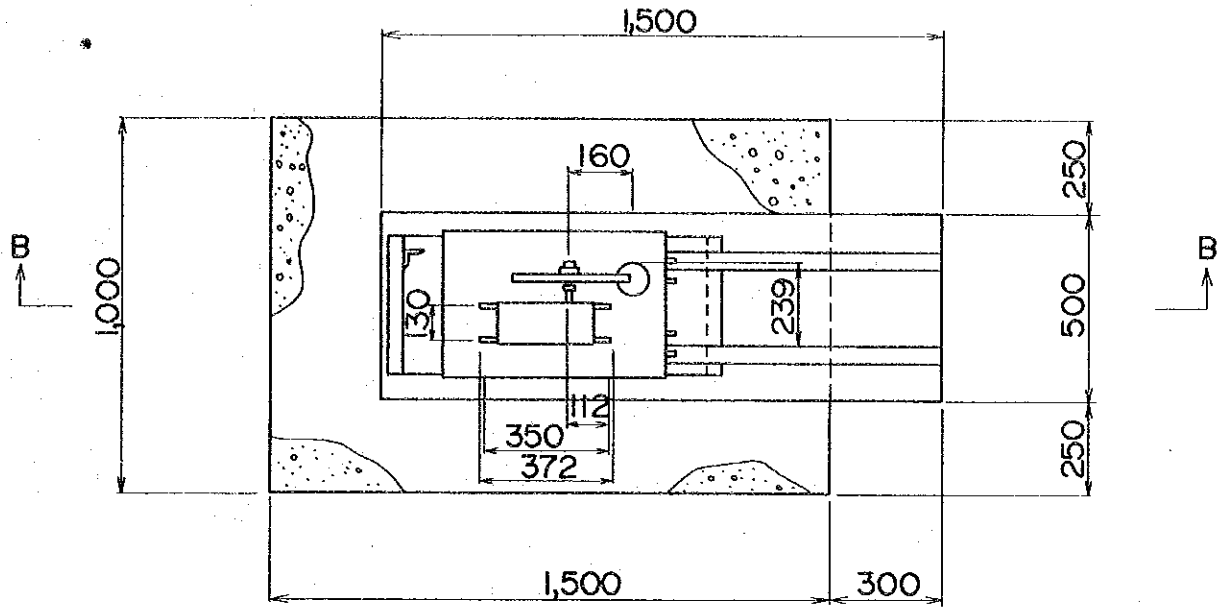
及び

モニタリング設備設置位置

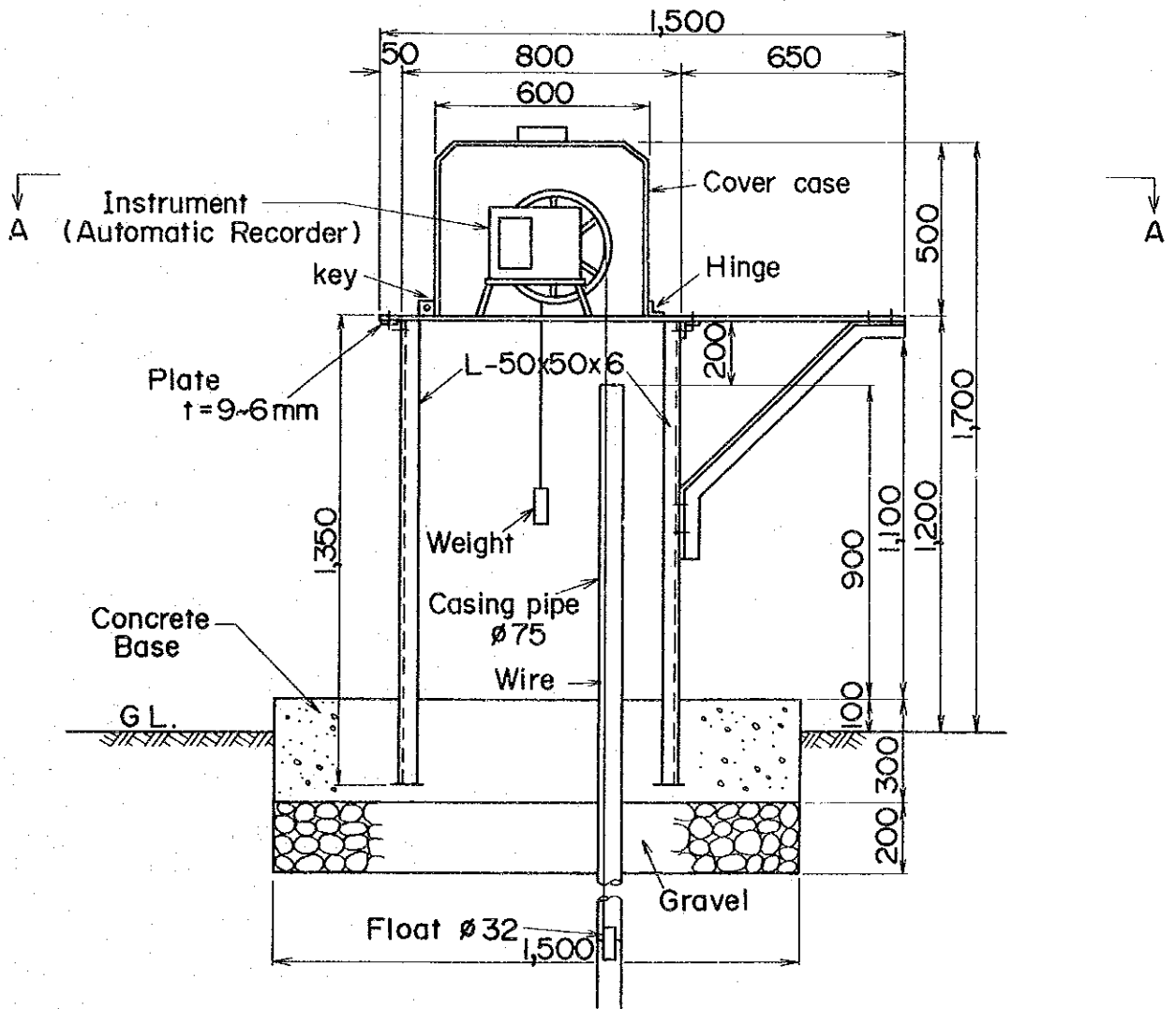


図 Ⅲ - 2 フロート式自記地下水位計

NOT TO SCALE



PLAN (A-A)



SEC. B-B



图 III-3 大坝漏水测定装置一般图

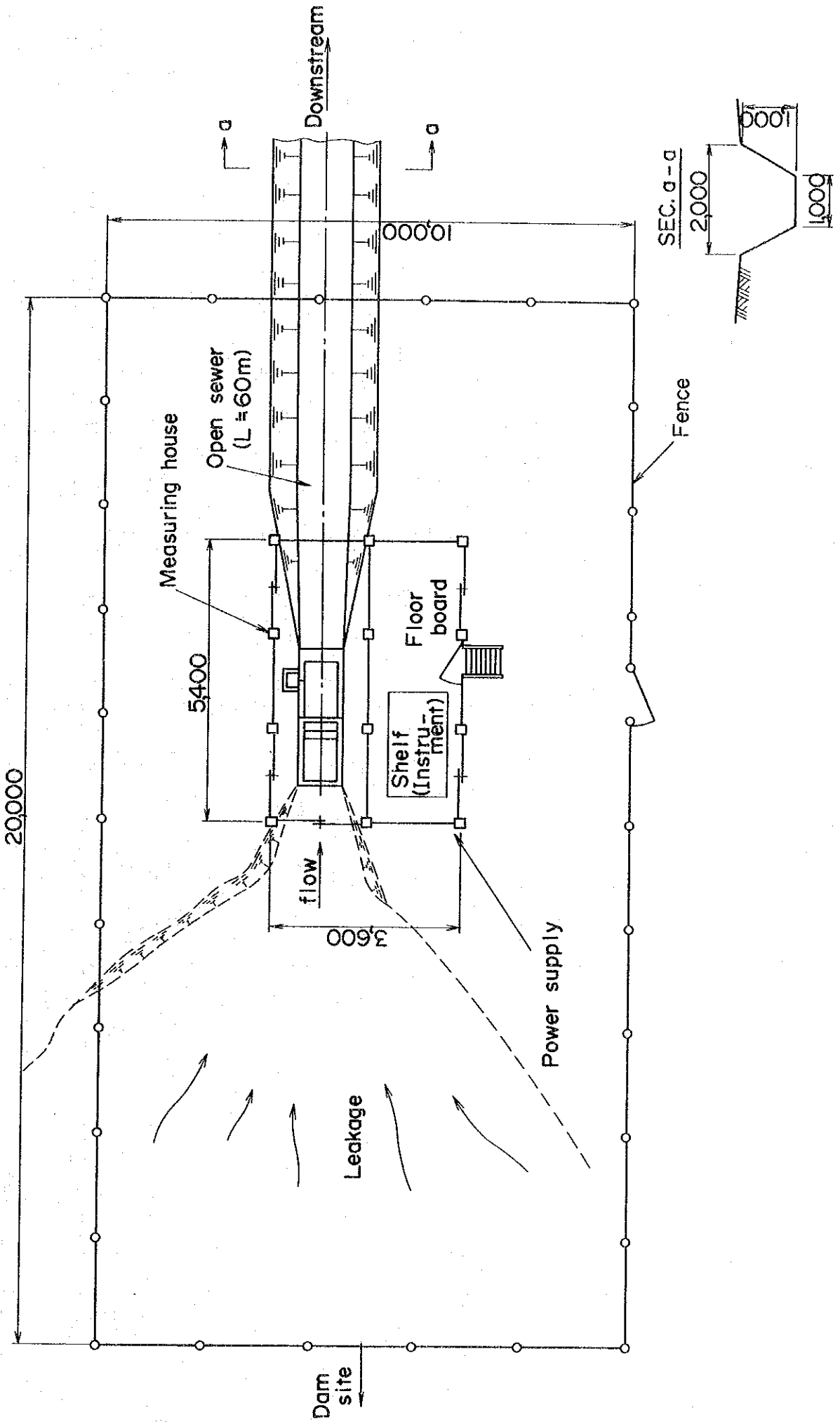




図 III - 4 ダム漏水測定環  
NOT TO SCALE

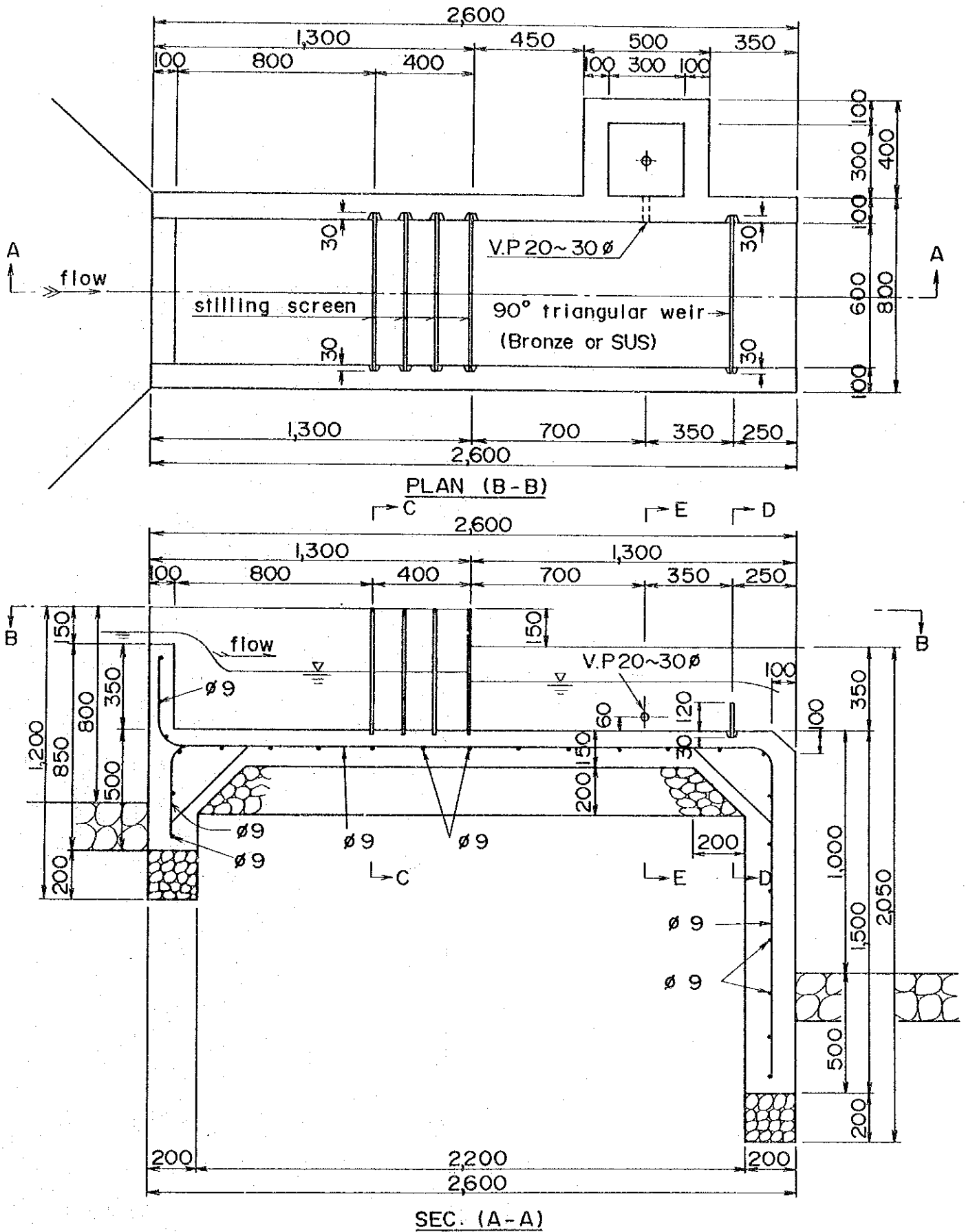
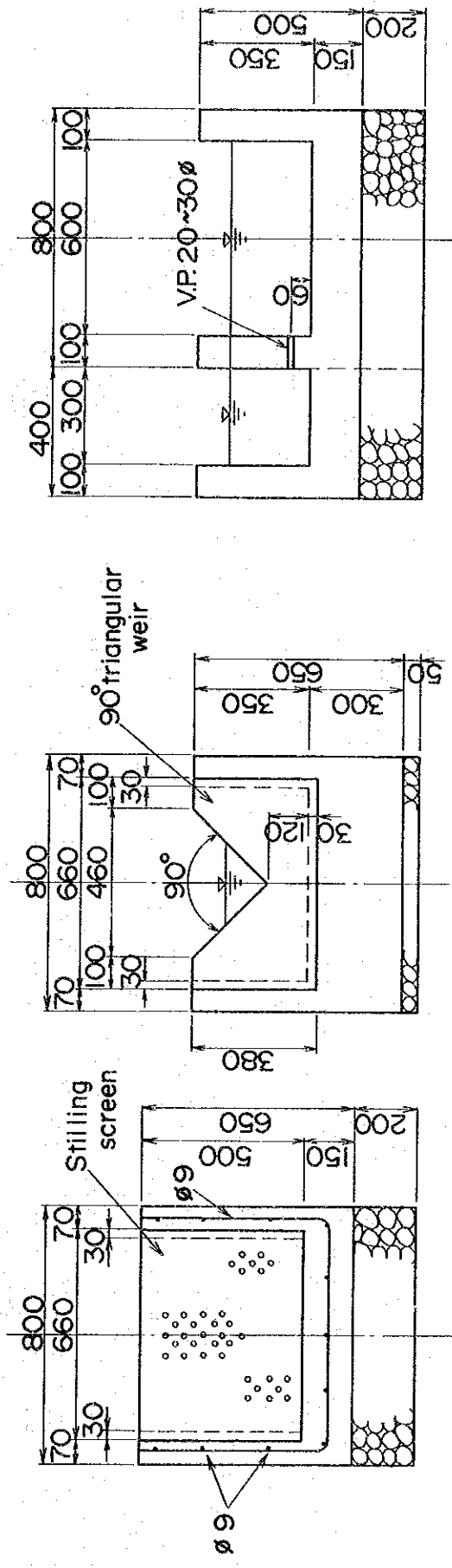






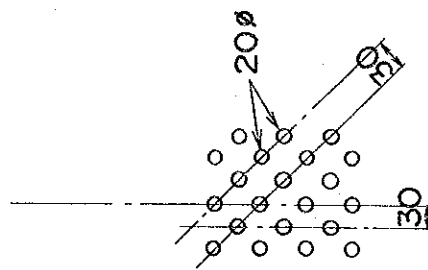
図 III - 5 測定堰詳細図



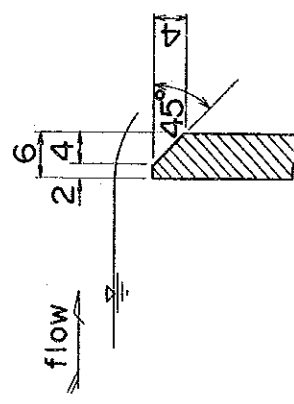
SEC. C-C  
S:1/20

SEC. D-D  
S:1/20

SEC. E-E  
S:1/20



Hole arrangement



Edge s:1/1  
(90° Triangular weir)



表 III-1 土質試験結果一覧表

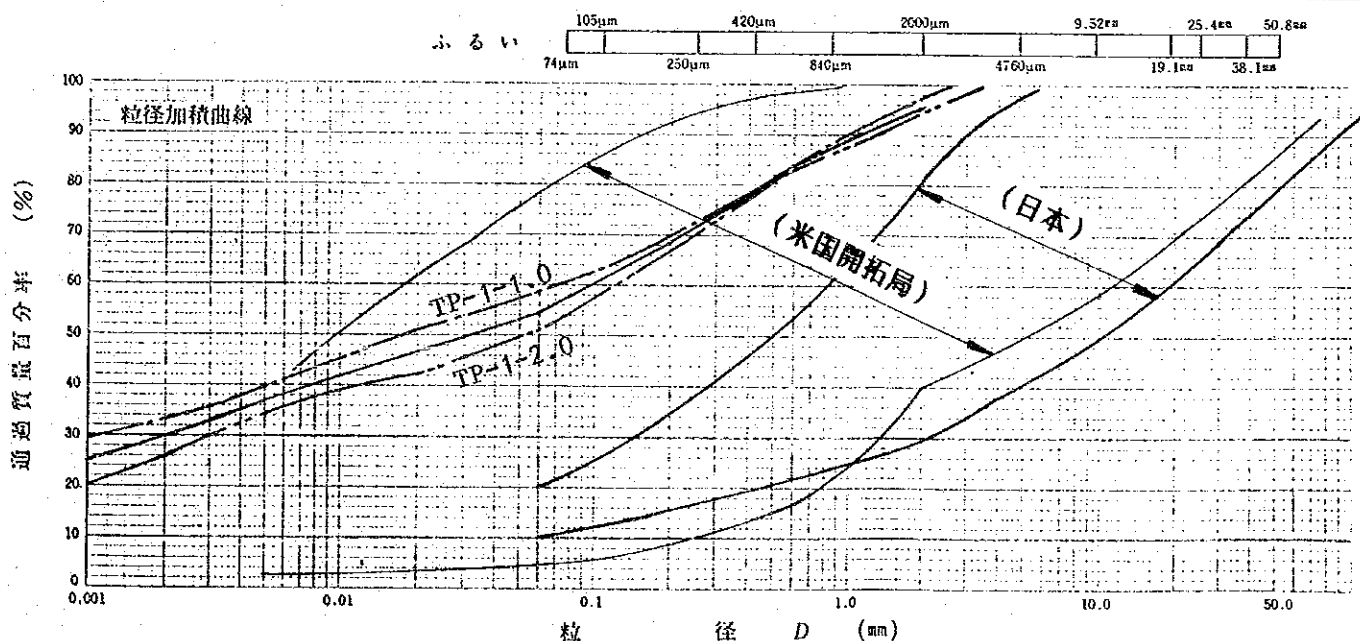
JIS A 1204	土の粒度試験結果	報告用紙
------------	----------	------

調査名・調査地点 Caliraya Main Dam 試験年月日 1985 年 12 月 日

試験者 NAPOCOR

試料番号 深さ	No. TP-1-1.0 ( m ~ 1.0 m )		No. TP-1-2.0 ( m ~ 2.0 m )	
	粒 径 mm	質量百分率 %	粒 径 mm	質量百分率 %
ふるい分け	50.8		50.8	
	38.1		38.1	
	25.4		25.4	
	19.1		19.1	
	9.52		9.52	
	4.76	100	4.76	100
	2.0038	98.82	2.0038	96.89
	0.84	92.10	0.84	89.40
	0.42		0.42	
	0.25		0.25	
比重浮きょう	0.105		0.105	
	0.074	60.3	0.074	52.9
	.061	58.9		51.0
	.021	51.6		42.4
	.005	38.7		34.4
	.002	33.1		25.3

試料番号 深さ	No. TP-1-1.0 ( m ~ 1.0 m )	No. TP-1-2.0 ( m ~ 2.0 m )
4.76mm以上の粒子 %	0	0
細礫分 (4.76 ~ 2mm) %	2.5	5
粗砂分 (2 ~ 0.42mm) %	17.5	16
細砂分 (0.42 ~ 0.074mm) %	27	18
シルト分 (0.074 ~ 0.005mm) %	14	26
粘土分 <sup>FE</sup> (0.005mm以下) %	39	35
コロイド分(0.001mm以下) %	24	20
2000μmふるい通過質量百分率 %	97.5	95
420μmふるい通過質量百分率 %	80	79
74μmふるい通過質量百分率 %	61	53
最大粒径 mm		
60 % 粒径 mm	0.065	0.13
30 % 粒径 mm	0.0012	0.003
10 % 粒径 mm	(0.00005)	(0.00035)
均等係数 $U_c$	1300	370
曲率係数 $U_c'$	0.44	0.2
土粒子の比重 $G_s$	2.8	2.57
使用した分散剤		



コロイド	粘 土	シルト	細 砂	粗 砂	細 礫	礫	岩石質材料
0.001	0.005	0.074	0.42	2.0	4.76		75

備考

注) コロイド分を含む



表 III-2 カリラヤダム堤体盛立材料  
土質試験結果

試験項目	試料	No. 1 試料	No. 2 試料	平均
自然含水量	%	52.3	45.7	49.0
湿潤密度	$g/cm^3$	1.78	1.71	1.75
乾燥密度	$g/cm^3$	1.17	1.17	1.17
粒度構成	%			
砂		39.70	47.10	43.70
シルト, クレイ		60.30	52.90	56.60
アッターバルグ限界	%			
液性限界	L.L.	99.00	80.00	89.50
塑性限界	P.L.	45.90	41.50	43.70
塑性指数	P.I.	53.10	38.50	45.80
比重		2.83	2.57	2.70
透水係数	$10^6 cm/s$	-	2.68	2.68
粘着力 (C)	$kg/cm^2$	0.31	0.27	0.29
内部摩擦角 ( $\phi$ )		$33.66^\circ$	$32.12^\circ$	$32.89^\circ$
土の分類記号		MH	MH	MH



#### Ⅳ. プロジェクト地域の地質

1. カリラヤダム及びその周辺地域の地質
2. カリラヤダムの地質
3. 堤体の地質工学的考慮
4. 土取場材料の鉱物成分





## IV プロジェクト地域の地質

### 1. カリラヤダム及びその周辺地域の地質

カラヤン揚水発電所地域の地質に関する報告書には、Electroconsultの地質技術者Luigi Belloni氏による“Slope failures in superficial weathered tuff at the Kalayaan Pumped Storage Power Plant, Lagna, Philippines”の表題で、1983年11月に行われたセミナーの教材、及びNAPOCORによって提示された“Kalayaan Pumped Storage Plant Geology Comprehensive Report”がある。また、JICAの事前調査報告書（1985年6月）にも、カリラヤダム及び貯水池周辺の地質の概略が報告されている。

このあたりの一般地質は、これらの報告書でよく検討されているので、この報告書では、以下にその概略を記述することにとどめる。

当該地域は、上から順に凝灰岩性の岩盤と玄武岩質熔岩からなっており、非常にゆるい傾斜で西方に傾いている。これらの岩は、南方にあるBanahaw火山から噴出した火山碎屑岩で第3紀Neogeneから第4紀に属したものである。

凝灰岩質岩盤はカリラヤ高原の上部に分布しているが、若干の場所で玄武岩岩盤中にレンズ状、または、シート状に介在しているのが見られる。

凝灰岩質岩盤はその層の上部近くで、時たま玄武岩の垂礫や円礫を含有している。この凝灰岩質岩盤は、殆どすべて、深く風化作用を受けており、その表層近くは赤色粘土に変質している。

この様な凝灰岩類の産出状態はカリラヤ貯水池からルモト貯水池に至る道路の切取部に於てよく観察される。

玄武岩類はカリラヤダムのトンネル洪水吐出口の左側や、カリラヤ川の下流域に露出している。カリラヤ川下流域に於ては、見事な柱状節理を呈し、河川

は滝となって流下している。この玄武岩類は、また Pagsajan から Paete に至る道路の掘削部に沿って露出している。

この区域でのボーリング結果によれば、玄武岩の岩塊の厚さは 150～300 m に及び、多数の集塊岩層を介在している。玄武岩自身は、火砕岩を含んだ熔岩流の多層より構成されている様に見える。

## 2. カリラヤダムの地質

ダム、東側ダイク及び西側ダイクで過去に実施されたボーリングコアの検査を行なった。その結果は次の通りである。ボーリング位置は、図Ⅲ-1に示されている。

### 2.1. ダム

- DDH-D-1 ; 全長にわたって盛土部、コアの採取率は悪い。
- DDH-D-2 ; 着岩深度 13.5 m で安山岩～玄武岩質の基礎岩盤に到達している。
- DDH-D-3 ; 2.15 m の深さで安山岩～玄武岩質の基礎岩盤に到達している。
- DDH-D-4 ; 41.0 m で着岩。
- DDH-D-5 ; 25.0 m の深さまでは、盛土部（柱状図では 21.5 m であるが、コアからみれば 25.0 m ）。
- DDH-D-6 ; 孔底でフィルター層に達しているなのでこの孔は基盤に達しているものと認定される。

### 2.2. 東側ダイク

- ED-1 ; 0 - 4.15 m 赤色土

- 1 0.6 0 m 風化した集塊岩  
(青色褐色)
- 1 2.1 5 m 安山岩～玄武岩(淡い褐黄色)
- 1 9.5 0 m 安山岩(玄武岩)、集塊岩(適当に風化し弱い)
- 2 7.9 0 m 角礫凝灰岩、熔結凝灰岩の互相
- 3 0.8 0 m 玄武岩～安山岩
- ED - 2 ; 0 - 3.2 0 m 赤色土
- 1 3.0 0 m 風化集塊岩
- 1 5.3 0 m 亀裂が多いが新鮮な集塊岩
- 3 1.5 0 m 新鮮な斑岩性玄武岩
- 3 5.0 0 m 新鮮な玄武岩
- ED - 3 ; 0 - 2.1 5 m 表土類
- 6.1 5 m 風化集塊岩
- 8.3 5 m 中庸風化集塊岩
- 2 4.9 0 m 新鮮な玄武岩(コア-採取率悪い)
- 3 2.7 0 m スライム状、砂質凝灰岩
- 3 8.0 0 m 多孔質な淡紅色玄武岩(安山岩)
- 4 1.0 0 m 多孔質淡青白色玄武岩
- 4 4.0 0 m 砂質凝灰岩
- 4 5.5 0 m 多孔質玄武岩

### 2.3 西側ダイク

- WD - 1 ; 0 - 2 1.0 0 m 盛土(0～4.0 m迄多数の円礫を含む)
- 3 2.8 5 m 風化集塊岩(基盤岩と認定される)
- 5 6.4 5 m 新鮮な玄武岩(コア-採取率は良くない)
- WD - 2 ; 0 - 5.1 5 m 盛土部
- 1 7.0 0 m 完全に風化した集塊岩
- 2 5.0 0 m 風化集塊岩
- 2 6.5 0 m 集塊岩

- 5 2.0 0 m 新鮮な玄武岩
- ・ WD - 3 ; 0 - 3.0 0 m 赤色土
- 1 1.6 0 m 風化角礫凝灰岩
- 1 8.3 0 m 集塊岩 ( コア採取率は良くない )
- 3 6.0 0 m 玄武岩

#### 2.4. ダム西側

- ・ DDH - DK - 1 ; 0 - 9.0 0 m 盛土部
  - 底部 強く風化した集塊岩 ( 淡赤褐色 )
- ・ DDH - DK - 2 ; 0 - 6.7 0 m 盛土部
  - 底部 風化集塊岩 ( ピンク色 )
  - 深度 6.7 m 付近に植物根が残っており、旧地表面に対応する。
- ・ DDH - DK - 3 ; 0 - 3.3 0 m 盛土部
  - 3.6 0 m フィルター材 ( 暗灰色の砂及び小礫 )
  - 孔底 着岩している

カリラヤダムのボーリングコアについては、盛土部とダム基礎地山の強く風化した集塊岩とは識別することは非常に困難である。カリラヤ貯水池からルモト貯水池に至る道路の途中にある丘陵部から産出する堤体盛立材料は、ダム基礎地山に存在する集塊岩と非常によく似た相様を呈しているからである。この原位置の集塊岩は完全に分解して、白色粘土の縞状模様を帯びたピンク色の粘土様物質に変わっている。

実際の産出状態では、ダム盛土部にある浅い立抗内で観察されるところの白い縞模様を帯びたものや、ピンク色がかったダム盛土材料は、堤体盛土採取跡地と思われる場所にある風化した集塊岩と非常に似通っている。ただ、堤体の立抗内では、火山礫を含んだ凝灰岩の風化したものが起源と思われる薄いシルト質砂層が存在している。

### 3. 堤体の地質工学的考慮

カリラヤダムの下流法面には、多数のすべり跡に似た段差が、ダム軸に平行な水平方向に配列しているのが見られる。また、これらの跡のいくつかのものは水が滲出している。これらの水の滲出は乾季では消滅すると報告されている。

このすべり跡の大きさは小さく、その最大の段差は1.0 m以下で下流方向にすべっている。

堤体にある試掘立抗や、小すべり始点での露出面での詳細観察結果によれば、現状ではこれらのすべりは構造的なものでなく、堤体盛土表面に限られた浅いもので堤体の深部にまで及んだものではない。

これらすべり跡は、盛土部が3方向の亀裂で囲まれ小さな固体ブロックに分離して出来たものである。即ち、第一の亀裂はダム軸と直交したほぼ鉛直方向のもので、第二の亀裂はダム軸と平行で鉛直方向に伸びており、更に第三の亀裂は殆ど盛土転圧層の境界面に対応するもので時たま水平から約20°の傾斜面を有する。これらの亀裂の間隔は1 cmから15 cmの範囲にある。こうした亀裂は堤体盛立段階から潜在しているものに違いない。

これら3方向の亀裂によって分離された小さな立方形または、板状の盛立土は、雨期に、鉛直方向荷重の増大や、亀裂面に雨水が流れ込んで摩摺抵抗が減少し、このため若干動いたものである。

乾期には、各盛土小ブロック間の亀裂が乾燥によって少し開き、こうした開きがいくらか深部や横方向に進展していく。こうした現象は毎年の雨期と乾期で繰返され結果的にすべりの深さと面積が拡張して行ったものである。このような現象は熱帯で特有なものであり、カリラヤダムのみならず、地表に風化分解した角礫凝灰岩が露出している様などころではどこでも見られる現象である。

こうした乾燥亀裂の進展を防止するため、ダム堤体下流面は、フィルター材を介したロック材で覆って盛土材の混度を適当な範囲に保持しなければならない。

#### 4. 土取場材料の鉱物成分

カリラヤダムの盛土は、カリラヤダムとルモトダムの間の道路掘削部付近から採取されている。この盛土材料は主として強風化角礫凝灰岩起源の黄褐色～赤褐色土である。

土取場跡掘削面（道路掘削）で見られる層序は、次のとおりである。即ち、掘削部の最上部では1.5 m～2.0 m厚の黄色凝灰岩があり、これには比較的少量の角礫岩を含んでる。この層の下側では、1.0 m～2.0 m厚の赤褐色凝灰岩が存在し、その中には玄武岩の亜角礫が存在している。これら2層は層序的に整合している様に見受けられる。

赤褐色凝灰岩層の下側の最下層は強度に風化した角礫凝灰岩で中庸寸法の白色凝灰岩角礫を伴っている。

この最下層角礫凝灰岩は、広い範囲に分布したもので、カリラヤダム盛立材として多量に使用されているものである。この角礫凝灰岩は微粒の粘土粒子に分解しており粘性が強い。

この層には火山礫凝灰岩は見当たらないが、ダムの盛土の立抗内に火山礫凝灰岩状のものが存在していることから判断して最下部の角礫凝灰岩層には火山礫凝灰岩層が中間に挟まれていると考えられる。

角礫凝灰岩は時に集塊岩と呼ばれているが、現地に存在するものは、その岩石学的特徴からみて、角礫凝灰岩と名指しした方が合理的である。

盛土材採取跡地及びダム堤体から採取した試料について、X線回折によって構成鉱物を分析し、湿潤時に膨張する傾向を持つモンモリロナイトの存在の有無を検定した。

X線回折法による分析結果を表Ⅳ-1に示す。この表から判るごとくモンモリロナイトは検定されなかった。

表IV-1 カリラヤダム試料分析結果一覧表

試料番号	試料名	採取地点	採取月日	確認鉱物 (X線, 薄片等)
No. 1	黄色土 (上層)	Caliraya Borrow Pit	1985 10.28	ハロイサイト メタハロイサイト, 石英
No. 2	赤土 (中層)	同上	同上	ハロイサイト, カオリナイト メタハロイサイト, 石英
No. 3	(下層)	同上	同上	カオリナイト, ハロイサイト メタハロイサイト, 石英
No. 4	Basalt	発電所上流の谷	1985 10.29	A: 斜長石, カンラン石 B: 同上+単斜輝石
No. 5	Lapilli Tuff	Caliraya 堤体	1985 10.30	カオリナイト, イライト 石英
No. 6	Lapilli Tuff	同上	1985 10.30	カオリナイト, 石英
No. 7	川砂	砂採取プラント 地点	1985 10.30	輝石, 角閃石, 斜長石 不透明鉱物

注

No. 1 エチレングリコール処理でハロイサイト (001) の  $d = 10.04 \text{ \AA} \rightarrow 11.04 \text{ \AA}$  に拡がる。

No. 2 エチレングリコール処理でハロイサイト (001) の  $d = 9.81 \text{ \AA} \rightarrow 11.04 \text{ \AA}$  に拡がる。

No. 3 エチレングリコール処理でハロイサイト (001) の  $d = 10.04 \text{ \AA} \rightarrow 11.04 \text{ \AA}$  に拡がる。

