

Table 5-8 Electric Power Development Schedule

Year	Planta Name					
	by LOGOS		by WASP		by Demand Supply Program	
1991	Moin (Gas)	P.T. (108.0) MW	Moin (Gas)	P.T. (108.0) MW	Moin (Gas)	P.T. (108.0) MW
	Ampliacion	P.H. (24.4)	Ampliacion	P.H. (24.4)	Ampliacion	P.H. (24.4)
1992						
1993	Sandillal	P.H. (32.0)	Sandillal	P.H. (32.0)	Sandillal	P.H. (32.0)
	Gas	P.T. (36.0)	Gas	P.T. (36.0)	Gas	P.T. (36.0)
1994	Toro I	P.H. (24.0)	Toro I	P.H. (24.0)	Toro I	P.H. (24.0)
	Miravalles I	P.G. (55.0)	Miravalles I	P.G. (55.0)	Miravalles I	P.G. (55.0)
1995	Toro II	P.H. (66.0)	Toro II	P.H. (66.0)	Toro II	P.H. (66.0)
	Miravalles II	P.G. (55.0)	Miravalles II	P.G. (55.0)	Miravalles II	P.G. (55.0)
1996	Motor Baja Vel	P.T. (64.0)	Motor Baja Vel	P.T. (64.0)	Motor Baja Vel	P.T. (64.0)
1997	Motor Baja Vel	P.T. (32.0)	Motor Baja Vel	P.T. (32.0)	Motor Baja Vel	P.T. (32.0)
1998	Angostura	P.H. (177.0)	Angostura	P.H. (177.0)	Angostura	P.H. (177.0)
1999						
2000	Motor Baja Vel	P.T. (64.0)	Motor Baja Vel	P.T. (32.0)	Motor Baja Vel	P.T. (64.0)
2001	Pirris	P.H. (128.0)	Pirris	P.H. (128.0)	Pirris	P.H. (128.0)
			Miravalles III	P.G. (55.0)		
2002	Miravalles III	P.G. (55.0)	Motor Baja Vel	P.T. (32.0)	Miravalles III	P.G. (55.0)
2003	Guayabo	P.H. (245.0)			Guayabo	P.H. (245.0)
2004			Guayabo	P.H. (245.0)	Siquirres I	P.H. (206.0)
			Motor Baja Vel	P.T. (32.0)		
2005	Siquirres I	P.H. (206.0)	Siquirres I	P.H. (206.0)	Siquirres II	P.H. (206.0)
2006					Gas	P.T. (36.0)
2007	Siquirres II	P.H. (206.0)	Siquirres II	P.H. (206.0)	Savegre	P.H. (165.0)
2008					Motor Baja Vel	P.T. (32.0)
2009	Motor Baja Vel	P.T. (64.0)	Motor Baja Vel	P.T. (64.0)	Motor Baja Vel	P.T. (64.0)
					Pacuare	P.H. (225.0)
2010	Motor Baja Vel	P.T. (64.0)	Savegre	P.H. (165.0)	Motor Baja Vel	P.T. (32.0)

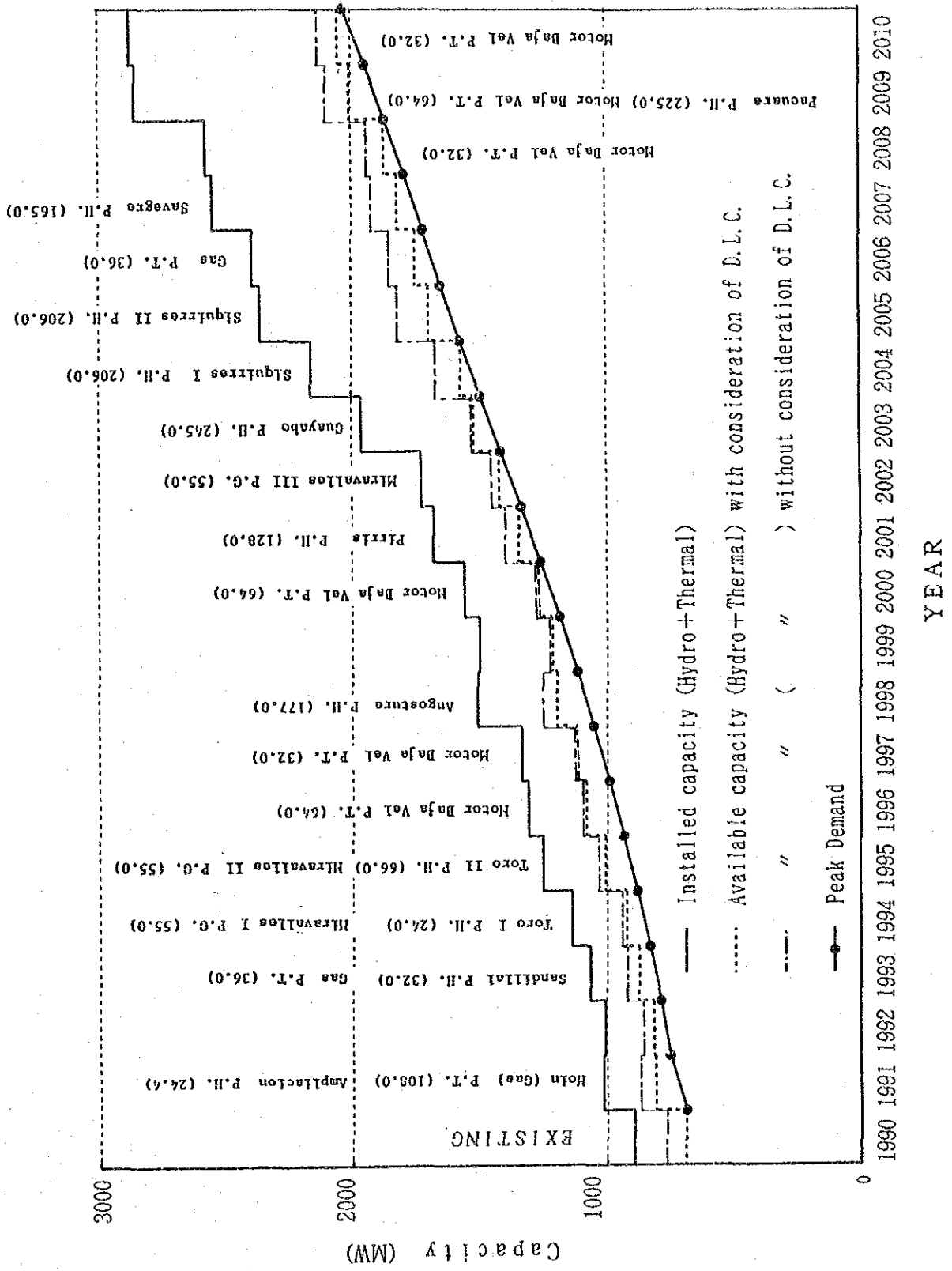


Fig. 5-11 Electric Power Development Schedule by Demand Supply Program

第 6 章 気象および水文

第 6 章 気象および水文

	頁
6.1 気象および水文の概要	6-1
6.1.1 一般	6-1
6.1.2 気象および流量観測資料	6-1
6.1.3 計画地点流域の気象および水文	6-1
6.2 計画地点の流量	6-2
6.2.1 Pirrisダム計画地点流量の算定に用いる流量資料	6-2
6.2.2 流量資料の補完	6-2
6.2.3 流量資料の検証	6-3
6.2.4 Pirrisダム計画地点流量の算定	6-3
6.3 貯水池面からの蒸発量	6-4
6.3.1 蒸発量の算定に用いる資料	6-4
6.3.2 貯水池面蒸発量の算定	6-4
6.4 貯水池の堆砂量	6-5
6.4.1 堆砂量の算定に用いる資料	6-5
6.4.2 貯水池に堆積する土砂量（重量）の算定	6-6
6.4.3 貯水池の堆砂容量の算定	6-7
6.5 洪水解析	6-26
6.5.1 概要	6-26
6.5.2 洪水量の算定に用いる資料	6-26
6.5.3 計画地点の確率洪水量	6-28
6.5.4 可能最大洪水量（PMF）	6-28

List of Figures

- Fig. 6-1 Location Map of Flow and Meteorological Gauging Stations
- Fig. 6-2 Isohyetal Map of Pirris Region
- Fig. 6-3 Monthly Precipitation
- Fig. 6-4 Correlation between the Monthly Mean Discharge of No. 2604 and 2601 G.S
- Fig. 6-5 Correlation between the Monthly Mean Discharge of No. 2604 and 2602 G.S
- Fig. 6-6 Power Spectrum of Discharge at No. 2604 G.S
- Fig. 6-7 Correlation between the Precipitation at Playon and the Discharge at No. 2601 G.S
- Fig. 6-8 Correlation between the Precipitation at EL Cañon and the Discharge at No. 2602 G.S
- Fig. 6-9 Correlation between the Precipitation at EL Cañon and the Discharge at No. 2604 G.S
- Fig. 6-10 Flow Duration Curve of Dam Site
Catchment Area 250.8 km^2 (1964.5 ~ 89.4)
- Fig. 6-11 Correlation between the Suspended Load and the Discharge at No. 2604 G.S
- Fig. 6-12 Isohyetal Map during Hurricane
(Sep.12 ~ 14, 1988)
- Fig. 6-13 Isohyetal Map during Hurricane
(Oct. 17 ~ 22, 1988)
- Fig. 6-14 Hydrograph at No. 2604 G.S
(Sep. 12 ~ 17, 1988)
- Fig. 6-15 Probable Flood Discharge at No. 2604 G.S (Gumbel Method)
- Fig. 6-16 Envelope Curve of Maximum Persisting 12-hour 1000 mb Dew Point
- Fig. 6-17 Maximized Rainfall at EL Cañon (1979 ~ 88)
- Fig. 6-18 Depth-Duration Curve of PMP at No. 2604 G.S Basin
- Fig. 6-19 Time Distribution of PMP at No. 2604 G.S Basin
- Fig. 6-20 2 Hours Unit Hydrograph at No. 2604 G.S
- Fig. 6-21 Flood (PMF) Hydrograph at No. 2604 G.S
- Fig. 6-22 Specific Flood Discharge for Existing and Planned Hydro Power Project
- Fig. 6-23 Variation of Vapour Pressure with Temperature at Percentages of Saturation
- Fig. 6-24 Depths of Precipitable Water in a Column of Air

List of Tables

Table 6-1	Existing Precipitation Data
Table 6-2	Existing Runoff Data
Table 6-3	Monthly Mean Discharge at Dam Site
Table 6-4	Meteorological Data
Table 6-5	Suspended Load Data at the Gauging Stations within the Pirris River Basin
Table 6-6	Flood Discharge at Gauging Station
Table 6-7	Flood Records in 1988
Table 6-8	Flood Discharge at Project Sites
Table 6-9	Probable Flood Discharge at Project Sites (Gumbel Method)
Table 6-10	Process of PMP Estimation
Table 6-11	Time Distribution of PMP in No. 2604 G.S Basin

第 6 章 気象および水文

6.1 気象および水文の概要

6.1.1 一般

Costa Rica国の降雨量は中央高地を境として大西洋側および太平洋側南部の地域が多く、中央高地および太平洋側北部が少ない地域となっている。

全国的にみれば12～4月が乾期、5～11月が雨期となっている。

また、気温は年間を通じて1日の気温差は少なく、特に中央高地部に位置する首都San Jose市は年間平均気温が20℃前後と快適である。下表にSan Jose市における気温、降雨量を示す。

月	1	2	3	4	5	6
平均降雨量 (mm, 1888～1989)	9.7	5.9	12.0	43.7	223.9	294.7
平均気温 (℃, 1982～1987)	18.7	19.0	19.8	20.3	20.6	20.3
平均湿度 (% , 1952～1982)	80	79	78	79	83	85
月	7	8	9	10	11	12
平均降雨量	210.5	253.0	328.1	328.4	139.9	40.5
平均気温	21.3	20.0	20.3	19.9	19.4	19.0
平均湿度	84	85	86	87	84	82

(Instituto Meteorologico Nacional)

6.1.2 気象および流量観測資料

Pirris計画の流域内およびその周辺区域には、Fig. 6-1 に示す気象観測所と測水所がある。また、主要な観測所および測水所の観測記録保有期間をTable 6-1 およびTable 6-2 に示す。

6.1.3 計画地点流域の気象および水文

Fig. 6-2 に Pirris 川流域の年平均等雨量線図を示す。

この図から最大降雨量7,500mmの核は流域を外れて南東にあり、最小降雨量2,000mmは流域東の高標高部分に分布している。また、ダム地点における流域面積は約250km²であり、平均降雨量は2,600mmに達している。

Fig. 6-3 に San Marcos 観測所の年間降雨量変化を示すが、乾期・雨期の差が著しく特に 9, 10 月には月別平均として最大 380mm となっている。これは雨期の太平洋側からの貿易風と流域を構成する山斜面とが原因でもたらされる地形性降雨によるものであるが、流域内で洪水を引き起こす豪雨は大西洋側からのハリケーンによる非地形性降雨である。

6.2 計画地点の流量

6.2.1 Pirris ダム計画地点流量の算定に用いる流量資料

Pirris 計画の流量算定にあたっては、Pirris ダム地点直上流で約 11 年の日流量資料が整備されている No.2604 (Tabacales GS, 1978.8~89.4) 測水所での測定記録を基本的に使用する。

6.2.2 流量資料の補完

ダム計画地点流量の算定には、その近傍地点で長期間に亘って観測された流量資料が必要である。Pirris ダム地点については上述したように、ダム地点直上流の No.2604 測水所の記録を基本的に使用するが、測定期間が比較的に短いため、Pirris 川流域内の他測水所記録との流量相関により、流量記録を補完し、流量資料を付加することで、より精度の高い流量を把握することとする。

Pirris 川流域には、No.2604 測水所の他に No.2601~2603 の 3 測水所があり、同測水所記録との間でそれぞれ流量相関を行った結果、いずれの測水所記録とも高い相関が得られた。よって、いずれの測水所における記録をもっても No.2604 測水所記録の補完を行うことが可能であると思われたが、ダム地点流域内に属する上流 No.2602 測水所および最も長期間の流量記録を保持する No.2601 測水所計 2 ヶ所の測水所記録の組み合わせにより補完を行った。

この結果、全部で約 26 年分の No.2604 測水所流量資料 (1963.6~1989.4) を確保した。Fig. 6-4 および Fig. 6-5 に各測水所間の相関図を示す。

○ No. 2604 - 2601

Y : No.2604 測水所記録 (m³/s)

X : No.2601 測水所記録 (m³/s)

Y = 0.30x + 1.37 (相関係数 0.95, 補完期間 1963.6 ~ 1971.4)

○ No. 2604-2602

Y : No.2604 測水所記録 (m³/s)

X : No.2602 測水所記録 (m³/s)

$Y = 2.43x - 1.37$ (相関係数0.97, 補完期間 1971.5 ~ 1978.7)

また補完付加されたNo.2604測水所地点流量(1963.6~89.4)についてフーリエ変換によるパワースペクトル解析を行った。その結果を Fig.6-6 に示す。これにより、Pirris計画地点の年間周期の変動周期が約5年であることが判り、流量算定期間として確保した約26ヶ年分の流量で十分であることが確認された。

6.2.3 流量資料の検証

No.2601, 2602および2604測水所での流量資料の検証を行うために、それぞれの測水所記録と近傍の雨量観測所の降雨量との間で相関関係を調べた。

Fig.6-7 ~ Fig.6-9 は、ダブル・マスカブ法による検証結果を示すが、それぞれの流量と降雨量との間には比較的高い相関関係が認められる事より、両測水所での記録は妥当なものであるといえる。

6.2.4 Pirrisダム計画地点流量の算定

Pirrisダム地点における流入量は下式により算出する。

$$Q_p = Q_{2604} \times \left(\frac{A_p}{A_{2604}} \right)$$

ここに Q_p : Pirrisダム地点流量 (m³/s) (1964.5~89.4 補完期間含む)

Q_{2604} : No.2604測水所地点流量 (m³/s)

A_p : Pirrisダム地点流域面積 (km²)

A_{2604} : No.2604測水所流域面積 (km²)

上式から算出した Pirris ダム地点の月別平均流量(1964.5~89.4 25ヶ年)を Table 6-3 に示し、Fig.6-10 に流況曲線図を示す。

6.3 貯水池面からの蒸発量

6.3.1 蒸発量の算定に用いる資料

ここではPirris計画地点について貯水池面からの蒸発量を算定する。Pirris川周辺には Table 6-4 に示すPlayonおよびCerro La Muerte 気象観測所における蒸発量の観測資料がある。蒸発量は蒸発皿 (Evaporation Pan) による測定値であり、これは、ダム築造後の湖面からの蒸発量の算定に用いられるものである。

6.3.2 貯水池面蒸発量の算定

一般に蒸発皿における蒸発量は環境条件の違いにより、湖、川等のそれより大きいので、ある係数を乗じて使用する。Class A Pan については0.6~0.8が一般で、平均値0.7を適用すると、湖面からの蒸発量は次のように算定される。

$$\text{湖面からの蒸発量} = \text{Pan測定値} \times \text{Pan係数} (0.7)$$

ここでPan測定値としてPlayon観測所における最大値167.7mm (3月) を使って湖面からの蒸発量を算定した。

$$\begin{aligned} \text{湖面からの蒸発量} &= 167.7 \text{ (mm/月)} \times 0.7 \\ &= 167.7 \times 0.7 \times 1/30 \text{ (mm/日)} \\ &= 167.7 \times 0.7 \times 1/30 \times 1.157 \times 10^{-2} \text{ (m}^3\text{/s/km}^2\text{)} \\ &= 0.045 \text{ (m}^3\text{/s/km}^2\text{)} \\ \text{mm/日} &= 1.157 \times 10^{-2} \text{ (m}^3\text{/s/km}^2\text{)} \end{aligned}$$

満水位 (1.195m) 時の湛水面積が約1 km²であるので、

$$\begin{aligned} \text{満水位における蒸発量} &= 0.045 \times 1 \\ &= 0.045 \text{ (m}^3\text{/s)} \end{aligned}$$

この値は、流入量に対して非常に小さく、後述の電力量計算においては、蒸発量を無視した。

6.4 貯水池の堆砂量

6.4.1 堆砂量の算定に用いる資料

河川を流下する土砂はその流下形態によって浮流砂と掃流砂に分けられる。このうち、浮流砂についてはサンプリングによる観測手法が確立されており、Costa Rica国内においてもICEによって観測が行われている。しかし、掃流砂については実河川における観測は困難であり、推定によらざるを得ないのが現状である。

貯水池の計画堆砂量を算定する場合、一般に、計画地点近傍での浮流砂量の観測資料や、既設貯水池の堆砂実績資料が用いられる。また、流域内での観測資料がない場合には、流域特性の類似した近傍河川での観測記録を利用することもある。

Pirris川流域ではTable 6-5に示すICEの測水所での観測資料が利用できる。

既設貯水池の堆砂実績資料もあるが、これについては、貯水池内のフラッシング掃砂ないし浚渫が行われているため用いないこととした。

(1) 浮流砂量

浮流砂量については、Pirris川流域内の測水所において河川流量と浮流砂量の観測を行っている。この内、ダム地点に近接しているNo.2604測水所における浮流砂量（浮流砂濃度）と河川流量との関係をFig. 6-11に示す。

この図は、浮流砂量と河川流量の間に相関関係があることを示している。

(2) 掃流砂量

掃流砂量については、測定方法が確立されていないため、ICEにおいて掃流砂量式を用いた算定を行っている。計算は、ダム地点近傍のNo.2604測水所地点について、2つの掃流砂量式を用い、これらの結果の平均値を採用することとしている。

計算結果は以下の通りである。

No.2604 測水所 (243.8 km²)

Meyer-Peter の式	35,282	ton/year
Einstein-Brownの式	26,874	ton/year
平均	31,078	≒ 31,000 ton/year
		(127 ton/year/km ²)

6.4.2 貯水池に堆積する土砂量（重量）の算定

浮流砂についてはPirris川における比浮流砂量は、No.2604測水所地点で 275 ton/year/km²、No.2603測水所地点において 373 ton/year/km² であり、ダム計画地点に適用する比浮流砂量は両者のうち大きな値を採用し 373 ton/year/km²とする。

なお、この値は Fleming の方法による計算結果（175 ton/year/km²）に対して、オーダー的には同等の値となっている。

掃流砂については、ダム計画地点に近接したNo.2604測水所地点における計算値 127 ton/year/km²を用いることとする。

以上から、流域面積換算により貯水池に流入する土砂量を求めた結果は次の通りである。

下流ダム地点（250.8 km²）

浮流砂量	93,500 ton/year	(373 ton/year/km ²)
掃流砂量	31,900 ton/year	(127 ton/year/km ²)
計	125,400 ton/year	(500 ton/year/km ²)

(1) 貯水池の捕捉率

Brune は、捕捉率と {総貯水容量/年間総流入量} の関係を示している。

ここで {総貯水容量/年間総流入量} の値を計算すると以下の通りである。

$$(26.61 \times 10^6 \text{ m}^3 / 351.61 \times 10^6 \text{ m}^3) = 0.076$$

ここに、総貯水容量 : 26.61 × 10⁶ m³ (原案)

年間総流入量 : 351.61 × 10⁶ m³

(1964~1989年の平均、流域面積 250.8km²)

この値を用いて Brune の図から求められる流入土砂捕捉率は85%となる。

(2) 堆砂密度

貯水池内に堆積する土砂の体積は、堆積後の密度を考慮して算定する必要がある。LoneとKoelzerによれば、時間 t 経過後の平均堆積密度 W_t (ton/m³) は次式で求められる。

$$W_t = W_i + 0.434 k \times \left\{ \frac{t}{t-1} (\log_e t - 1) \right\}$$

ここに、 W_i : 初期密度 (ton/m³)、 K : 密度増加係数 (ton/m³)

ここで初期密度 W_i および密度増加係数 K の値は、堆砂成分および貯水池の運用条件によって異なる。ここでは、浮流砂の観測結果等と貯水池の運用条件を考慮して $W_i = 74 \text{ lb/cuft}$ 、 $K = 2.7$ の値を用いることとする。

なお、計画堆砂量の算定期間 t は50年とした。

この結果、貯水池の50年後の平均堆砂密度は1.241 ton/m³と算定される。

6.4.3 貯水池の堆砂容量の算定

上記で求めた諸値を用いて下流ダム地点の計画堆砂量 (V_s) を下式により算定する。

$$\begin{aligned} V_s &= (\text{年間総流入土砂量}) \times (\text{捕捉率}) \times (\text{期間}) / (\text{堆砂密度}) \\ &= 125,400 \text{ ton/年} \times 85 \% \times 50 \text{ 年} / 1.241 \\ &= 4.29 \times 10^9 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

また上記と同様に上流ダム地点について計画堆砂量を求めると $4.16 \times 10^9 \text{ m}^3$ となる。

(1) 貯水池の堆砂面の設定

本計画の堆砂面を設定するにあたって、堆砂形状は水平と仮定するものとする。

したがって、推定堆砂面標高は下流ダム地点の貯水容量曲線より下流ダム地点は EL. 1,140m に、上流ダム地点は EL. 1,152m と設定した。

低水位 (LWL) については、導水路への空気混入を防止するために、導水路直径の2倍程度の水深を確保すること、および土砂流入防止の観点から、堆砂面から導水路敷まで2m程度の水深をとることとして、低水位を設定した。

Table 6-1 Existing Precipitation Data

Station \ Year	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
(I.C.E)																				
El Cañon	From 1954																			
Villa Mills	From 1942																			
Tres de Junio	From 1962																			
C. La Muerte																				
Pozo Azul																				
Playon																				
Noronjillo																				
Providencia																				
Proyecto Savegre																				
Los Angeles																				
Fila Savegre																				
(I.M.N)																				
Finca Angeles	From 1940																			
Finca Nicoya	From 1941																			
Finca Tigre	From 1941																			
Palmichal																				
Puriscal	From 1940																			
San Ignacio de Acosta	From 1950																			
S. Marcos de Tarrazu	From 1955																			
Tarbaca	From 1962																			
Anita																				
Damas																				
Pocares	From 1941																			
Quepos	From 1941																			
Copey de Dota																				

Table 6-2 Existing Runoff Data

Station	Year	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	
No. 2601	EI Rey																												
No. 2602	Dota																												
No. 2603	Bijagual																												
No. 2604	Tabacales																												

Table 6-3 Monthly Mean Discharge at Dam Site

(UNIT : M³/S)

YEAR	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	TOTAL	AVE
1964	3.5	9.7	18.2	15.4	21.9	29.8	16.0	6.6	4.5	3.4	3.0	2.8	134.8	11.2
1965	4.9	10.1	6.0	6.2	16.1	23.5	13.0	6.8	4.7	3.8	3.1	3.0	101.2	8.4
1966	6.5	18.0	16.7	17.6	14.6	27.3	11.2	6.1	4.4	3.5	2.9	3.4	132.2	11.0
1967	2.8	8.3	5.9	7.2	22.5	23.2	9.3	5.8	3.9	3.6	2.8	2.9	98.2	8.2
1968	7.9	17.2	14.5	16.6	31.0	28.5	21.7	9.8	6.2	5.0	4.6	4.1	187.1	13.9
1969	4.7	9.0	7.6	19.1	26.6	57.0	31.7	13.2	6.4	4.6	4.1	5.2	189.1	15.8
1970	8.4	13.6	15.9	23.4	29.8	37.5	19.6	8.9	6.7	4.0	3.5	3.1	174.4	14.5
1971	7.6	11.8	12.5	24.2	34.5	32.5	15.2	7.2	4.5	3.0	1.8	1.7	156.4	13.0
1972	8.8	9.6	4.6	9.1	14.0	20.7	12.7	5.1	4.7	3.5	1.7	1.4	96.0	8.0
1973	5.2	20.7	18.7	21.3	25.8	43.6	19.2	13.8	6.3	4.3	2.7	1.5	183.0	15.3
1974	6.4	14.8	10.8	12.9	19.6	26.8	14.9	11.6	4.6	2.8	1.9	1.3	128.5	10.7
1975	3.3	7.2	8.7	23.9	42.7	41.8	26.2	14.4	4.8	1.7	0.6	1.1	176.5	14.7
1976	3.4	12.4	8.6	9.7	13.4	17.3	10.8	6.2	3.2	1.9	0.9	0.5	88.4	7.4
1977	1.3	6.2	2.8	12.2	19.3	29.8	16.8	7.4	3.0	1.9	1.2	1.1	103.1	8.6
1978	3.0	6.2	7.6	12.0	23.5	37.7	16.0	6.1	4.1	3.0	2.5	3.5	125.3	10.4
1979	7.8	17.8	12.9	18.4	31.3	35.6	24.6	8.2	4.9	3.6	3.0	2.6	170.6	14.2
1980	3.4	9.7	9.3	18.8	22.6	20.4	25.4	11.2	5.8	3.0	2.5	2.2	134.2	11.2
1981	7.5	23.8	13.4	20.2	27.9	29.7	14.5	6.0	4.0	3.1	2.7	2.6	155.2	12.9
1982	7.5	12.8	8.3	6.8	11.0	18.1	9.9	5.5	3.9	2.9	2.5	2.5	91.7	7.6
1983	2.6	3.8	4.2	4.0	13.1	33.6	28.0	9.2	5.6	4.1	3.6	3.1	114.9	9.6
1984	5.5	11.2	16.7	16.4	30.9	23.5	14.3	6.5	4.0	3.2	2.5	2.6	137.4	11.4
1985	3.1	8.3	9.4	16.3	22.6	25.8	25.2	7.4	4.6	3.6	3.3	2.9	132.3	11.0
1986	5.1	9.0	8.9	5.5	7.9	21.9	8.6	5.2	3.7	3.0	2.5	2.5	84.0	7.0
1987	2.9	4.2	7.0	21.8	10.9	16.4	7.8	4.4	3.2	2.1	1.8	1.7	84.3	7.0
1988	2.3	6.6	6.7	15.6	57.7	44.6	21.2	7.3	4.8	2.9	2.4	2.0	174.3	14.5
TOTAL	125.4	282.2	254.0	374.9	591.3	746.5	433.8	199.8	116.7	81.4	63.9	61.5	3333.4	277.8
NUMBER	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
MEAN	5.0	11.3	10.2	15.0	23.7	29.9	17.4	8.0	4.7	3.3	2.6	2.5	133.3	11.1
MAX	8.8	23.8	18.7	24.2	57.7	57.0	31.7	14.4	6.7	5.0	4.6	5.2	189.1	15.8
MIN	1.3	3.8	2.8	4.0	7.9	16.4	7.8	4.4	3.0	1.7	0.6	0.5	84.0	7.0

Table 6-4 Meteorological Data

PLAYON Station

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
Precipitation (mm)	20.4	39.5	62.7	194.1	502.9	404.3	386.3	455.4	539.2	633.0	313.2	87.0	3,638.1
Temperature Average (°C)	26.0	26.7	27.6	27.2	26.5	26.1	25.9	25.7	25.4	25.4	25.5	25.8	26.2
Humidity Average (%)	83	78	78	83	89	90	91	92	92	92	92	89	87
Evaporation (mm)	121.0	137.1	167.7	143.3	116.3	85.0	94.5	100.3	82.0	93.3	77.6	90.8	1,309.2

CERRO LA MUERTE Station

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
Precipitation (mm)	33.8	23.3	28.5	103.7	352.4	339.9	221.4	355.2	398.1	391.8	197.4	80.0	2,467.4
Temperature Average (°C)	6.8	7.1	7.9	8.1	8.0	7.6	7.1	7.3	7.4	7.5	7.1	6.5	7.4
Humidity Average (%)	91	90	88	91	96	96	96	96	96	96	96	92	94
Evaporation (mm)	69.6	78.0	87.6	63.4	47.7	45.0	48.3	44.2	43.2	34.8	36.5	66.8	664.8

Table 6-5 Suspended Load Data at the Gauging Stations within the Pirris River Basin

Station	Catchment Area (km ²)	Observation Period	Annual Mean Suspended Load (ton/year/km ²)
No. 2601 EL Rey	661.4	1970 ~ 1987	741
No. 2602 Dota	115.0	1971 ~ 1987	266
No. 2603 Bijagual	422.2	1971 ~ 1987	373
No. 2604 Tabacales	243.8	1978 ~ 1987	275

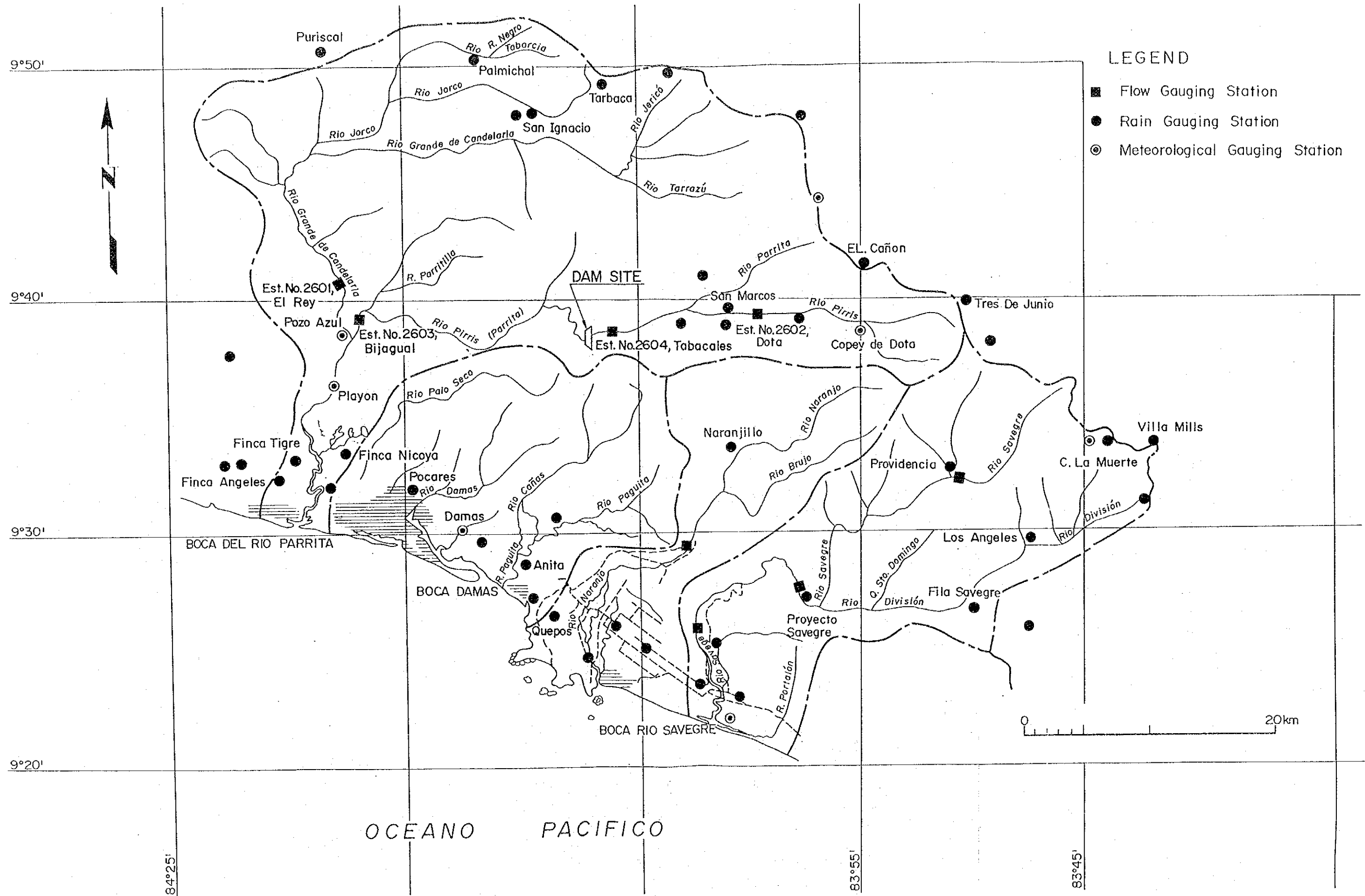


Fig. 8-1 Location Map of Flow and Meteorological Gauging Stations

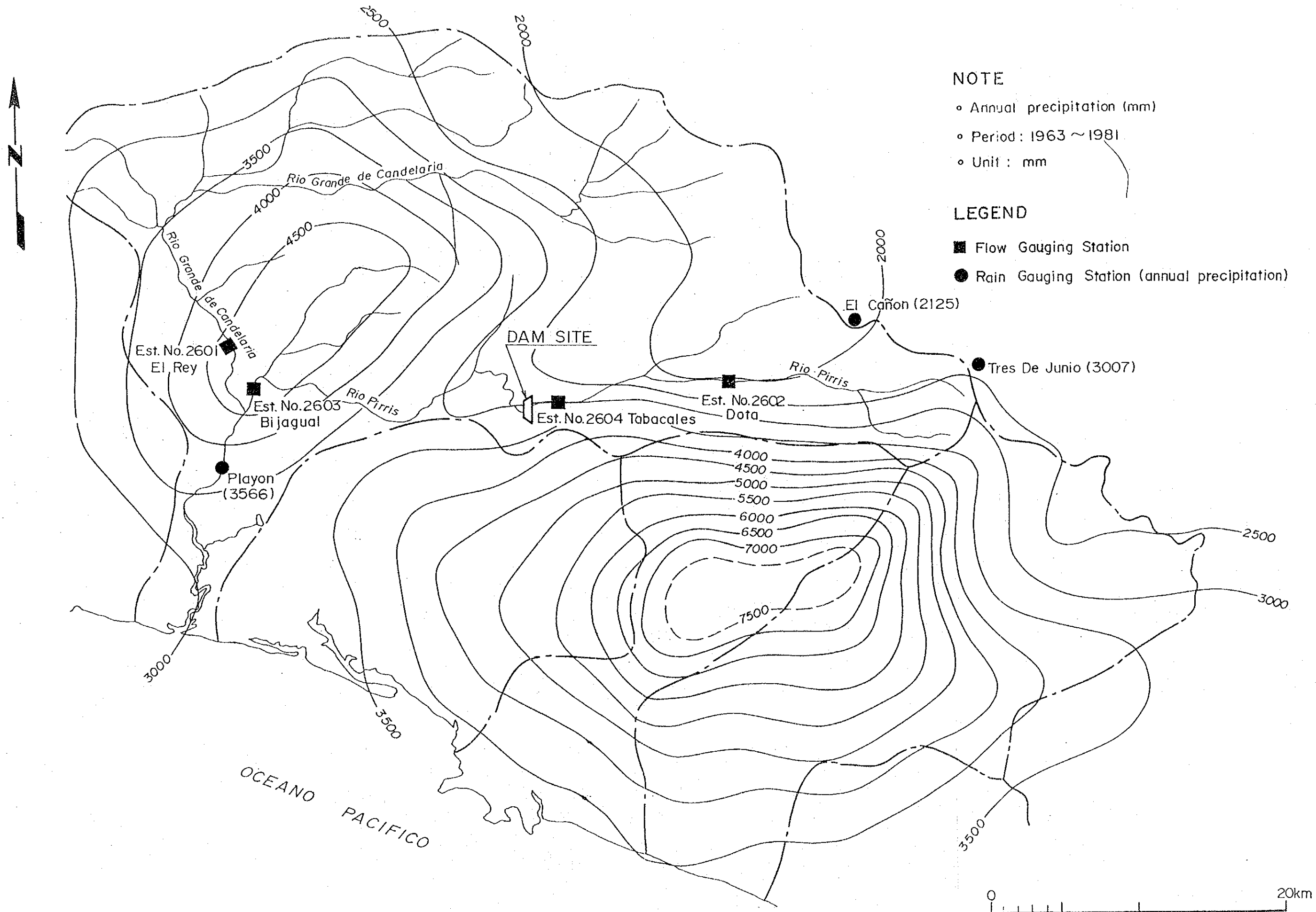


Fig. 6-2 Isohyetal Map of Pirris Region

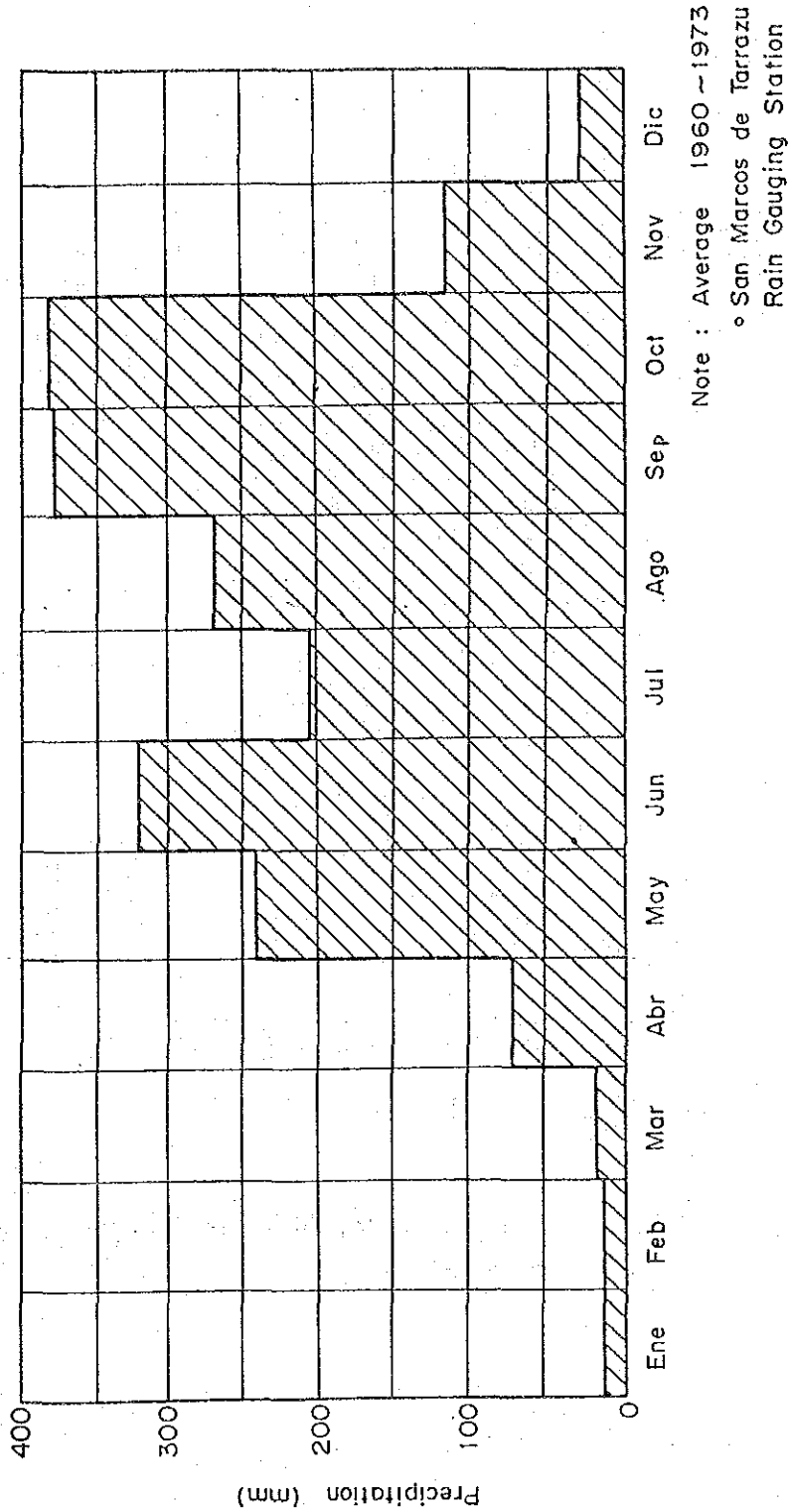


Fig. 6-3 Monthly Precipitation

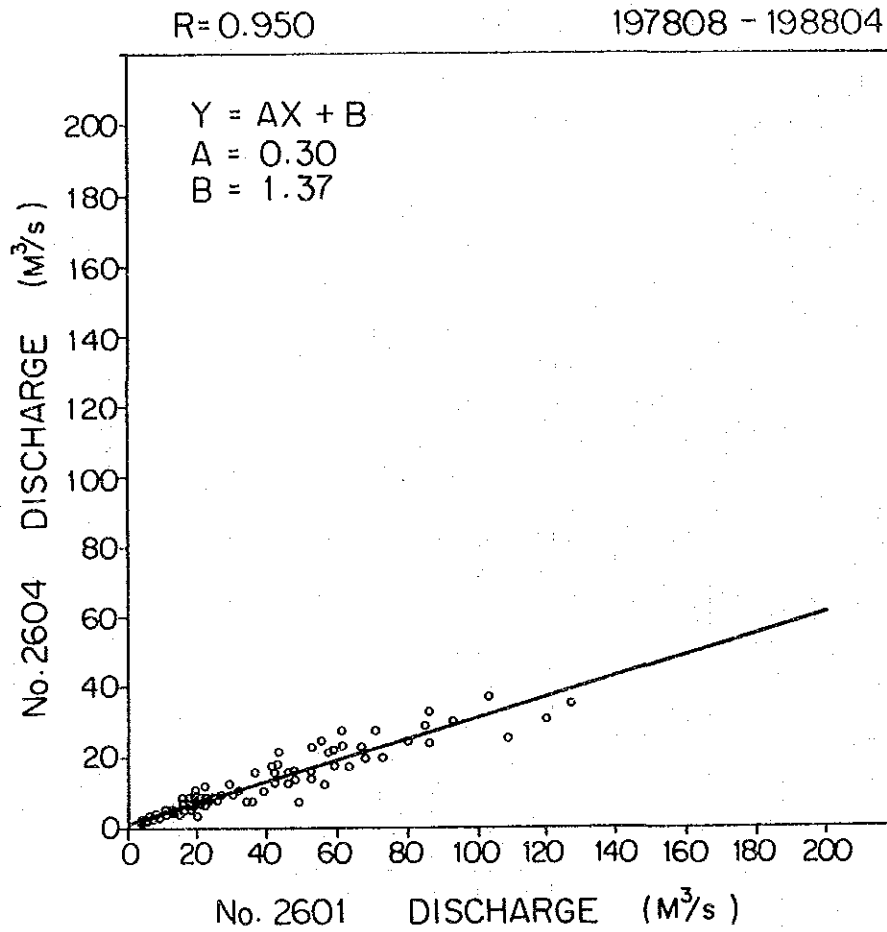


Fig. 6-4 Correlation between the Monthly Mean Discharge of No. 2604 and 2601 G.S

R = 0.971

197808 - 198804

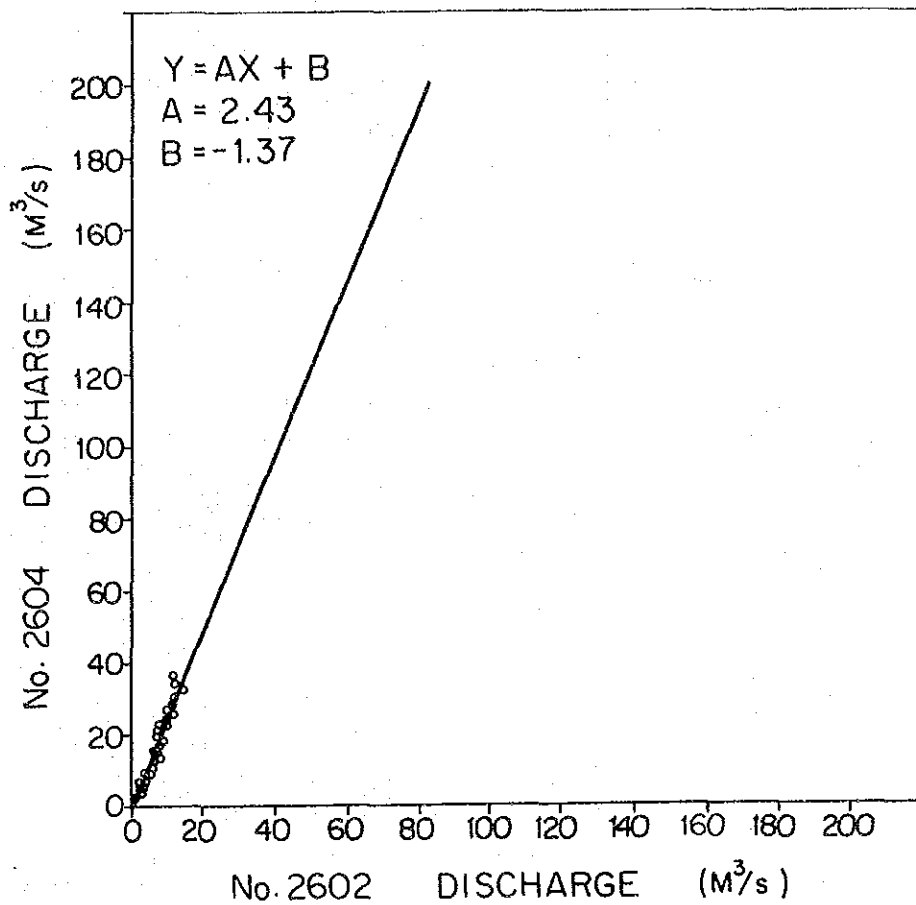


Fig. 6-5 Correlation between the Monthly Mean Discharge of No. 2604 and 2602 G.S

QIN SPECTRA ANALYSIS < YEAR > PLACE : NO.2604

START TIME 1964. 5. 1. 0. 0.

END TIME 1989. 4.30. 0. 0.

OBSERVED WAVE
DATA X

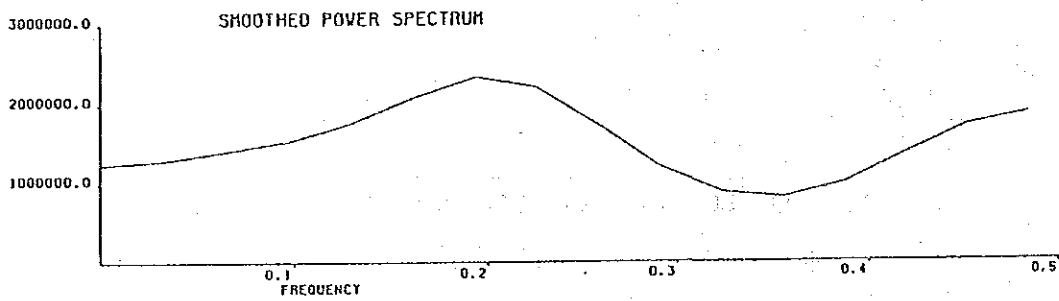
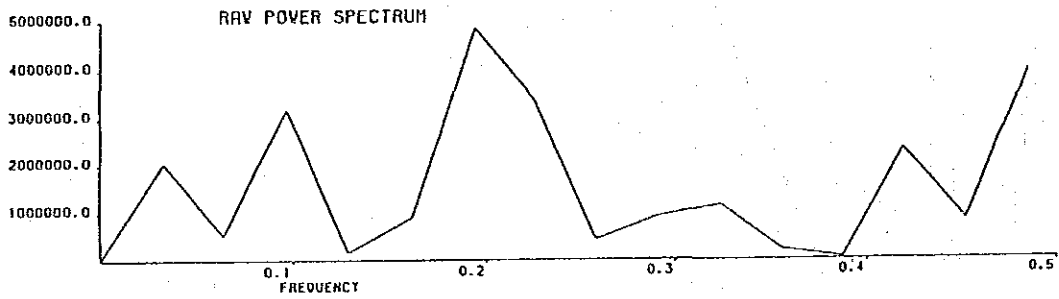
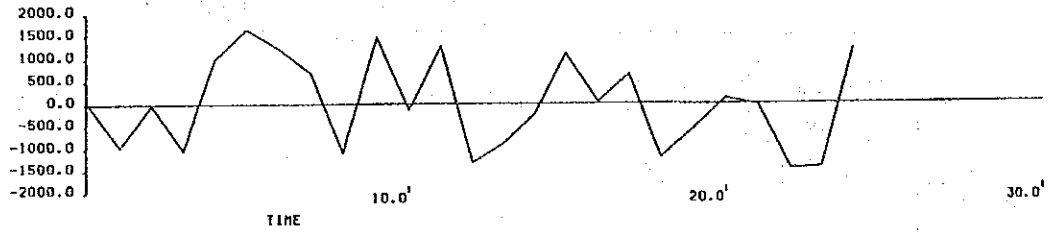


Fig. 6-6 Power Spectrum of Discharge at No. 2604 G.S

DOUBLE MASS CURVE
1975 - 1983

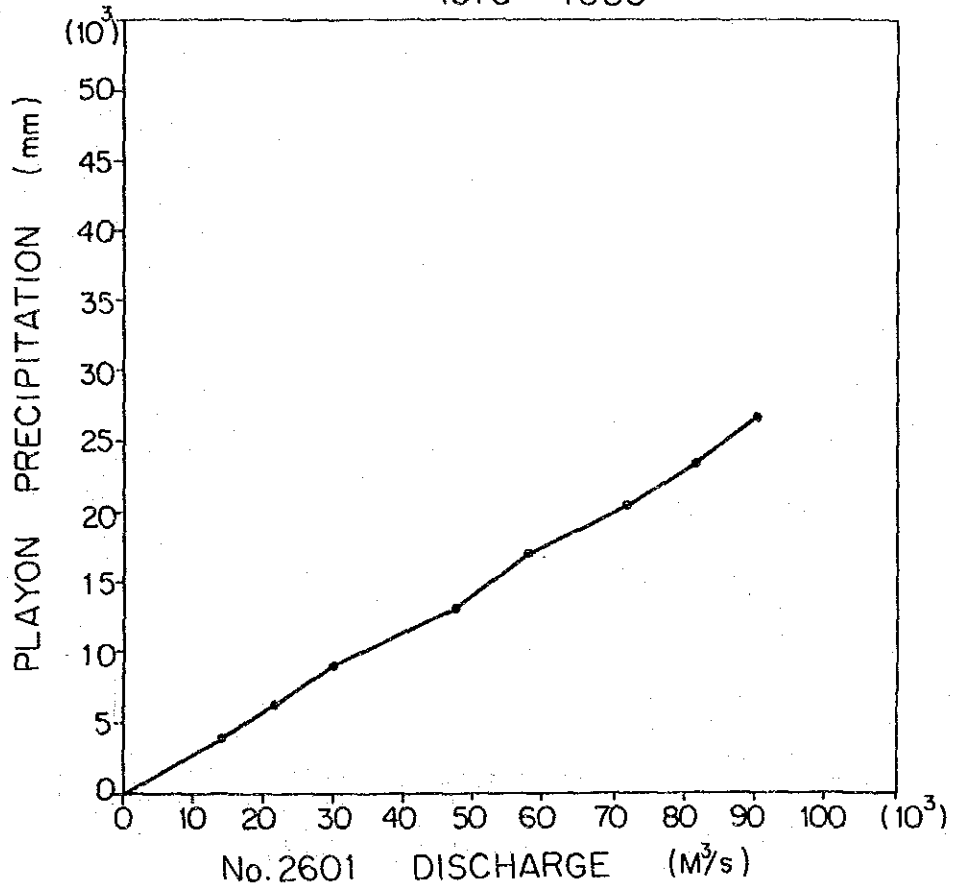


Fig. 6-7 Correlation between the Precipitation at Playon and the Discharge at No. 2601 G.S

DOUBLE MASS CURVE
1972 - 1988

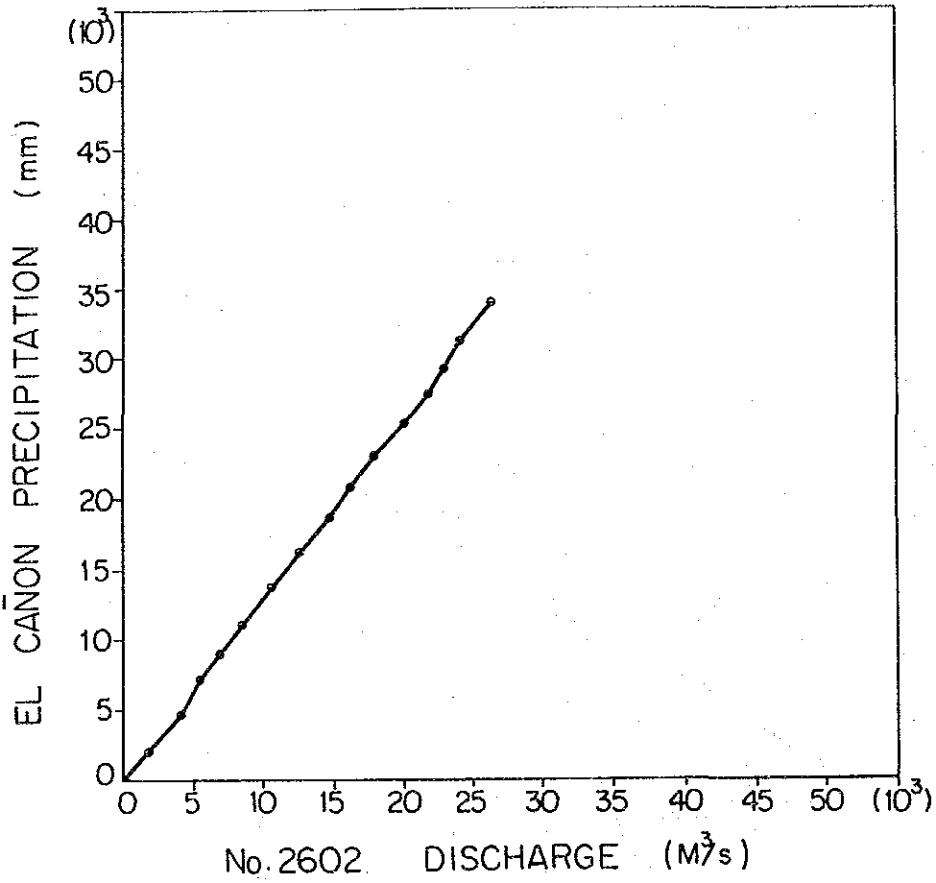


Fig. 6-8 Correlation between the Precipitation at EL Cañon and the Discharge at No. 2602 G.S

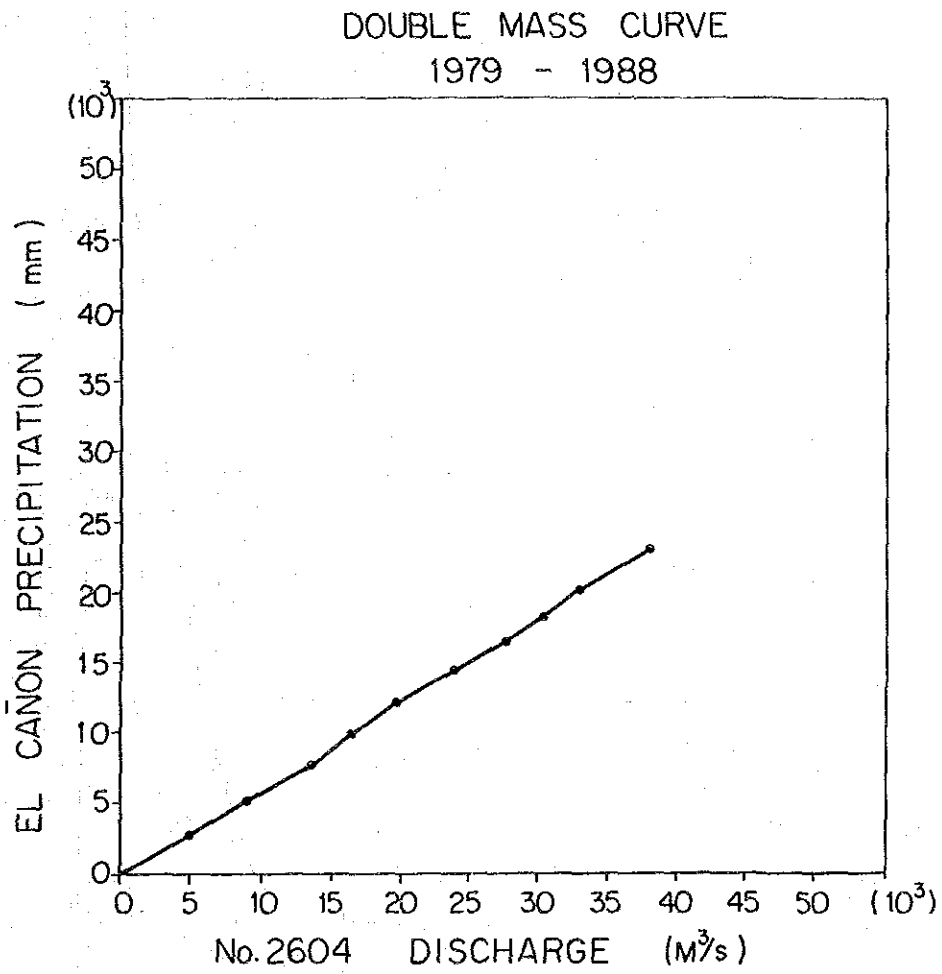


Fig. 6-9 Correlation between the Precipitation at EL Cañon and the Discharge at No. 2604 G.S

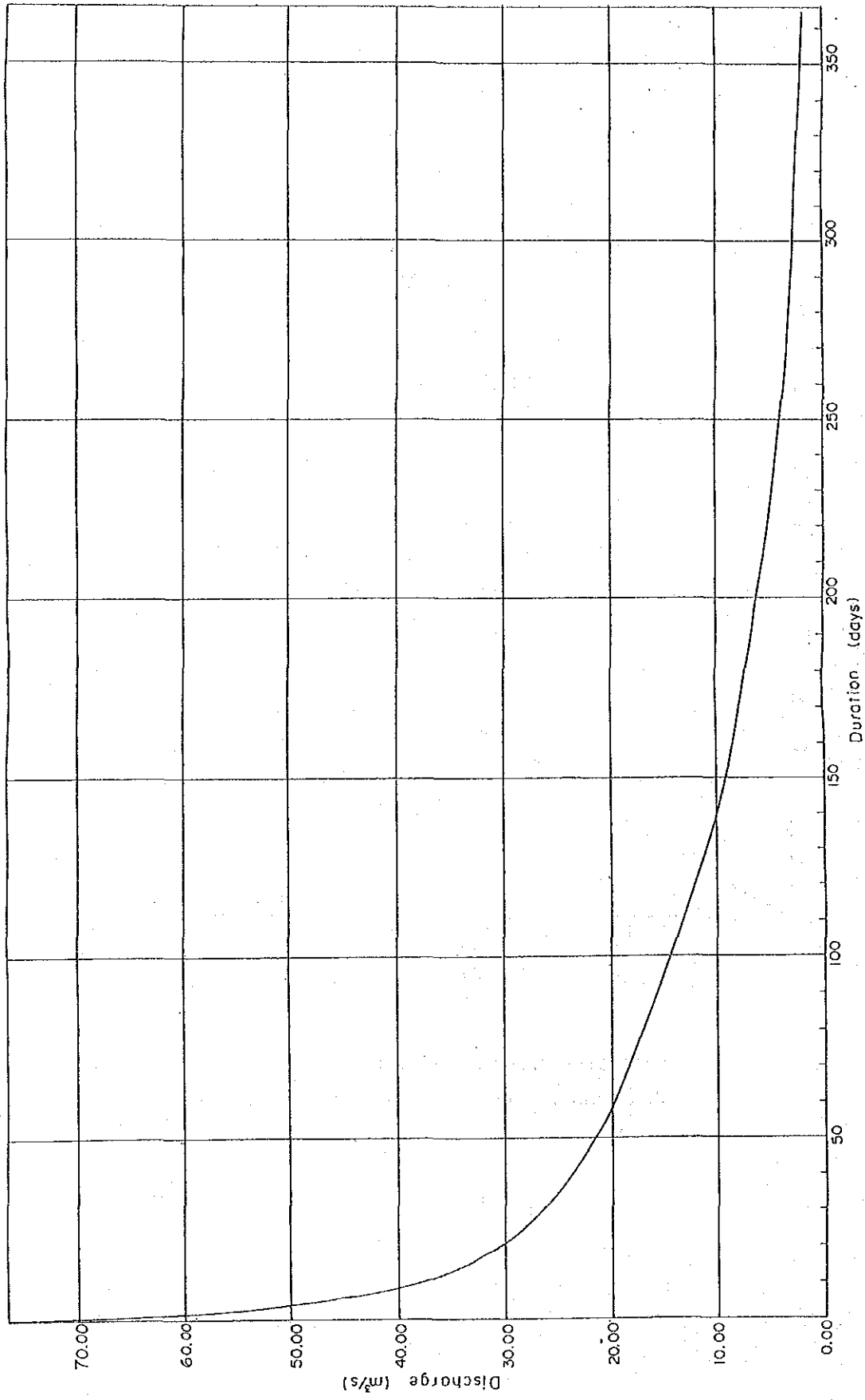


Fig. 6-10 Flow Duration Curve of Dam Site
Catchment Area 250.8 km² (1964.5 ~ 89.4)

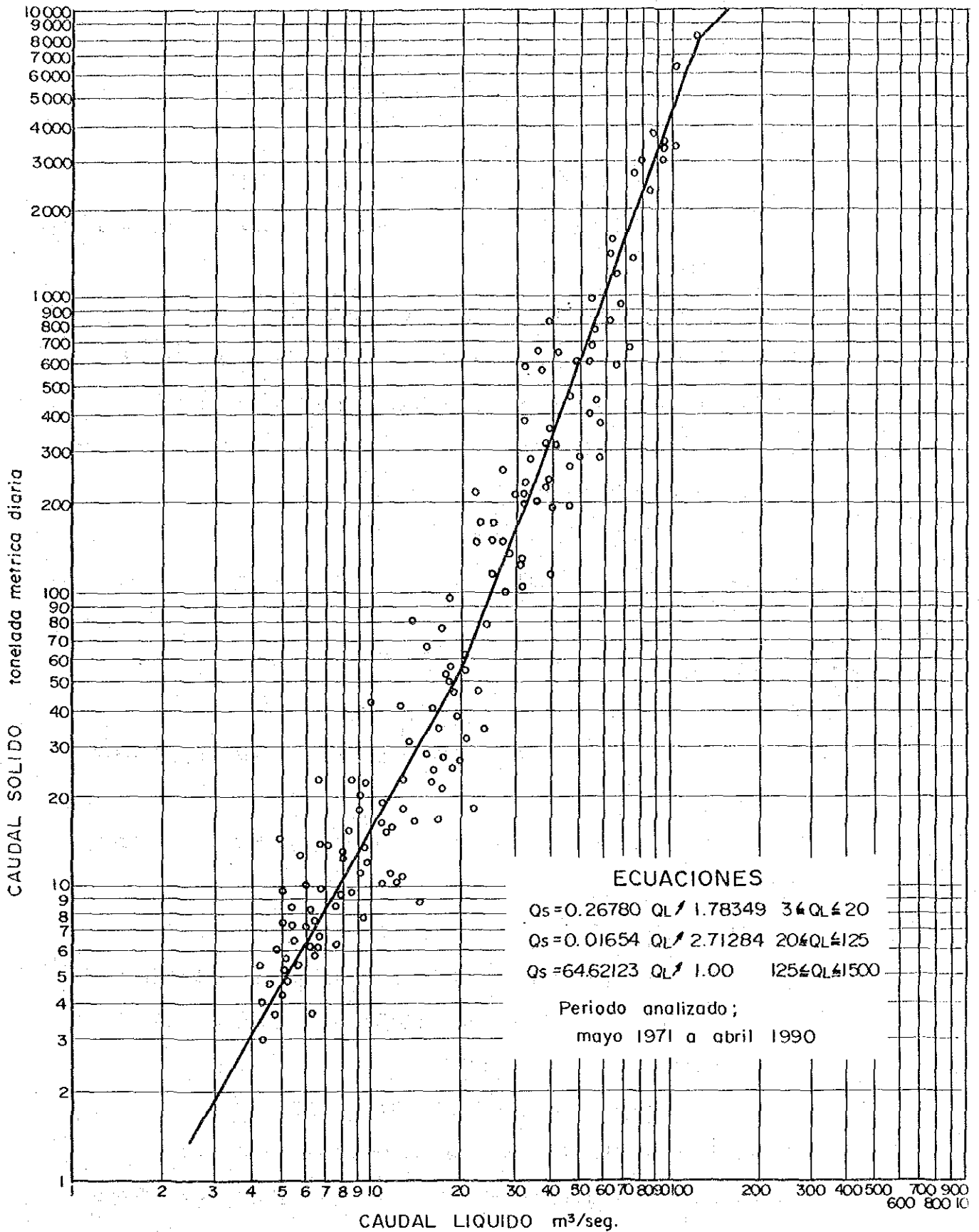


Fig. 6-11 Correlation between the Suspended Load and the Discharge at No. 2604 G.S.

6.5 洪水解析

6.5.1 概要

設計洪水量の算定の基本的な考え方は、第一次現地調査時に、ICEとの協議により以下の通り確認した。

- ダム地点における洪水量の算定は、今後実施するPMFによるものとする。
- 但し、PMFによる洪水量の算定が、データ不備等で不可能の場合、10,000年確率洪水量を採用する。

以上から、既往の水文資料をレビューした結果、本流域内における基本的データ（気温、相対湿度、蒸気圧）に不足はあるものの、これらは他流域の既存データから推定できると判断されたことから、PMFによる方法を採用することとした。

PMFは次の手順に従って推定した。

- (i) Pirris流域の水文特性の把握
- (ii) PMP（可能最大降水量）の算出
- (iii) ユニットハイドログラフを用いてのPMPからPMFへの変換

6.5.2 洪水量の算定に用いる資料

(1) 気象データ

流出解析を行う上で、最も基本となる資料は、流量データに対応する期間の降雨データである。

Pirris流域において大洪水を引き起こすような豪雨の発生時期はハリケーンの発生時期と一致している。

計画流域内の雨量観測所は Fig 6-1 に示される様に8ヵ所を数える。

しかし、ダム地点近傍に位置するNo. 2604測水所の観測期間に対応する期間において洪水解析に有効な雨量データが得られる雨量観測所は、僅かEl Cañon, Tres de JunioおよびCopey de Dotaの3か所となる。

その中で、流量観測史上、最も大きかったとされる1988年のハリケーン時におけるデータが有効なものは、El CañonとCopey de Dotaの2か所のみである。

本検討においては、計画流域の下流のParrita川本流に位置するPlayon気象観測所のデータも有効となる事から、これらのデータも使用する事とする。

当計画流域におけるハリケーン時の降雨分布を Fig. 6-12 および Fig. 6-13 に示す。降雨量はいずれの場合も南側より北側へと減少し、且つ上流より下流方向に降雨量は増加している。

Fig. 6-14 に、1988年9月のハリケーンの流域平均降雨及び流出パターンを示す。

Fig. 6-14 より、洪水波形は極めて尖鋭化していることが分かる。

ここで計画地点における流域平均降雨量(2時間毎)は次式によって算定された。

$$P_i = 1/2(P_{ei} + P_{ci}) \times P_{at} / [1/2 (P_{et} + P_{ct})] \quad (\text{mm}/2\text{hr})$$

P_i : i 時における計画地点の流域平均降雨量 (mm/2hr)

P_{ei} : " El Cañon 地点の降雨量 "

P_{ci} : " Copey de Dota " "

P_{at} : 等雨量線図(1988年9月12日~14日)より求められた計画地点
の流域平均降雨量 ; 229.0 mm

P_{et} : El Cañonにおける1988年9月12日~14日の降雨量 ; 192.0 mm

P_{ct} : Copey de Dota " ; 166.0 mm

気温、相対湿度及び蒸気圧のデータについては、解析に有効なデータは計画地点の下流に位置するPlayonでのデータのみ得られている。従って、本観測所データを用いることとする。

PlayonからEl CañonおよびCopey de Dotaへの適用は、標高による補正を行った。

Playonの降雨量は等雨量線図にしめされている様に、上流側の計画地点よりも多い。従って、Playonのデータを計画地点に適用して推定されたPMPは、安全側にあるものと判断される。

Playon観測所では気温、相対湿度および蒸気圧のデータは1日3回観測されている。解析には、12時間持続値として、最小の露点を与えるものを用いた。

(2) 洪水流量データ

各測水所における実測最大洪水流量を Table 6-6 に示す。

Table 6-6 より、1963~1988年までの期間のうち、1988年の値が突出していることが分かる。

Table 6-7 に1988年9月と10月のハリケーン時のデータを示す。

測水所No. 2604での観測記録によると、9月13日のピーク流量は710m³/sとされており、洪水発生前日から当日にかけての降雨量はPlayonにおいて240.1mm、El Cañonにおいて178.5mm、Copey de Dotaにおいて160.8mmであった。一方、10月22日の流量は観測設備の一部流出のため測定されていないものの、洪水発生前日から当日にかけての降雨量は、各々、348.7mm、232.4mmおよび242.5mmと9月のそれを大きく上回っている。これらのことから、10月のハリケーン時の流量は9月のそれ以上であったものと判断される。

6.5.3 計画地点の確率洪水量

各計画地点の洪水流量は測水所No.2604の実測流量に流域面積比を乗じて算定した。各計画地点の洪水流量を Table 6-8 に示す。

ところで、計画流域において洪水の発生に寄与するような豪雨は、観測記録等より、突発的なハリケーン性のものである。国際大ダム会議によると^{*)}、このような地域に対して、10,000年のような長期間の確率解析を適用することは不適當であるとされている。また、流量の観測期間は11年と短いことから、大きな確率年に対する確率解析は精度的に信頼性に乏しいと考えられる。(Fig. 6-15 参照)

以上の理由で確率解析は参考値として、比較的短期間の200年確率洪水量までにとどめておくこととする。確率計算はガンベル分布法を用いて行った。その結果を Table 6-9 に示す。

6.5.4 可能最大洪水量 (PMF)

(1) PMP (可能最大降水量) の算定

一般にハリケーンによる降雨は、非地形性降雨によって支配されると考えられる。Pirris流域における豪雨もハリケーン性の降雨であるのでPMP算定において非地形性降雨として取扱う方法が適當と判断した。

PMPは通常、実測された過去の大豪雨に、露点をもとに算出した最大化率を乗じることによって求められる。この率は、実測豪雨発生時における実際の大气中の水分量と、その豪雨が発生した時期に考えうる可能最大水分量との比率と定義される。この可能最大水分量は、12時間持続露点から求められる。

Fig. 6-16 に1978年から1988年に観測された1000mbにおける最大12時間持続露点

を示す。PMPの算定に用いた露点はデータ数が少ないので安全側をとって200年確率値とした。

Fig. 6-17 に1979年から1988年の期間で、El Cañonにおいて抽出された各年最大を含む代表的ストームの最大化降雨量を示す。

図に示されるように、包絡線は1988年10月のストームの最大化降雨量によって描かれている。この事は前述の洪水量データからも裏付けされる。

従って、計画流域のPMPは1988年10月の最大化降雨量を適用する事とした。

El CañonおよびCopey de Dota地点でのPMPの計算過程をTable. 6-10に示す。結果は以下の通りである。

El Cañon ; 318 mm/day

Copey de Dota ; 331 mm/day

流域平均の日当りPMPは、上記の両観測所地点のPMPおよびFig. 6-13に示す10月のハリケーン時の等雨量線図より、次式によって算出された。

$$Pav = 1/2(Pep + Pcp) \times Pat / [1/2(Pet + Pct)] \quad (\text{mm/day})$$
$$= 357 \quad \text{mm/day}$$

Pav: 計画地点の流域平均PMP (mm/day)

Pep: El Cañon地点のPMP ; 318 mm/day

Pcp: Copey de Dota " ; 331 mm/day

Pat: 等雨量線図(1988年10月17日~22日)より求められた計画地点の流域平均降雨量 ; 326.0 mm

Pet: El Cañonにおける1988年10月17日~22日の降雨量 ; 296.0 mm

Pct: Copey de Dota " ; 297.0 mm

その結果、計画流域のPMPは357mm/dayとなった。

PMPの算定は気象データが日単位である事から、後述するユニットハイドログラフの単位である2時間単位への変換を行う必要がある。

その際用いた配分率は24時間以内では、既往最大雨量を記録した1988年10月のハリケーンにおける24時間雨量に対する比率を適用した。各継続時間の降雨量は、出現順序にかかわらず任意に組合わされた連続する降雨のうち最大となるものを抽出した。24~72時間では、既往世界最大地点雨量の降雨時間と降雨量関係*2を示す次

式 $R = 16.6 H^{0.457}$ により算出される24時間雨量に対する比率を適用した。これらの配分率により得られた計画地点でのPMPと継続時間との関係を Fig. 6-18 に示す。

2時間毎のPMPの増加量は最大流出量を生起させるような時間分布に配列した。PMPの時間分布を Fig. 6-19, Table 6-11 に示す。

(2) ユニットハイドログラフの作成

流出解析は数々の手法が提案されている。本計画の場合、1988年9月のハリケーン時での洪水観測資料が比較的整備されており、またその期間に対応する降雨資料も同様に整備されている。

本計画で用いる手法は、上記の観測資料を有効に活用する方法として、ユニットハイドログラフの理論による流出解析を行うものとした。

ユニットハイドログラフは、1988年9月に発生したハリケーンによる洪水のNo. 2604における時間流量と、El CañonおよびCopey de Dotaの時間雨量から求められた流域平均降雨量を用いて数値解析により作成した。

単位時間は Fig. 6-14 に示されるように、洪水のピークが尖鋭化している事、最大流量と最大降雨の時間差が4時間程度と短い事を考慮して、2時間を採用した。また、可能な範囲で洪水のピーク流量に合致するユニットハイドログラフを抽出した。

Fig. 6-20 にNo. 2604 G. S. 地点におけるユニットハイドログラフを示す。

(3) 有効雨量

ユニットハイドログラフによる流出解析に必要な有効降雨量は全降雨量から損失雨量を差し引いた値となる。

本解析においては損失雨量を下記の手法^{*3}により算定した。

$$R < 100 \text{ mm} \quad R_L = R (1 - 3.6 \times 10^{-4} R^{1.5}) \text{ mm}$$

$$R \geq 100 \text{ mm} \quad R_L = 64 \text{ mm}$$

R : 累加雨量

R_L : 累加損失雨量

(Fig. 6-19, Table 6-11 参照)

(4) P M F (可能最大洪水量)

以上より有効降雨をユニットハイドログラフにより合成し、基底流量 $50\text{ m}^3/\text{s}$ を加算するとP M Fのハイドログラフが得られる。基底流量は、既往最大洪水が発生した1988年10月の月平均流量($Q=43.38\text{ m}^3/\text{s}$)から $50\text{ m}^3/\text{s}$ を採用した。

No.2604測水所地点でのP M Fは Fig. 6-21 に示すように $1620\text{ m}^3/\text{s}$ と算定された。

ダム地点および発電所におけるP M Fは流域面積比を乗じて算定した。

ダム地点P M F : $1670\text{ m}^3/\text{s}$

発電所地点P M F : $2270\text{ m}^3/\text{s}$

* 1 Committee on Design Flood of International Commission on Large Dams "THE DESIGN FLOOD DRAFT January 1990"

* 2 WMO No. 332 OPERATIONAL HYDROLOGY REPORT No. 1
"MANUAL FOR ESTIMATION OF PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION"

* 3 中安 米蔵 ; 第7回建設省直轄技術研究会 1953年

Table 6-6 Flood Discharge at Gauging Station

Year	Flood Discharge (m ³ /s)			
	No. 2601	No. 2602	No. 2603	No. 2604
1963	660.0			
1964	526.0			
1965	605.0			
1966	454.0			
1967	385.0			
1968	492.0			
1969	754.0			
1970	867.0			
1971	2,470.0	222.0	780.0	
1972	1,700.0	33.9	139.0	
1973	2,400.0	79.1	563.0	
1974	781.0	37.7	128.0	
1975	1,990.0	65.4		
1976	1,140.0		212.0	
1977	601.0	47.2	273.0	
1978	897.0	60.0	473.0	306.0
1979	1,680.0	57.7	541.0	225.0
1980	540.0	40.4	266.0	140.0
1981	1,700.0	65.9	409.0	260.0
1982	359.0	45.9	363.0	117.0
1983	828.0	32.6	240.0	161.0
1984	976.0	50.9	216.0	171.0
1985	1,230.0	34.3	431.0	216.0
1986	473.0	34.3	254.0	93.3
1987	246.0	50.7	214.0	144.0
1988	1,620.0	94.8	846.0	710.0
C. A (km ²)	661.4	115.0	422.2	243.8

Table 6-7 Flood Records in 1988

Period	Instantaneous Flood at No. 2604 G. S	Rainfall (mm)		
		Playon	El Cañon	Copey de Dota
12 to 13 Sep. 1988	710	240.1	178.5	160.8
21 to 22 Oct. 1988	no observation	348.7	232.4	242.5

Table 6-8 Flood Discharge at Project Sites

Year	Flood Discharge (m ³ /s)	
	Dam Site	Powerhouse Site
1978	314.9	427.2
1979	231.5	314.1
1980	144.1	195.4
1981	267.5	363.0
1982	120.4	163.3
1983	165.7	224.8
1984	176.0	238.7
1985	222.3	301.5
1986	96.0	130.2
1987	148.2	201.0
1988	730.6	991.2
C. A (km ²)	250.8	340.3

*Note

$$\bullet Q(\text{Dam}) = Q(2604) \times \frac{250.8}{243.8} *$$

$$\bullet Q(\text{P/S}) = Q(2604) \times \frac{340.3}{243.8}$$

* Catchment Area of No. 2604 G. S

Table 6-9 Probable Flood Discharge at Project Sites (Gumbel Method)

Return Period	Probable Flood Discharge (m ³ /s)	
	Dam Site	Powerhouse Site
10	560	760
20	690	940
30	770	1,040
50	860	1,170
100	990	1,340
200	1,110	1,510

Table 6-10 Process of PMP Estimation

Contents	Playon	El Cañon	Copey de Dota
① Maximum Dew Point (°C)	25.9	(16.3)*	(18.8)
② Reduction ① to 1,000 mb (°C)	26.0	26.0	26.0
③ Precipitable Water (mm)	89.5* ¹ - 5.0 * ² = 84.5	89.5 - 45.0 = 44.5	89.5 - 38.7 = 50.8
④ Representative Dew Point (°C)	22.0	(11.5)	(14.1)
⑤ Reduction ④ to 1,000 mb (°C)	22.1	22.1	22.1
⑥ Precipitable Water (mm)	63.7 - 4.0 = 59.7	63.7 - 35.0 = 28.7	63.7 - 30.5 = 33.2
⑦ Maximizing factor ③/⑥	1.415	1.551	1.530
⑧ Maximum Rainfall (mm/Day)	255.1	204.7	216.0
⑨ Maximizing ⑦×⑧	361	318	331

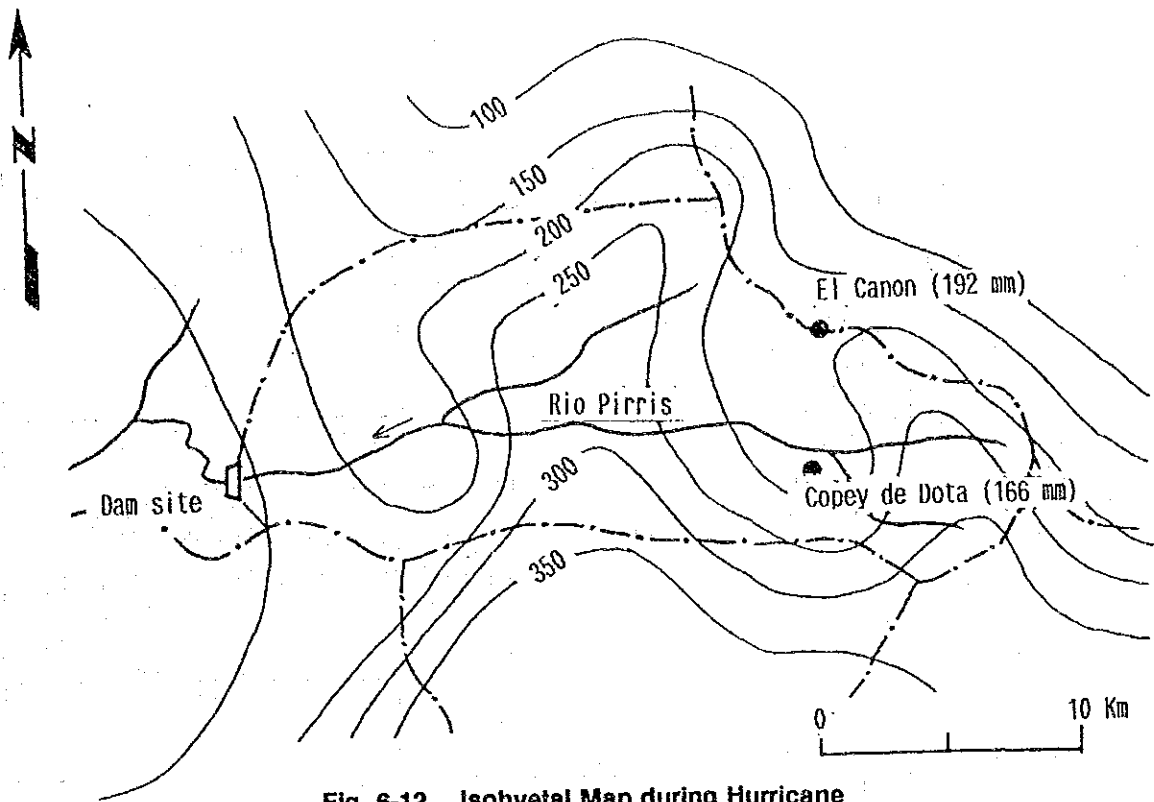
*1 Precipitable Water 1,000 mb~200 mb

*2 Precipitable Water 1,000 mb~Vapor Pressure at Altitude of Site

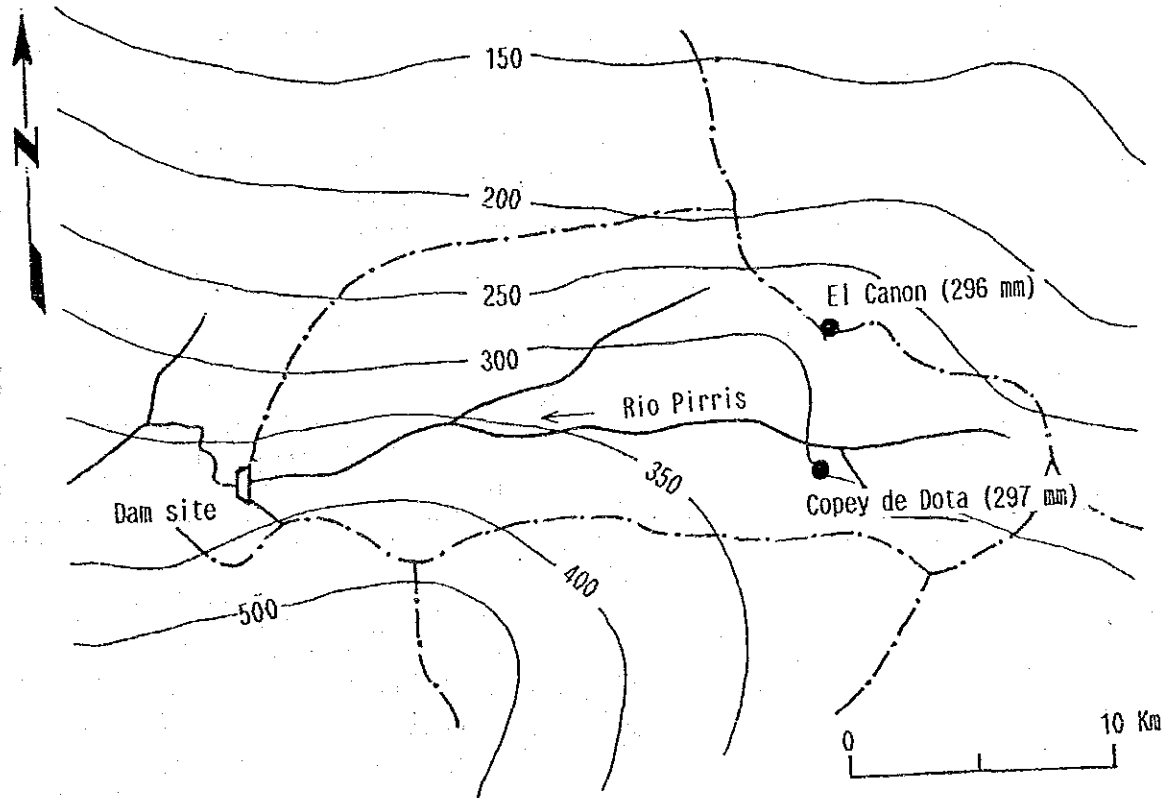
*3 Estimated Dew Point

Table 6-11 Time Distribution of PMP In No. 2604 G.S Basin

Hour	Accumulated PMP (mm)	Arranged PMP (mm)	Retention Loss (mm)	Effective Rainfall (mm)
0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	80.5	13.8	13.6	0.3
4	129.2	16.4	14.9	1.5
6	193.4	45.9	29.5	16.4
8	239.4	64.2	6.5	57.7
10	273.3	80.5	0.0	80.5
12	266.7	48.7	0.0	48.7
14	303.1	33.9	0.0	33.9
16	314.3	16.4	0.0	16.4
18	325.0	13.4	0.0	13.4
20	341.4	13.3	0.0	13.3
22	350.7	12.8	0.0	12.8
24	357.0	12.4	0.0	12.4
26	370.8	12.0	0.0	12.0
28	384.1	11.6	0.0	11.6
30	396.9	11.3	0.0	11.3
32	409.3	11.2	0.0	11.2
34	421.2	11.0	0.0	11.0
36	432.8	10.7	0.0	10.7
38	444.1	10.6	0.0	10.6
40	455.0	10.4	0.0	10.4
42	465.7	10.2	0.0	10.2
44	476.1	9.9	0.0	9.9
46	486.3	9.7	0.0	9.7
48	496.2	9.5	0.0	9.5
50	505.9	9.4	0.0	9.4
52	515.4	9.3	0.0	9.3
54	524.8	9.1	0.0	9.1
56	533.9	9.0	0.0	9.0
58	542.9	8.8	0.0	8.8
60	551.7	8.7	0.0	8.7
62	560.3	8.5	0.0	8.5
64	568.8	8.4	0.0	8.4
66	577.2	8.2	0.0	8.2
68	585.5	8.1	0.0	8.1
70	593.6	8.0	0.0	8.0
72	601.6	6.3	0.0	6.3



**Fig. 6-12 Isohyetal Map during Hurricane
(Sep. 12 ~ 14, 1988)**



**Fig. 6-13 Isohyetal Map during Hurricane
(Oct. 17 ~ 22, 1988)**

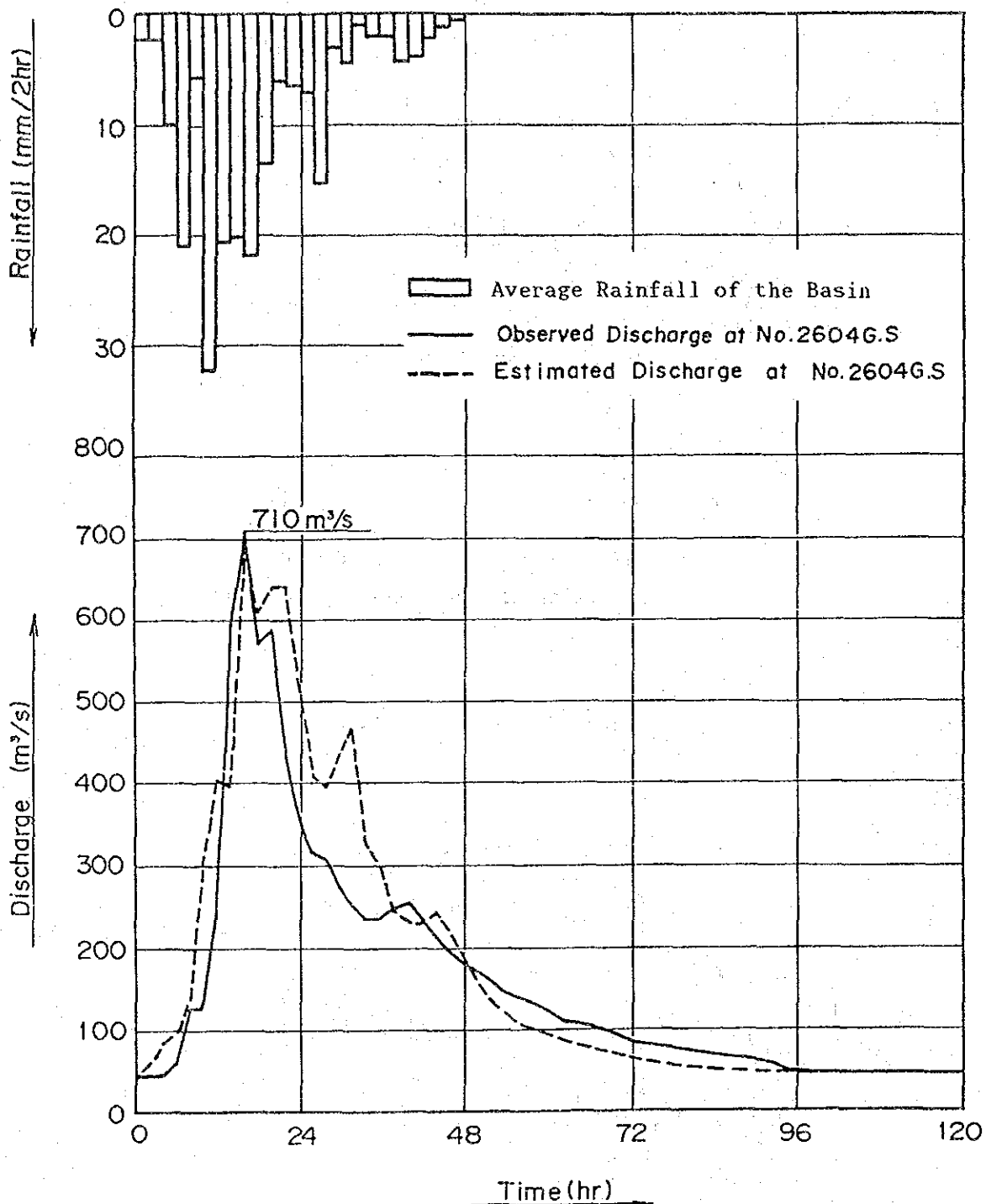


Fig. 6-14 Hydrograph at No. 2604 G.S
(Sep. 12 ~ 17, 1988)

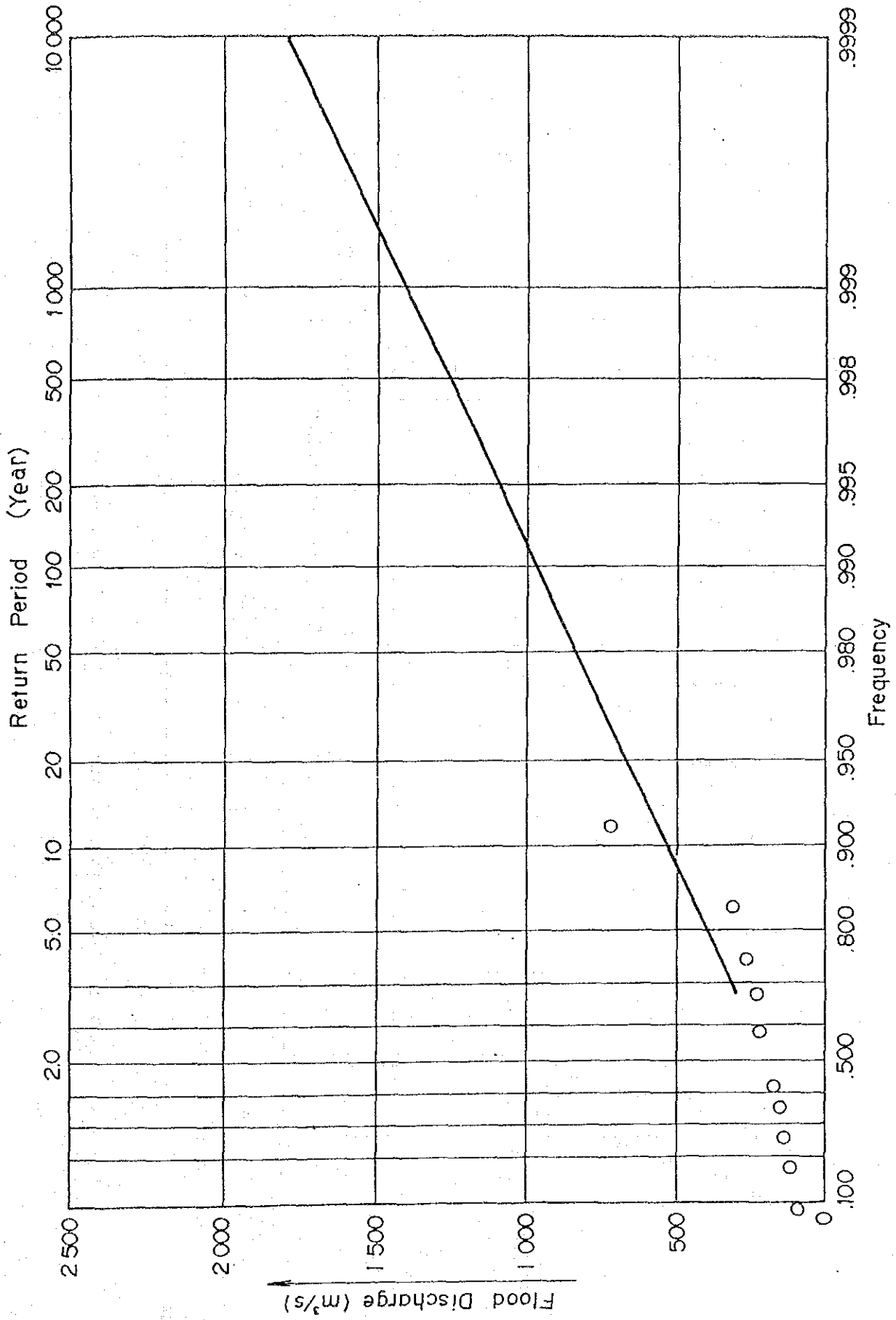


Fig. 6-15 Probable Flood Discharge at No. 2604 G.S (Gumbel Method)

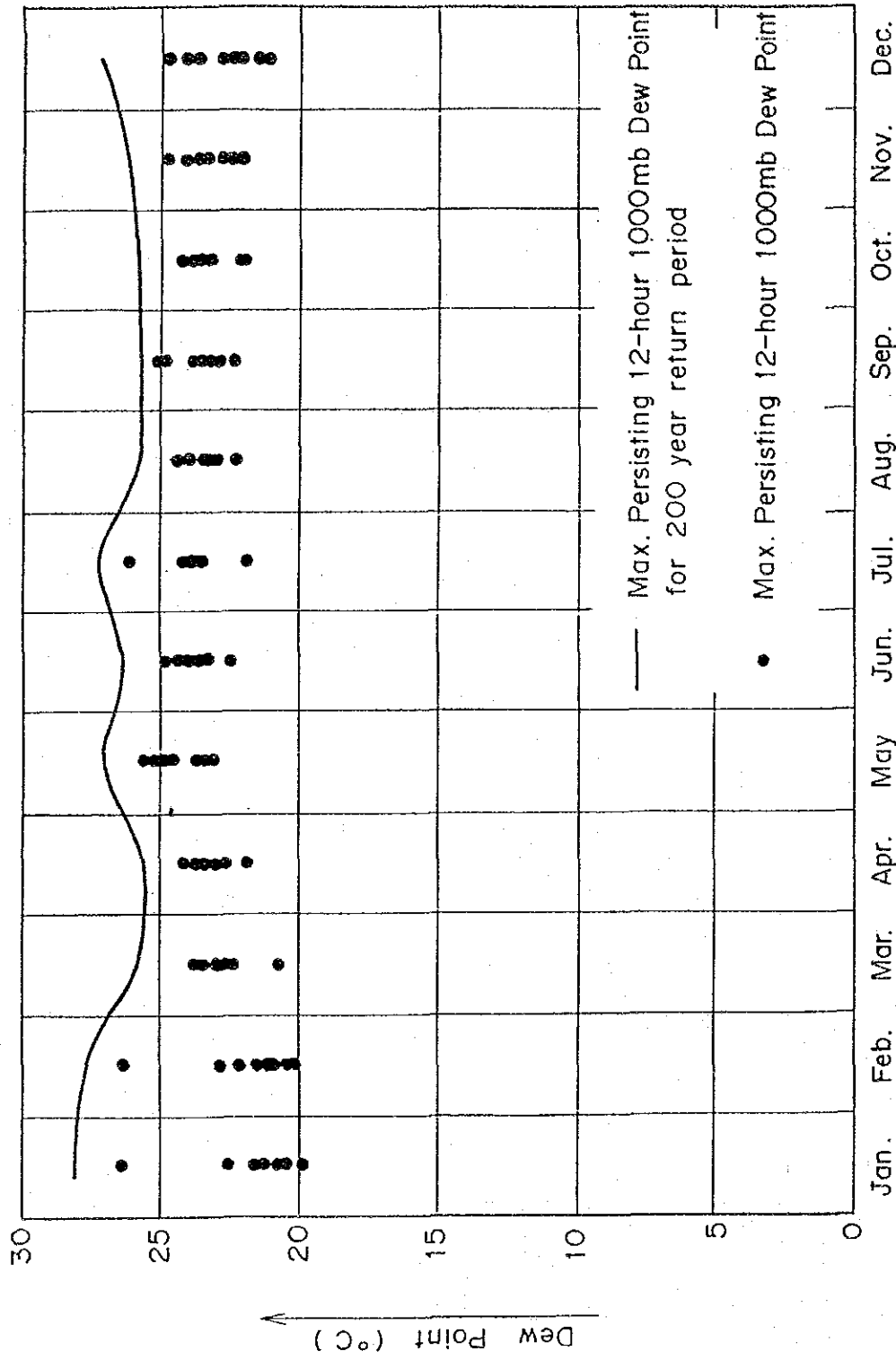


Fig. 6-16 Envelope Curve of Maximum Persisting 12-hour 1000 mb Dew Point

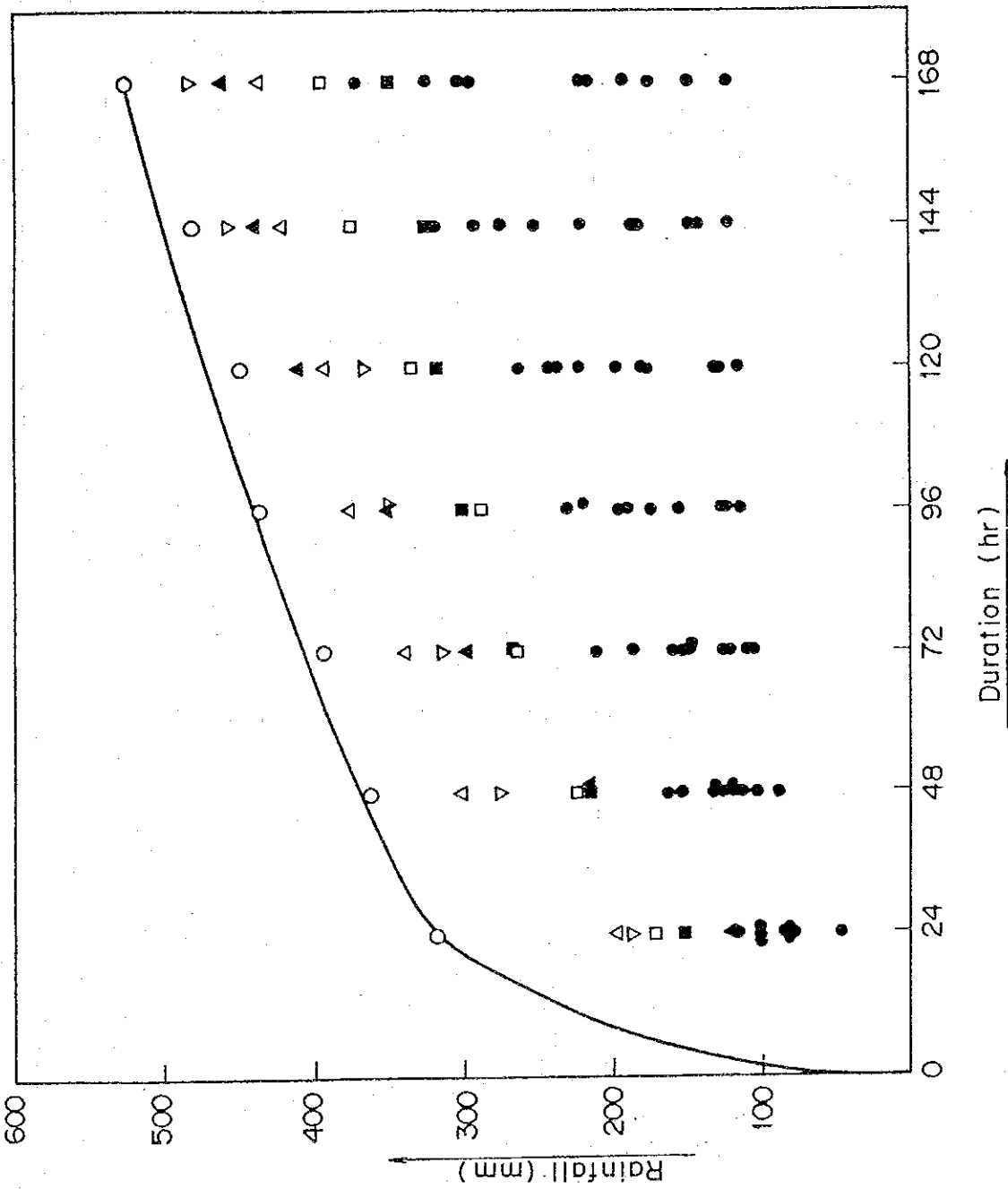


Fig. 6-17 Maximized Rainfall at EL Cañon (1979 ~ 88)

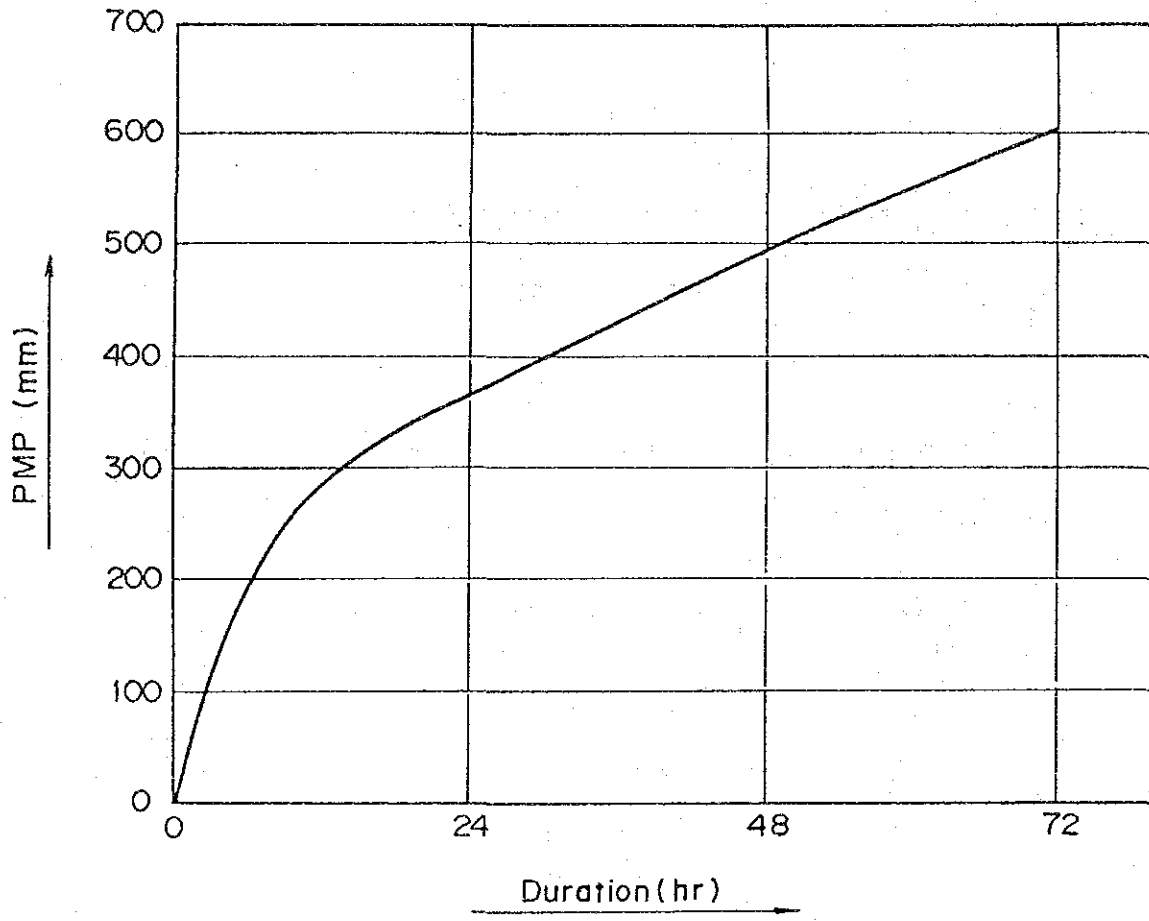


Fig. 6-18 Depth-Duration Curve of PMP at No. 2604 G.S Basin

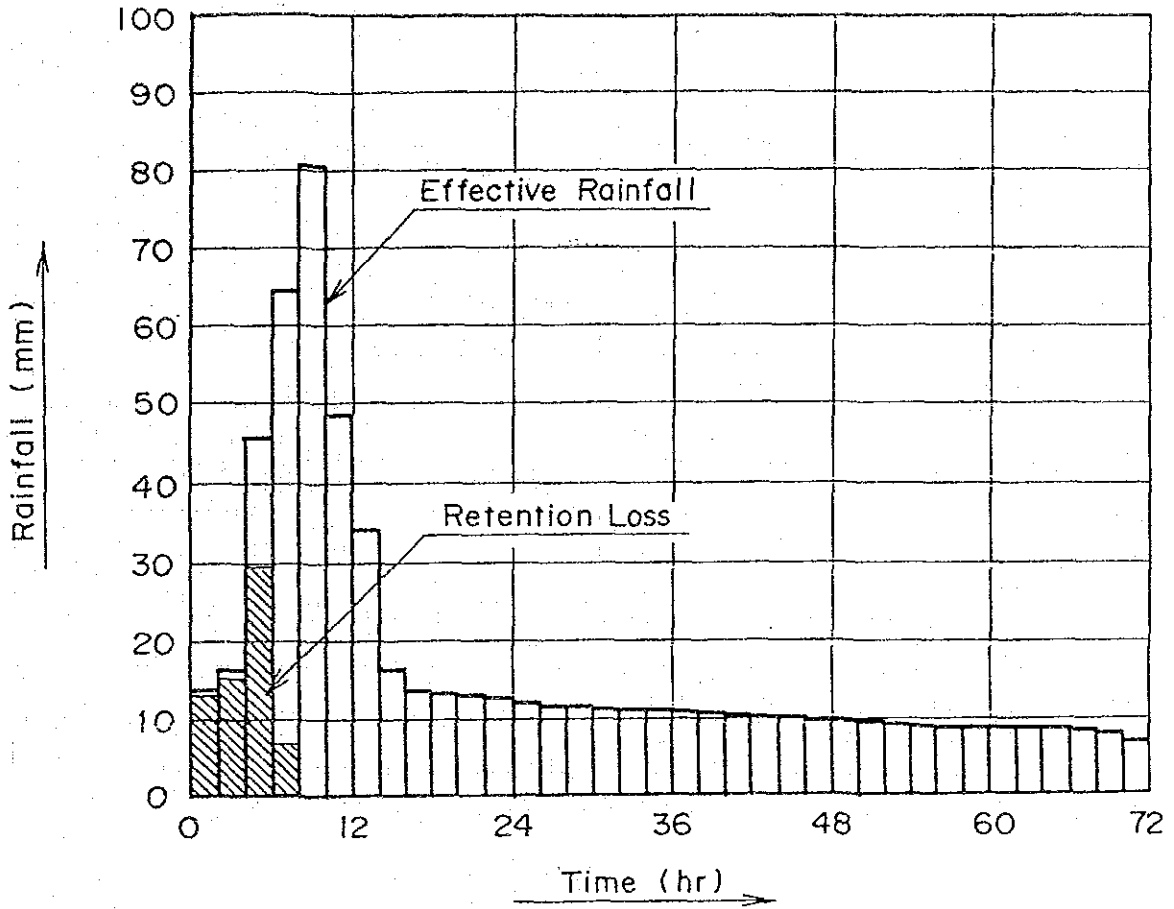


Fig. 6-19 Time Distribution of PMP at No. 2604 G.S Basin

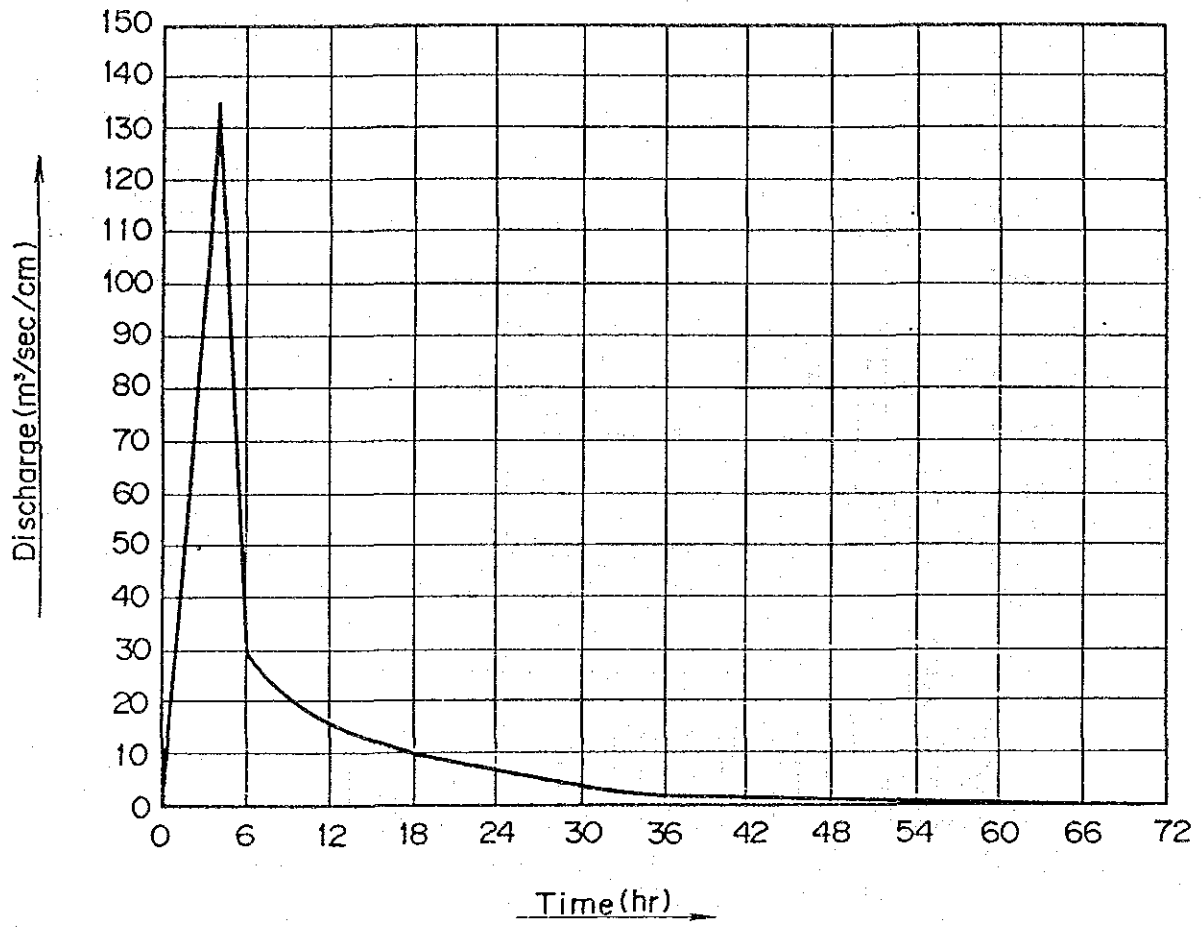


Fig. 6-20 2 Hours Unit Hydrograph at No. 2604 G.S

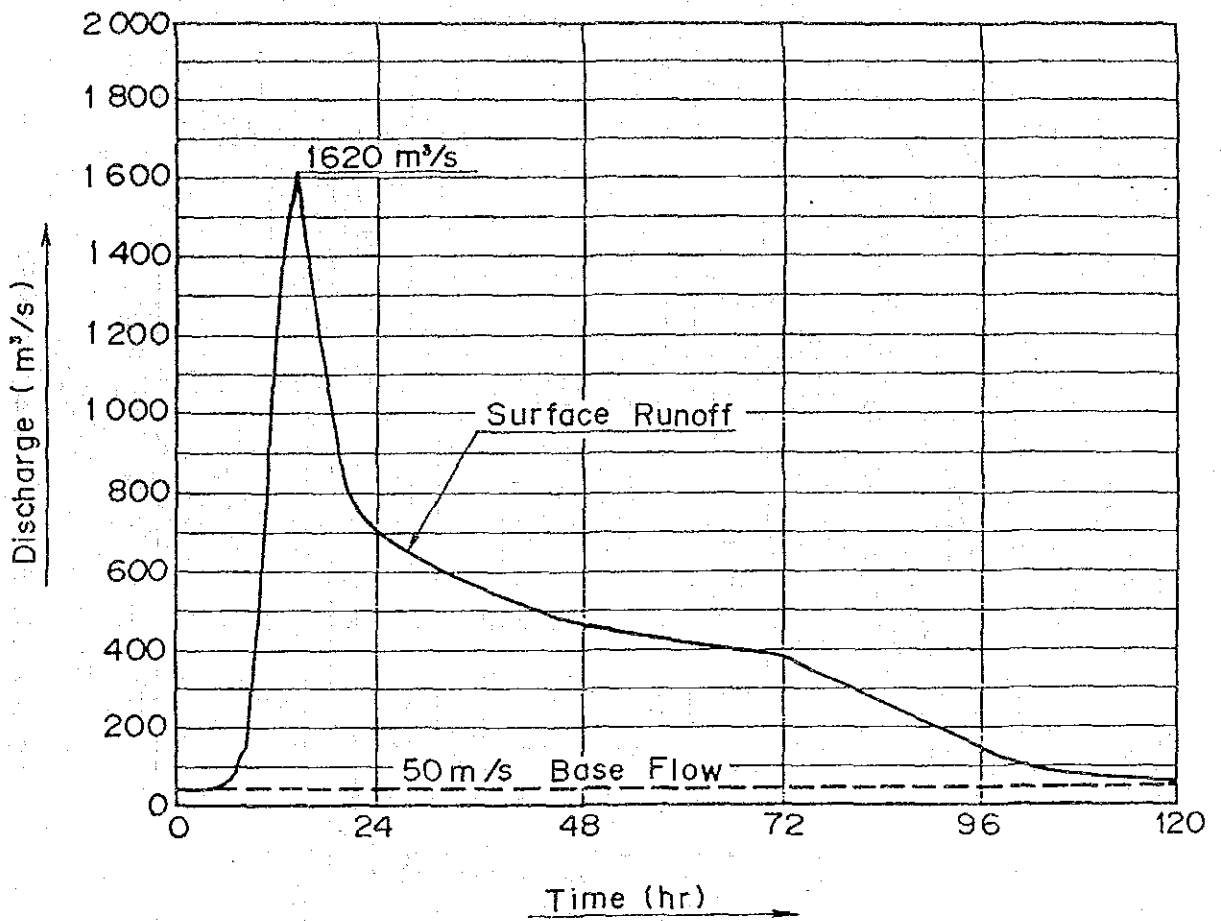


Fig. 6-21 Flood (PMF) Hydrograph at No. 2604 G.S

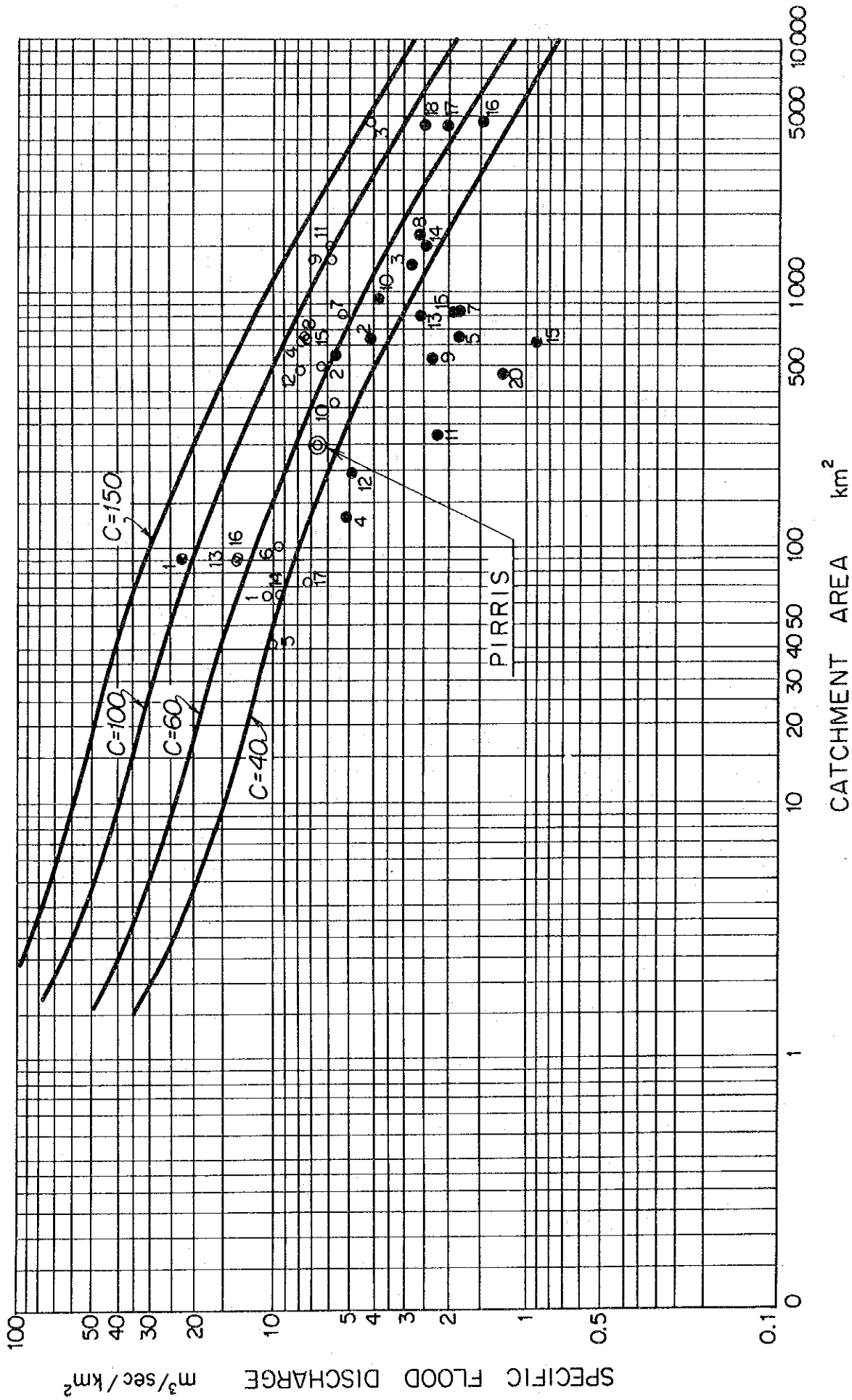


Fig. 6-22 Specific Flood Discharge for Existing and Planned Hydro Power Project

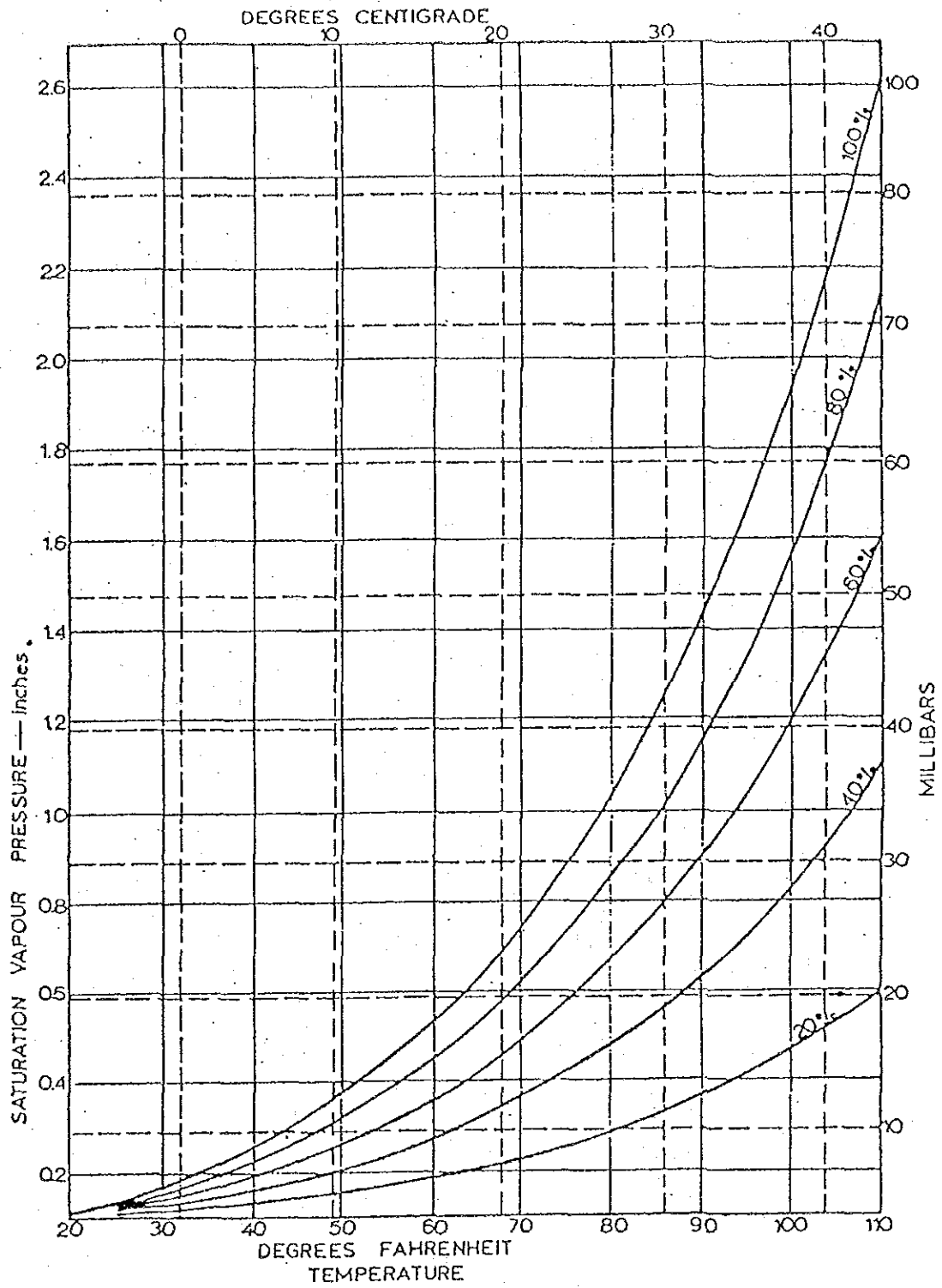
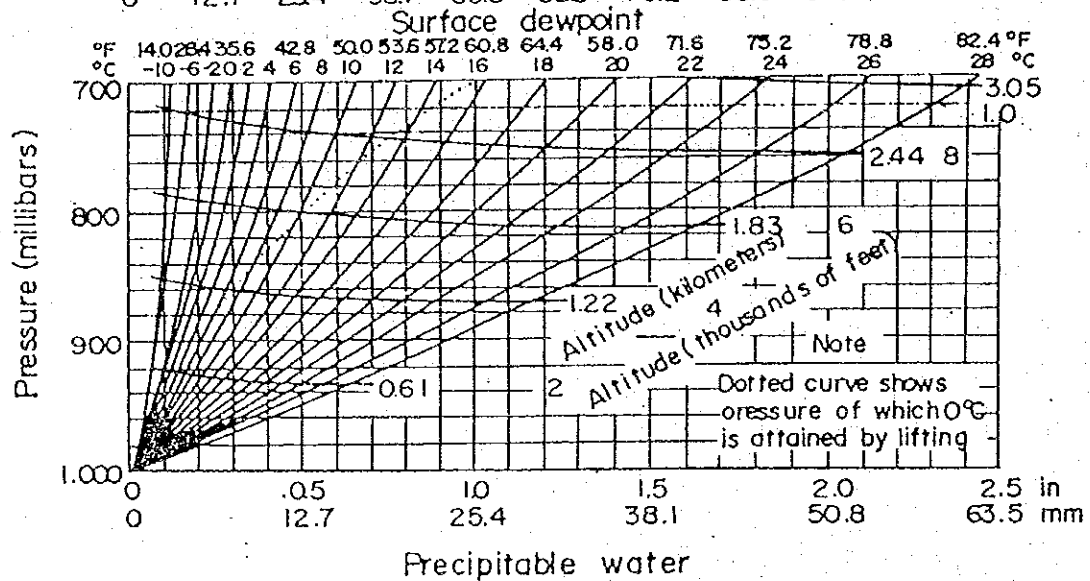
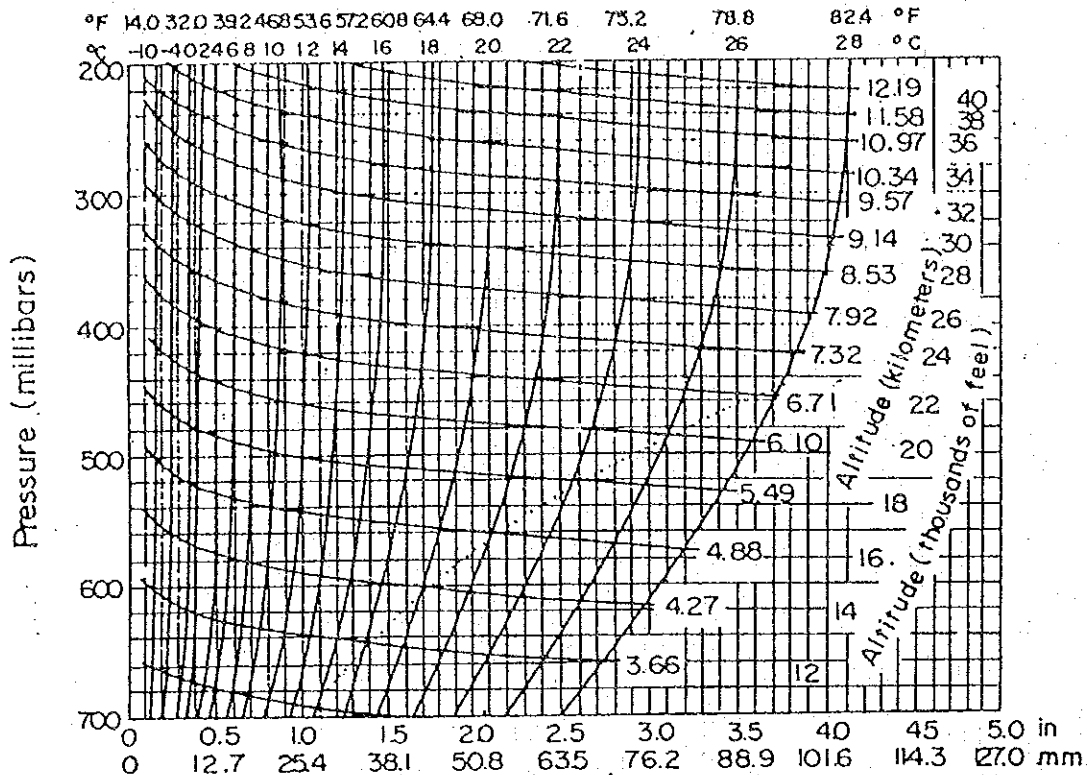


Fig. 6-23 Variation of Vapour Pressure with Temperature at Percentages of Saturation

Surface dewpoint



Depths of precipitable water in a column of air of any height above the 1000-millibar level as a function of the 1000-millibar dewpoint, assuming saturation and pseudo-adiabatic lapse rate.
(U.S. National Weather Service.)

Fig. 6-24 Depths of Precipitable Water
in a Column of Air

第 7 章 地質および材料

第7章 地質および材料

	頁
7.1 緒言	7-1
7.2 地質調査概要	7-2
7.2.1 既往資料収集	7-2
7.2.2 現地踏査	7-2
7.2.3 地質調査工事	7-3
7.3 広域地質	7-7
7.3.1 地形概要	7-7
7.3.2 地質概要	7-7
7.4 貯水池の地質	7-12
7.4.1 地形	7-12
7.4.2 地質	7-12
7.4.3 水理地質	7-14
7.4.4 土木地質的評価	7-14
7.5 ダム地点の地質	7-16
7.5.1 緒言	7-16
7.5.2 上流ダム地点	7-16
7.5.3 下流ダム地点	7-20
7.5.4 岩盤分類	7-26
7.6 水路ルートおよび発電所地点の地質	7-29
7.6.1 取水口地点	7-29
7.6.2 導水路トンネルルート	7-29
7.6.3 調圧水槽地点および水圧管路ルート	7-35
7.6.4 発電所および放水路地点	7-37
7.7 ダム地点の原位置岩盤試験	7-59
7.7.1 緒言	7-59
7.7.2 平板載荷試験	7-59
7.7.3 試験の結果と評価	7-60

7.8	ダムおよび発電所地点の物理探査	7-67
7.8.1	緒言	7-67
7.8.2	調査位置の選定	7-67
7.8.3	調査方法	7-67
7.8.4	調査の結果と評価	7-69
7.9	建設材料	7-80
7.9.1	建設材料および試験	7-80
7.9.2	コンクリート骨材	7-80
7.9.3	ロック材料	7-82
7.9.4	土質材料	7-82
7.10	ボーリング・コア試験	7-90

List of Figures

- Fig. 7-1 Geologic Map of Costa Rica
- Fig. 7-2 Geologic Plan of Reservoir Area
- Fig. 7-3 Geologic Plan of Up-Stream Damsite
- Fig. 7-4 Geologic Section of Up-Stream Damsite
- Fig. 7-5 Geologic Plan of Down-Stream Damsite
- Fig. 7-6 Geologic Sections of Down-Stream Damsite
- Fig. 7-7 Geologic Horizontal Sections of Down-Stream Damsite
- Fig. 7-8 Geologic Log of Adit (Adits UA-1, LA-1 and LA-2)
- Fig. 7-9 Geologic Plan and Profile of Waterway Alignment
- Fig. 7-10 Geologic Plan of Penstock Route and Power Station Site
- Fig. 7-11 Geologic Profiles of Penstock Route and Power Station Site
- Fig. 7-12 Loading Diagram
- Fig. 7-13 Plate Bearing Test Apparatus
- Fig. 7-14 Modulus Characteristics of Rock Foundation
- Fig. 7-15 Deformation Characteristics of Rock Foundation
- Fig. 7-16 Creep Characteristics of Rock Foundation
- Fig. 7-17 Geology of Borrow Area

List of Tables

- Table 7-1 Exploratory Adits at the Pirris Damsites
- Table 7-2 Core-drillholes in the Pirris Project Area
- Table 7-3 Surface Seismic Prospecting in the Pirris Project Area
- Table 7-4 In-adit Seismic Prospecting at the Damsites
- Table 7-5 Geological Sequence and Lithological Characters in the Pirris Project Area and its Vicinity
- Table 7-6 Distribution of Seismic Velocity Layers on the Both Banks of the Up-stream Damsite
- Table 7-7 Distribution of Seismic Velocity Layers on the Ridge of Right Bank, Down-Stream Damsite
- Table 7-8 Correlation between Seismic Velocity Layer and Geologic Conditions at the Pirris Damsites
- Table 7-9 Standard of Rock Classification for Drilling Core
- Table 7-10 Grouping of "Rock Classification for Drilling Core"
- Table 7-11 Standard of Rock Classification for Adit
- Table 7-12 Relationship between "Rock Mass Classification" and "Rock Classification for Adit"
- Table 7-13 General Figures of the Headrace Tunnel Cover in its Up-Stream Half and Down-Stream Half Sections
- Table 7-14 Locations with Thin Cover in the Up-Stream Half Section of Headrace Tunnel
- Table 7-15 Result of Plate Bearing Test
- Table 7-16 List of Seismic Prospecting Instrument
- Table 7-17 Classification of Velocity Layer
- Table 7-18 Seismic Velocity Distribution in Adits of Pirris Damsites
- Table 7-19 Quantity and Sampling Location of Laboratory Tests
- Table 7-20 Result of Concrete Aggregate and Drilling Core on Laboratory Tests
- Table 7-21 Result of Rock and Soil Materials on Laboratory Tests

第 7 章 地質および材料

7.1 緒言

本章では、Pirrisプロジェクトの地形、地質および材料に関して、JICA調査団がICEと協力して、1989年11月から1991年11月までの期間に実施した資料収集、現地踏査、地質調査工事などを通じて得たデータの整理、解析および評価した結果は7.2から7.10に記述されている。

本地点に於いてフィージビリティ・スタディの為に実施された諸調査の概要および広域地質は7.2および7.3に、貯水池地域を含め主要土木構造物地点と水路ルートの地形、地質および土木地質的評価は7.4から7.6に記述されている。更に、下流ダム地点の横坑内で実施された原位置岩盤試験と、上流および下流ダム地点、水圧管路および発電所地点で実施された弾性波探査は7.7と7.8で、また、建設材料と室内試験については7.9と7.10で夫々記述されている。

本章に関連する主要なデータは Fig. 7-1 から 7-17 として、またこれら図面類の作成に際して用いた基礎資料は、Appendix A-3 から A-6 までに夫々とりまとめられている。

7.2 地質調査概要

Pirrisプロジェクトのフィージビリティ・スタディに必要な地形、地質および材料に関する情報およびデータは、ICEの協力を得て、以下のような諸調査を通じて収集された。

7.2.1 既往資料収集

JICA調査団が行う本プロジェクトのフィージビリティ・スタディの為にICEの協力により収集された地形図および空中写真は次の通りである。

<Topographical Maps>

- Topographical Map of Costa Rica (Scale : 1/200,000)
- Topographical Map of the Pirris Project Area (Scale : 1/50,000)
- Topographical Maps of Damsite, Reservoir Area, Waterway Route and Power Station Site (Scale : 1/5,000)
- Topographical Maps of Damsite and Power Station Site (Scale : 1/2,000)

<Aero Photographs>

- Aero Photographs of the Pirris Project Area (Scale : 1/30,000)
- Aero Photographs of the Pirris Project Area (Scale : 1/25,000)

本プロジェクト地域に関する公刊地質図、地質文献類のうち、ICE側からJICA調査団に提供されたものおよびJICA調査団独自で収集したものについては、夫々、本章末に参考資料 (References) として示されている。

7.2.2 現地踏査

JICA調査団による本プロジェクト地域を対象とした現地踏査のうち、地質踏査を実施した期間は1989年11月から1991年7月までの期間内で、5回にわたり延べ約4ヵ月間である。しかし、その踏査範囲は不十分なアクセスビリティと時間的制約により、上流、下流ダム地点付近、貯水池地域の一部、導水路トンネルルートのうち、前半区間の一部、水圧管路ルートと発電所地点付近および材料地点の一部と云うように、限られたものとならざるを得なかった。

本プロジェクト地域を対象とした空中写真判読は、前述の空中写真を用いて JICA 調査団によって実施され、それらの成果は上記の地質踏査の結果と合わせて、今回作成した地質図類およびこのフィージビリティ・レポートの内容に反映されている。

7.2.3 地質調査工事

Pirrisプロジェクトのフィージビリティ・レポートのとりまとめに先立って、横坑、コアボーリング、ピット、弾性波探査などが、主要な計画構造物地点で実施された。

また、ダム地点（上流案地点と下流案地点）で削孔されたボーリング孔内では、孔内水位測定とルジオンテストが、また下流案ダム地点で掘削された横坑内では原位置岩盤試験が実施された。

弾性波探査については、ダム地点、水圧管路および発電所予定地点に於いて、屈折法による弾性波探査が、又ダム地点で掘削された全ての横坑内で弾性波速度が測定された。

これら地質調査工事数量を要約すると、Table 7-1, 7-2, 7-3 および 7-4 に示す通りである。

上述の横坑、ボーリング孔、および弾性波探査測線の正確な座標位置、数量などについては夫々 Appendix A-3-4 および A-5-3 を参照のこと。

原位置岩盤試験は、下流ダム地点の横坑 LA-1 および LA-2 内でそれぞれ3点ずつ平板載荷テストが実施された。それらの詳細は本文7.7に詳しく説明されている。

材料調査として実施されたピットに関する調査工事数量などについては、本文7.9に説明されている。

Table 7-1 Exploratory Adits at the Pirris Damsites

Adit No.	Location	Elevation (m)	Length (m)	Remarks
UA-1	Left bank, up-stream damsite	1,150.00	50.00	
LA-1	Left bank, down-stream damsite	1,148.76	50.00	Plate jack tests at TD; 20.2 m, 25.0 m and 28.5 m
LA-2	Right bank, down-stream damsite	1,160.66	50.00	Plate jack tests at TD; 30.8 m, 40.0 m and 42.0 m

(Total: 3 adits, 150.00 m)

Table 7-2 Core-drillholes in the Pirris Project Area

Hole No.	Location	Elevation (m)	Length (m)	Direction	Remarks
UB-1	Left bank, up-stream damsite	1,150.00	50.00	Vertical	Lugeon tests: 6 sections
UB-2	River bed, right bank, up-stream damsite	1,103.00	50.00	N-S, 60S	Lugeon tests: 10 sections
UB-3	Right bank, up-stream damsite	1,224.75	50.00	Vertical	Lugeon tests: 3 sections
LB-1	Left bank, down-stream damsite	1,148.73	70.00	Ditto	Lugeon tests: 13 sections
LB-2	Right bank, down-stream damsite	1,150.00	100.00	Ditto	Lugeon tests: 12 sections
LB-3	Ditto	1,239.25	100.00	Ditto	Lugeon tests: 10 sections
LB-4	Ditto	1,201.32	50.00	S14°43'E 60°SE	Lugeon tests: 4 sections
PB-1	Powerstation site	327.93	35.00	Vertical	
PB-2	Penstock route	547.29	20.00	Ditto	

(Total: 9 holes, 495 m)

Table 7-3 Surface Seismic Prospecting in the Pirris Project Area

Traverse No.	Location	Length (m)	Remarks
PU-1	Left bank, up-stream damsite	226.3	Crossing with PU-6
PU-2	Ditto	219.3	Crossing with PU-6 and Drillhole UB-1, along with Adit UA-1
PU-3	Ditto	220.3	Crossing with PU-6
PU-4	Right bank, down-stream damsite	339.7	Crossing with PU-5 and Drillhole UB-3
PU-5	Ditto	424.5	Crossing with PU-4 and Drillhole UB-3
PU-6	Left bank, up-stream damsite	217.9	Crossing with PU-1, PU-2 and PU-3
PL-1	Right bank, down-stream damsite	321.2	Crossing with PL-4 and PL-5
PL-2	Ditto	327.6	Ditto
PL-3	Ditto	237.7	Crossing with PL-5
PL-4	Ditto	330.0	Crossing with PL-1, PL-2 and Drillhole LB-3
PL-5	Ditto	330.8	Crossing with PL-1, PL-2 and PL-3
PL-6	Right bank, down-stream damsite	47.3	In the vicinity of Adit LA-1
PP-1	Penstock route	1,327.0	Crossing with PP-2
PP-2	Penstock route and power station site	1,740.2	Crossing with PP-1, PP-3, PP-4 and Drillholes PB-1 and PB-2
PP-3	Power station site	542.4	Crossing with PP-2, PP-5, PP-6 and Drillhole PB-1
PP-4	Ditto	517.9	Crossing with PP-2, PP-5 and PP-6
PP-5	Ditto	347.9	Crossing with PP-3 and PP-4
PP-6	Ditto	349.2	Ditto

(Total: 18 traverses, 7,995.6 m)

Table 7-4 In-adit Seismic Prospecting at the Damsites

Traverse No.	Location	Length (m)	Remarks
PUA-1	Adit UA-1	50.0	Adit located on the left bank of up-stream damsite
PUA-1	Adit LA-1	50.0	Adit located on the left bank of down-stream damsite
PLB-2	Adit LA-2	50.0	Adit located on the right bank of down-stream damsite

(Total: 3 traverses, 150.0 m)

7.3 広域地質 (Fig. 7-1 参照)

7.3.1 地形概要

Costa Rica共和国は東側はカリブ海に、西側は太平洋に面して、その間の幅は120 kmから230kmである。その中央部は最高峰のChirripo (EL. 3,819m) を含め、標高3,000m級の山岳地帯とそれに付随して形成された高原地帯からなる。一般にカリブ海側の地形はゆるやかな山地と海岸平野からなるが、一方、太平洋側の地形は急峻な山地が多い。首都San Jose市は、中央部のやや太平洋寄りの標高1,100m付近の高原地帯に位置する。

Pirrisプロジェクト地域は、San Joseの南方、30km~40kmの範囲内にあり、太平洋に注ぐParrita川の支流Pirris川の流域に位置する。Pirris川はSan Jose ProvinceとCartago Provinceの境界に位置するVueltas山 (EL. 3,156m) を源とし、曲流を繰返しつつ全体として約55km西流したのち、Grande de Candelaria川と合流し、Parrita川と名前をかえて約20km弱南流して太平洋沿岸の町Parrita付近で海に流れこむ。

本プロジェクトのダム地点はGrande de Candelaria川との合流点から約30km上流のPirris川の中流域に、発電所地点は同じく合流点から約15km上流地点に、また、水路ルートはPirris川の左岸側(全水路長約11.4km)に計画されている。このPirrisプロジェクト地域は、標高1,500mから2,000m以上の山頂をもつ山岳地帯にあり、地形的には一般に川幅は狭く、ところどころでV字谷を形成し、ダム地点から発電所地点までの間はかなり急流(平均河川勾配 4.5/100~5/100)である。

地回り地形に関しては、本計画地域にも数カ所分布している。それらのうち発電所地点近傍の地回りは後述するように、発電所地点の位置選定に影響を与えた。

7.3.2 地質概要

Pirrisプロジェクトが位置するPirris川の中流域の地質は中生代ジュラ紀から第四紀更新世にかけての火成岩類と堆積岩からなる基盤岩類とそれらを部分的に覆う第四紀の未固結堆積物に大別される。

これら基盤岩類は、ジュラ紀から始新世にかけての、部分的に堆積岩類を挟在する塩基性火成岩類からなるグループと、それらを不整合に覆うが、ところによっては断層でそれと接する漸新世から更新世にかけての堆積岩類のグループと、これら2つの

グループの基盤岩類を貫く貫入岩類に区分される。

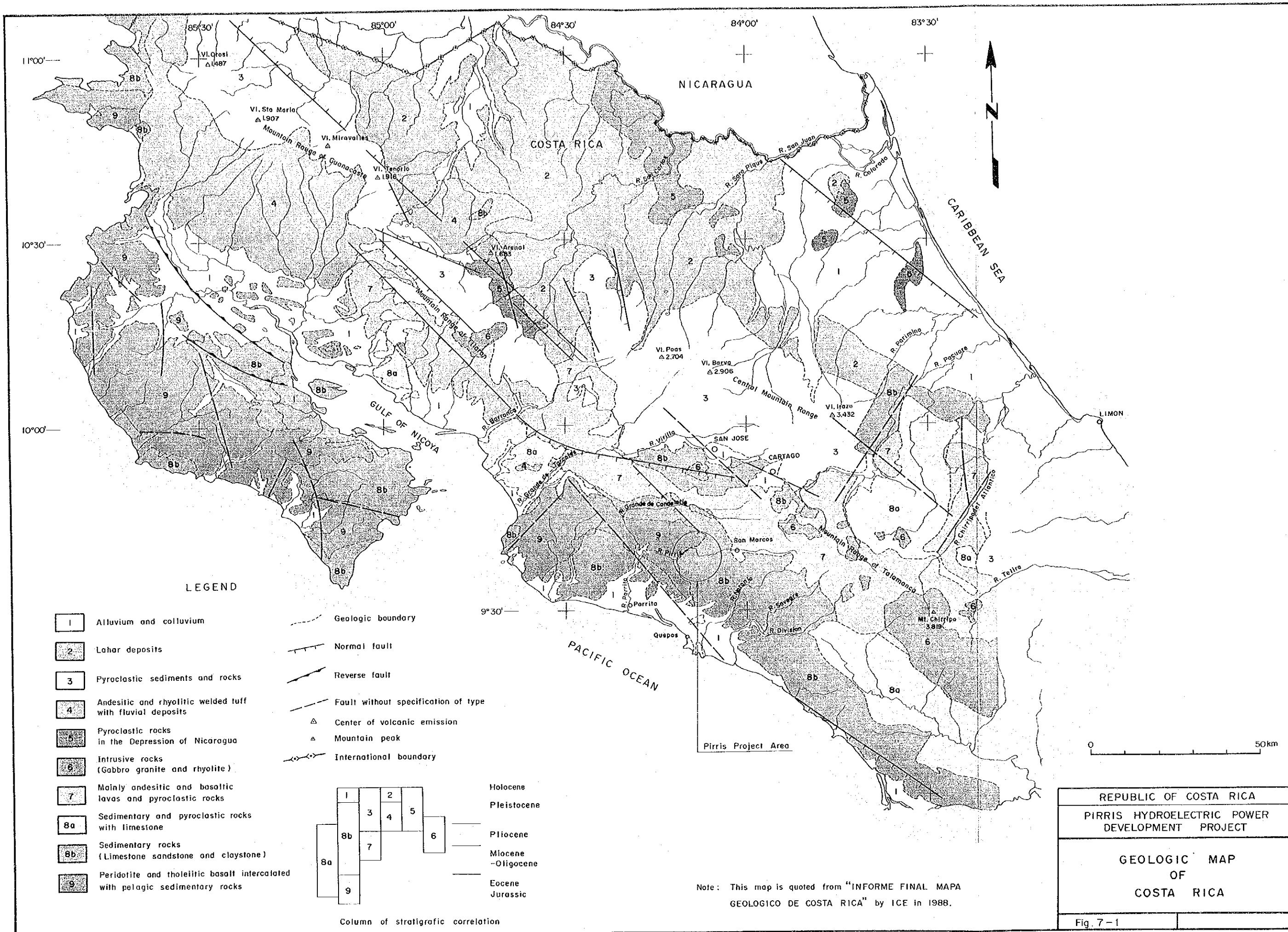
本プロジェクト地域内では、上記の最初のグループ（一部の既往資料でNicoya Complexと呼ばれている）はダム地点付近から発電所地点までの間では、局部的にPirris川の左岸側にも分布するが主として右岸側に分布している。次のグループ（既往資料でTerraba Formationと呼ばれている）は、ダム地点付近より上流側では、Pirris川の両岸部に、ダム地点付近から発電所地点までの間は主としてPirris川の左岸側に分布している。貫入岩類は、第一と第二のグループの分布地域内で局部的な貫入岩体として分布している。

第四紀の未固結な堆積物としては、風化残留土、崩積土、崖錐、河床砂礫および段丘堆積物などからなる。それらのうち、風化残留土と崩積土はところによっては緩斜面上にややまとまって分布しているが、それら以外の堆積物は局部的な分布に限られている。

Table 7-5 に、本計画地域の地質層序と岩質を示す。

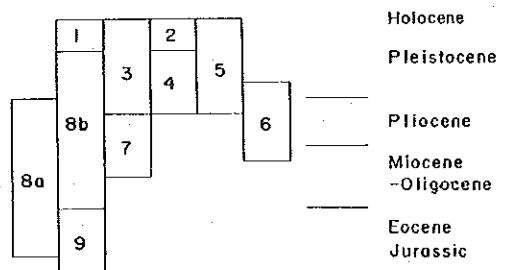
地質構造的観点から本計画地域をみると、その地質構造は、NW-SE のトレンドに支配されている。このトレンドはCosta Rica全土のそれと調和的である。

計画地域内に分布する上記の堆積岩類の層理面は、NW-SE 性の褶曲構造を示している。また、断層についても既往の資料は、その方向性は NW-SEが卓越し、副次的なものとして NE-SW であることを示している。これら褶曲軸および断層の方向性は、後述するように、本プロジェクトの水路ルートの方角といずれも斜交することを示している。

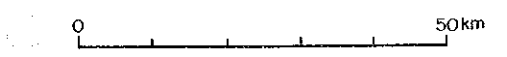


LEGEND

- | | | | |
|----|--|-------------------|-------------------------------------|
| 1 | Alluvium and colluvium | - - - - - | Geologic boundary |
| 2 | Lahar deposits | - / - / - / - / - | Normal fault |
| 3 | Pyroclastic sediments and rocks | - \ - \ - \ - \ - | Reverse fault |
| 4 | Andesitic and rhyolitic welded tuff with fluvial deposits | - - - - - | Fault without specification of type |
| 5 | Pyroclastic rocks in the Depression of Nicaragua | △ | Center of volcanic emission |
| 6 | Intrusive rocks (Gabbro granite and rhyolite) | ▲ | Mountain peak |
| 7 | Mainly andesitic and basaltic lavas and pyroclastic rocks | - - - - - | International boundary |
| 8a | Sedimentary and pyroclastic rocks with limestone | | |
| 8b | Sedimentary rocks (Limestone sandstone and claystone) | | |
| 9 | Peridotite and tholeiitic basalt intercalated with pelagic sedimentary rocks | | |



Column of stratigraphic correlation



REPUBLIC OF COSTA RICA	
PIRRIS HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT	
GEOLOGIC MAP OF COSTA RICA	
Fig. 7-1	

Note: This map is quoted from "INFORME FINAL MAPA GEOLOGICO DE COSTA RICA" by ICE in 1988.

**Table 7-5 Geological Sequence and Lithological Characters
in the Pirris Project Area and its Vicinity**

Geologic Age		Symbol Mark			Kind of Unconsolidated Deposits and/or Rocks	Remarks
		DW1	DW2	DW3		
Cenozoic Era	Quaternary Period	Holocene	1		Alluvium and colluvium	
			G1	G1	Riverbed deposits	
			Co		Colluvial deposits (Includes residual soil)	
				Ta	Talus deposits	
			Te	Te	Terrace deposits	
	Tertiary Period	Oligocene - Pleistocene	6		Intrusive rocks (Gabbro, granite, rhyolite)	
			Ir		Intrusive rocks (Monzodiorites, monzonites)	
		Oligocene - Pleistocene	8b		Sedimentary rocks (Limestone, sandstone, claystone)	
			T _I		Siltstone, claystone	
			T _{II}		Sandstone with shale and conglomerate	
Jurassic - Eocene	Oligocene - Pleistocene		S _i	Siltstone (Siliceous)		
			S _s	Sandstone with siltstone and shale		
Mesozoic Era	Jurassic - Eocene	Oligocene - Pleistocene	T _{III}		Sandstone, volcanic sandstone, tuff	
			9		Peridotite, tholeiite basalt with pelagic sedimentary rocks	
			D _o /B _a	D _o - B _a	Dolerite - basalt	So-called "Nicoya Complex", according to Reference No. (4).

- Notes: 1. "Symbol mark" in the above table refers to geological abbreviations in Figures attached to this report.
2. "DW1", "DW2", and "DW3" correspond to "Fig. 7-1", "Fig. 7-2 and Fig. 7-9", and "Fig. 7-3 and Fig. 7-5", respectively.

7.4 貯水池の地質 (Fig. 7-2 参照)

本プロジェクトのフィージビリティ・スタディでは、ダム地点として上流地点と下流地点の2地点が比較検討されているが、これまでの総合的な検討結果では下流地点の方が有利とされている。従って、本節の記述は下流ダム地点が選定されることを前提としている。

7.4.1 地形

下流ダム地点では、満水位標高は1,195mで計画されているが、この場合、貯水池の末端はPirris川沿いに約4.5km上流にまで達する。貯水池の形状は途中屈曲しつつも、全体としてはほぼE-W方向に細長く延び、ダム地点の直上流側では両岸側から沢が合流する為、貯水池の幅も約900mと最も広くなる。

貯水池地域は標高1,500mから2,000mの山頂をもつ山体にとり囲まれており、貯水池ダムはほぼ全域にわたって急斜面に接する部分が多い。

貯水池周辺斜面のうち、中腹以高には各所にやや緩い斜面が形成されているが、そのような場所はほとんどが主にコーヒープランテーションとして利用されている。

貯水池内およびその近傍の地回りおよび崩壊地形については、Fig. 7-2 に示す通り、これまでの諸調査で判明したものはいずれも小規模のものばかりで、右岸側に2ヵ所、左岸側に5ヵ所ある。このうち右岸側のものはいずれも満水位面以下にある。左岸側の地回り、崩壊のうち現在でも崩壊活動が進行しているのは貯水池のほぼ中流部の2ヵ所であるが、これらは現在のところ崩壊ヵ所の下端は満水位面にまでは達していない。

7.4.2 地質

貯水池地域の地質は基礎岩盤とそれを覆う未固結堆積物に大別される。

貯水池の基盤岩類は主として漸新世 (Oligocene) ~更新世 (Pleistocene) のいわゆる "Terraba Formation" に属する頁岩、礫岩などを挟在する細粒~中粒の砂岩が卓越する堆積岩類、他にダム地点の極く近傍のジュラ紀 (Jurassic) ~始新世 (Eocene) のいわゆる "Nicoya Complex" に相当するDolerite~Basalt, および上流のTerraba Formationに局部的に貫入している岩脈などからなる。これら基盤岩類を構成する岩石は、岩質的にはいずれも堅硬、緻密であり、新鮮部では非常に健全な岩盤

となっている。

貯水池地域内の上記の堆積岩類は、全般に層理面が認められ、その走向傾斜は後述するように、ダム地点近傍のDolerite~Basalt岩体に接近すると乱れているが、それ以外では一般にN10°~50° E、5度~45° NWを示す。

断層に関しては、Fig. 7-2 に示すとおり、比較的連続性のあるもので、貯水池を横断するものが2条、右岸側からのものと左岸側からのものが夫々1条ある、いずれもNW-SE性のものである。これらは全て既往資料に示され、かつ空中写真判読でも抽出されたもので、今のところ地表で確認されていない、いわゆる推定断層である。

これら推定断層のうち、ダム地点の直上流側で貯水池を横断しているものは、堆積岩類(Terraba Formation)とDolerite~Basalt(Nicoya Complex)の境界をなしているが、それについては今回JICA調査団とICEとの共同地質踏査でも直接確認することはできなかった。しかし上記両岩体の境界付近に於ける、兩岸にわたってほぼ直線的に発達した谷の存在、その谷を境にした両岩体の直線的な分布、および堆積岩類の層理面の走向傾斜がその谷に接近する程、部分的に乱れることなどの理由から本文でも両岩体は断層で接している可能性が強いと云う立場を支持している。

空中写真判読では、上記の推定断層以外にいくつかのNE-SW性のLineament Patternsを抽出しているが、それらが連続性に乏しい断層かまたはJoint Patternsに關係したものは目下不明である。

なお、貯水池地域内およびその近傍の基盤岩類の地質構造の概要については、これまでの調査で把握できたと思われるが、その細部についてはまだ不明な点がある。

貯水池地域内の未固結な堆積物としては、Fig. 7-2 に示されるように河床堆積物、崩積性堆積物(風化残留土を含む)および段丘堆積物があり、それには崩積性堆積物に崖錐およびスロープウォッシュなども含めて示されている。

河床堆積物は主として砂礫から構成されているが、本貯水池の地域内では大礫、中礫などを含め礫分が全体にやや多い傾向を示す。段丘堆積物は一般に砂、礫およびシルト、粘土より構成されるが、本貯水池地域内では段丘堆積物が直接観察できる露頭は少ない。崩積性堆積物は粘土、シルト、砂、などの細粒物が主体で、部分的に角礫、亜角礫を混入している。

河床堆積物および段丘堆積物は、貯水池地域内では中流部から上流部にかけて分布しているが、それらのほとんどは満水位面以下となる。

崩積性堆積物は主として貯水池周縁斜面の中腹以高の比較的緩い斜面上ないしは幅広い沢底部のうち緩傾斜部に分布している。その分布地域は外観上はプランテーション部分にはほぼ一致している。貯水池地域周辺の道路切取面では、この崩積性堆積物を直接観察することができるが、それによるとこの堆積物の下位はかなり強く風化した岩盤となっていることが多い。7.4.1で述べた本地域での地這り、崩壊はほとんどがこの崩積性堆積物内で発生しているように観察される。

7.4.3 水理地質

本貯水池地域内のPirris川をはじめ、ダム直上流側の両岸にわたって直線的に延びる沢、それ以外の主要な沢には、年間を通じて表流水の存在がこれまでの調査で確かめられている。

このフィージビリティ・スタディの為に上流ダム地点および下流ダム地点で実施されたボーリング調査では、後述するように、各ボーリング孔内の地下水位は予想されたよりも低いものであったが、両地点とも両岸斜面の地下水位はPirris川から山側に向かうにつれ、明らかに上昇している。堆積岩類でもDolerite～Basaltでも、基盤岩体の深部では透水性は非常に小さいこと、即ち、保水性が高いことを示している。

更に、本貯水池地域には、通常水理地質条件に大きな影響を与えるカルスト性の炭酸塩岩類もしくは多孔質、低固結の新しい火山岩類は分布していない。

7.4.4 土木地質的評価

本貯水池地域の地形、および地質については、主としてICEから提供された資料からの情報およびJICA調査団とICEとの協力により実施した諸調査の結果から、7.4.1から7.4.2で述べた通り、それらのアウトラインを把握することができた。これまでに判明した地形的、地質的条件に基づく本貯水池地域の土木地質的評価は次の通りである。

(1) 貯水池の保水性

Pirris貯水池地域は、これまでの資料検討結果および踏査結果からみても、計画貯水池地域の周縁山体は地形的に十分な厚みを有していること、ダム地点近傍では両岸山体の地下水位は山側程上昇する傾向を示していること、また、地質的にもそ

れら山体に大量漏水の原因となるような石灰質岩とか、末固結もしくは透水性の高い新しい火山岩類の分布も認められないことから、その保水性は問題がないと判断される。

(2) 貯水池の周縁斜面の安定性

JICA調査団による貯水池地域の空中写真判読結果によると、局部的な小さな崩壊はところどころ認められるが、地沁りもしくは大規模な崩壊の存在は発見されていない。また、ダム地点付近および貯水池右岸山体高所からの遠望でも、大規模な不安定斜面は見当たらない。

従って、これまで貯水池周縁斜面の安定性に関して調査した限りでは、将来、貯水池の機能を急激に低下させるとか、ダムの安定性を保証しないような不安定斜面の存在を示唆するような徴候はなさそうである。

(3) 貯水池の堆砂

本貯水池地域には、上述の通り、地沁り、大規模な崩壊地もなく、また、特別に大量の土砂を供給する可能性があるような地形、地質条件は、これまでの調査では認められない。

7.5 ダム地点の地質

7.5.1 緒言

Pirrisプロジェクトのフィージビリティ・スタディでは、ダム地点として上流地点と下流地点の2案が比較検討されている。両ダム地点では、7.2でも述べた通り、各種の地質調査、即ち、空中写真判読、地質踏査（縮尺 1/2,000地形図使用）、コアボーリング調査（ルジオンテストを含む）、横坑調査（原位置岩盤試験を含む）、弾性波探査（横坑内を含む）など、が重点的に実施された。本節では、これら諸調査により判明した上流ダム地点および下流ダム地点の地質状態、地質工学的特性、および土木地質的評価が夫々7.5.2と7.5.3で述べられている。

更に、上記両ダム地点に於けるボーリングコアと横坑壁面の岩盤を地質工学的に評価する為に採用した“Rock Classification for Drilling Core”と“Standard of Rock Classification for Adit”が、更に総合的な岩盤評価の為に導入した“Rock Mass Classification”が7.5.4で述べられている。

7.5.2 上流ダム地点 (Fig.7-3 および 7-4 参照)

(1) 地形

上流ダム地点はPirris川の、Grande de Candelaria川との合流点から約30.5km上流に位置する。Pirris川はこのダム地点付近ではほぼEからW方向に流れるが、その上流側ではNからS方向に、また、その下流側ではSからN方向への曲流を示し、その平均河川勾配は約2.5/100である。このダム地点での谷の形状は非対象でその左岸斜面ではほぼ40°の一定の傾斜を成すのに対して、右岸側は河床部から高さ約60mまでは約70°、それより高方は約45°～50°と全体に急斜しており、河床部（標高約1,100m）の幅は約40m、標高1,200mでの幅は約220mである。

以上のような地形特性から、上流ダム地点はコンクリートタイプよりむしろフィルタイプのダムを選ぶべき地形的条件にあると云うことが出来よう。

(2) 地質

本ダム地点の基盤岩は主に砂岩と、部分的にそれに挟在される頁岩、シルト岩、および礫岩などからなり、これらは前述した貯水池地域に広く分布するTerraba Formationの一部を構成している。

これら堆積岩のうち、砂岩は中粒、部分的には細粒で灰色を呈し、非常に堅硬、緻密な岩質を有しており、その層厚は場所により変化するがダム地点付近では10cmから50cm程度のものが卓越している。

頁岩およびシルト岩は灰色から灰白色呈し、岩質的には緻密であるが、硬さの点では上記の砂岩より劣る。これらの層厚は一般に10cm以下である。

礫岩は、ダム地点付近では直径1～2cm以下の礫をわずかに含み、そのマトリックスはやや粗粒で、砂岩中に極わずかに挟在されているにすぎない。礫岩の部分は砂岩と同様灰色を呈し、岩質的にも非常に堅硬、緻密である。

これら堆積岩類は明瞭な層理面を有しており、その走向傾斜はN10°～30°E、10°～25°NWを示す。即ち、これら地層はダム地点の左岸上流側から右岸下流側に向かって緩く傾斜している。

このダム地点には、未固結の表層堆積物として、河床堆積物、段丘堆積物および崖錐が存在している。

河床堆積物は現在の流路沿いに、段丘堆積物は本ダム地点下流側の斜面裾部に、また崖錐は左岸斜面裾部と両岸斜面中腹以高で部分的に夫々分布している。

これら、基盤岩を覆う表層堆積物の厚さはいずれも最大厚さで2m程度と推定される。

(3) 水理地質

本ダム地点ではボーリング調査が左岸斜面上で1孔(UB-1)、右岸河床部で1孔(UB-2)、および右岸斜面上で1孔(UB-3)の3ヵ所で行われた。これらボーリング孔内では岩盤部分を対象にその透水性を把握する為にルジオンテストが実施された。

これらルジオンテストの結果は Fig. 7-4 に示されているが、それを要約すると次の通りである。

- 左岸斜面上のボーリング孔UB-1では、岩盤表面(深さ2.9m)から深さ21.8mまではルジオンテストが行われていない。その理由は、その区間の透水性が大き過ぎる為である。本孔の深さ21.8mから深さ50m(孔底)までの間でルジオンテスト(6区間)が行われたが、深さ30m以深ではかなり透水性は低い($3.3 > Lu > 0.15$)。

— 右岸河床部のボーリング孔UB-2では、岩盤表面（深さ1.5m）から孔底（深さ50m）までの間でルジオンテスト（10区間）が行われたが、深さ20m以深ではかなり透水性は低い（ $2.2 > Lu > 0.2$ ）。

— 右岸斜面上のボーリング孔UB-3では、岩盤表面（深さ0m）から深さ40.5mまではルジオンテストが行われていない。その理由は、UB-1孔の場合と同様、その区間は透水性が大き過ぎる為である。

本孔では深さ40.5mから孔底（深さ50m）までの間でルジオンテスト（2区間）が行われたが、その区間の透水性は比較的高い（ $Lu = 21 \sim 13.6$ ）。

本地点の地下水位に関しては、ボーリング孔UB-1とUB-2では確認されたが、UB-3孔では確認されなかった。Fig. 7-4 に示すように、地下水位は両岸斜面下では相当深いようであるが、両岸とも山側に向かうにつれ上昇していることは間違いないであろう。

(4) 地球物理的特性

上流ダム地点で実施された弾性波探査のうち、ダム軸沿いの両岸斜面に於ける探査結果は、Fig. 7-4 にも示されているように、5つの速度層に区分される。これら速度層の速度値と各層の厚さを Table 7-6 に示す。

Table 7-6 Distribution of Seismic Velocity Layers on the Both Banks of the Up-stream Damsite

Layer No.	Seismic Velocity (km/s)	Depth* to Layer's Lower Boundary (m)	Remarks
1	0.2 ~ 0.35	0 ~ 5	Rather deep on the foot of the left bank.
2	0.6 ~ 0.7	4 ~ 15	Rather shallow on the foot of the left bank.
3	1.1 ~ 1.3	12 ~ 28	Ditto
4	2.0 ~ 2.4	15 ~ 28	Ditto
5	4.6		

Note: * "Depth" is counted from the ground surface.

本地点の左岸の横孔UA-1（長さ：50m）内で実施された弾性波探査の結果は、Fig. 7-4 に示されている通り、横坑深部での弾性波速度は1.5km/sを示したが、その部分は Table 7-6 に示される速度層のLayer No.4 に相当している。地表弾性波探査からの値より横坑内探査の値の方が低いのは、横坑掘削工事の際、横坑周囲の岩盤が火薬により予想以上に緩められたためであろう。

(5) 土地質的評価

Pirrisプロジェクトの上流ダム地点に於いては、上述の通り、これまでの諸調査によりその地質状態、地質工学的特性などがある程度まで解明された。これまでの諸調査結果に基づく当ダム地点の土地質的評価は次の通りである。

- ① 上流ダム地点に於いてコンクリートタイプのダムを計画する場合には、次のような理由により不利な点が多い。
 - 地形的にみて谷幅が広い。
 - 左岸斜面は全体に傾斜がやや緩いことに加えて、岩盤表面部の劣化がかなり深部にまで及んでいる。一方、右岸側では斜面の中腹以高の岩盤は同様にかなり深部まで劣化している。従って、コンクリートダムの支持基盤を得るには、かなり掘削量が多くなる。
 - 以上によりコンクリート量も必然的に多くなる。
- ② 本地点の岩盤をフィルタイプダムの基礎としてみた場合、表層の未固結堆積物と岩盤表面の強風化部（Fig. 7-4 でC₁と示される部分）を除去すれば高さ100m～150mクラスのダム基礎に必要な支持基盤は得られるであろう。
- ③ 以上により、本地点ではフィルタイプダムの選定が得策と思われるが、フィルタイプダムを選定した場合には、洪水吐の位置、設計にはその地形的、地質的条件を充分考慮すべきである。洪水吐を兩岸のいずれに選定しても、その切取斜面の安定性確保には充分な配慮が必要である。
- ④ ダム基礎の保水性に関しては、本地点の兩岸山体では地下水位が比較的低いことから、ダムタイプに関係なく充分な止水処理が必要である。止水処理方法としてはグラウチング工法が最も妥当であろう。

7.5.3 下流ダム地点 (Fig. 7-5, 7-6 および 7-7 参照)

(1) 地 形

下流ダム地点はPirris川のGrande de Candelaria川との合流点から約30km上流、前述の上流ダム地点の下流約500mに位置する。

Pirris川は、本ダム地点付近ではほぼ西流するが、その上流側ではSからN方向に、またその下流側ではSEからNW方向への曲流を示し、また本ダム地点付近の平均河川勾配は約3.5/100である。

本ダム地点に於ける谷の形状は、典型的なV字谷 (Fig. 7-6 のSECTION A-A 参照) であり、兩岸斜面の平均勾配は約55°を示し、河床部 (標高約1,080m) の幅は約20m、標高1,200mでの幅は約170mである。

ダムは左岸側では比較的幅広の尾根に取り付けられようとしているのに対して、右岸側では流路に向かってほぼ直角に張り出る比較的やせた尾根の先端部に取り付けられようとしている。この右岸側の尾根は途中に鞍部 (標高約1,245m) をもち、またその先端部には小ピーク (標高約1,255m) をもっている。

(2) 地 質

ダム地点の基盤岩は、右岸尾根頂部の極く一部にシルト岩が分布する以外は、全体にDolerite~Basaltからなり、河床部に於けるその露頭では、各所で枕状溶岩構造が観察される。この基盤岩は、既往資料ではジュラ紀~始新世 (別の既存地質資料によると、古第三紀暁新世もしくはそれ以前) のNicoya Complexと呼称されるオフィオライト岩体の一部に相当しており、また、右岸尾根に部分的にDolerite~Basaltを覆って分布するシルト岩は上流ダム地点に分布しているTerraba層に属していると思われる。

本地点のボーリング孔 LB-1, LB-2, LB-3, LB-4 および横坑 LA-1 と LA-2 のほぼ全区間でDolerite~Basaltが観察される。両岩石はいずれも漸移して明瞭な境界を示さず、地質図上で両岩石を区分して表示することは困難である。本地点のDolerite-Basaltは新鮮部では濃緑灰色で非常に堅硬、緻密な岩質を示すが、全体として塊状な部分と亀裂もしくは節理が発達した部分が、不規則に分布する傾向を示す。

ダム地点右岸尾根頂部のシルト岩は珪質であり、分布している岩体自体も小範囲

であり、露頭では亀裂の多い岩盤となっている。

本地点の断層に関しては、左岸の横坑 LA-1 には坑口から奥に向かって35mから43mの間が断層破碎帯（その走向傾斜N60°～70° E、60°～70° SE）が、また、右岸の横坑 LA-2 には坑口から奥に向かって32mの間に5条の小断層（それらの走向はN50°～70° E、傾斜は75°～90° S又はN、それらの破碎幅はいずれも50～60cm以下）が確認されている。

本地点の横坑 LA-1 と LA-2 を対象に破碎帯を伴う断層と、それ以外の連続性のある節理および亀裂について、その走向傾斜を統計的に調べた結果を Appendix A-3-3 に示すが、それによると、小断層はN64° E、80° SEが、節理／亀裂群はN64°、80° SEとN6° W88° SEが夫々卓越することを示している。

更に、上流ダム地点に分布するTerraba層に属する堆積岩類と下流ダム地点に分布するDolerite～Basaltとの境界は両ダム地点のほぼ中間で、兩岸ともほぼN-S方向に伸びる沢に沿って存在すると思われるが、これまでの地質踏査ではその境界を直接地表では確認していない。しかし、この境界は前述（7.4.2参照）の通り、断層である可能性が高い。

本地点に於ける未固結な表層堆積物としては、河床堆積物と崖錐があるが、両者とも顕著な分布は少なく、あっても部分的にたかだか厚さ1m程度もしくはそれ以下である。

(3) 水理地質

下流ダム地点では、これまでに上述の通り、ボーリング孔が4孔（LB-1、LB-2、LB-3 およびLB-4）削孔されており、それらいずれのボーリング孔でも岩盤部分を対象としてルジオンテストが実施された。

これらルジオンテストの結果は、ボーリング柱状図としてFig. 7-6 に示されているが、本地点の基礎岩盤（Dolerite～Basalt）の透水性について要約すると次の通りである。

— ダム基礎部左岸斜面上のボーリング孔LB-1では、岩盤表面から深さ45mまでの間では部分的に透水性の大きい区間（ $63 > Lu > 7.2$ ）が認められるが、深さ45mから孔底（深さ70m）までの間はほとんど不透水性に近い（ $0 Lu \sim 0.1 Lu$ ）。

- ダム基礎部右岸斜面上のボーリングLB-2では、岩盤表面（深さ0m）から深さ50mまでの間は一部の区間を除いて全体に透水性が高い（ $43 > L_u > 7$ ）が深さ50mから孔底（深さ70m）までの間は全体に透水性が低い（ $0 L_u \sim 1.2 L_u$ ）。
- 右岸尾根上（ダム基礎部の範囲外）のボーリング孔 LB-3 では、岩盤表面（深さ1.0m）から深さ40mまで、透水性が大きすぎる為、ルジオンテストができなかった。深さ90mから孔底（深さ100m）まではパッカーの設置が充分できない為、ルジオンテストができなかった。深さ40mから深さ90m間の透水性は全般的に高い（ $8 L_u \sim 100 L_u$ ）。
- 右岸尾根の鞍部付近の下流側斜面上のボーリング孔 LB-4 では、岩盤表面（深さ17.7m）から深さ25.5mまでの区間と深さ30mから深さ35.5mまでの区間ではいずれも透水性が大きすぎるのが原因で、ルジオンテストが出来なかった。これら以外の区間では、部分的に透水性が低い区間（深さ35.5m～45m間で $2.5 L_u \sim 2.7 L_u$ ）もあるが概して透水性は高い（ $22 L_u \sim 60 L_u$ ）。

下流ダム地点における兩岸山体の地下水位は、上記4孔のボーリング調査で確認されたが、その結果を要約すると次の通りである。

- 下流ダム地点のボーリング孔 LB-1（ダム左岸取付部）と LB-2（ダム右岸取付部）では、地下水位がいずれもかなり深い部分に存在することが確認されたが、両者ともPirris川の水面よりはわずかに高くなっている。（Fig. 7-6 の SECTION A-A 参照）。
- いずれもダム右岸取付尾根に位置するボーリング孔 LB-3 と LB-4 では地下水位が確認された。確認された地下水面の最高部はピリス川の水面より少なくとも70mは高方にある（Fig. 7-6 の SECTIONS B-B, C-C 参照）。
- ボーリング孔 LB-1 では Fig. 7-6 の SECTION A-A に示す通り、深度45mから深度70m間は $0 L_u \sim 0.1 L_u$ と透水性が非常に小さいにもかかわらず、地下水位は深度57.75mと低い。この事実は今後、本地点の基礎岩盤の透水性を評価する時留意すべきである。

(4) 地球物理的特性

下流ダム地点では地表弾性波探査は主として右岸側の尾根部が対象として実施さ

れた。従って、本ダム基礎部表面からの弾性波速度分布は不明であるが、右岸尾根部のそれは、Fig. 7-6 と 7-7 にも示されているように、ところによって4層ないし5層の速度層に区分される。これら探査については7.8および Appendix A-5 で詳述されているが、これら速度層の速度値と各層までの深さについてまとめると Table 7-7 に示すようになる。

Table 7-7 Distribution of Seismic Velocity Layers on the Ridge of Right Bank, the down-stream Damsite

Layer No.	Seismic Velocity (km/s)	Depth* to Layer's Lower Boundary (m)	Remarks
1	0.15 ~ 0.35	0 ~ 5	Partially missing on the ridge.
2	0.5 ~ 0.7	0 ~ 13	Rather deep around the ridge.
3	1.0 ~ 1.3	7 ~ 28	Ditto
4	2.0 ~ 2.4	23 ~ 57	Rather shallow on the foot of slopes.
5	3.6 ~ 4.4		

Note: * "Depth" is counted from the ground surface.

上記速度層および前述の上流ダム地点の速度層も含めて、それら速度層と両地点のボーリング調査結果とを対比させてみると Table 7-8 のようになる。

Table 7-8 Correlation between Seismic Velocity Layers and Geologic Conditions at the Pirris Damsites

Geologic Conditions Layers	Topsoil	Residual Soil	Talus	Rocks			
				Strongly Weathered	Moderately Weathered	Slightly Weathered	Fresh, Sound
Layer No. 1	██████████	██████████	██████████	██████████			
Layer No. 2			██████████	██████████			
Layer No. 3				██████████	██████████		
Layer No. 4					██████████	██████████	
Layer No. 5							██████████

本地点の横坑LA-1（長さ50m）およびLA-2（長さ50m）の内部で実施された弾性波探査の結果では、Fig.7-6 に示されている通り、弾性波速度が2 km/s未満の部分は前者（左岸側）では坑口からTD=7.5m（TD：坑口からの距離）までの区間であったのに対して、後者（右岸側）では坑口からTD=31.0mまでの区間であることが示された。これは岩盤表面の緩みは左岸側より右岸側の方が山体深部にまで及んでいることをものがたっている。また、本地点の基盤岩であるDolerite~Basaltの最高速度についてみると、横坑内ではLA-1で4.8km/sを記録したのに対して、地表部からの探査では4.4km/sに留まっている。これは本地点のDolerite~Basalt岩体が全般に山体深部でも節理もしくは亀裂が発達していることを暗示している。

（下流ダム地点で実施された地表および横坑内弾性波探査の結果の詳細については本章の7.8節および Appendix A-5-4, A-5-6 を参照）。

(5) 岩盤力学的特性

本地点の岩盤の変形性を求める為、横坑LA-1およびLA-2内で夫々3ヵ所平板載荷試験が実施された。これら各横坑内での試験位置とその試験結果は、Fig.7-8 の各横坑の地質展開図中に示されているが、LA-1での緩みの少ない岩盤の接線弾性係数 E_t は42,000kgf/cm²~48,000kgf/cm²であり、同じくLA-2では E_t は36,000kgf/cm²~48,000kgf/cm²であった。これら試験位置は、後述するようにRock Mass Classificationでは C_H クラス（Somewhat cracky but not loosened rocks）と C_M クラス（Somewhat cracky and slightly loosened rocks）の部分に相当している。

(6) 土木地質的評価

Pirrisプロジェクトの下流ダム地点に於いては、上述の通り、これまでの諸調査によりその地質状態、地質工学的特性などがかなり解明された。

これまでの諸調査結果に基づく当ダム地点の土木地質的評価は次の通りである。

- ① 下流ダム地点に於いてフィルタイプダムを計画する場合は、地形的にみて、(1) 両岸ダムアバット部自体がやや急すぎる事、(2) 洪水吐をどちら側の斜面にのせるにしても、その掘削量が大きくなりすぎる事、(3) および河川勾配が急であり、かつ、ダム軸の上流側で谷幅が急に広くなり、ダム体積が大きくなりすぎる事、

などの理由により不利な点が多い。従って本地点ではその地形条件面からみれば、ダムはフィルタイプよりコンクリートタイプの方が利点が多いと言えるだろう。

- ② ダム基礎岩盤は全体にDolerite~Basaltで構成され、これらは本来、岩質的には堅硬、緻密であるが、部分的には節理、亀裂、断層などにより二次的に劣化し、特にその表面部では局部的に緩みが認められる。

これらの岩盤をコンクリートダムの支持力の面から見ると、左岸側では、横坑LA-1の坑口から奥に向かって6m付近まで、右岸側では横坑AL-2の坑口から奥に向かって15m付近までは、夫々後述するRock Mass Classificationで C_L と評価され、それらはダム基礎岩盤として不適切であろう。一方、Fig.7-6,7-7 および7-8 に示す通り、両横坑の地質状態、弾性波速度分布、原位置岩盤試験の結果などから総合的に判断すると、左岸側では坑口から奥に向かって19m付近より、右岸側では坑口から奥に向かって29m付近より夫々奥の部分の岩盤はRock Mass Classificationで局部的に C_M クラスを含むが全体としては C_H クラスと評価され、100m~150mクラスのコンクリートダム基礎としての支持力を充分有しているであろう。

更に、両横坑と交差している断層のうち、左岸側のもの (Fig.7-6 および7-7 参照) は、コンクリートダムの基礎としてはその部分の変形性と剪断強度を向上させる為になんらかの処理が必要となるだろう。

- ③ 上記①および②の通り、本地点の地形、地質条件は、コンクリートタイプのダム築造の可能性を示唆しているが、今後その設計に際しては、次の点に留意する必要がある。

— 試掘横坑LA-1とLA-2は、本地点の岩盤のDolerite~Basaltに $N50^\circ \sim 70^\circ E$ 方向の断層・節理などの不連続面が発達していることを示している。

従って、今後は各断層の分布性状、節理についてはその連続性など、詳細に調べる必要がある。

— ダム基礎に分布するDolerite~Basaltは前述の通り、岩質的には堅硬であるが、(1)部分的には亀裂ないしは節理が発達していること、また、(2)左岸側より右岸側の方が岩盤表面の緩みの程度がやや大きいこと、(3)ダム取付けが予定される右岸山体は、標高が高くなるにつれ、山体全体が小さくなる(やせてくる)ことなどを考えると、特に右岸アバットメントの中腹以上の岩盤の

力学的特性は今後充分慎重に解明する必要がある。

- ④ 本ダム基礎岩盤の保水性に関しては、ボーリングLB-1とLB-2によると両岸とも岩盤表面から相当深部まで透水性が大きいこと、深部では透水性は小さいが地下水位はかなり低いことが判明している。現時点ではダム基礎両岸部に於いて、保水性を確保する為には、少なくとも、ダム基礎面から下方に対しては地下水位面以下まで、側方（ダムのリム部）に対しては地下水位面と満水位が交差する点まで止水処理の必要性を指摘することができる。止水処理方法としては、岩盤の状態を考慮すれば、グラウチング工法が最も妥当であろう。

しかし、ダム基礎部のうち河床部および両岸リム部についての地質状態ならびに水理地質状態については、今後早急に更に詳しく調査する必要がある。

- ⑤ 本ダム地点の右岸側のダム取付尾根部にある鞍部は、標高1,200m面での尾根幅は最狭部で約105mである。その最狭部での地下水位は満水位より低いことが予想され、今後早急にその部分の地質状態、水理地質状態を把握する為の調査を行い、止水処理対策を検討する必要がある。

7.5.4 岩盤分類

Pirrisプロジェクトのフィージビリティ・スタディでは、ダム基礎岩盤の地質工学的特性を客観的に評価し、表現する為には、ボーリングコアおよび横坑周辺岩盤を対象とした岩盤分類および評価システムが採用されている。

ボーリングコアに関しては、Table 7-9 に示すように、岩石コアは風化程度（W）、硬さ（H）、割れ目の間隔（C）について5段階に分けて分類され、それらはボーリング柱状図（Appendix A-3-5 参照）に記録されている。さらにこれら分類結果はTable 7-10 に示すようにグルーピングによるコア評価が行われ、それらが地質断面図 Fig. 7-4 と 7-6 のボーリング柱状図に図示されている。

横坑周辺岩盤については、その風化程度、硬さ、および亀裂間隔を夫々5段階に分けて評価する“Rock Classification for Adit”（Table 7-11 参照）を用いた分類が行われた。この岩盤分類結果は更に、総合的な“Rock Mass Classification”としてグルーピングされ、Fig. 7-4、7-6、7-7 および7-8 に示されている。

上記の“Rock Classification for Adit”と“Rock Mass Classification”の関係はTable 7-12 に示されている。

Table 7-9 Standard of Rock Classification for Drilling Core

W	Weathering	H	Hardness	C	Interval of Cracks
1	Very fresh. No weathering of mineral component.	1	Very hard. Broken into knifedged pieces by strong hammer blow.	1	Over 50 cm
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually no brown crack.	2	Hard. Broken into pieces by strong hammer blow.	2	20 ~ 50 cm
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered material.	3	Somewhat brittle. Broken into pieces by medium hammer blow.	3	5 ~ 20 cm
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.	4	Very brittle. Easily broken into pieces by medium hammer blow.	4	1 ~ 5 cm
5	Strongly weathered. Most minerals are weathered and altered to second minerals.	5	Soft. Able to dig with hammer	5	Under 1 cm

Table 7-10 Grouping of "Rock Classification for Drilling Core"

Symbol Mark of Grouping	Rock Classification* for Drilling Core	Remarks
(a)	W = 1 > 2 H = 1 > 2 C = 1 > 2	W : Weathering degree
(b)	W = 1 < 2 > 3 H = 1 > 2 > 3 C = 1 < 2 > 3	H : Hardness
(c)	W = 2 > 3 > 4 H = 1 < 2 > 3 C = 2 < 3 > 4	C : Interval of cracks
(d)	W = 3 > 4 > 5 H = 2 < 3 > 4 C = 3 < 4 > 5	
(e)	W = 4 < 5 H = 4 < 5 C = 4 < 5	

Note: * Detailed breakdown of "W", "H" and "C" are shown in Table 7-9.

Table 7-11 Standard of Rock Classification for Adit

Weathering		Hardness		Interval of Cracks	
1	Very fresh. No weathering of mineral component.	A	Very hard. Broken into knifeedged pieces by strong hammer blow.	I	Over 100 cm
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually no brown crack.	B	Hard. Broken into pieces by strong hammer blow.	II	40 ~ 100 cm
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered material.	C	Somewhat brittle. Broken into pieces by medium hammer blow.	III	20 ~ 40 cm
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.	D	Very brittle. Easy broken into pieces by medium hammer blow.	IV	5 ~ 20 cm
5	Strongly weathered. Most minerals are weathered and altered to second minerals.	E	Soft. Able to dig with hammer.	V	Under 5 cm

Table 7-12 Relationship between "Rock Mass Classification" and "Rock Classification for Adit"

Rock Mass Classification	Rock Classification* for Adit	Remarks
A	W = 1 > 2 H = A > B C = I > II	W : Weathering H : Hardness C : Interval of Cracks
B	W = 1 > 2 > 3 H = A > B > c C = I > II > III	
C _H	W = 1 < 2 > 3 H = A < B > C C = I < II > III	
C _H	W = 2 > 3 > 4 H = B > C > D C = II > III > IV	
C _L	W = 2 < 3 ~ 4 > 5 H = B < C ~ D > E C = II < III ~ IV > V	
D	W = 4 < 5 H = D < E C = IV < V	

Note: * Detailed breakdown of "Weathering", "Hardness" and "Interval of Cracks" are shown in Table 7-11.

7.6 水路ルートおよび発電所地点の地質

7.6.1 取水口地点 (Fig. 7-9 参照)

Pirrisダム地点として下流地点が選定される場合、取水口地点は貯水池左岸側、ダム地点近傍の斜面上（ダム軸より約90m上流）に計画されている。取水口の基礎部（標高1,140m）の位置する斜面は約50°の傾斜を示す。

取水口地点の基盤岩はDolerite~Basaltからなり、その表面部は厚さ50cm以下の表土により部分的に被覆されている。

取水口地点は、地形的にはかなりの急斜面をなすが、外観上は安定しており、地質的にも今のところ問題はなさそうに見受けられる。

本地点については詳細設計を行う前に基礎部ならびに切取斜面部の地質状態を確認する為の地下調査が必要である。

7.6.2 導水路トンネルルート (Fig. 7-9 参照)

(1) 地形

導水路トンネルは、全長8,686.32mでPirris川の左岸側を通過する。

導水路トンネルの前半区間（取水口からQuebrada (B) との交差部付近まで）は、標高1,400m前後の山頂ないしは稜線をもつ山体中を通り、数ヶ所で比較的大きな沢と立体的に交差する。この前半区間のトンネルの被りは約45m~約360mである。それに対して、後半区間は大半の部分が大きな1つの山体（山頂標高約2,150m）とそれから派生した尾根の下方を通り、そのトンネル被りは約100m~約1,000mを示す。

Table 7-13 および Fig. 7-9 に示す通り、導水路トンネルは前半区間では概してトンネル被りは変化に富み、かつ全体的に薄いのが、後半区間では変化に少なく、かつ、全体として厚い。

**Table 7-13 General Figures of the Headrace Tunnel Cover in its
Up-stream Half and Down-stream Half Sections**

Tunnel Section	Tunnel Cover (m)	Approximate Tunnel Length (m)	Remarks
Up-stream half section	Less than 100* ¹	450	*1: The thinnest cover is around the intake site.
	100 to 200	1,730	
	200 to 360* ²	2,250	*2: The thickest cover (= 360 m) in the up-stream half section.
Down-stream half section	100 to 200* ³	540	*3: The thinnest cover is around the surge tank site.
	200 to 500	2,230	
	500 to 1,000* ⁴	1,500	*4: The thickest cover (= 1,000 m) of the headrace tunnel.

上記前半区間では Fig.7-9 に示す通り、トンネルは数本の沢と立体的に交差するが、これまでの現地踏査では、そのうち、取水口側から順次下流側に向かって、Quebrada Seca, Quebrada (A)、Quebrada NapoleonとQuebrada (B)では表流水の存在が確認されている。

これらの沢の位置と、それらの地点でのトンネルの被りは Table 7-14 に示す通り、Quabrada SecaとQuebrada Napoleonでは被りが夫々40m、50m前後と薄い。

**Table 7-14 Locations with Thin Cover in the Up-stream
Half Section of Headrace Tunnel**

Location	Distance (TD) from Intake Site (m)	Approximate Tunnel Cover (m)	Remarks
Quebrada Seca	1,000	40	
Quebrada (A)*	1,980	150	
Quebrada Napoleon	3,250	50	With assumed fault
Quebrada (B)*	4,350	200	With assumed fault

Note: * (A) and (B) are named temporarily in the report.

(2) 地 質

導水路トンネルルート of 地質に関しては、ICEから提供された基礎資料のスタディ、空中写真の判読、およびJICA調査団がICEの協力のもとに実施した地質踏査などの諸結果に基づいて、これまでに判明したことが以下説明されている。

本トンネルルートを対象とした地質踏査範囲は、全体として不十分なアクセスビリティおよび時間的な制約からトンネルルート of 前半区間のうちの一部の地域に限られた。従って、ここで述べる地質層序および構造のアウトラインは、主として既存資料と空中写真判読から得た知見に基づいたものである。

導水路トンネルルート of 基盤岩類は、前述(7.3.2)の通り、ジュラ紀～始新世の塩基性火成岩類を主体とするグループ(Nicoya Complex)に属するDolerite～Basalt、漸新世～更新世の砂岩凝灰岩類(TⅢ)、砂岩類(TⅡ)、シルト岩、粘土岩類(TⅠ)およびそれらに貫入した貫入岩類(Ir)から成る。

導水路トンネル of 地表部 of うち、前半部は上記 of Dolerite～Basalt岩体、堆積岩グループ of うちTⅡとTⅠ、および部分的に貫入岩体Irが分布する。また、その後半部はDolerite～Basalt岩体および堆積岩グループ of うちTⅠとTⅢ、および部分的に貫入岩体Irが分布する。

本ルート通過地域では、Dolerite-Basalt岩体と堆積岩グループとは、不整合関係にあり、局所的には両者は断層で接している可能性がある。

上記堆積岩類 of うち、TⅢとTⅡの間には、整合関係で前者が後者の下位か、もしくは両者が指交ないしは同時異相関係にある可能性がある。また、TⅡとTⅠは整合関係でTⅡはTⅠ of 下位にあると推定される。これら堆積岩類は層理面 of 走向傾斜が $0^{\circ} \sim 30^{\circ} W$, $0^{\circ} \sim 60^{\circ} E$ or W を示す部分があることが、これまでの地質踏査で確認されている。

貫入岩体(Ir)は、本ルート上では上記 of Dolerite～Basalt岩体および堆積岩類に部分的に貫入している。

本トンネルルートが通過する地域 of 地表部では、Fig. 7-9に示すように、その前半部ではDolerite～Basalt岩体 Do/Ba、堆積岩類 of うちTⅡおよびTⅠ、及び貫入岩体Irが、また、その後半部では主にTⅠが、そして部分的にIr, Do/BaおよびTⅢが、夫々分布している。

これら本トンネルルート上に分布する諸岩体 of うち、今回の地質踏査でDo/Ba,

T II および T III に属する岩石を局部的に確認できた (Appendix A-3-2 参照) が、それらはいずれも岩質的には堅硬、緻密である。T I、T II および T III に属すると思われる砂岩、シルト岩、泥岩などはいずれも岩質的には非常に緻密で、十分な続成作用により固結しており、これらの岩石は少なくとも第三紀でも古い時期のものである可能性が強い。

断層については、Fig. 7-9 に示すように、本トンネルルートは少なくとも 5 条の連続性のある断層 (推定断層を含む) と交差する可能性がある。これらの方向性はいずれも NW-SE もしくは NE-SW である。本トンネルルートのうち前半区間の 3 条の断層は、いずれも表流水をもつ大きな沢沿いもしくはその近傍に存在する可能性があるので注意を要する。

(3) 土木地質的評価

1) 総括的評価

Pirris プロジェクトの導水路トンネルの地形、地質のアウトラインについては、前述の通り、既存資料、空中写真判読および地質踏査で、ある程度まで判明しているが、トンネル自体の通過部の地質状態および地質工学的特性に関しては、不明点があることは事実である。

しかし、土木地質的観点から、これまでに判明した本トンネルルートの地形的および地質的条件に基づいて、本トンネル計画を評価するとすれば、次のような理由でフィージブルであると結論づけることは妥当であると考えられる。

① 山岳地帯を通過するトンネルのうち、通常、その掘削が不可能に近い状態に陥る地質条件としては次のようなものがあるが、本トンネル通過部分には、そのような地質条件が存在する可能性は少ない。

- 長区間にわたる未固結な地層 (例えば、埋れ谷中の旧河床砂礫)、もしくは、著しく固結度の低い岩体 (例えば、第四紀の火山碎屑岩類) の分布。
- トンネル掘削方向が断層破碎帯の方向と一致している場合。
- 著しいカルスト地帯 (特に地下川) の存在。
- 大量の水流を伴う溶岩トンネルとの遭遇。
- 活発な地熱地帯 (高温地温、温泉、水蒸気、火山性ガスなど) の存在。

- ② 本トンネル通過部分には、いわゆる“Nicoya Complex”のDolerite～Basalt, “Terraba Formation”の堆積岩類およびさらにそれらに貫入している貫入岩体が分布する可能性が強いが、これらの岩石はいずれも固結度は充分高く、特にその堆積岩類中に、著しく固結度の低い岩石、もしくは著しいカルスト現象を伴う岩石、更には、大きな溶岩トンネルを内在するような溶岩体が存在している可能性は非常に低い。
- ③ 本ルート上もしくはその周辺地域には、火山活動の徴候および過去のそのような活動の存在を示す痕跡（例えば、大規模な熱水変質帯もしくは温泉地帯）も無さそうである。

2) 今後の課題

本導水路トンネルの設計および施工計画にとって影響を及ぼす地質工学的な現象としては、トンネル周囲岩盤内における偏圧、湧水、山はね、高い地温などの存在が考えられる。

トンネル周囲岩盤に於いて、異常な偏圧が発生しやすい場所としては、堅硬な岩盤内に存在する軟弱もしくは脆弱な部分、即ち、断層破碎帯とその周辺部、節理もしくは亀裂の発達帯、熱水変質帯、部分的に固結度が低い部分などをあげることができる。

湧水が発生しやすい場所としては、節理ないし亀裂の発達帯、断層破碎帯もしくはその外縁部、カルスト空洞、溶岩内の空洞、空隙の多い未固結な地層、不整合面沿いの空隙の多い部分などであろう。

山はねの発生しやすい条件としては、一般的にトンネルの被りが200m～300m以上あり、かつ亀裂の少ない堅硬な岩盤中で、岩石自体の圧縮強度より大きい地圧（荷重）が作用している部分であることが知られている。

高い地温となっている場所としては、比較的新しい地熱活動帯およびその付近とかトンネル被りが200～300m以上で高温岩体となっている部分などである。

以上のようなトンネルにとって不都合な地質工学的現象も、予めそれらの位置が予測できれば、土木技術的には克服が可能であり、かつ安全で経済的な導水路トンネルの詳細設計と施工を実現させる近道となりうる。このような観点から、

次のような詳細地質調査は詳細設計の前に不可欠であり、また同時にそれらのみが本トンネルの過剰な設計と施工計画を防止することができるといえるであろう。

① 詳細土木地質踏査の実施

トンネルルートおよびその周辺部を対象に縮尺1/5,000程度の地形図を用いて詳細な踏査を行い、当該地域の地質構造を含めた岩質図（土木地質図）を作成する。このような土木地質図を作成する為には、次のような詳細踏査を行う必要がある。

- 露頭調査 ; 基礎岩類の露頭の位置、分布範囲、岩種、岩質、層理面／節理面／亀裂面などの走向傾斜、地質構造（褶曲、不整合、断層など）、二次的変質（風化、熱水変質、鉱化作用など）などの把握。
- 表層堆積物調査 ; 基盤岩類を被覆する表層堆積物の種類（表土、風化残留土、崩積堆積物、崖錐、スロープウォッシュ、河床堆積物、段丘堆積物など）と分布範囲、厚さ、構成物の種類と構成比、締りの程度、などの把握。
- 表流水調査 ; 小さな谷、沢などの表流水、湖沼、泉、湿潤地などの位置、範囲ならびに確認した年月日を明らかにする。
- 地回り／崩壊調査 ; 地回り／崩壊が現在発生している位置、範囲、過去に地回り／崩壊が発生した位置、範囲、将来地回り／崩壊が発生する可能性のある位置範囲を指摘する。

上記調査により、本トンネルルートおよびその周辺地域に断層もしくは熱水変質帯が発見された場合には、更に次のような調査が必要である。

- 断層調査 ; 断層の位置、その連続性と走向傾斜、破碎帯の状態（岩質の劣化状態、破碎幅、粘土幅、角礫部の幅など）、断層の変位状態、断層を被覆している地層の変位の有無などの観察。
- 熱水変質帯調査 ; 変質帯の位置とその分布範囲、変質帯を形成している変質帯の区分（粘土鉱物の種類の同定）。

② 最新空中写真による判読の実施

本トンネルルート通過地域の空中写真で、最近のものが利用できる場合には、再び空中写真判読を実施し、当該地域の基盤岩類の露頭、表層堆積物、線状模様、表流水、地沁り／崩壊の分布状態に関する最新データを入手し、それらを上記の土木地質図に反映すべきである。

③ 地質調査の実施

本トンネルルートのうち、表流水をもつ Quebrada Seca と Quebrada Napoleon 付近では、トンネルの被りが約40m、約50mと夫々非常に薄く、かつ後者では更に断層の存在が推定されている。これらの地点に於けるトンネル通過部分の岩盤の地質的および水理地質的状态を予めチェックしておく必要がある。その為には両地点に於いて少なくともボーリングおよび弾性波探査による地下探査を今後早急に行うべきであろう。

7.6.3 調圧水槽地点および水圧管路ルート (Fig. 7-10 および 7-11 参照)

(1) 地形および地質

調圧水槽地点と水圧管路ルートを対象した今回の調査としては、既存資料のスタディ、空中写真判読および弾性波探査があり、更に水圧管路ルートの一部の地質踏査およびそのルート上では1孔のボーリング調査（ボーリング孔PB-2、長さ20m）が実施された。

調圧水槽はPirris川の左岸側標高1,299mの山頂をもつ山体の西方に張り出している尾根筋上の標高約1,210m付近に計画されている。

水圧管路は、上記の調圧水槽が置かれる尾根筋に沿って、始めはE-W方向に、ついでその尾根から派生しているNW方向に伸びる尾根筋に沿って計画されており、水圧管路の通る斜面はその中間部では15°ないしそれ以下の傾斜を示すが、それ以外では平均30°前後の傾斜をもつ。

調圧水槽地点のNW方向の下方にはかなり大規模な地沁り地形が認められる為、上記水圧管路ルートは、それを避けるようにSW側（Pirris川の下流側）に選定されている。

調圧水槽地点の地質に関する情報のうち、今回の現地調査から得られたものとしては、弾性波速度分布に関するものを除けば少ない。従って、本地点の基盤岩につ

いては、Fig. 7-10 および 7-11 に示す通り、既存資料に基づき、いわゆる“Terraba Formation”のシルト岩および粘土岩としている。弾性波速度分布およびその地形の特徴から判断して、本地点の表層部には表土もしくは風化残留土、強風化岩盤が表面から深さ20m前後まで分布し、それ以深は中程度もしくは弱風化の岩盤が深さ60~70mまで分布している可能性がある。

水圧管路ルートは、既往資料によるとTerraba Formation分布地域内に位置しているが、Fig. 7-10 と 7-11 に示す通り、その上半区間はTerraba Formationが、その下半区間はNicoya Complexの分布地を通る可能性があることが判明した。今回実施した地質踏査でもそのルートの上半区間では凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、凝灰岩左岸、泥岩などが確認され、また、下半区間でのボーリング孔PB-2では変質した玄武岩が確認された。

本ルート沿いに実施された弾性波探査と上記のボーリング孔PB-2の結果から判断すると、本ルート沿いの地表面には風化残留土ないしは強風化岩盤が地表面から深さ5m~10mまで分布している可能性がある。

表層堆積物は本ルート上では最下部区間、即ち、斜面裾部を除けば、全体に少なそうである。

(2) 土木地質的評価

調圧水槽地点および水圧管路ルートについては、このフィージビリティ・スタディにより選定された位置以外、地形的な制約から他に選択の余地はほとんどないと考えられる。一方、これまでの調査は未だ十分な内容ではないとしても、それから判明した地形および地質状態は調圧水槽ならびに水圧管路の設置は可能であることを示している。

今後これらの構造物の詳細設計の為には、更に次のような調査が必要である。

- ① 調圧水槽地点は、前述の通り地回り地形の高方の尾根筋に計画されている。水圧管路上部から調圧水槽地点の方向を遠望したかぎりでは、調圧水槽地点付近の斜面は安定しているように見受けられるが、今後はその安定性の評価の為の詳細地質踏査ならびに調圧水槽部分にどのような岩盤が分布しているか把握する為のボーリング調査が必要である。

② 水圧管路ルートは、部分的に風化岩盤の露頭のある尾根筋を通ることから、水圧管路の固定台もしくは小支台の基礎は地表面から深さ10m以内で得られる可能性がある。

しかし、更に当該尾根の安定性の評価の為に詳細地質踏査および水圧管路支持台の設計に必要な、もう少し詳しい岩盤力学的な性状を把握する為のボーリング調査が必要であろう。

7.6.4 発電所および放水路地点 (Fig. 7-10 および 7-11 参照)

(I) 地形および地質

Pirrisプロジェクトの発電所地点はPirris川の左岸側、Grande de Candelaria川との合流点より約15km上流（下流ダム地点よりPirris川の流路沿い約15km下流）に位置する。

発電所地点に対しては、今回の現地調査として、地質踏査と1孔のボーリング調査（PB-1、長さ35m）および弾性波探査が実施された。発電地点はPirris川の左岸沿いに形成された段丘面と、水圧管路の最下部区間が乗る斜面とが接するあたり（その地表面標高約340m）に置くことが計画されている。

放水路は上記の段丘面を開削して設けられ、全長265.5m、放水口は標高約300mのPirris川の左岸河床部付近に設けられる予定である。

発電所および放水路地点の地質は基盤岩をなすDolerite～Basaltとそれを被覆する段丘および河床堆積物からなる。

この段丘面上で実施されたボーリングPB-1によると、その表面から深さ3.5m間は表土および小礫のまじる細粒堆積物、それより深部、孔底（深さ35m）までは大礫を含む礫状コアが採取されているにすぎない。

一方、今回この発電所および放水路地点を対象に実施された弾性波探査の結果によると、上記のPB-1の孔底は弾性波速度2.0km/s層中に位置することが判明した。また、当地に於ける弾性波探査の結果を総合すると、当地の基盤岩の表面は2.0km/s～2.3km/sを示す速度層（5層のうち第3層に相当、Fig. 7-11 および Appendix A-5-4 のSheet No.14とNo.15 参照）の中間部以下に分布する可能性がある。

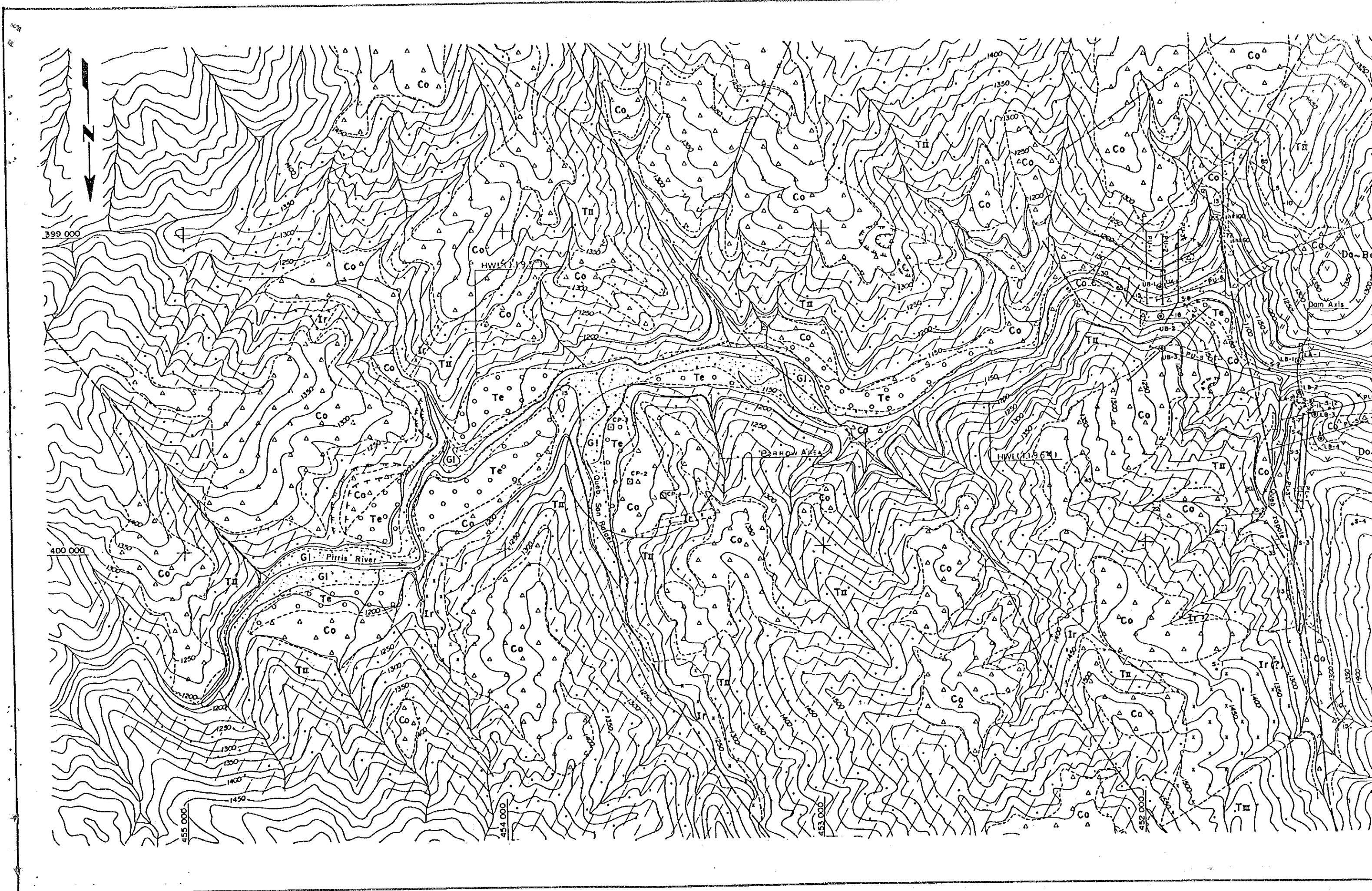
(2) 土地地質的評価

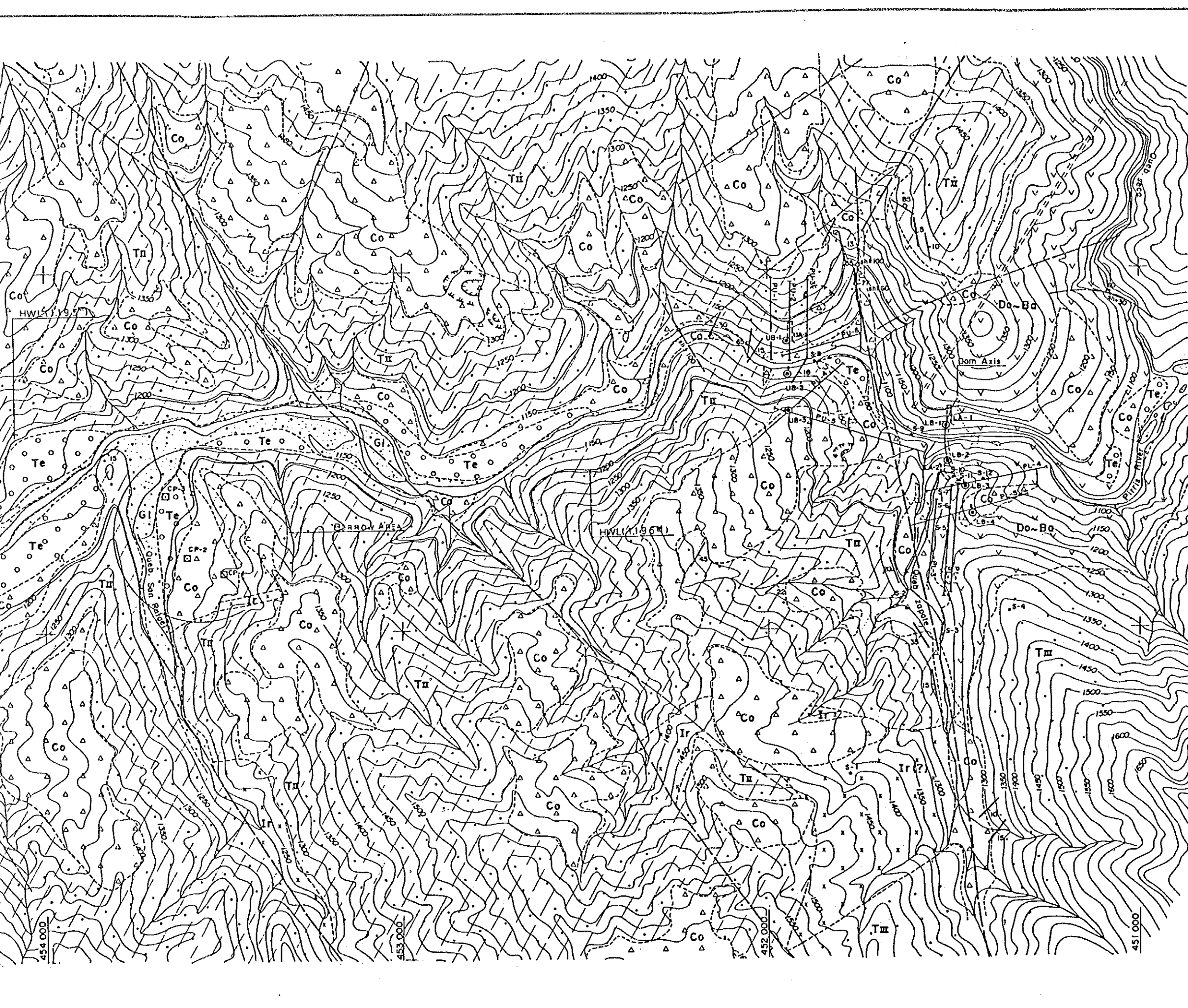
発電所および放水路地点を予定しているPirris川左岸沿いの段丘部分に於ける表層堆積物の厚さは全般に30mおよびそれ以上あることが判明した。

従って、発電所地点としては、上記の表層堆積物が比較的薄くなることが予想される水圧管路が乗る斜面裾部側へできるかぎり寄せることが、地質条件の上からは得策であろう。

放水路構造物の基礎は必ずしも岩盤である必要はないが、放水路区間の基礎部には全区間にわたっては基盤岩が分布しないかもしれない。

今後、発電所および放水口を含め、放水路の詳細設計の前に、これらの予定地点に対するボーリング調査は不可欠である。





LEGEND

Tertiary	Gi	Riverbed deposits
	Co	Colluvial deposits (includes residual soil)
	Te	Terrace deposits
	Ir	Intrusive rocks
Oligocene - Pleistocene	TII	Sandstone with shale and conglomerate
Tertiary Formation	TIII	Sandstone, volcanic sandstone and tuff
Eocene - Jurassic	Do-Ba	Dolerite - Basalt
	---	Geologic boundary
	15	Strike and dip of bedding
	70	Strike and dip of joint
	80 sh/100	Strike and dip of fault sh: width of sheared zone in cm
	---	Assumed fault
	---	Lineament pattern by aero-photo interpretation
	---	Landslide and/or slope failure
	---	Potential landslides and/or slope failure
	---	Probable landslides and/or slope failure by aero-photo interpretation
	UB	Drillhole
	PU	Seismic prospecting traverse
	LA	Adit
	CP	Test pit
	*	Sampling locality

0 500m

REPUBLIC OF COSTA RICA	
PIRRIS HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT	
GEOLOGIC PLAN OF RESERVOIR AREA	
Fig. 7-2	Date:

