8.4 洪水流出解析

洪水流量は観測期間の比較的長いLa Mansa, Carmen de Atrato, El Piñon雨量観測所の降雨資料をもとに以下に示す方法で算出した。

8.4.1 確率降雨

La Mansa, Carmen de Atrato, El Piñon各雨量観測所における年最大日雨量記録から極値分布（Gumbel分布、Log-Normal分布）を仮定して求めた各再現期間に相当する確率降雨をFig. 8 − 10(1)〜(3)に示す。この結果からGumbel分布を採用した場合の方が大きい値となるため、以下Gumbel法によるものを洪水流量算定に用いた。

8.4.2 可能最大降雨ＰＭＰ (Probable Maximum Precipitation) [3)]

ＰＭＰの算定方法には種々のものがあり、対象とする地域における入手可能データ、流域の特性等を勘案して適宜使い分けている。アトラート流域では必要な気象観測資料の観測期間が短かく、かつ情報も不十分であるため、以下の２方法より求めたＰＭＰのうち大きい方の値を採用することとした。

(1) 統計的手法による算定

統計的手法は最も簡便なＰＭＰの算出手法であり、次式による。

$$X_m = X_n + K_m \cdot S_n$$

ここに　X_n：n年間の年最大値の平均

S_n：n年間の年最大値の標準偏差値

K_m：係数

Ｋｍの値は通常15とされるが、Hershfield（1965年）によればＫｍの値は流域により異なり、乾燥した流域では15以上となるが、逆に湿った流域では15より小さくなると指摘している。また、コロンビア国においてはＫｍ＝12としてＰＭＰを算出した事例も見られる。[8)]

以上のことから、ここではＫｍ＝12のケースについて計算を行った。結果をTable-8.2に示す。

(2) 過去の降雨の極大化による方法

この方法は、過去に起った主要降雨においてMoistureあるいはMoisture Inflow Index を物理的に可能な最大限度まで引き上げ（極大化）、各主要

降雨に対し、この様に極大化したものの包絡的関係からＰＭＰを求めるものであり、必要なデータが完備している場合には最も合理的な算出方法である。主要降雨が長期間に渡って観測されている場合には降雨効率（大気中の全水分量に対する降雨量の比）が十分大きいものが収録されている可能性が高いので、この場合には通常Moisture補正を行うだけで良いが、記録が少ない場合には風の効果も加味したMoisture In-flow Indexにより補正を行う[4]。ここでは後者の場合に相当するため、次式により補正係数を求め、過去の主要降雨の極大化を行った。

$$\text{Adjustment Factor} = \frac{\text{The Maximum Moisture Inflow Index}}{\text{Moisture Inflow Index Existing During the Storm}}$$

ここに、Moisture Inflow Index とは、Precipitable WaterとWind Speedの積で定義される量であり、Precipitable Waterとは単位底面積を有する気柱中に含まれる水蒸気量の合計であり、気柱中の水蒸気が飽和状態にある場合には地表面でのDewpoint（露点温度）の関数として求められることが経験的に知られている。例えばAppendix－Ⅵがこの関係を示している。

Maximum Moisture Inflow Index はLa Mansaにおける気象データ(Dewpoint, Wind Speed）よりFig. 8 －11のように求められる。またTable-8.3 (1)～(3)にLa Mansa, Carmen de Atrato, El Piñon各雨量観測所における主要降雨記録とMoisture Inflow Index の比より極大化された日降雨量を示す。1978～1982年のわずか５年間の記録でしかないが、これよりＰＭＰとしてLa Mansa, Carmen de Atrato, El Piñon各雨量観測所に対し、それぞれ 260㎜、 235㎜、 592㎜という値を得た。

Table-8.2 PMP Estimated by Stochastic Method

(Unit: mm/day)

Station / Year	La Mansa		Carmen de Atrato		El Piñon	
	Annual Max.	Date of Storm	Annual Max.	Date of Storm	Annual Max.	Date of Storm
1959	-	-	52.0	Aug. 17	134.0	Aug. 3
1960	-	-	94.0	Dec. 2	268.0	Aug. 11
1961	-	-	46.0	Jun. 11	180.0	Nov. 11
1962	-	-	80.0	Oct. 8	190.0	Oct. 29
1963	-	-	(60.0)	Nov. 7	153.0	Nov. 10
1964	-	-	62.0	Nov. 23	134.0	Apr. 23
1965	-	-	-		154.0	Jan. 16
1966	-	-	78.0	Jun. 19	120.0	May 24
1967	-	-	90.0	Feb. 6	100.0	Nov. 8
1968	-	-	(100.0)	Nov. 30	132.0	Oct. 24
1969	-	-	60.0	Jun. 10	(120.0)	Oct. 21
1970	-	-	61.0	Jun. 13	-	-
1971	-	-	65.0	Apr. 8	205.0	Jan. 4
1972	81.0	Oct. 10	47.0	Jun. 24	(104.0)	Jan. 16
1973	(137.0)	Feb. 7	50.0	Apr. 25	153.0	Oct. 5
1974	72.5	Aug. 1	51.0	Nov. 30	151.0	Oct. 5
1975	46.9	Apr. 18	57.0	Feb. 1	153.0	Aug. 24
1976	65.7	Oct. 6	61.0	Nov. 5	134.0	Oct. 2
1977	61.8	May 8	63.0	Oct. 10	154.0	May 14
1978	64.2	Mar. 27	48.0	Oct. 15	193.0	Oct. 19
1979	(73.2)	Jun. 24	(75.0)	Jun. 24	141.0	Oct. 25
1980	(69.3)	May 6	75.0	May 8	170.0	Sep. 22
1981	77.7	Jun. 8	70.0	Jun. 8	150.0	Apr. 18
1982	78.2	Sep. 12	(50.0)	Jun. 13	150.0	Jul. 19
1983	78.3	Nov. 9	61.0	Sep. 19	150.0	Oct. 15
1984	(71.2)	Aug. 21	66.0	Sep. 2	180.0	Mar. 17
Number of Data	13		25		25	
Average $\overline{X}n$	75.15		64.88		154.92	
Standard Deviation Sn	19.87		14.53		34.43	
PMP	273.9		210.2		504.1	PMP=$\overline{X}n$+KmSn (km=10)

Note : ° Bracketed data mean partially defected measurement

° PMP = Probable Maximum Preciptation

Fig. 8-10 (1) Stochastic Point Rainfall (La Mansa)

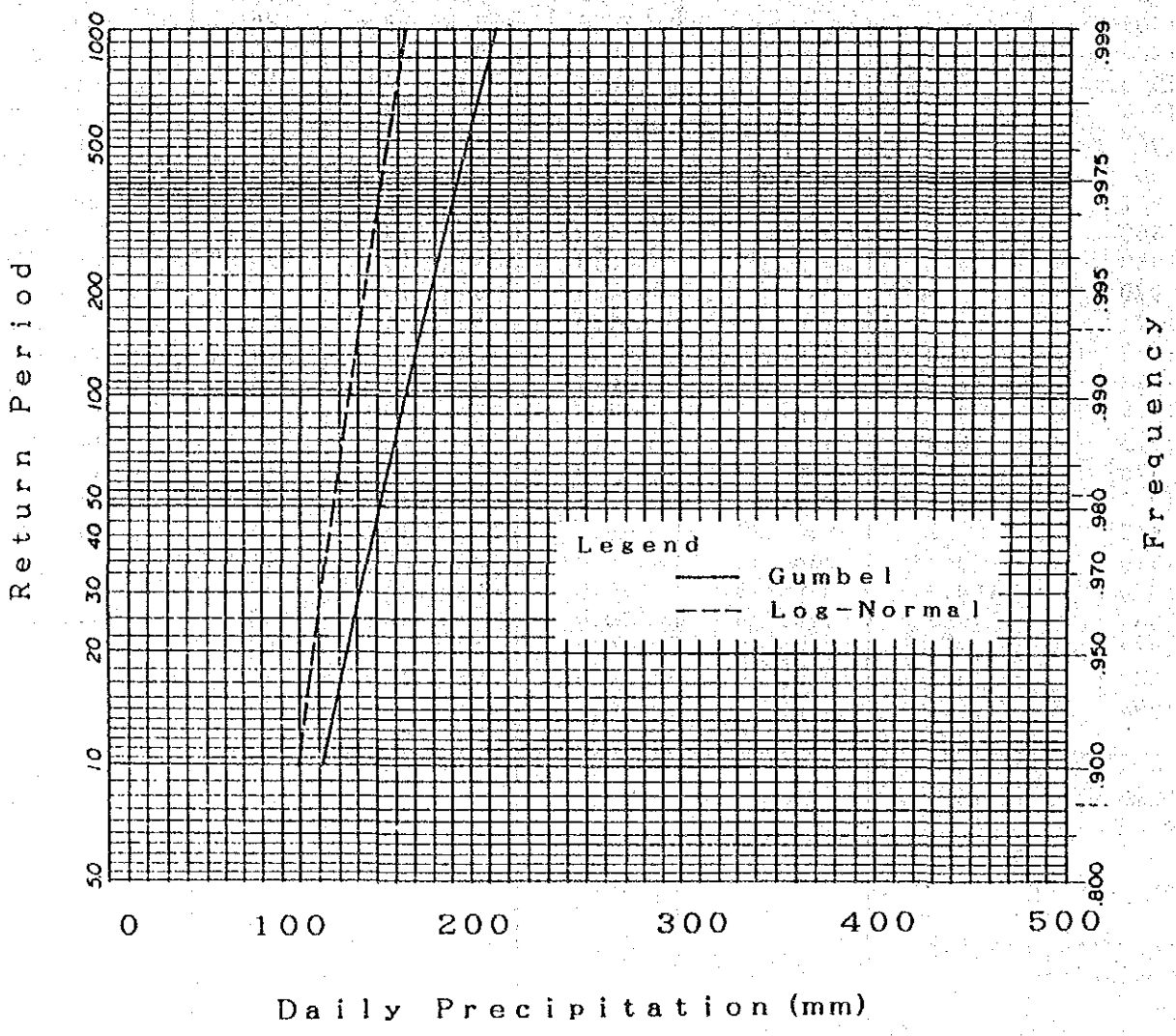


Fig. 8-10 (2) Stochastic Point Rainfall (Carmen de Atrato)

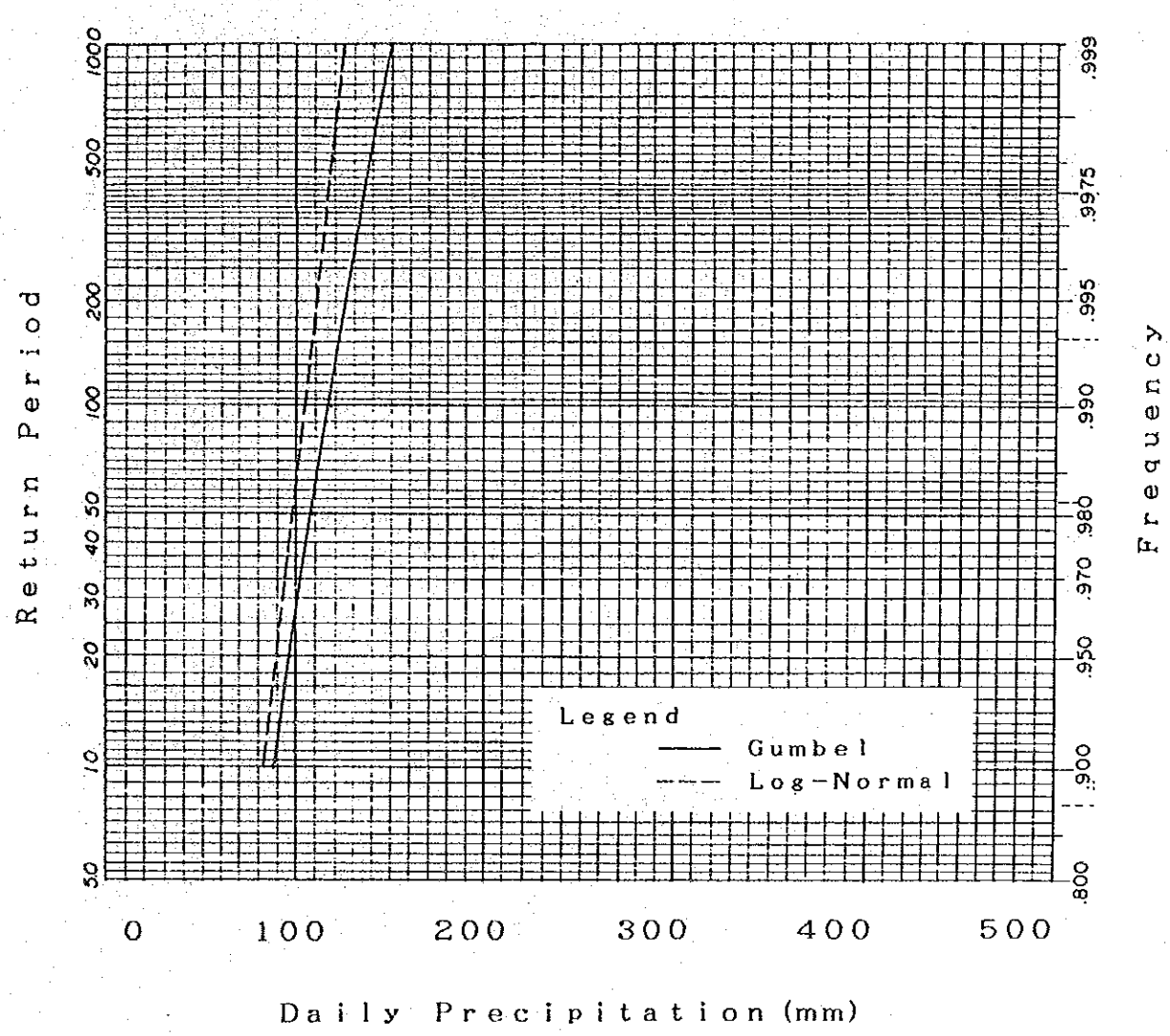


Fig. 8-10 (3) Stochastic Point Rainfall (El Piñon)

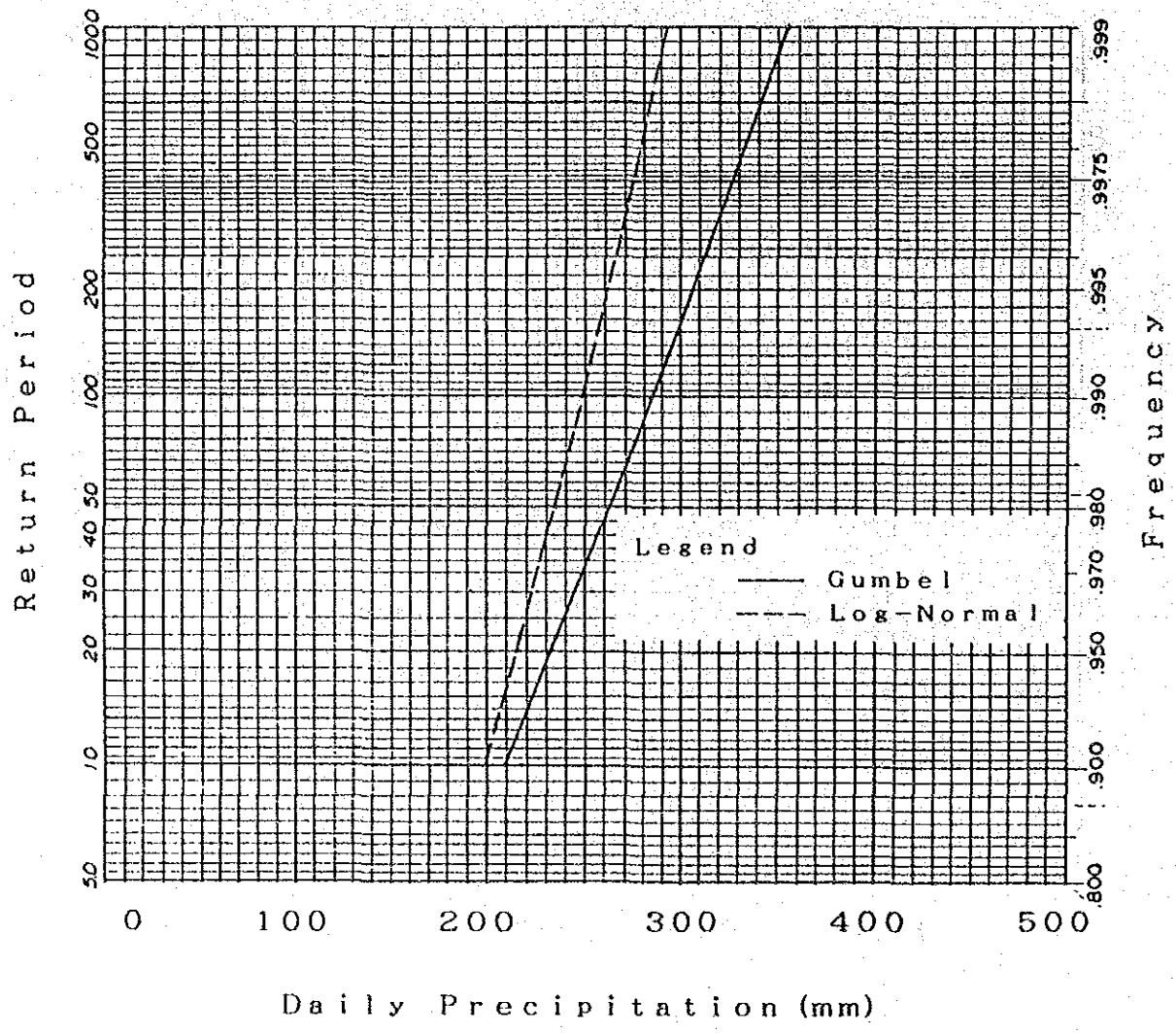


Fig. 8-11 Maximum Moisture Inflow Index

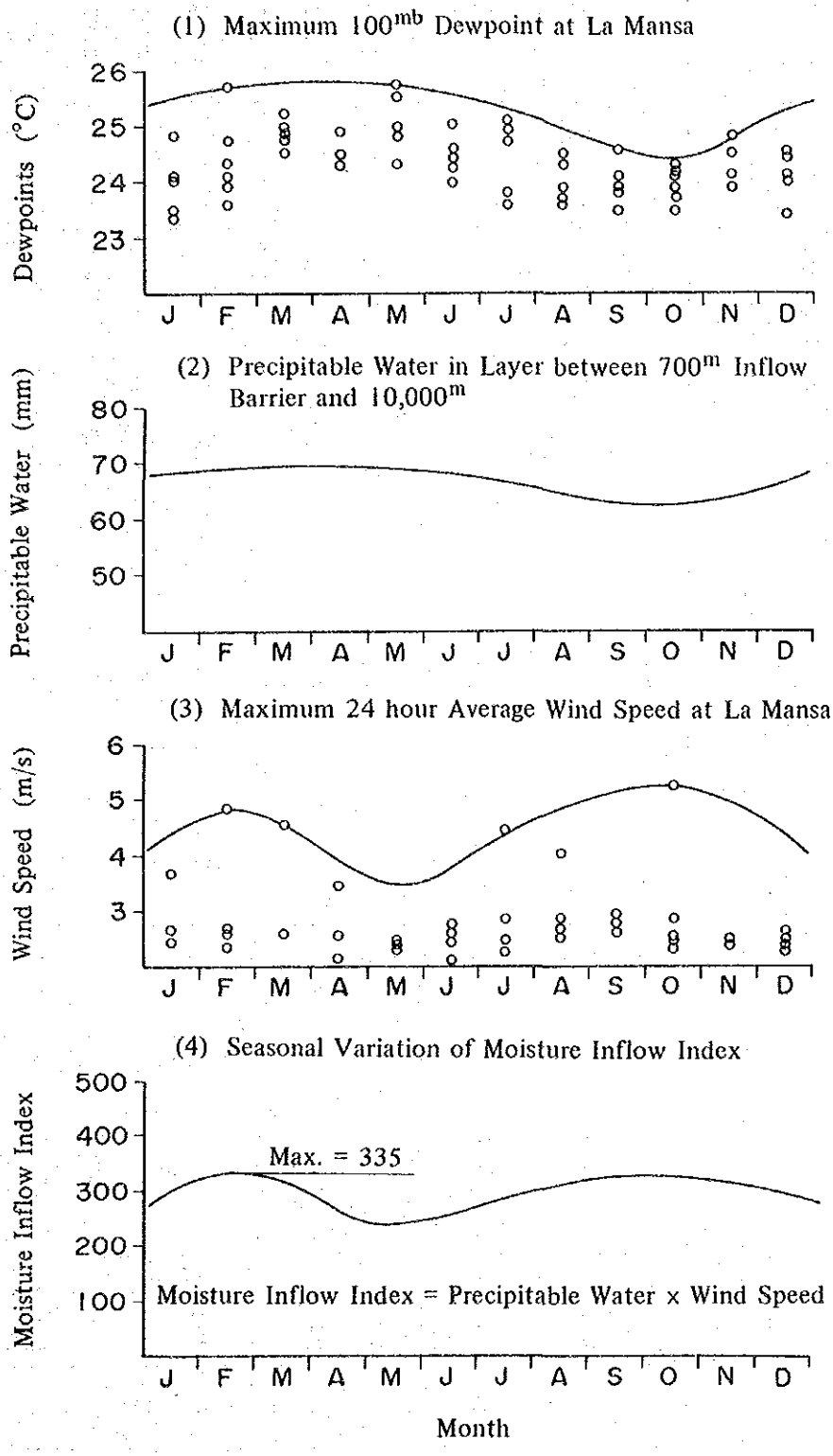


Table-8.3 (1) Storms used in Deriving Probable Maximum Precipitation (La Mansa)

Storms				Representative Max. Dewpoint (°C)		Precipitable Water in 700 - 10,000m Layer (mm)	Max. 24-hour Average Windspeed	Moisture Inflow Index	Max. Moisture Inflow Index	Maximi-zing Factor	PMP
No.	Date		Max. Daily Precipitation	Observed	at 1000mb		m/s				(mm)
1	1978	Apr.27	62.1	15.2	23.8	59	1.99	117.4	335	2.85	177
2	1978	Dec. 3	62.7	14.7	23.3	56.5	1.52	85.9	"	3.90	245
3	1979	Jan.28	54.0	13.8	22.4	52.3	1.69	88.4	"	3.79	205
4	1979	Jun.13	56.0	14.4	23.0	55	1.60	88	"	3.81	213
5	1979	Jun.24	73.2	15.8	24.4	62	1.89	117.2	"	2.86	209
6	1980	May 6	69.3	15.9	24.5	62.5	1.94	121.3	"	2.76	191
7	1980	May 12	52.5	16.0	24.6	63	1.82	114.7	"	2.92	153
8	1980	Jul.27	54.7	15.2	23.8	59	2.23	131.6	"	2.55	139
9	1980	Aug.22	65.2	14.2	22.8	54.1	1.83	99	"	3.38	220
10	1981	Jun. 8	77.7	14.7	23.3	56.5	1.77	100	"	3.35	260
11	1981	Oct.21	58.7	14.8	23.4	57	2.01	114.6	"	2.92	171
12	1982	Sep.12	78.2	15.3	23.9	59.5	2.04	121.4	"	2.76	216

Table-8.3 (2) Storms used in Deriving Probable Maximum Precipitation (Carmen de Atrato)

Storms				Representative Max. Dewpoint (°C)		Precipitable Water in 700 - 10,000m Layer (mm)	Max. 24-hour Average Windspeed	Moisture Inflow Index	Max. Moisture Inflow Index	Maximizing Factor	PMP
No.	Date		Max. Daily Precipitation	Observed	at 1000mb		m/s				(mm)
1	1979	Jun.24	75.0	15.8	24.4	62	1.89	117.2	335	2.86	215
2	1979	Oct.22	54.0	14.3	22.9	54.5	1.89	103.0	"	3.25	176
3	1980	May 20	75.0	15.8	24.4	62	2.03	125.9	"	2.66	200
4	1980	Aug.22	53.0	14.2	22.8	54.1	1.83	99.0	"	3.38	179
5	1981	Apr.18	50.0	14.9	23.5	57.5	1.84	105.8	"	3.17	159
6	1981	May 14	51.0	14.9	23.5	57.5	1.83	105.2	"	3.18	162
7	1981	Jun. 8	70.0	14.7	23.3	56.5	1.77	100	"	3.35	235
8	1982	Jun.13	50.0	15.6	24.2	61	1.72	104.9	"	3.19	160

Table-8.3 (3) Storms used in Deriving Probable Maximum Precipitation (El Piñon)

Storms				Representative Max. Dewpoint (°C)		Precipitable Water in 700 - 10,000m Layer (mm)	Max. 24-hour Average Windspeed	Moisture Inflow Index	Max. Moisture Inflow Index	Maximi-zing Factor	PMP
No.	Date		Max. Daily Precipitation	Observed	at 1000mb		m/s				(mm)
1	1978	Apr.17	160.0	14.8	23.4	57	1.59	90.6	335	3.70	592
2	1978	Oct.19	193.0	14.0	22.6	53.2	2.27	120.8	"	2.77	535
3	1980	Sep.22	170.0	14.4	23.0	55	1.81	99.6	"	3.36	571
4	1980	Dec.25	150.0	14.1	22.7	53.6	1.84	98.6	"	3.40	510
5	1981	Apr.18	150.0	14.9	23.5	57.5	1.84	105.8	"	3.17	476
6	1982	Jul.19	150.0	14.7	23.3	56.5	1.57	88.7	"	3.78	567

8.4.3　流域平均雨量

8.4.1、8.4.2より得られた各雨量観測所の確率降雨、ＰＭＰよりティーセン法を用いて流域平均雨量を求めた。ティーセン分割の重みをFig.8－3に示す。また流域平均確率降雨、同ＰＭＰをTable-8.4に示す。

Table-8.4 Specially Averaged Probable Rainfall

(Unit: mm/day)

Station	Return Period (Years)	La Mansa	Carmen de Atrato	El Piñon	Special Average
Pte. Las Sanchez	10	110.2	87.9	-	96
	20	124.3	97.4	-	107
	50	142.5	109.6	-	121
	100	156.1	118.8	-	132
	1,000	201.2	149.3	-	167
	10,000	246.2	179.6	-	203
	PMP	274	235	-	249
Girardot	10	110.2	87.9	-	94
	20	124.3	97.4	-	104
	50	142.5	109.6	-	118
	100	156.1	118.8	-	129
	1,000	201.2	149.3	-	163
	10,000	246.2	179.6	-	197
	PMP	274	235	-	245
El Piñon	10	110.2	87.9	209.4	113
	20	124.3	97.4	231.9	126
	50	142.5	109.6	261.0	142
	100	156.1	118.8	282.8	155
	1,000	201.2	149.3	354.9	195
	10,000	246.2	179.6	426.9	236
	PMP	274	235	592	303

8.4.4 ピーク流量の推定

降雨量より洪水ピーク流量を求めるには合理式によった[5]。すなわち、

$$Qp = \frac{1}{3.6} fp \cdot r \cdot A$$

ここに　Qp：ピーク流量（m³／s）

fp：ピーク流出係数

r　：洪水到達時間内平均降雨強度（mm／hr）

A　：流域面積（km²）

このうち洪水到達時間平均降雨強度rは次式より求まる洪水到達時間

$$Ta = \frac{L}{20\left(\frac{H}{L}\right)^{0.6}} \quad \text{(hours)}$$

ここに　L：流路長（m）

H：高低差（m）

より

$$r = \frac{P_{24}}{24}\left(\frac{24}{Ta}\right)^{2/3}$$

R_{24}：日雨量（mm／日）

として求めることができる。

また、ピーク流出係数について、Pte. las Sanchez、Girardot両測水所における1980年、1981年、1983年、1984年の水位連続測定記録（但しGirardotについては1984年のみ）から得たピーク流量より上式を用いて逆算したものを流域平均雨量（日雨量）との関係でプロットしてみたのがFig. 8－12である。同図より当流域ではピーク流出係数は日雨量の増加に伴い減少する傾向にあることが知れる。データ数が十分とは言えないが、この事実を勘案し、ピーク流出係数として低めの値fp＝0.65を採用した。

Pte. las Sanchez, Girardot, El Piñon各測水所地点におけるピーク流量の算定結果をTable-8.5 に示す。またこの結果を比流量～流域面積の関係で示したのがFig.8-13である。これよりCreager曲線[6]

$$g = 46CA^{(0.894A^{-0.048}-1)}$$

ここに　C：定数

A：流域面積（$mile^2$）

q：比流量（$ft^3/sec/mile^2$）

においてC＝26,33,50とした値がそれぞれ 100年確率洪水、1000年確率洪水、ＰＭＰ（Probable Maximum Flood）に対応するものであり、この関係から任意地点の洪水量を算定できることになる。

例えばEl Siete No.1 ダム地点、El Siete No.2 取水ダム地点、El Siete No.2 発電所地点等の洪水量はTable-8.6に示す通りとなる。

Fig. 8-12 Peak Runoff Coefficient vs. Daily Precipitation

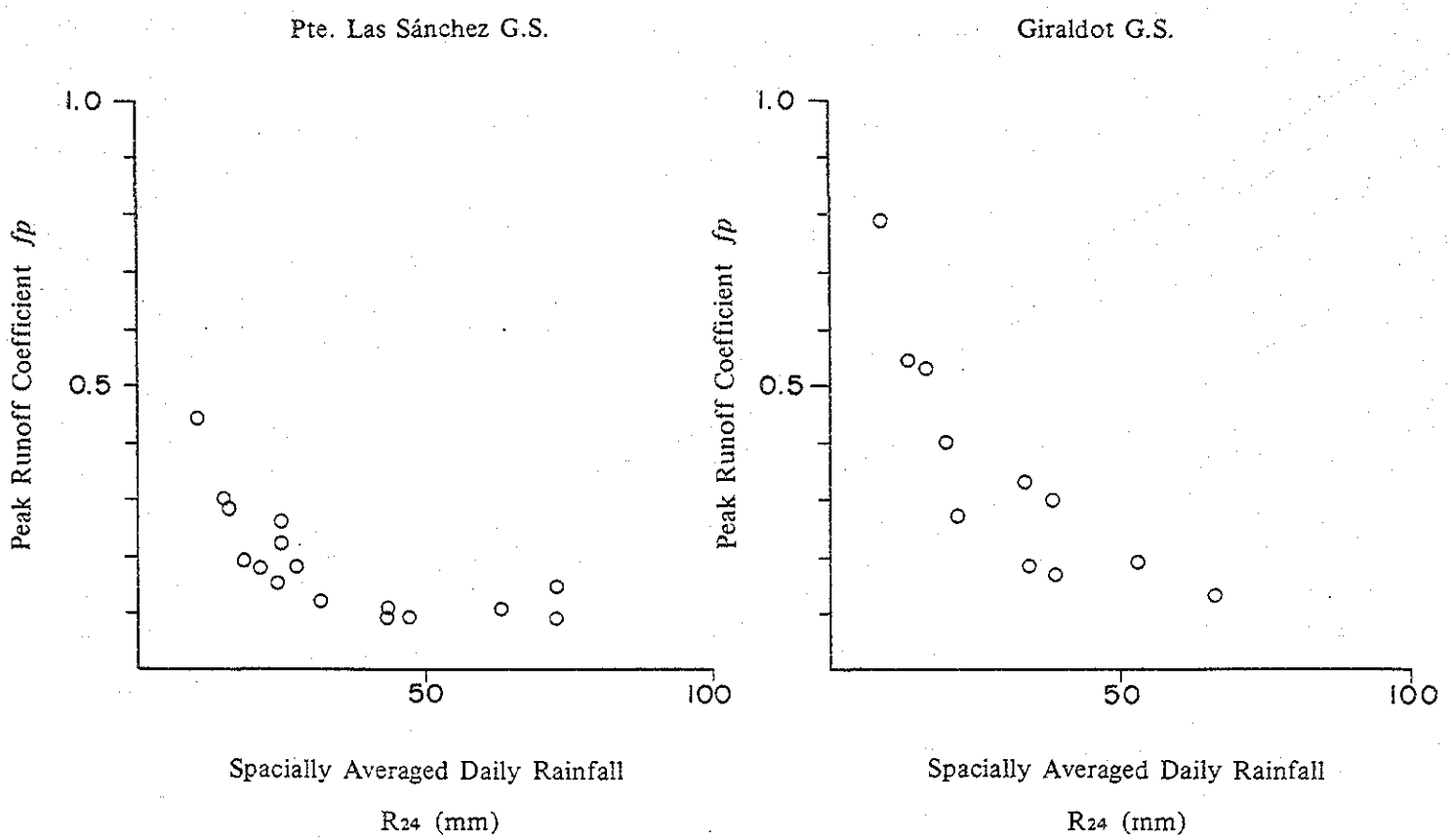


Fig. 8-13 Design Flood for Atrato Project

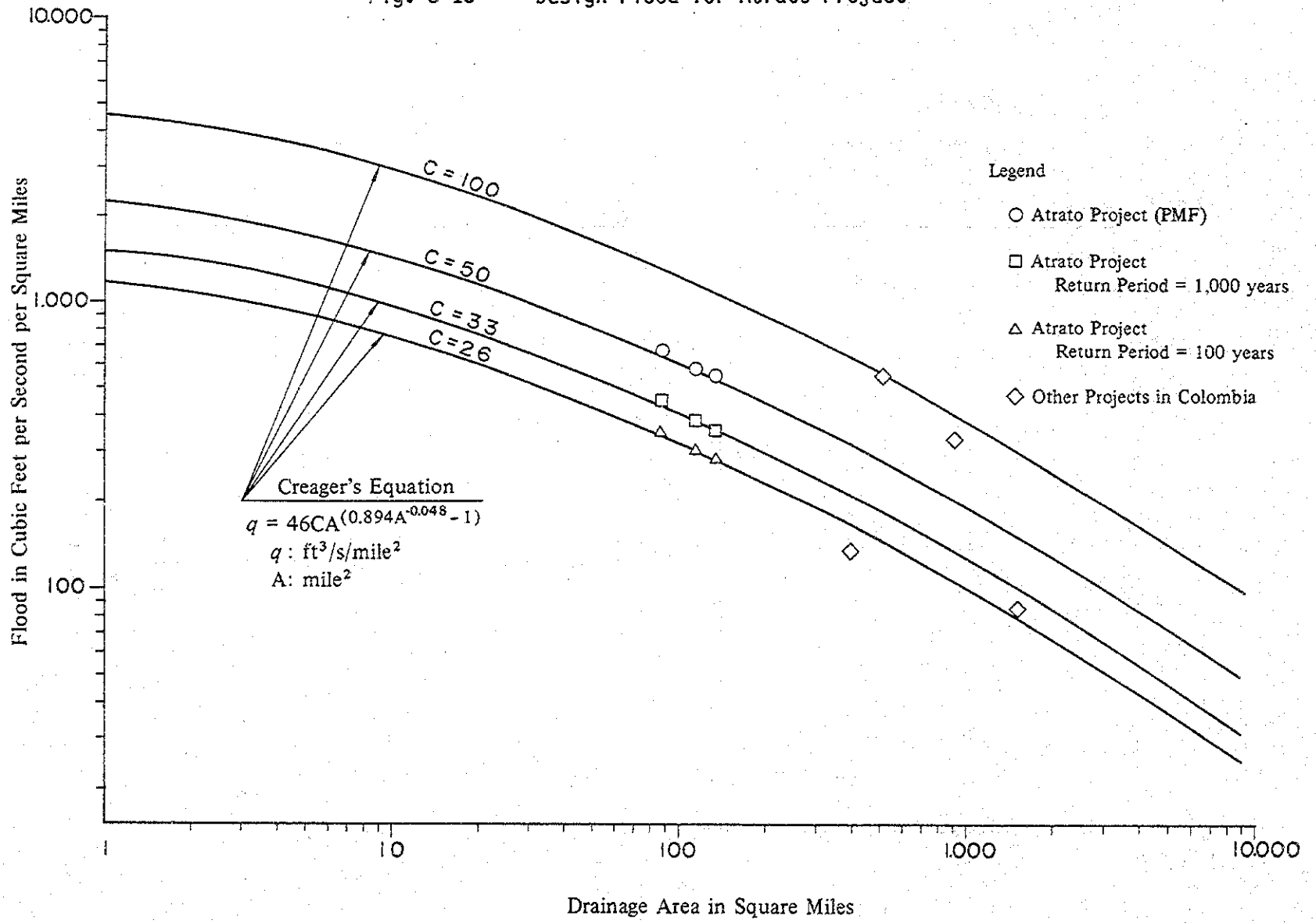


Table-8.5 Estimation of Flood Discharge

Site	Return Period (Year)	Catch-ment Area $A(km^2)$	Diffe-rence of Elevation H (m)	River Length L (m)	Maximum Daily Rainfall R_{24} (mm/day)	Intensity of Rainfall r (mm/hr)	Flood Concentra-tion Time Ta (hr)	Flood Discharge Qp (m^3/s)	Specific Flood Discharge per km^2 $q(m^3/s\ km^2)$	Remarks
Pte. Las Sanchez	20	226.9	940	28,500	107	17.4	3.1	713	3.14	Adopted formula is as follows.
	50	"	"	"	121	19.7	"	807	3.56	
	100	"	"	"	132	21.5	"	881	3.88	
	1,000	"	"	"	167	27.2	"	1,114	4.91	
	10,000	"	"	"	203	33.1	"	1,356	5.98	$Ta = \frac{L}{20(\frac{H}{L})^{0.6}}$
	PMP	"	"	"	249	40.6	"	1,663	7.33	
Girar-dot	20	297.9	1,350	37,300	104	14.8	3.8	796	2.67	$r = \frac{R_{24}}{24} (\frac{24}{Ta})^{\frac{2}{3}}$
	50	"	"	"	118	16.8	"	904	3.03	
	100	"	"	"	129	18.4	"	990	3.32	
	1,000	"	"	"	163	23.2	"	1,248	4.19	$Qp = \frac{1}{3.6} f_p rA$
	10,000	"	"	"	197	28.0	"	1,506	5.06	
	PMP	"	"	"	245	34.9	"	1,877	6.30	
El Piñon	20	347.4	1,790	52,700	126	13.9	5.6	872	2.51	where,
	50	"	"	"	142	15.6	"	979	2.82	Ta : Flood concent-ration time (hr.)
	100	"	"	"	155	17.0	"	1,066	3.07	L : River length (m)
	1,000	"	"	"	195	21.4	"	1,342	3.86	H : Difference of elevation (m)
	10,000	"	"	"	236	25.9	"	1,625	4.68	R_{24}: Max. daily rain-fall (mm/day)
	PMP	"	"	"	303	33.3	"	2,089	6.01	r : Intensity of rainfall (mm/hr.)
										fp : coefficient of discharge
										A : Catchment area (km^2)
										Qp : Flood discharge $(m^3/sec.)$
										fp = 0.65

Table-8.6 Design Flood Discharge at Each Project Site

(Unit: m^3/s)

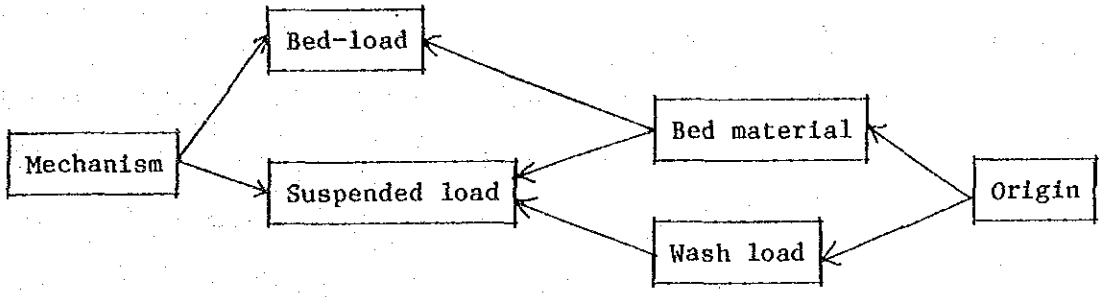
Project Site	Drainage Area (km^2)	Return Period		PMF
		100 years	1000 years	
No.1 Auxiliary Intake Dam	235.7	870	1,110	1,680
El Siete No.1 Dam	256.3	910	1,160	1,760
El Siete No.2 Intake Dam	297.9	990	1,260	1,910
El Siete No.2 P/S	343.1	1,070	1,360	2,060

8.5 流出土砂量解析

一般に河川を流下する流砂は流送形態より掃流砂と浮遊砂に分類される。掃流砂とは流水の直接の抵抗を受けて河床上を転動、滑動または床面に沿って跳躍して移動する流砂であり、浮遊土砂とは流水の乱れによる拡散現象のために流路断面を浮遊して輸送される流砂をいう。

流砂はまた、その源によりBed MaterialとWash Load とに分類されることもある。Bed Materialとは河床に見出される大きさの粒子からなる流砂の部分であり、Wash Loadは河床砂礫より細かい粒子からなる流砂の部分である。これらの関係を図で示せば次図の通りである。

流砂の分類



8.5.1 浮遊砂量の推定

浮遊砂量の推定は各測水所地点で測定が行われている浮遊砂濃度の実測値をもとにして行った。浮遊砂濃度の測定は① Depth-integrating Type のサンプラーにより採水し、水と浮遊砂と分離測定してその濃度を求める方法と、②濁度計より直接濃度を測定する方法の２方法が併用されている[1]。このうち②は一般に浮遊砂粒子の大きさ、形状等により濁度計の読みと浮遊砂濃度が一致しないことが知られているため、あらかじめ両者の関係を人工濁水とアトラート川での河川水によりチェックを行った。結果をFig.8-14に示すが、これより濁度計の読みを２倍して浮遊砂濃度とした。

各測水所地点に対する浮遊砂濃度と流量との関係をFig.8-15(1)～(4)に示す。これより年間流入浮遊土砂量 q_{sus} は次式で推定できる。

$$q_{sus} = \sum_{i=1}^{365} Q_i \times C_i \times 86,400 \quad (mg)$$

ここにQiは各日の日平均流量、Ciはこの流量に対応する浮遊砂濃度(ppm)である。

Pte. las Sanchez測水所地点に対し、8.3.4(1)で求めた日平均流量を用いて15年間の浮遊土砂流入量を求めた結果をTable-8.7に示す。

8.5.2 掃流砂量の推定

掃流砂の測定は一般に難しく、未だ有用な測定方法が確立されていない。アトラート流域でも実測値が得られなかったので浮遊砂量との比率で想定を行った。この比率は最大でも25%と言われており[7]、山間部では平野部より増加するであろうことから、ここでは25%とした。この場合の掃流砂量もTable-8.7 にあわせて示されている。

8.5.3 年間総流入土砂量

浮遊砂量と掃流砂量の和として総流入土砂量が求まる。Pte. las Sanchez測水所地点における1969～1984年（但し1971年は欠）の15年間平均では 1,654,000ton／年であり、単位体積重量を 1.2ton／m³とすれば 1,378,000m³／年程度となる。（Table-8.7 参照）

Fig. 8-14 Concentration vs. Turbidity

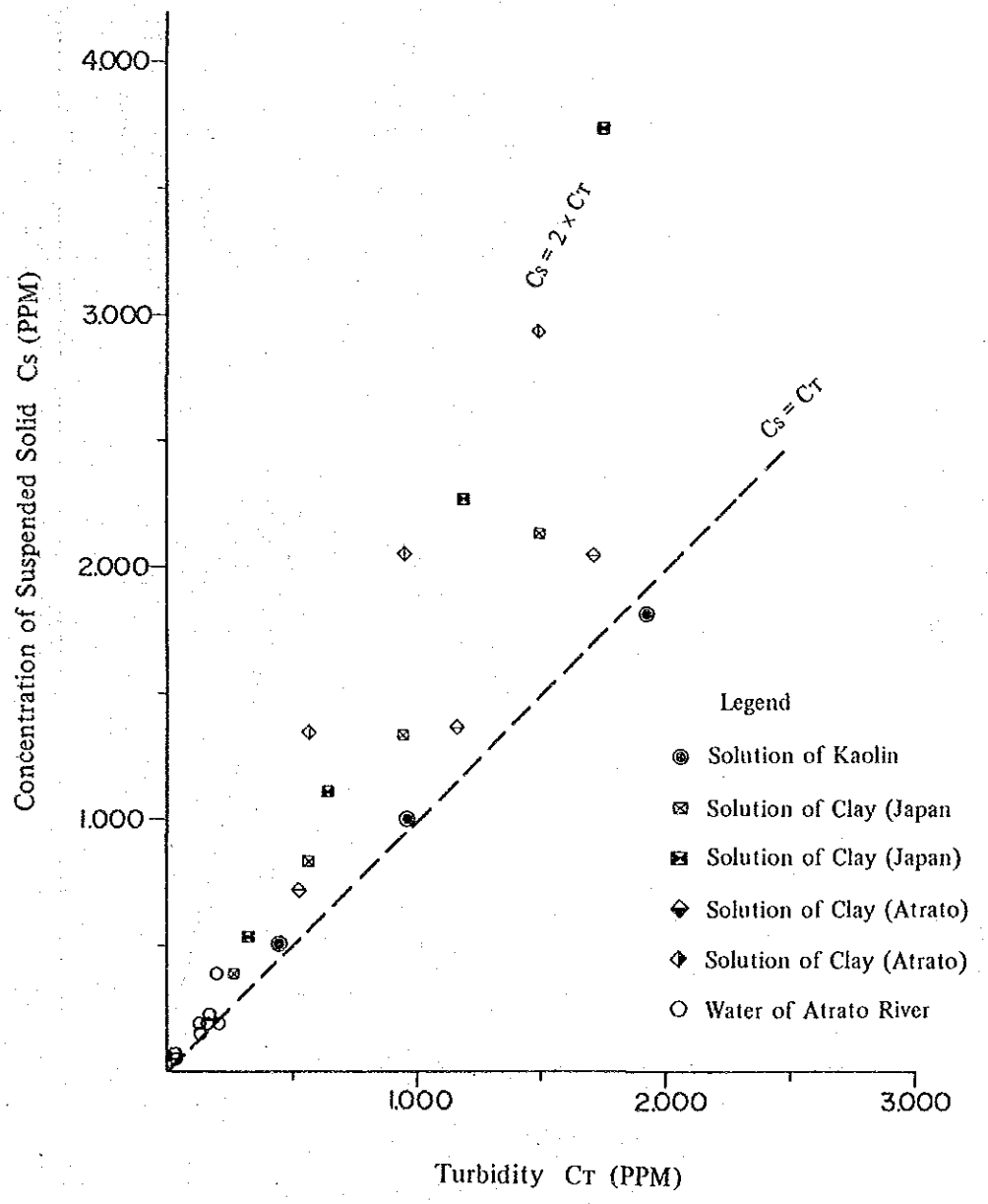


Fig. 8-15(1) Water Discharge vs Concentration of Suspended Sediment

(El Siete Gauging Station)

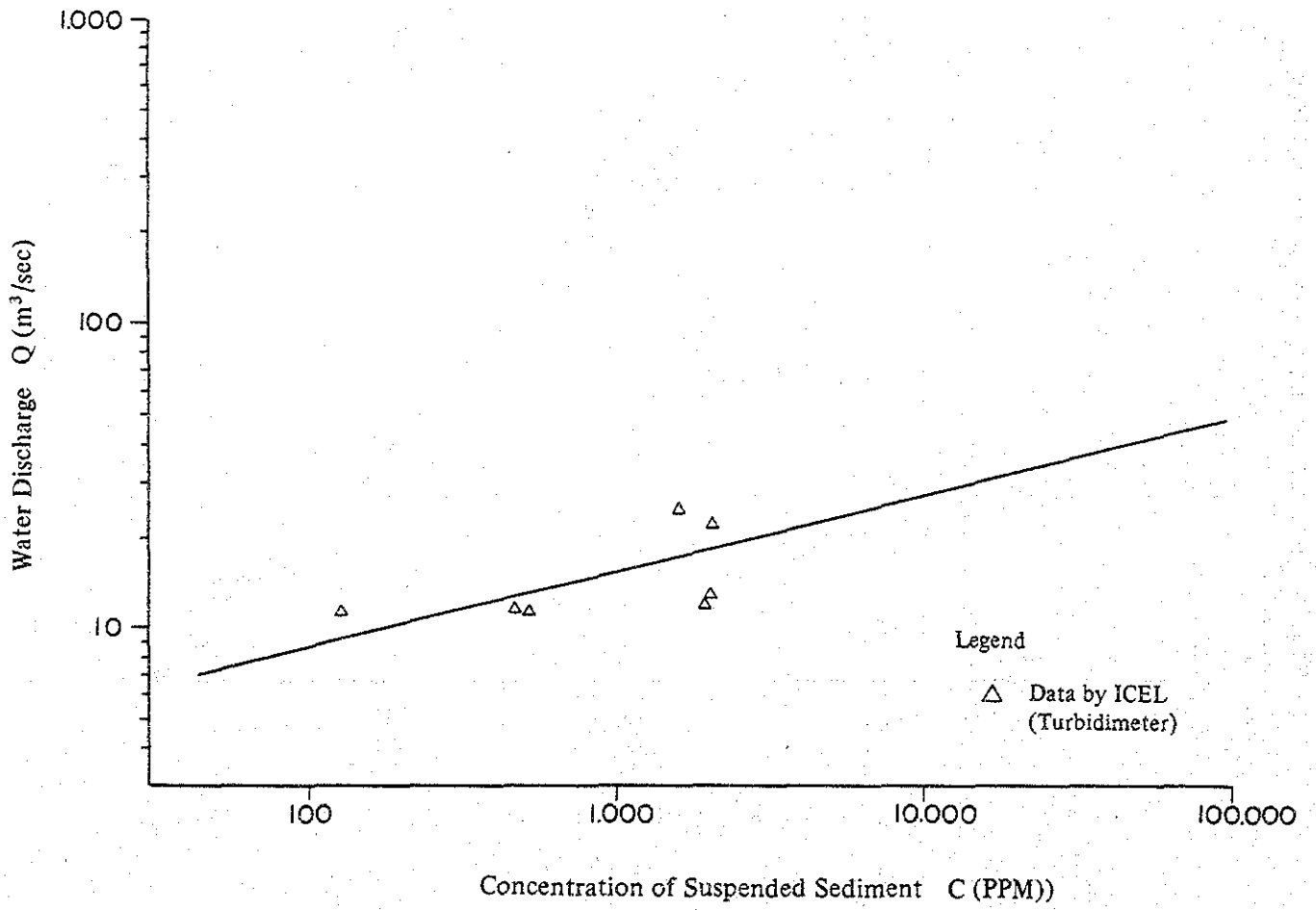


Fig. 8-15(2) Water Discharge vs. Concentration of Suspended Sediment
(Pte. Las Sánchez Gauging Station)

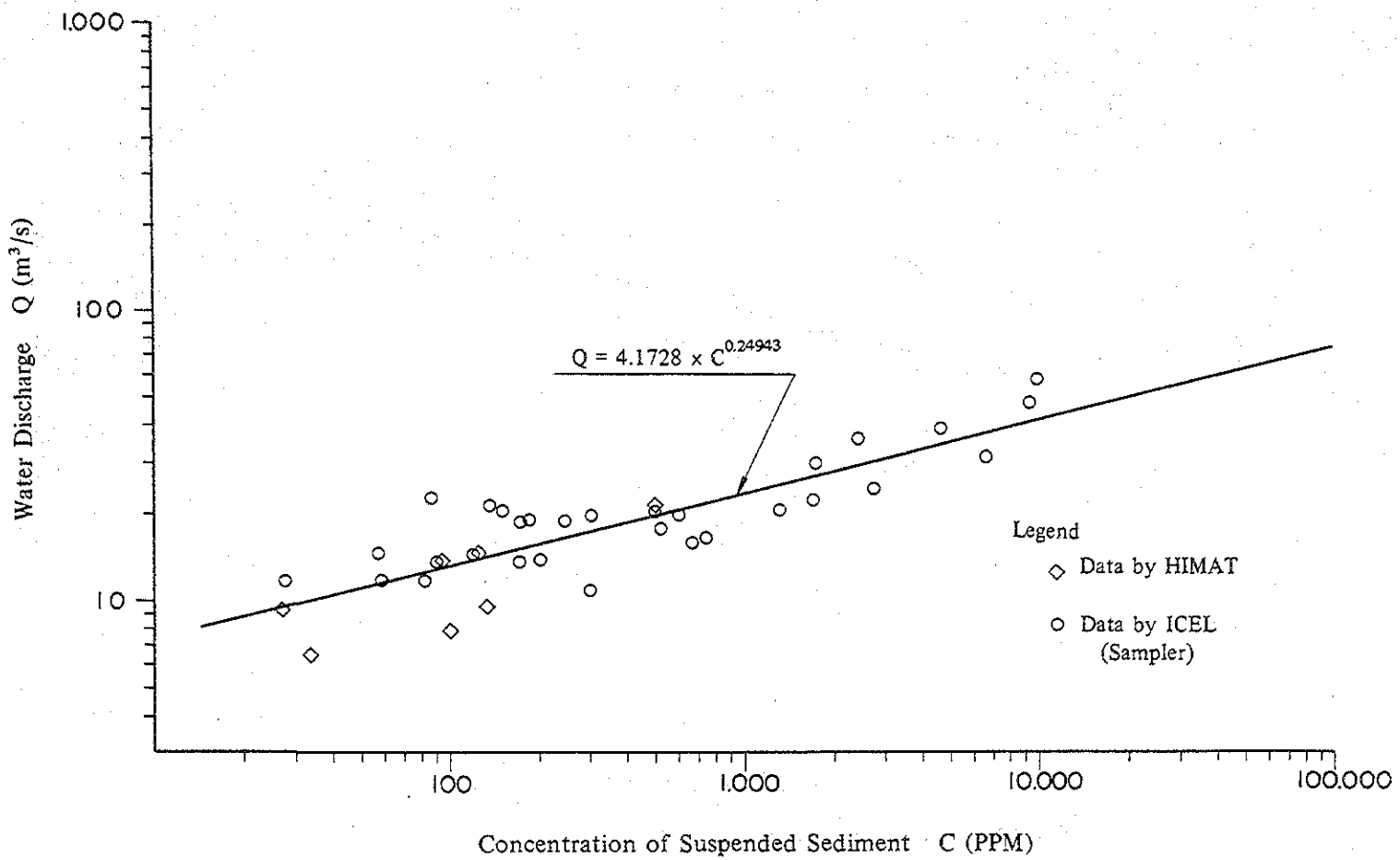


Fig. 8-15(3) Water Discharge vs. Concentration of Suspended Sediment

(Girardot Gauging Station)

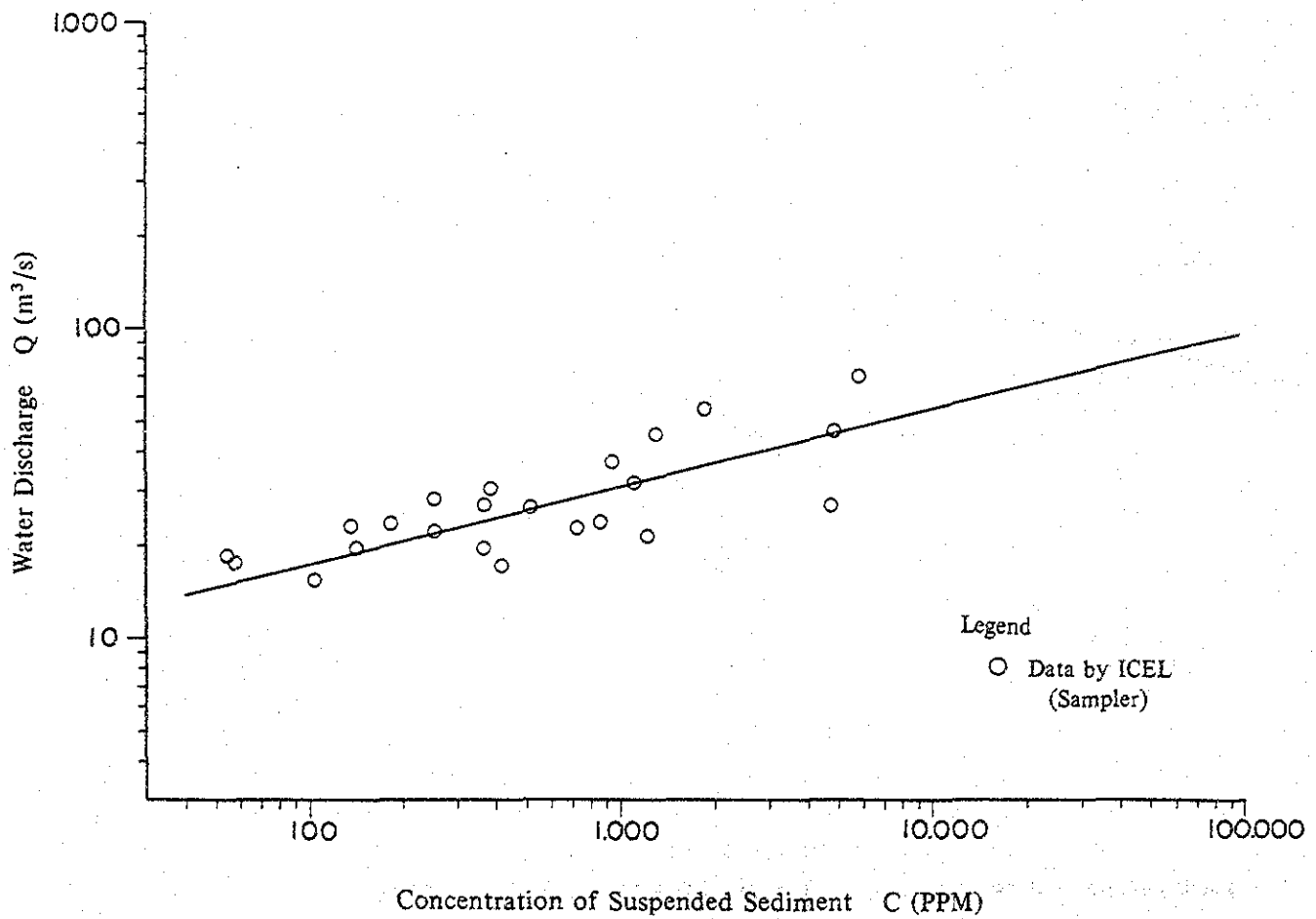


Fig. 8-15(4) Water Discharge vs. Concentration of Suspended Sediment

(El Piñon Gauging Station)

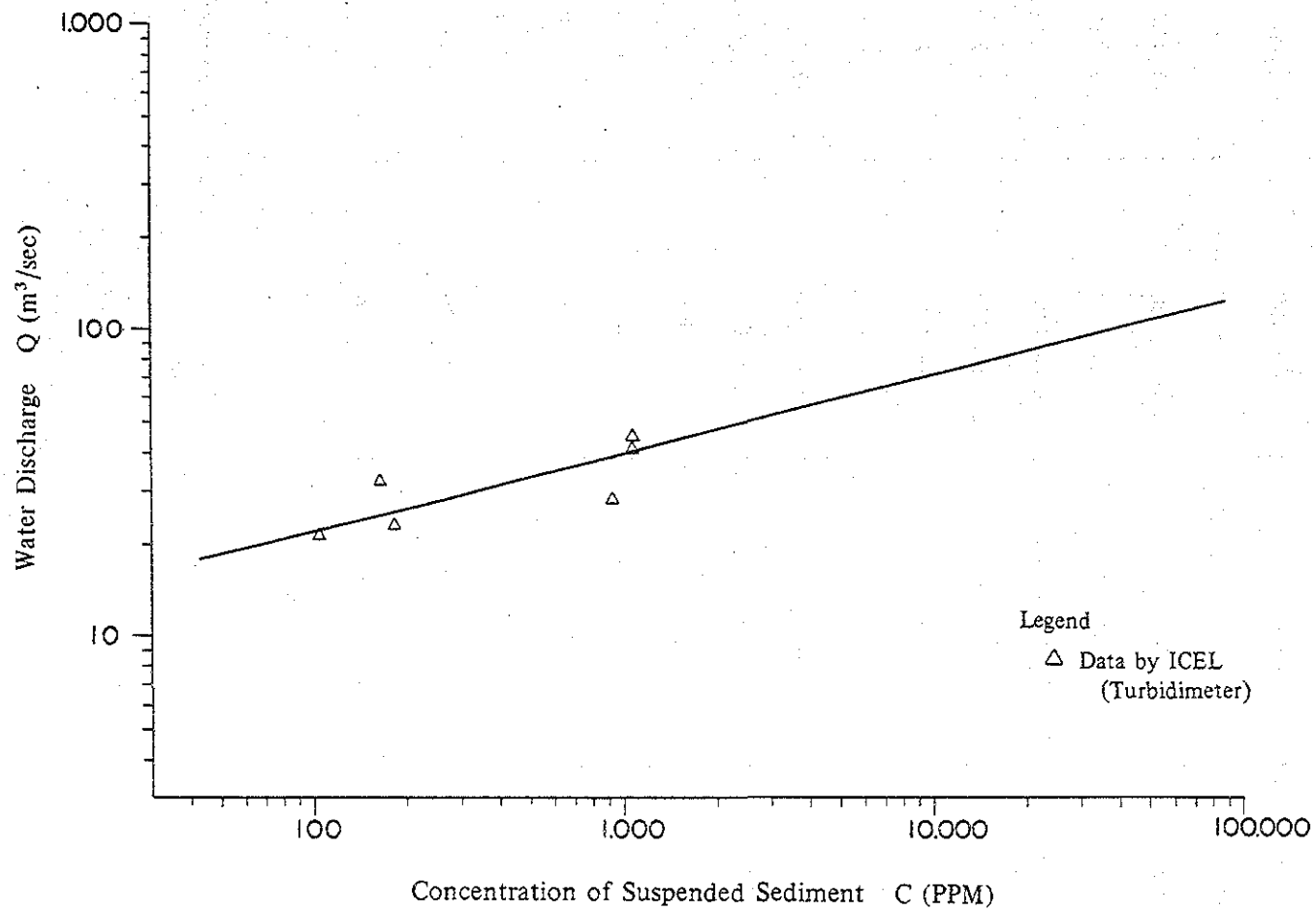


Table-8.7 Annual Inflow of Sedimentation

(Pte. Las Sanchez Ganging Station A = 226.9 km^2)

Year	Suspended Load	Bed Load	Total
1969	1,878,000	470,000	2,348,000
1970	3,234,000	809,000	4,043,000
1971	-	-	-
1972	3,309,000	827,000	4,136,000
1973	981,000	245,000	1,226,000
1974	1,097,000	274,000	1,371,000
1975	1,383,000	346,000	1,729,000
1976	497,000	124,000	621,000
1977	403,000	101,000	504,000
1978	1,849,000	462,000	2,311,000
1979	1,079,000	270,000	1,349,000
1980	312,000	78,000	390,000
1981	709,000	177,000	886,000
1982	272,000	68,000	340,000
1983	743,000	186,000	929,000
1984	2,096,000	524,000	2,620,000
Average	1,323,000	331,000	1,654,000

(Unit: ton/year)

Bed Load = 0.25 x Suspended Load

参 考 文 献

1) Instituto Colombiano de Energia Electrica : Aprovechamientos Hidroelectricos del Rio Atrato, Informe Final, Estudios Hidrologicos, 1985.

2) 土木学会：水理公式集、昭和60年版、1985、pp 163～164

3) World Meteorological Organization : Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation, WHO-No.332, Operational Hydrology, Report No.1, 1973.

4) Hydrological Survey of Iraq, Appendix B - Flood Potential, A Report by Harza Engineering Co. and Binnie & Partners. Prepared for the Government of Iraq Ministry of Agriculture, 1963.

5) 物部長穂：水理学（第一刷）、岩波書店、1983

6) Creager, Justin and Hinds : Engineering for Dams, Volume 1, John Wiley & Sons, Inc., 1950

7) Handbook of Applied Hydraulics.

8) Instituto Colombiano de Energia Electrica : Estudio de Prefactibilidad Tecnica de Los Aprovechamientos Hidroelectricos Rios Paez y La Plata, Contrato No.4257, *Volumen II Hidrologia.*

第９章　設備出力と年間発生電力量

第9章　設備出力と年間発生電力量

9．1　設　備　出　力 …… 9－1
9．2　年間発生電力量 …… 9－2

FIGURE LIST

		Page
Fig. 9–1	Annual and Monthly Energy Production in Average	9–3

TABLE LIST

Table–9.1	Firm Energy and Annual Total Energy in El Siete No.1 Power Station	9–4
Table–9.2	Firm Energy and Annual Total Energy in El Siete No.2 Power Station	9–5
Table–9.3	Average Energy Production (Average from 1969 to 1984)	9–6

第9章　設備出力と年間発生電力量

9.1 設　備　出　力

第8章、水文解析および第11章開発方式および開発規模の検討結果に基づき次の如く設備出力を決めた。

(1) El Siete No.1ダム地点では年平均流量23.0m³/s、最大流量54.3m³/s、年最少流量、10.4m³/sである。

El Siete No.2取水ダム地点での残流域からの流量は年平均流量3.7 m³/s、最大流量8.8m³/s、年最少流量1.7m³/sである。

(2) 各発電所での最大使用水量

El Siete No.1ダム地点での95%継続可能流量12.3m³/sの2倍の流量（50%負荷率の流量）25m³/sを基準に20m³/s～30m³/sの各ケースにつき、経済性検討を行った結果、25m³/sのケースがB－C、B／Cいずれの場合も最大となった。（第11章3.1参照）従って、El Siete No.1発電所の最大使用量は25m³/sと決定した。

El Siete No.2発電所では流入量の大部分がEl Siete No.1発電所での放流水である。したがってNo.1発電所の最大放流量25m³/sをそのままNo.2取水ダム堤内の導水管を通して受け、さらにNo.2取水ダムで残流域からの流入量を加えてNo.2発電所の最大使用水量とすることにした。残流域からの最大取水量は1m³/s、2m³/s、3m³/s、4m³/s、5m³/sの各ケースにつき経済性検討を行った結果、最大取水量を3m³/sとする場合が最も経済性が良いとの結果を得た。

(3) 有　効　落　差

El Siete No.1調整池の満水位1,450m、低水位1,440m（利用水深10m）から日間での水位変動を考慮し、利用水深の中間水位を基準取水位とすることにし、1,445mを基準水位とした。一方放水位は1,071mとした。損失落差は取水口、導水路トンネル、調圧水槽、および水圧管路で生じる摩擦ロス、曲りロス、漸縮、漸拡ロスおよびペルトン水車軸と放水位との余裕高3mを加算して21mとした。したがってNo.1発電所の有効落差は総落差374mから損失落差21mを差引き、353mとした。

El Siete No.2発電所の基準取水位は、No.2取水ダムに付帯して設けた沈砂池終端部の水位1,068.5mとした。損失落差は導水路トンネル、調圧水槽トンネル

部および水圧管路における摩擦ロス、曲り、ロス、漸縮、漸拡ロスを加算して24mとした。

一方放水位はAtrato川本流のNo.2発電所の放水口地点での水位流量曲線から発電に使用した最大放水量28m³/sに残流域からの平均流量を加算した流量の水位を求め、放水位を687mとした。

したがってNo.2発電所の有効落差は総落差381.5mから損失落差を差引き357.5mとした。

9.2 年間発生電力量

(1) 年間発生電力量の算定

El Siete No.1およびNo.2発電所は日間調整式の能力をもつ発電所であり、発生電力量の算定は日単位で日流入量について算定する必要がある。したがって、日流入量は第8章水文解析で求めた流量を適用した。

また、計算年数は1969年から1984年までの15年間とし、日単位で電力量を算定し、それを加算して年別の年間発生電力量を算定することにした。

電力量算定に適用した有効落差はEl Siete No.1およびNo.2発電所各々353mおよび357.5mである。

また、発電係数は両発電所とも日間調整により最大出力運転を継続して行うと言う条件で最大出力時の係数を適用した。

以上の基本条件をもとに月別および年間発生電力量を算定した結果は Table-9.1および Table-9.2に示した通りである。

(2) 保証（ファーム）電力量および2次電力量の算定

両発電所とも、日間調整式の開発であり、その保証流量は第8章水文解析で求めた各測水所での流況曲線から求められるものとし、計画地点の95%年間継続可能流量とした。

El Siete No.1およびNo.2発電所の保証流量は各々12.3m³/sおよび14.3m³/sである。保証電力量はこの保証流量で発生できる電力量であり、算定結果は Table-9.1および Table-9.2 に示した通りである。

(3) 計画に適用する年間発生電力量

Table-9.1およびTable-9.2に示した1969年から1984年までの15ケ年間の発生電力

量の算定結果をみると、年間発生電力量の最大は1975年で、No.1発電所で579.6GWh/年、No.2発電所で665.9GWh/年、年間合計1,245.5GWh/年であり、一方最少は1977年で、No.1発電所で456.9GWh/年、No.2発電所で530.6GWh/年、年間合計987.5GWh/年である。他方、15ケ年間の平均値をみるとNo.1発電所で508.0GWh/年、No.2発電所で588.3GWh/年、合計1,096.3GWh/年である。この結果からみると平均値に対して最大値は14%増、最少は10%減であることを示している。この程度の豊水、渇水年の変動巾は多くの河川の例からみて、少ない方であり、計画に適用する発生電力量は平均値を使用するのが妥当である。

したがって、計画適用した発生電力量は以下の Table-9.3および Fig.9-1に示す通りである。

Fig. 9-1 Annual and Monthly Energy Production in Average

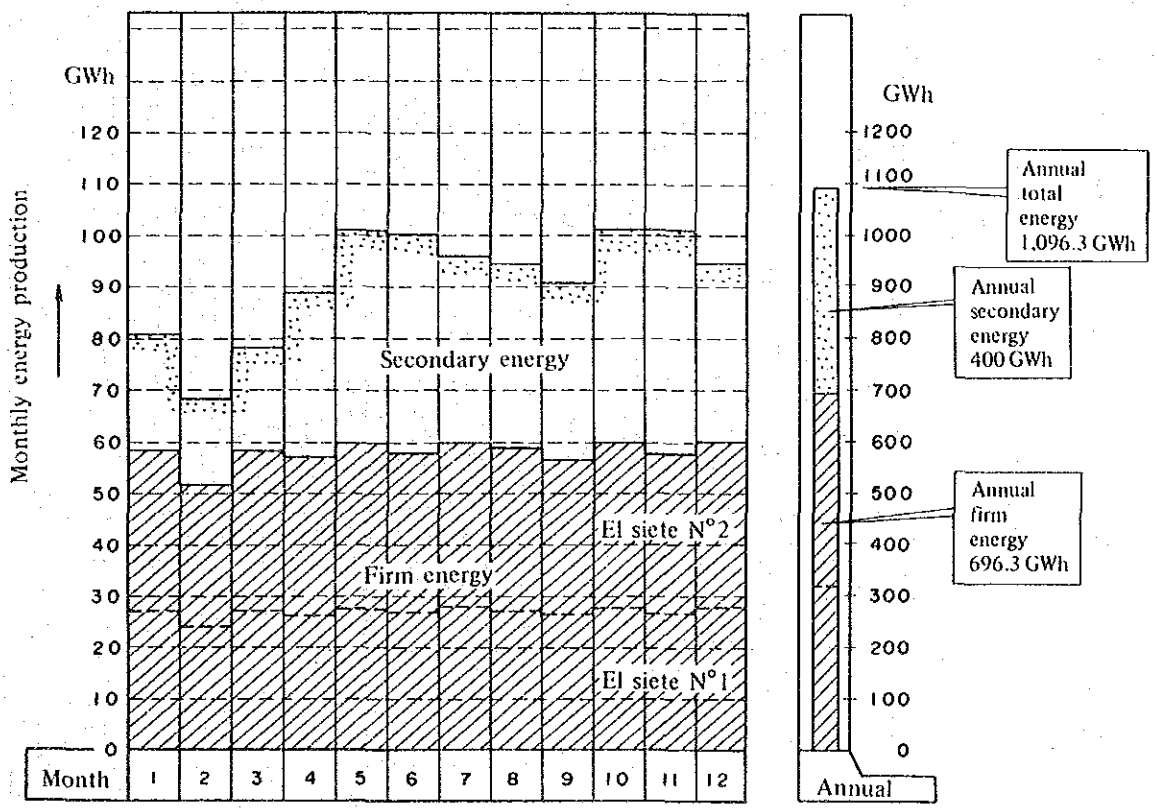


Table-9.1 Firm Energy and Annual Total Energy in El Siete No.1 Power Station

Unit : GWh

Month	Year	1 1969	2 1970	1971	3 1972	4 1973	5 1974	6 1975	7 1976	8 1977	9 1978	10 1979	11 1980	12 1981	13 1982	14 1983	15 1984	Average GWh	Average MW	P/F	Remarks
1	Firm	27.2	27.5		27.5	26.6	27.5	27.5	27.4	26.9	27.4	26.2	27.5	26.7	27.4	22.7	27.4	26.9	36.2	0.48	P/F: plant utility factor
	Total	38.2	47.9	-	48.5	29.9	45.5	39.1	43.3	28.1	31.8	28.1	38.5	29.5	38.9	19.5	37.0	31.5	42.3	0.56	
2	Firm	24.7	24.8	-	25.7	23.9	24.8	24.8	25.7	22.2	23.1	18.9	25.7	23.1	24.8	19.5	25.7	23.8	35.4	0.47	
	Total	32.6	29.7	-	42.6	32.3	45.0	43.2	31.0	22.2	23.5	18.9	31.4	23.9	38.9	19.5	37.0	31.5	46.9	0.63	
3	Firm	27.5	27.3	-	27.5	27.5	27.4	27.5	27.4	22.4	25.6	25.8	25.6	27.2	27.5	26.3	27.5	26.7	35.9	0.48	
	Total	40.7	41.3	-	39.7	47.2	46.3	43.1	37.6	22.4	28.6	28.0	26.5	33.6	36.8	32.7	38.1	36.2	48.7	0.65	
4	Firm	26.6	26.6	-	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	23.1	26.6	26.5	25.7	26.5	26.6	26.6	26.5	26.3	36.5	0.49	
	Total	49.0	46.3	-	48.1	50.6	44.9	48.4	40.4	25.2	41.8	35.4	30.6	36.6	43.8	47.5	34.4	41.5	57.6	0.77	
5	Firm	27.5	27.5	-	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	37.0	0.49	
	Total	46.3	50.2	-	51.9	50.6	44.8	50.0	42.4	43.8	53.1	46.8	46.2	41.1	47.7	49.8	40.9	47.0	63.2	0.84	
6	Firm	26.6	26.6	-	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	36.9	0.49	
	Total	44.1	50.8	-	49.6	45.3	47.0	48.5	48.0	43.3	43.8	51.1	48.7	44.8	44.1	43.7	49.8	46.8	65.0	0.87	
7	Firm	26.7	27.5	-	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.4	27.5	27.5	27.4	36.8	0.49	
	Total	31.1	46.9	-	48.5	45.5	48.5	50.7	41.1	42.9	38.2	48.1	37.9	40.3	43.3	49.1	53.6	44.4	59.7	0.80	
8	Firm	27.5	27.5	-	27.5	27.5	27.5	27.5	24.9	27.5	26.2	27.5	27.5	27.4	27.2	27.5	27.5	27.2	36.6	0.49	
	Total	44.5	51.4	-	52.1	47.5	46.9	52.2	26.7	47.0	28.1	42.8	44.8	36.0	37.4	50.3	48.0	43.7	58.7	0.78	
9	Firm	26.6	26.6	-	26.6	26.6	26.6	26.6	21.4	26.6	26.6	26.6	25.6	26.6	26.4	26.6	26.6	26.1	36.2	0.48	
	Total	46.0	47.5	-	49.4	50.6	48.8	50.7	22.5	34.9	36.0	47.3	28.5	35.5	35.1	49.2	49.3	42.1	58.5	0.77	
10	Firm	27.5	27.5	-	27.5	27.5	27.5	27.5	27.3	27.5	27.5	27.5	27.5	27.4	27.5	27.5	27.5	27.4	36.8	0.49	
	Total	47.9	51.9	-	47.9	51.5	48.8	52.8	41.6	52.3	46.7	46.3	41.3	39.1	39.8	51.0	44.4	46.9	63.0	0.84	
11	Firm	26.6	26.6	-	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	36.9	0.49	
	Total	44.4	48.4	-	47.6	50.1	46.9	49.7	44.9	51.1	48.0	52.7	41.2	50.9	35.7	48.1	44.1	46.9	65.1	0.86	
12	Firm	27.5	27.5	-	27.5	27.5	27.4	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.0	27.5	27.5	27.4	36.8	0.49	
	Total	42.2	51.7	-	39.8	47.4	35.8	51.2	37.9	43.4	44.7	46.9	42.6	49.2	29.3	48.1	46.4	43.8	58.9	0.78	
Annual	F	322.2	323.1	-	324.2	321.6	323.2	323.3	316.2	311.7	318.4	314.4	320.5	320.4	322.3	312.1	324.1	319.8	36.5	0.49	
	T	507.2	563.9	-	565.6	548.3	549.3	579.6	457.6	456.9	464.3	492.5	458.2	460.5	472.5	511.7	523.4	508.0	58.0	0.77	
Average	F	26.9	26.9	-	27.0	26.8	26.9	26.9	26.3	26.0	26.5	26.2	26.7	26.7	26.9	26.0	27.0	-			
	T	42.3	47.0	-	47.1	45.7	45.8	48.3	38.1	38.1	38.7	41.0	38.2	38.4	39.4	42.6	44.4	-			

Table-9.2 Firm Energy and Annual Total Energy in El Siete No.2 Power Station

Unit : GWh

Month	Year	1 1969	2 1970	1971	3 1972	4 1973	5 1974	6 1975	7 1976	8 1977	9 1978	10 1979	11 1980	12 1981	13 1982	14 1983	15 1984	Average GWh	Average MW	P/F	Remarks
1	Firm	32.0	32.3	-	32.3	31.4	32.3	32.3	32.3	31.7	32.2	30.9	32.3	31.4	32.2	26.8	32.3	31.7	42.6	0.37	P/F: plant utility factor
	Total	44.7	55.3	-	55.9	35.2	52.6	45.7	50.4	33.1	37.5	33.1	45.2	34.8	47.1	26.8	53.6	43.4	58.3	0.51	
2	Firm	29.1	29.2	-	30.2	28.1	29.2	29.2	30.2	26.1	27.2	22.2	30.2	27.2	29.2	22.9	30.2	28.0	41.7	0.33	
	Total	38.4	34.9	-	49.1	37.8	51.7	49.9	36.5	26.2	27.7	22.2	36.9	28.1	45.4	22.9	43.4	36.7	51.0	0.43	
3	Firm	32.3	32.1	-	32.3	32.3	32.3	32.3	32.2	26.4	30.2	30.4	30.2	32.0	32.3	31.0	32.3	31.4	42.2	0.37	
	Total	47.4	47.9	-	46.3	54.5	53.5	50.2	44.1	26.7	33.6	32.9	31.2	39.5	43.3	38.2	44.7	42.3	56.8	0.50	
4	Firm	31.3	31.3	-	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	27.2	31.3	31.1	30.3	31.2	31.3	31.3	31.2	30.9	42.9	0.36	
	Total	56.2	53.3	-	55.3	57.8	51.9	55.6	47.0	29.7	48.9	41.5	36.0	42.8	50.7	54.6	40.5	48.1	66.8	0.57	
5	Firm	32.3	32.3	-	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	43.4	0.38	
	Total	53.6	57.7	-	59.2	58.0	52.1	57.4	49.6	50.7	60.5	54.2	53.6	48.0	55.1	57.2	47.8	54.3	73.0	0.64	
6	Firm	31.3	31.3	-	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	43.4	0.37	
	Total	51.0	58.0	-	56.8	52.5	54.1	55.7	55.1	50.4	50.8	58.3	55.8	51.9	51.0	50.7	57.0	53.9	74.9	0.63	
7	Firm	31.5	32.3	-	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	43.4	0.38	
	Total	36.6	54.2	-	55.9	52.6	56.0	58.2	47.9	50.0	44.8	55.4	44.5	47.1	50.2	56.4	61.0	51.4	69.1	0.60	
8	Firm	32.3	32.3	-	32.3	32.3	32.3	32.3	29.3	32.3	30.8	32.3	32.3	32.3	32.0	32.3	32.3	32.0	43.0	0.38	
	Total	51.7	58.9	-	59.6	54.8	54.1	59.6	31.5	54.3	33.0	49.9	52.0	42.3	43.7	57.7	55.4	50.6	68.0	0.59	
9	Firm	31.3	31.3	-	31.3	31.3	31.3	31.3	25.2	31.3	31.3	31.3	30.1	31.3	31.1	31.3	31.3	30.8	42.8	0.36	
	Total	53.1	54.7	-	56.6	57.8	56.0	57.9	26.5	41.0	42.2	54.5	33.6	41.7	41.0	56.4	56.5	48.6	67.5	0.57	
10	Firm	32.3	32.3	-	32.3	32.3	32.3	32.3	32.1	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	43.4	0.38	
	Total	55.3	59.3	-	55.3	58.9	56.2	60.3	48.5	59.7	54.1	53.7	48.2	45.6	46.7	58.5	51.7	54.1	72.8	0.64	
11	Firm	31.3	31.3	-	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	43.4	0.37	
	Total	51.5	55.5	-	54.8	57.3	54.1	56.8	52.0	58.3	55.1	60.0	48.2	58.1	41.8	55.3	51.2	54.0	75.0	0.64	
12	Firm	32.3	32.3	-	32.3	32.3	32.2	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	31.8	32.3	32.3	32.3	43.4	0.38	
	Total	49.1	59.1	-	46.6	54.7	41.8	58.6	44.6	50.6	51.8	54.3	49.9	56.6	34.5	55.5	53.5	50.8	68.2	0.60	
Annual	F	379.3	380.3	-	387.6	378.5	380.5	380.6	372.2	366.9	374.9	370.1	377.3	377.1	379.4	367.4	382.5	376.6	43.0	0.51	
	T	588.5	648.8	-	651.3	631.8	634.1	665.9	533.8	530.6	540.2	570.1	535.0	536.4	550.5	590.3	616.4	588.3	67.2	0.79	
Average	F	31.6	31.7	-	31.8	31.5	31.7	31.7	31.0	30.6	31.2	30.8	31.4	31.4	31.6	30.6	31.9	31.4			
	T	49.0	54.1	-	54.3	52.7	52.8	55.5	44.5	44.2	45.0	47.5	44.6	44.7	45.9	49.2	51.4	49.0			

Table-9.3 Average Energy Production (Average from 1969 to 1984)

Unit : GWh

Month	El Siete No.1			El Siete No.2			Total		
	Firm E	Second E	Total E	Firm E	Second E	Total E	Firm E	Second E	Total E
1	26.9	10.3	37.2	31.7	11.7	43.4	58.6	22.0	80.6
2	23.8	7.7	31.5	28.0	8.8	36.8	51.8	16.5	68.3
3	26.7	9.5	36.2	31.4	10.9	42.3	58.1	20.4	78.5
4	26.3	15.2	41.5	30.9	17.2	48.1	57.2	32.4	89.6
5	27.5	19.5	47.0	32.3	22.0	54.3	59.8	41.5	101.3
6	26.6	20.2	46.8	31.2	22.7	53.9	57.8	42.9	100.7
7	27.4	17.0	44.4	32.3	19.1	51.4	59.7	36.1	95.8
8	27.2	16.5	43.7	32.0	18.6	50.6	59.2	35.1	94.3
9	26.1	16.0	42.1	30.8	17.8	48.6	56.9	33.8	90.7
10	27.4	19.5	46.9	32.3	21.8	54.1	59.7	41.3	101.0
11	26.5	20.4	46.9	31.3	22.7	54.0	57.8	43.1	100.9
12	27.4	16.4	43.8	32.3	18.5	50.8	59.7	34.9	94.6
Ann.	319.8	188.2	508.0	376.5	211.8	588.3	696.3	400.0	1,096.3

第10章　地　　質

第１０章　地　　質

10.1　調 査 工 事 ……10－1

10.2　計画地域の地形・地質 ……10－3

10.2.1　地　　形 ……10－3

10.2.2　地　　質 ……10－3

10.3　El Siete No.1計画地点の地質 ……10－8

10.3.1　El Siete No.1調整池地域 ……10－8

10.3.2　El Siete No.1ダム地点 ……10－10

10.3.3　El Siete No.1補助ダム地点……10－17

10.3.4　El Siete No.1導水路トンネル経過地 ……10－19

10.3.5　El Siete No.1補助連絡トンネル経過地 ……10－21

10.3.6　El Siete No.1調圧水槽、水圧管路、発電所および放水路地点 ……10－23

10.4　El Siete No.2計画地点の地質 ……10－26

10.4.1　El Siete No.2取水ダム地点 ……10－26

10.4.2　El Siete No.2導水路トンネル経過地 ……10－29

10.4.3　El Siete No.2調圧水槽、水圧管路および発電所地点 ……10－32

10.5　コンクリート骨材 ……10－36

10.6　地 震 解 析 ……10－41

10.6.1　地震データ ……10－41

10.6.2　減衰モデル ……10－41

10.6.3　最大加速度の統計解析 ……10－42

10.7　結論及び勧告 ……10－54

10.7.1　結　　論 ……10－54

10.7.2　勧　　告 ……10－56

FIGURE LIST

		Page
Fig. 10–1	Contour Diagram of Joints in El Siete No.1 Damsite	10–11
Fig. 10–2	Contour Diagram of Joints in El Siete No.1 Waterway Alignment	10–20
Fig. 10–3	Contour Diagram of Joints in El Siete No.2 Waterway Alignment	10–31
Fig. 10–4	Seismicity of All Data in 1929 – 1981	10–43
Fig. 10–5	Distribution of Focul Depth $50 \leqq D < 100$ km ($M \geqq 5$) in 1929 – 1981	10–43
Fig. 10–6	Distribution of Focul Depth $100 \leqq D < 150$ km ($M \geqq 5$) in 1929 –1981	10–44
Fig. 10–7	Distribution of Focul Depth $150 \leqq D < 200$ km ($M \geqq 5$) in 1929 – 1981	10–44
Fig. 10–8	Distribution of Focul Depth $D \geqq 200$ km ($M \geqq 5$) in 1929 – 1981	10–45
Fig. 10–9	Seismicity of Magnitude $5 \leqq M < 6$ in 1929 – 1981	10–45
Fig. 10–10	Seismicity of Magnitude $6 \leqq M < 7$ in 1929 – 1981	10–46
Fig. 10–11	Seismicity of Magnitude $7 \leqq M < 8$ in 1929 – 1981	10–46
Fig. 10–12	Maximum Acceleration [Oliveira, C Eq.(1)]	10–47
Fig. 10–13	Maximum Acceleration [McGuire, R.K. Eq.(2)]	10–47
Fig. 10–14	Maximum Acceleration [Esteva, L. & Rosenblueth, E. Eq.(3)]	10–48
Fig. 10–15	Maximum Acceleration [Katayama, T. Eq.(4)]	10–48
Fig. 10–16	Maximum Acceleration [Okamoto, S. Eq.(5)]	10–49

TABLE LIST

		Page
Table–10.1	Geological Investigation Works Up to Date	10–2
Table–10.2	Geologic Sequence of Project Area	10–5
Table–10.3	Physical Properties of Drilled Cores	10–12
Table–10.4	Lugeon Value of Bedrock at El Siete No.1 Damsite	10–14
Table–10.5	Velocity Layers of Seismic Wave in Project Area (Seismic Refraction Method)	10–15
Table–10.6	N-Value in Drillholes at No.2 Penstock Site	10–34
Table–10.7	Resistivity Layers in Project Area	10–35
Table–10.8	Gradation of Concrete Aggregate	10–37
Table–10.9	Physical Properties of Basalt in Quarry Site	10–40
Table–10.10	Number of Earthquakes in a year during the period from 1929 to 1981	10–50
Table–10.11	Distribution of Magnitude and Epicentral Distance of the Seismicity Data	10–51
Table–10.12	Maximum Accelerations during a year from 1929 to 1981	10–52
Table–10.13	Maximum Accelerations for Three Return Periods (gal)	10–53
Table–10.14	Proposed Additional Subsurface Investigation Works	10–57

第１０章　地　　質

１０.１　調　査　工　事

El Siete No.１及びNo.２計画地点の調査工事は「アトラート河水力発電開発計画マスタープラン報告書1982年３月国際協力事業団」の勧告およびＪＩＣＡ調査団による５度にわたる調査工事技術協力により、コロンビア電力公社（ＩＣＥＬ）によって1983年11月から1985年４月の間に実施された。

ＩＣＥＬが実施した調査工事はTable-10.1に示す様にボーリング、トレンチ、立坑による地下調査と物理探査の他、地表地質踏査等を含んでおり、これらの調査結果は下記の報告書に収録されている。

- "Aprovechamientos Hidroelectricos del Rio Atrato, Informe Final, Estudios Geologicos; Abril 1985, ICEL"
- "Aprovechamientos Hidroelectricos del Rio Atrato, Informe Final, Estudios Geotecnicos Tomo 1; Abril 1985, ICEL"
- "Aprovechamientos Hidroelectricos del Rio Atrato, Informe Final, Estudios Geotecnicos Tomo 2; Abril 1985, ICEL"
- "Aprovechamientos del Rio Atrato, Informe Final, Estudios Sismologicos, Abril 1985, ICEL"

ＪＩＣＡ調査団により、フィジビリティスタディの一環として1983年11月から1985年２月の間三度にわたり（通算約１カ月間）、縮尺約１／25,000の概略地形図（ＪＩＣＡ1981年図化）を用いた計画地域全域の地質踏査と縮尺１／1,000 地形図、部分的には約１／2,000 縮尺の航空写真を利用した主要計画地点の地質踏査（Geological Reconnaissances)が実施された。更に東京では計画地域の航空写真判読を実施した他にボーリングコアと岩石試料の物理的試験、Ｘ線分析と顕微鏡観察が実施された。

本報告書の地質に関する全てのスタディは以上述べた各種の工事、現地踏査、日本での航空写真判読、室内試験ならびに解析作業などの諸結果に基づいて実施された。

Table-10.1 Geological Investigation Works Up to Date

Project	Locality	Drillhole				Trench and Pit	Seismic Prospecting	Vertical Electrical Sounding	Remarks
		Number of Drillholes (Total Length)	Standard Penetration Test (Total Times)	Water Pressure Test (Total Sections)	Monitor by Piezometer	Number of Trenches or Pits (Total Length)	Number of Lines (Total Length)	Number of Measuring Points	
EL SIETE NO. 1	Auxiliary Damsite	-	-	-	-	3 trenches (37.15 m)	-	-	0.9 km upstream of El Siete No. 1 Damsite.
	Damsite	9 holes (310.39 m)	7 holes (59 times)	9 holes (70 sections)	5 holes	13 trenches (95.02 m) 3 pits (3.5 m)	1 line with 2 spreads (220 m) *	-	* Right bank of Damsite. Dwg.-08 shows locality of Investigation works at Damsite.
	Penstock and Powerhouse Sites	-	-	-	-	16 trenches (173.43 m) 2 pits (3.65 m)	3 lines with 7 spreads (770 m)	3 points	
	Sub-total	9 holes (310.39 m)	7 holes (59 times)	9 holes (70 sections)	5 holes	32 trenches (305.6 m) 5 pits (7.15 m)	4 lines (990 m)	3 points	Dwg.-06 shows locality of vertical electrical soundings.
EL SIETE NO. 2	Intake Damsite and Intake Tunnel Site	2 holes (79.4 m)	1 hole (5 times)	-	1 hole	-	4 lines with 12 spreads (1310 m)	-	
	Penstock and Powerhouse Sites	2 holes (68.68 m)	2 holes (18 times)	2 holes (7 sections)	2 holes	5 trenches (70.95 m)		3 points	
	Sub-total	4 holes (148.08 m)	3 holes (23 times)	2 holes (7 sections)	3 holes	5 trenches (70.95 m)	4 lines (1310 m)	3 points	
No.1 and No.2	Borrow Area for Concreat Aggregate	-	-	-	-	1 trench (6.2 m) 14 pits (20.05 m)	-	-	Puente de Sanchez and Quebrada La Borasca. Borrow area
No.1	Borrow Area for Earth Material	-	-	-	-	11 trenches (145.25 m)	-	2 points	Terraza de Sanchez. Borrow area
Total		13 holes (458.47 m)	10 holes (82 times)	11 holes (77 sections)	8 holes	49 trenches (528.00 m) 19 pits (27.20 m)	8 lines (2300 m)	8 points	

10.2 計画地域の地形・地質

10.2.1 地　形

コロンビア国の東半分は標高100～200mの平原となっているのに対し、西半分は標高3,000 ～ 5,000mの南北に延びる三条のアンデス山脈よりなる。三条のアンデス山脈は東から西に向かってそれぞれ東部山脈（Cordillera Oriental)、中央山脈（Cordillera Central）、西部山脈（Cordillera Occidental)と呼ばれている（Dwg.－01参照）。更に、この西部山脈と太平洋海岸の間には標高1000m以下の山地（北部はSerrania de Los Saltos、南部はSerrania de Baudo と呼ばれる）がほぼ南北に延びており、Atrato川の中、下流部はその間の低地を北流してカリブ海に注いでいる。

Atrato川の源は上記の西部山脈の西側斜面にあり、Atrato川は始めこの急斜面を南ないし西南に流下し標高約35mのQuibdo市に至る。Atrato川はQuibdo市付近で大きく流路方向を変化させ、そこよりカリブ海まで約 300km間を北流する。

El Siete No.1及びNo.2計画地点は標高1500～ 600mのAtrato川最上流部地域に位置する。 El Siete No.1計画地点はAtrato川が局部的に西流から南流に変化する屈曲部の河床標高1460m～1050mに、また、 El Siete No.2計画はNo.1計画の下流側で、Atrato川がほぼ南流する部分の河床標高1100m～700 mの間に位置している。Atrato川は上記のNo.2計画ダム地点の下流約17kmでその左岸からの比較的大きな支川 Rio Grande を合流する。この合流点はQuibdo市より約 100km上流に相当している。

両計画地内のAtrato川は各所で比高50～100 mのV字谷を形成している。V字谷以外の比較的谷幅の広い部分ではところによって平坦面が形成されている。その平坦面の一部は段丘であり、他は後述するように泥流によって形成されたものである。

これまでの現地踏査および航空写真判読によると、両計画地域内には大規模な地辷り地形は認められていないが、いたるところに小崩壊地が認められる。

本計画地域は、Atrato川の一部およびその支川には数多くの懸谷が存在していることから考えて、地形的にみて、全体に侵食営力の激しい地域と言うことができよう。

10.2.2 地　質

コロンビア国はGuayana 楯状地の西北縁沿いに位置するため、この国の東半分は楯状地の影響により、安定した単純な地質構造を示すが、西半分はこれとは対照的に複雑な

南北方向に延びる褶曲山地（Fold mountains）よりなっており、これらの地質構造は地形にも反映されている。

計画地域の位置する Cordillera Occidentalの西斜面のAtrato川流域にはDwg.－05に示すように白亜紀後期の堆積岩と火山岩よりなるＫＳＶ層、火山岩と貫入岩よりなるＫＶ層および第三紀にそれらに貫入した閃緑岩（Ｔｄ層）が南北方向に帯状をなして分布している。計画地域下流のQuibdo市付近ではこれらの地層を不整合に被覆してPliocene～Oligocene の海成堆積物よりなるTs_s層が分布する。

(1) 計画地域の層序および岩質

El Siete No.1及びNo.2計画地点の基盤を成す地層は前述のうちのＫＳＶ層とＴｄ層である。この基盤を不整合に覆って第四紀の泥流堆積物、段丘堆積物、Slopewash、河川堆積物が分布する。また、本報告書では基盤のＫＳＶ層の岩相の特徴から下位よりK_{1A}、K_{1B}、K_{2A}、K_{2B}、K_3の５つの地層に区分した。

これらの層序および岩質の特徴はTable-10.2に示すがそれらを要約すると、次の通りである。

1) K_{1A} 層（白亜紀上部）

本層は EL Siete No.1補助ダム上流のAtrato川流域すなわち、No.1計画の集水域に広く分布し、本計画地点の基盤を構成する地層の最下部に相当すると推定される地層である。

本層は層厚10～50cmの暗灰色で堅硬な砂岩と層厚３～10cmの黒色ないし暗灰色でやや剥離性のある頁岩の互層よりなる。

本層の分布地域では侵食の著しい現河川や沢沿いを除き、その表層部は風化が著しく山腹には風化部の小崩壊が多く認められる。

2) K_{1B} 層（白亜紀上部）

本層はK_{1A} 層から漸移する地層で石灰質な地層を挟在することを特徴し、El SieteNo.1補助ダム基礎から下流No.1ダム調整池にかけて分布する。

本層は下部では層厚２～３cmの灰色ないし黒色の頁岩と層厚５～10cmの灰色石灰質頁岩の互層よりなり、上部に向かうに従って層厚２～10cmの黒色チャートに漸移し、さらに層厚５～40cmの黒色チャートまたは頁岩と層厚５～30cmの灰色ないし、灰白色石灰岩の互層に漸移する。チャートおよび石灰岩は堅硬である。

Table-10.2 Geologic Sequence of Project Area

Era	Period	Stratigraphic Unit			Rock Type	Characteristic	Main Distribution
Cenozoic	Quaternary	Quaternary System			River deposit	Unconsolidated deposit consists of gravel, sand and silt.	Along the Atrato River
					Slopewash	Unconsolidated deposit consists of rock fragments and silt.	On slope in whole area
					Terrace deposit	Unconsolidated deposit consists of gravel, sand and silt.	Both banks of main river
					Mudflow deposit	Unconsolidated, but compact deposit consists of basaltic fragements with silty matrix, poorly sorted.	Flat area on hillsides along the Atrato River
	Tertiary	Td	Intrusive rock Intrusion		Diorite	Medium-to coarse-grained, massive, hard and compact. Granodioritic in part.	El Siete No.2 penstock area
Mesozoic	Upper Cretaceous	KSV Formation	K_3		Diabase (With amphybolite, in local)	Dark green colored, hard but somewhat cracky.	El siete No.2 waterway route
			K_2	K_{2B}	Alternation of Sandstone, shale and conglomerate (With basaltic rock, in local)	Mainly alternation of sandstone and shale with frequent intercalations of basaltic rock.	El Siete No.1 penstock and powerhouse
				K_{2A}	Basalt (With basaltic pyroclastic rocks)	Black to purplish grey colored basalt, massive and hard with occasional intercalations of basaltic tuff breccia.	El Siete No.1 damsite and No.1 headrace tunnel route
			K_1	K_{1B}	Alternation of chert and limestone and/or calcareous shale	Beds of chert and limestone are 3 to 10 cm thick, intensly folded. No karstic phenomena.	El Siete No.1 reservoir area
				K_{1A}	Alternation of sandstone and shale	Bed of sandstone is 10 to 50 cm thick and bed of shale is 5 to 30 cm thick. Sandstone is hard but shale is somewhat brittle.	Upstream of El Siete No.1 auxiliary damsite

チャートと石灰岩の互層は波長約10～30mで等斜褶曲状に褶曲しているのが特徴的である。

また、これら石灰質岩石と非石灰岩質岩石の互層が分布する地域にカルスト化現象は認められない。

3) K_{2A} 層（白亜紀上部）

本層はEl Siete No.1ダム基礎からその下流約 2.5kmまで分布し、K_{1B} 層とは整合関係であると推定される。

本層は玄武岩および玄武岩質砕屑岩よりなるが、一部に安山岩質の部分も認められる。玄武岩は紫灰ないし暗灰色を呈す塊状で堅硬な岩石であり、岩石学的には、細粒ないし粗粒の普通輝石玄武岩に分類される。また、この玄武岩は所々に堅硬、塊状な同質の角礫凝灰岩または自破砕熔岩層を挾在している。

玄武岩質砕屑岩は玄武岩質凝灰岩の基質中に直径３～10cmの亜円礫ないし角礫を含む暗灰色、塊状、堅硬な部分や、より細粒な礫を含む部分からなる。

4) K_{2B} 層（白亜紀上部）

本層は El Siete No.1導水路の下流からNo.1発電所を経て、El Siete No.2取水ダムまでに分布し、下位のK_{2A} 層とは漸移関係にある。

本層は層厚２～20cmの堅硬な灰色砂岩と層厚 0.5～３cmのやや脆い黒色頁岩の互層が主体で無層理で堅硬な礫岩を挾在し、場所により塊状で堅硬な玄武岩または玄武岩質砕屑岩の厚層を、また、まれに節理の発達して堅硬な輝緑岩を挾在する。

5) K_3層（白亜紀上部）

本層は El Siete No.1導水路の上流部に分布しており、K_{2B} 層とは整合または断層関係で接している。

本層は主として緑灰色を呈した輝緑岩よりなるが閃緑岩との接触部付近には中粒で片状を呈する角閃岩に変成したり、ミロナイト化した部分が存在する。輝緑岩は節理が発達する堅硬な岩石であり、角閃岩やミロナイトとなっている個所はやや脆くなっている。

6) 貫入岩 Td（第三紀）

本岩はK_3層に貫入した閃緑岩で El Siete No.2計画導水路の下流部から El Siete No.2発電所地点にかけて分布している。

この閃緑岩は岩石学的には角閃石黒雲母花崗閃緑岩に区分され、新鮮部は一般に

塊状、堅硬であるが、本計画地点の表層の岩盤は風化のため砕け易く、崩れ易くなっている。

7) 第四紀堆積物

a. 泥流堆積物 (Mudflow deposit)

本堆積物は第四紀の泥流 (Mudflow)あるいは土石流(Debris folw) により形成されたと推定され、主にAtrato川河道沿いの El Siete No.1 ダム地点右岸、El Siete No.2 発電所右岸等に厚く分布する未固結な堆積物である。

泥流堆積物の組成は不均一であり場所により異なるが、典型的な組成は次に述べるとおりである。本堆積物は主に直径 1 ～100 cmの堅硬な玄武岩の亜角ないし亜円礫とその間を充填する砂質シルトからなり、所々に木片を含み、一般によく圧密されている。礫の含有量は体積比で全体の30～80%である。

b. 段丘堆積物 (Terrace deposit)

本堆積物はAtrato川沿いに認められる砂や礫からなるルーズな段丘堆積物であり、 El Siete No.1 補助ダム地点等に局部的に分布する。

本堆積物は主に玄武岩、砂岩、チャート等の中礫ないし大礫と、その間を充填する砂、シルトからなる。礫は亜円ないし亜角を有するものが多い。

c. Slopewash

本堆積物は山腹や沢の出口付近に普遍的に分布する。

本報告書では崖錐堆積物、沖積錐堆積物などを一括してSlopewash として区分し取り扱っている。

本堆積物は、後背地に分布する岩石の岩片とその間を充填するシルト質基質よりなり、全体にルーズな堆積物である。

d. 河床堆積物 (River deposit)

本堆積物は現河床に分布する中ないし大礫の間を砂やシルトが充填しているものであり、ルーズで所により数mの巨礫が混入する。

e. 表土 (Topsoil)

褐色の粘性をもった土で保水性に富んでいる。表層は牧草等の混じった腐植土層となっている。

(2) 地 質 構 造

本計画地域の基盤を構成する各地層はDwg. - 06 に示すように、南北方向に延びる

帯状の分布を示している。また、各単一地層内の堆積岩の層理面も貫入岩の貫入面も南北の走向を示すものが多い。地層面の傾斜は El Siete No.1ダム上流域では45度～70度西方に、このダムの下流域では東に50度～80度傾斜するものが多い。El Siete No.1計画の水路はこの帯状構造を横断して、また El Siete No.2計画のそれはこの帯状構造と平行する方向に計画されている。

ダム直上流Toro川ではK_{1a}層に著しい褶曲があることが確認されている。また、他の地層では地層面が急傾斜したり、一部の地層では逆転しているのが確認されている。

計画地域内では断層は前述の地層の帯状分布方向と一致する南北方向のリニアメントが航空写真により判読されている。また El Siete No.2計画地点では北西－南東方向のリニアメント（photo lineament)が判読される。

10.3 El Siete No.1計画地点の地質

El Siete No.1計画は前述したAtrato川とGrande川との合流点の上流約19km地点高さ約55m（満水位標高1450m）のダムを築造し、そのダムの左岸側から取水して長さ約3.1kmの導水路トンネルと長さ約1.3kmの水圧管路で同じくAtrato川左岸のNo.1発電所地点まで導水し、最大75MWの発電をしようとするものである。

10.3.1 El Siete No.1調整池地域

これまでに調整池地域を対象として縮尺1／1,000地形図を用いた地質踏査（Geological mapping）が実施され、その結果はDwg.－08に示されている。

(1) 地形的条件

本調整池はほぼ東西に延びた形状を示し、その全長（満水位標高1450m面で）は約0.9kmその全貯水容量は926×10^3m³の日間調整用貯水池である。

本調整池にはその中央部よりわずか上流側で両岸より常時流水の見られる2条の支川、右岸側のToro川と左岸側の Sta Lucia沢を夫々合流する。

調整池の満水位面が接する両岸の斜面はいずれも30度～45度の傾斜を示している。調整池右岸側の中央部及びダム基礎部では満水位面より高方に、後述する泥流堆積物からなる緩斜面（10度～20度傾斜）が形成されている。

調整池周辺部では上記の泥流堆積物よりなる緩傾斜地の裾部に小崩壊が1カ所認められる。

(2) 地 質 条 件

調整池地域のうち上流部にはK_{1B} 層に属するチャートと石灰岩または石灰質頁岩との互層が下流部にはK_{2A} 層の玄武岩が分布する。これらの地層はいずれもAtrato川と直交するN20°E～N10°Wの走向でほぼ鉛直に近い傾斜を示す。Atrato川の支川Toro川沿いではチャートと石灰岩の互層が褶曲しており、褶曲軸は北または南に40度～60度プランジしている。

これまでの調査で本調整池と交差する可能性のある断層（大体、南北方向）の存在が指摘されているが、これら断層は本調整池に対しては何ら重大な影響を及ぼさない。これらの断層については、後の El Siete No.1 補助連絡トンネルの項で説明される。

上記の基盤岩類は調整池右岸側では河川堆積物・段丘堆積物・Slopewash からなる未固結でルーズな堆積物および未固結ではあるが比較的締った泥流堆積物によって被われている。

前述の通り、本調整池右岸の中央部からダム地点にかけては泥流堆積物の存在が知られており、現在この分布地内には調整池満水位よりわずかに低い部分を国道が通っている。調整池右岸の中央部付近のこの国道切取面ではところどころ泥流堆積物の下位の基盤岩類（K_{1B} 層、K_{2B} 層）が露出している。この事実は、10.3.2で述べるダム基礎部を除いて、泥流堆積物の厚さは丁度調整池満水位面付近では比較的薄いことを示している。

更にこの泥流堆積物が調整池に接する部分が一部崩壊地形を示すことを先に述べたが、その部分は規模が小さく現状では安定しており将来更にその崩壊が拡大する可能性は少ないと思われる。

調整池の左岸側斜面は、一般に未固結でルーズな堆積物の分布は少なく、また泥流堆積物は分布しない。

(3) 土木地質的評価

これまでの諸調査により明らかにされた地形、地質状態に基づいて本調整池地域の土木地質的評価を要約すると次の通りである。

1) 本調整池は保水性については、その地形的、地質的条件から判断して全く問題はないと考えられる。

2) 調整池リムの斜面の安定性については、部分的に小さい崩壊は発生するかもしれないが、調整池の機能を大きく損なうような崩壊はないと考えられる。

3) 調整池内への堆砂量については、本地点の地形、地質的状態から判断すると、比較的大きなものになると予想され、当然、計画面での対策を必要とする。（堆砂に関するより詳細な説明は第８章５節を参照のこと）

10.3.2 El Siete No. 1 ダム地点

El Siete No.1ダム地点としては、当初２つのダム軸(Dwg－08でＡ－ＡおよびA'－A'軸として示されている）について比較検討が行われた結果、現在では下流側のダム軸（Ａ－Ａ軸）が最適であると結論づけられている。従って、ここではＡ－Ａ軸の調査結果を説明するが、Dwg.－09にはA'－A'軸の地質断面も参考として示されている。現在Ａ－Ａ軸でコンクリート重力ダム（堤頂標高1455ｍ、高さ約55ｍ）の築造が計画されている。

本ダム地点およびその周辺部ではTable-10.1に示すボーリング９孔延長計310.39ｍ、トレンチ13坑延長計 95.02ｍ、立坑３坑延長計 3.5ｍ、弾性波探査１測線 220ｍが実施されている。上述ボーリング孔においては全孔で孔内水位の測定と透水試験（Water pressure test)が実施されている。以上のうちダム軸（Ａ－Ａ断面）ではボーリングAD－１、AD－２、AD－５の合計 110ｍが掘削されている。

(1) 地形的条件

ダム地点（Ａ－Ａ軸）は、Atrato川がほぼ直線的に西流し、その流路幅は約20ｍで、右岸側の斜面中腹に台地を持つ谷に位置している。その台地は比高約50ｍで、ダムの堤頂はその台地面よりわずかに低い。ダム地点両岸斜面はDwg.－09のＡ－Ａ断面に示すように、地形的には共に約45度の傾斜を示す。この右岸側の台地は、後述するように泥流堆積物で形成されており、ダムを建設する場合には、その泥流堆積物の部分は掘削除去されるであろう。

(2) 基盤岩の種類および岩質

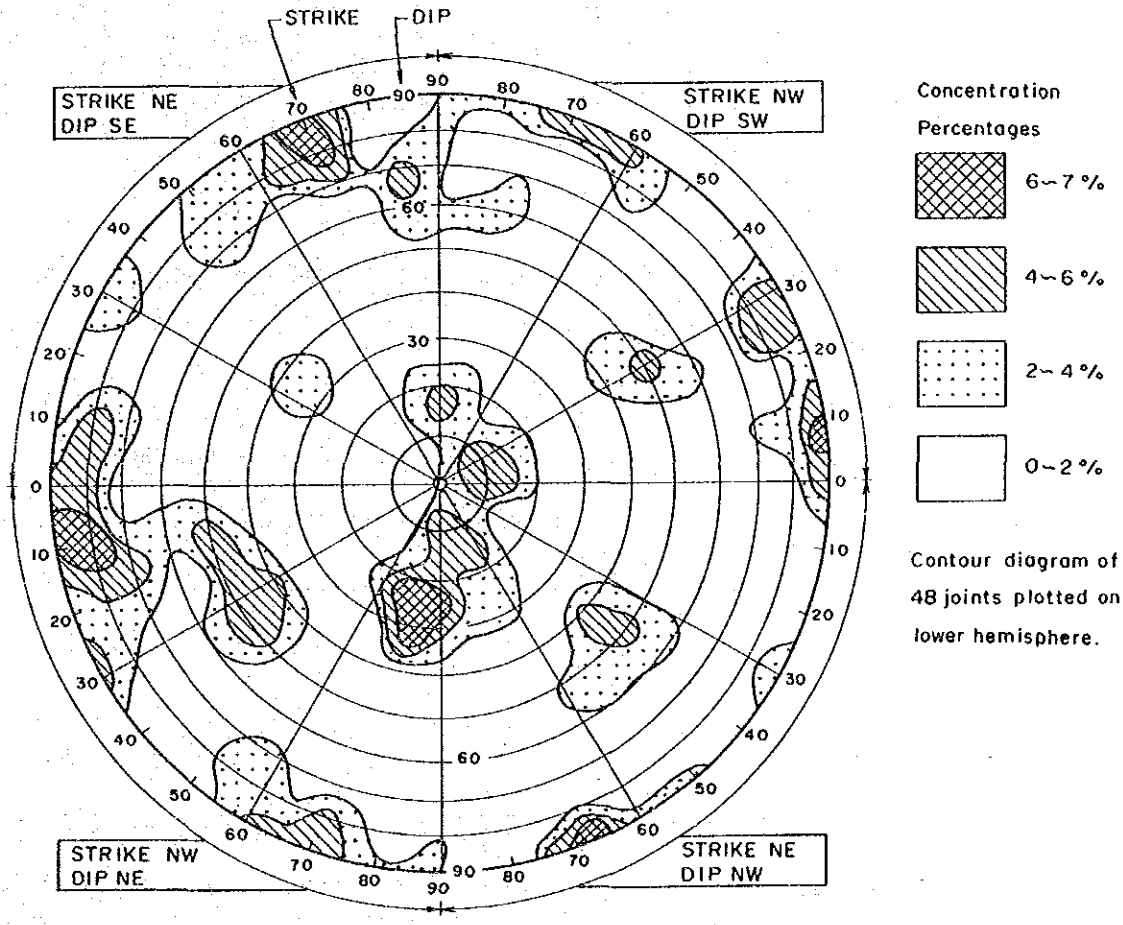
ダム基礎には玄武岩類（K_{2A} 層）が第四紀の河川堆積物、Slopewash 及び泥流堆積物に被覆されて分布する。

ダム軸付近では基盤岩の露頭は一般に左岸側には多く認められるが、右岸側では少ない。ダム地点付近ではこのK_{2A} 層は主に暗灰ないし赤褐色を呈する玄武岩と暗灰色の玄武岩質凝灰角礫岩よりなる。一部には自破砕熔岩と思われる玄武岩も観察される。これらの岩石は一般に新鮮部では亀裂は少なく堅硬である。ダム地点河床の玄武岩質

凝灰角礫岩層の層理面はダム軸とわずかに斜交する走向（N20°W）で上流へ急傾斜（85°E）している。

この基盤岩に認められる節理の卓越する走向・傾斜はFig.10-1に示すようにN80°W・25°NE、N70°E・85°SE、N10°W・85°NEの三方向である。前二者はAtrato川にほぼ平行する走向を示し、残りは川と斜交する走向である。河床の露頭ではこれらは割れ目の密着した節理として10～50cm間隔で認められる。

Fig. 10-1　Contour Diagram of Joints in El Siete No.1 Damsite



なお、ダム地点で採取されたAD－1、AD－2、AD－5のボーリングコアを使用した室内物理試験を東京において実施した。この試験の試験項目及び試験試料採取位置はTable －10.3に示す通りである。これらボーリングコア試料のうちDwg.－09に示した推定堅岩線より深部に分布する岩盤を代表するような一軸圧縮強度はAD－2及びAD－5孔より採取した試料の試験値の 730kg／cm²から1633kg／cm²の間であろう。

Table-10.3　Physical Properties of Drilled Cores

Borehole No.	Depth (m)	Rock Name	Apparent Specific Gravity	Absorption (%)	Uniaxial Compressive Strength (kgf/cm²)	Stastic Modulus of Elasticity (kgf/cm²)	Elastic Wave Velocity P Wave (km/s)
AD－1	25.0	Basalt	2.81	2.67	426	9.5×10^4	2.69
AD－2	38.6	Basalt	2.92	1.14	730	46.4×10^4	5.45
					1633	36.5×10^4	5.32
AD－5	19.1	Basalt	2.85	1.72	884	40.9×10^4	4.75

(3)　断　　層　(Fault)

基盤岩中の断層に関しては、これまでの調査では直接ダム基礎部を通るようなものは見出されていない。

(4)　基盤岩の風化（Weathering）

基盤岩の風化に関しては、ダム軸付近右岸山腹および左岸山腹標高約1500m以高に露出する玄武岩類は著しく風化して茶褐色を呈し、非常に脆弱化（指でくだくことができる程度）している。ボーリングコアの観察ではこの強風化部はコア採取率が低く、ほとんどスライムとなっていることから、基盤を被覆する泥流堆積物と判別がつかない部分もあった。

これまでのボーリング調査結果によると両岸斜面中腹部では、一般に著しく風化した部分の厚さは5m前後であり、中程度に風化した部分の厚さは10m以下である。河床付近では一般に新鮮で堅硬な基盤岩が露出している。しかし、ダム軸上流側左岸斜面上のボーリングAD－9孔では約27mの深さまで強風化しており、部分的には相当深くまで風化が進行していることを示している。

(5)　地　下　水（Ground Water）

ダム地点に於ける地下水位の状態は、ボーリング孔を利用してチェックされた。ダム地点で掘削された全てのボーリング孔（9孔）で孔内水位が測定され、またそのう

ち5孔（AD－3、AD－4、AD－5、AD－6およびAD－9）のボーリングについては掘削終了後ピエゾメーターで数日から10日前後にわたる水位測定が実施された。それらの結果によればダム天端付近右岸側では、地表から約15mの深度に、また同じく左岸側では地表から約30mの深度に夫々地下水位が存在することが判明した。各ボーリング孔内の地下水位はDwg.－09のボーリング柱状図に示されている。

(6) ルジオン値（Lugeon value）

ダム地点では実施したボーリング孔の基盤岩部分のうち比較的風化の程度が少ない部分で透水試験（Water pressure test)が実施され、ルジオン値(Lu)が求められた。その結果はTable-10.4とDwg.－09に示されているように、一般に風化した岩盤部分では20Lu（最大38Lu）を示す部分が多く、また、新鮮部分では10Lu以下の値を示す部分が多い。

(7) 弾性波速度（P-wave velocity）

右岸泥流堆積物及び基盤の弾性波速度を知る為、屈折法（Refraction method)による弾性波探査（1測線）が実施された。この結果はDwg.－09、Table －10.5及びAppendix－Ⅲ-3(1)に示す通り、 EL Siete No.1ダム地点では泥流堆積物の弾性波速度は 1.4km／s 前後、基盤岩類のそれは1.9 ～ 4.0km／s を夫々示すことが分かった。

基盤岩類の速度のうち1.9 ～ 2.1km／s の値を示す部分は強い風化部分を2.9 ～ 4.0 km／s の部分は新鮮岩部分を示していると考えられる。

(8) 表層堆積物（Overburden）

1) 泥流堆積物（Mudflow deposit）

ダム地点の泥流堆積物は場所により不均一であり、所により直径数メートルの玄武岩礫を含むが一般には玄武岩の亜角ないし亜円礫、直径1～100 cmとその間を充填する砂質シルトからなり、基質は締まっている。礫の含有量は30～80％程度であり、一般に層理は認められない。

ダム軸では、右岸側の台地がこの泥流によって形成されており、これまでのボーリングAD－2孔では約35mの厚さの泥流堆積物が確認されている。

2) Slopewash

ダム地点のSlopewash は主に玄武岩の角礫とシルト質基質よりなる未固結堆積物であり、その厚さは数m以下である。

Table-10.4 Lugeon Value of Bedrock at El Siete No.1 Damsite

Hole Name	Test Section (m)	Water Table (m)	Effective Maximum Pressure (kg/cm²)	Lugeon Value (ℓ/min/m/10kg/cm²)	Remarks
AD-1	12.55 - 17.55	14.00	4.5	20	*
	17.55 - 22.55	14.60	6.6	13	*
	22.55 - 27.55	16.00	11.7	9	
	27.00 - 30.00	17.00	11.8	13.5	
AD-2	38.10 - 41.00	15.55	11.7	9	
	41.00 - 44.00	15.55	11.7	18.5	
	44.00 - 47.00	15.55	11.7	11.5	
	47.00 - 50.00	15.55	11.7	13	
AD-3	7.20 - 10.20	6.45	3.8	3.5	*
	9.00 - 12.00	6.45	3.8	3.5	*
	12.00 - 15.00	6.45	5.8	3	*
	15.00 - 18.00	6.45	5.8	3	*
	18.00 - 21.00	6.45	8.8	1	*
	21.00 - 24.00	6.45	8.8	0.5	*
	24.00 - 27.00	6.45	8.8	1.5	*
	27.00 - 30.00	6.45	9.8	0	*
AD-4	24.00 - 27.00	4.00	9.4	8	Inclined drillhole *
	27.00 - 30.00	4.50	8.4	6	*
AD-5	12.33 - 15.33	14.90	5.5	25	*
	17.50 - 22.50	-	4.6	17	*
	22.50 - 27.50	24.00	5.5	12	*
	27.00 - 30.00	24.77	6.6	10	*

Hole Name	Test Section (m)	Water Table (m)	Effective Maximum Pressure (kg/cm²)	Lugeon Value (ℓ/min/m/10kg/cm²)	Remarks
AD-6	15.70 - 20.70	12.40	6.4	18	*
	20.70 - 25.70	12.40	6.4	12	*
	25.00 - 30.00	12.40	11.4	7	Inclined drillhole
AD-7	12.00 - 15.00	1.92	10.3	5	
	15.00 - 18.00	2.5	10.3	10	
	18.00 - 21.00	2.5	10.3	10.5	
	21.00 - 24.00	2.5	10.3	8	
	24.00 - 27.00	2.5	10.3	10	
	27.00 - 30.00	2.5	5.3	16	*
AD-8	11.69 - 14.69	8.25	4.9	38	*
	15.23 - 18.23	10.55	5.1	13	*
	18.00 - 23.00	10.55	8.1	10	*
	23.00 - 28.34	10.87	11.2	3	
	28.00 - 30.39	11.12	11.2	6	
AD-9	28.98 - 31.98	27.00	8.8	3.5	*
	31.98 - 34.98	27.00	8.8	0.5	*
	33.98 - 36.98	27.00	8.8	0.1	*
	36.98 - 39.98	27.00	8.8	5	*
	39.98 - 42.98	27.00	10.3	5	
	42.98 - 46.98	29.10	11.1	5	
	46.58 - 50.00	19.11	10.1	13	

* Lugeon value is calculated at maximum pressure.

Table-10.5 Velocity Layers of Seismic Wave in Project Area
(Seismic Refraction Method)

Location		Measuring-Line	Velocity of P-wave (km/s)					Remarks
			1st layer	2nd layer	3rd layer	4th layer	5th layer	
EL SIETE NO.1	Damsite	SA - 1	0.3	0.5	1.4	1.9 - 2.1	2.9 - 4.0	Right bank of damsite.
	Penstock and Powerhouse Sites	SB - 7	0.3 - 0.4	0.5	-	1.6 - 1.7	2.8	Left bank of the Atrato River.
		SB - 8	0.3 - 0.4	0.5 - 0.7	1.1 - 1.4	-	2.8 - 4.2	
		SB - 9	0.4 - 0.6	-	1.2	1.6	2.2 - 2.3	
EL SIETE NO.2	Intake Damsite and Sedimentation Baisn Site	SB - 1	0.3 - 0.6	-	1.1	1.9	2.3 - 3.2	Right bank of the Atrato River.
		SB - 2	0.3 - 0.5	0.6 - 0.9	1.1 - 1.3	1.7 - 2.1	2.4 - 3.8	
		SB - 3	0.5	-	1.2 - 1.4	2.6	2.4 - 4.0	
		SB - 5	0.3 - 0.4	0.6 - 0.9	1.2 - 1.8	2.6 - 2.7	3.3 - 4.6	

3) 河川堆積物（River deposit）

河川堆積物は主に大礫(cobble)とこれを充填する細粒砂よりなるが、直径１～３ｍの巨礫（boulder)も多く存在する。大礫は頁岩、砂岩、玄武岩の亜円礫ないし亜角礫よりなる。また巨礫は玄武岩の亜角礫ないし角礫が多い。

ダム軸の河床部にはボーリング孔は掘削されていないがその上流側で実施されたボーリングでは河川堆積物の厚さは約10ｍである。ダム軸での河床砂礫層の厚さは、河川形状、周囲の地質条件から判断して２ｍ～３ｍ程度と推定される。

(9) 土木地質的評価

上述(1)から(8)までの項目で述べられた本ダム地点の地形的、地質的特性に基づいてその土木地質的評価を行うと次の通りである。

1) ダム基礎掘削

本地点（現在の河床面標高約1410ｍ）では、ダム頂標高1455ｍのコンクリート重力式ダムが計画されている。これまでの地質調査結果に基づくと、上述の規模のダム基礎は比較的風化の少ない玄武岩に求める必要があり、その為には河床砂礫、泥流堆積物及び強ないしは中程度風化した玄武岩は掘削除去することとなろう。添付のDwg.－09にはダム基礎としての推定堅岩線を示したが、ダム軸（Ａ－Ａ）では左岸アバット部、河床部および右岸アバット部では地表面から深さ（表面に対して垂直に）が夫々約10ｍ、約５ｍ、および20～35ｍ程度の掘削除去が必要となると予想される。

2) ダム基礎処理

基盤の透水性は岩盤表面から深さ20ｍ～30ｍの部分では10Lu前後の値を示す部分が多いことが判明している。従って、ダム基礎としての保水性を確保する為に少なくともダム軸沿いに止水部を設ける必要があるが、止水部としてはグラウトカーテンが最も妥当であろう。

適切なグラウトカーテンの設計の為には、今後追加調査を必要とするが、ダム基礎表面から少なくともダムの高さと同等の深さの範囲内は数ルジオン以下とするようなグラウトカーテンを設ける必要があろう。

3) ダム付近掘削法面の安定性

ダム地点右岸側の泥流堆積物はダム基礎部では除去されるが、ダムの上流側では掘削法面上に露出する。この掘削法面上に露出する泥流堆積物については、その安

定性を検討する必要がある。

4) 補 足 調 査

ダム基礎の最終的掘削線及び止水処理範囲を確認する為には、ダム左岸中腹、河床部等に透水試験を兼ねたボーリング調査を実施する必要があろう。また、両岸アバットに調査横坑を設け、基礎岩盤中の弱線の方向や岩盤の性状を確認すると同時に、この横坑を利用して岩盤試験を実施し、岩盤の変形及び強度特性を把握する必要があろう。

10.3.3 El Siete No.1 補助ダム地点 (El Siete No.1 Auxiliary Damsite)

No.1調整池には、流入土砂による相当多量の堆砂が予想され、頻繁に排砂作業を行う必要があると考えられる。従って、その排砂作業期間中にも発電を継続する為、No.1調整池の上流端に補助ダム(コンクリート重力ダム、堤頂長78m、高さ約21m)の築造が計画されている。

本ダム地点ではDwg.-08とTable-10.1に示されるようにトレンチ3坑延長計 37.15mが実施されている。

(1) 地形的条件

No.1補助ダム地点はNo.1ダム地点の上流約 0.9km(No.1調整池の上流端)に位置する。No.1ダムの調整池の中流部はV字形の峡谷となっているが、本地点はその峡谷の上流側の谷側が広くなった部分に位置しており、その付近には左岸側に一部段丘が形成されている。

ダム地点両岸斜面はDwg.-10の断面に示すように右岸斜面は50~60度の傾斜をなすが、左岸斜面は二段(比高1m及び10m)の河岸段丘面を経て、傾斜約30度の斜面となっている。No.1補助ダムに付属する沈砂池はこの左岸の上記段丘面上に配置されている。

(2) 基盤岩の種類および岩質

ダム基礎には珪質頁岩を主体とし、石灰質頁岩およびチャートを挟在するK_{1B}層が第四紀の段丘堆積物、Slopewash、河床堆積物に被覆されて分布する。

ダム軸付近では基盤岩の露頭は一般に右岸側に多く認められるが、左岸側の段丘部分では認められない。黒色の珪質頁岩及び灰白色の石灰質頁岩は一般に層理が2~5cmで発達する堅硬な岩石であるが、珪質頁岩の一部には剥離性も認められる。ダム地

点右岸の基盤の地層面はダム軸とほぼ平行する走向（ほぼＮＳ）で垂直傾斜である。

基盤には特に方向性のある節理は認められない。

(3) 表層堆積物（Overburden）

1) 段丘堆積物（Terrace deposit）

ダム地点の段丘堆積物は主に中礫（pebble）や大礫（cobble）とこれを充填する砂およびシルトからなる未固結堆積物である。

この堆積物はダム地点の左岸に分布し、その厚さは未確認ではあるが、ダム基礎部および沈砂池地点ではその地形特性から判断して10ｍ前後の厚さで分布していると推定される。

2) Slopewash

ダム地点のSlopewash はチャートないしは珪質頁岩の角礫とこの角礫の間を充填するシルトからなり、基盤及び段丘堆積物を被って左岸斜面に分布する。

この堆積物はダム基礎部には分布しないが、左岸斜面部では数ｍ以下の厚さで分布しているものと思われる。

3) 河川堆積物（River deposit）

ダム地点では河川堆積物は主に大礫とこれらの間を充填する砂、シルトからなる。含有される礫は砂岩、頁岩、玄武岩、チャートの亜円礫が多い。

この堆積物の厚さはダム基礎部では２～３ｍ以下と推定される。

(4) 土木地質的評価

これまでの諸調査により明らかにされた地形、地質状態に基づいて本補助ダム地点の土木地質的評価を行うと次の通りである。

1) ダム基礎掘削

本地点（現在の河床面標高約1450ｍ）ではダム頂標高1465ｍのコンクリート重力式ダムが計画されている。上述規模のダム基礎は河岸で観察されるような比較的風化の少ない頁岩類であれば地耐力は十分であろう。従って、ダム基礎としては河床砂礫、段丘堆積物及び基盤表層の風化部は掘削除去する必要があるが、その結果、地表からの最大掘削厚さは10ｍを越える所が出てくるかもしれない。

2) ダム基礎の保水性

本地点では、未だ透水試験は実施されていない。しかしながら、補助ダムの満水位が標高1460ｍ（現河床より約10ｍの高さ）と低く、基盤も新鮮部であれば難

透水性と考えられることから基盤表面から2～3m以内の掘削でダム基礎としての保水性は十分確保できると考えられるが、部分的には止水の為のグラウトカーテンが必要となるかもしれない。

3) 補 足 調 査

ダム基礎の最終的掘削線及び止水処理の必要性を確認する為には、透水試験を兼ねたボーリング調査を次の段階として実施する必要がある。

10.3.4 El Siete No.1導水路トンネル経過地

El Siete No.1計画の導水路はNo.1ダム左岸アバットメント直上流に設ける取水口から同じくアトラート川左岸の調圧水槽までの間延長約3150mの圧力トンネル（仕上がり内径 3.4m）である。

これまでに El Siete No.1導水路トンネル経過地を対象として縮尺約1／25,000の概略地形図（ＪＩＣＡ1981年図化）を使用した地表地質踏査と航空写真地質判読が実施され、それらの結果はDwg.－06としてまとめられている。

(1) 地形的条件

本導水路トンネルはDwg.－06及びDwg.－07（H_1－H_1）に示すように全体として東ないし東南東に流下するアトラート川の左岸の山体の下に計画されており、トンネルの最大被りは約 500m、トンネル両端部で被りが 100m以下の区間は合計 200mである。本トンネルは前半区間中3カ所でいずれも小さな沢の下を通過するが、そこでの被りは上流側より下流側に向かって夫々170 m、200 mおよび200 mであり、後半区間は大体尾根部の地下を通過する。

これまでの航空写真判読結果に基づくと本トンネルが通過する地域には、地形的に特に大きな荒廃（地辷り、大崩壊、その他）は観察されない。

(2) 岩種および岩質

本トンネルは、これまでの調査結果に基づくと上流側 2/3区間でK_{2A} 層の玄武岩を残りの区間でK_{2B} 層の礫岩、砂岩、頁岩互層（一部玄武岩を挟在）の中を通過すると推定される。

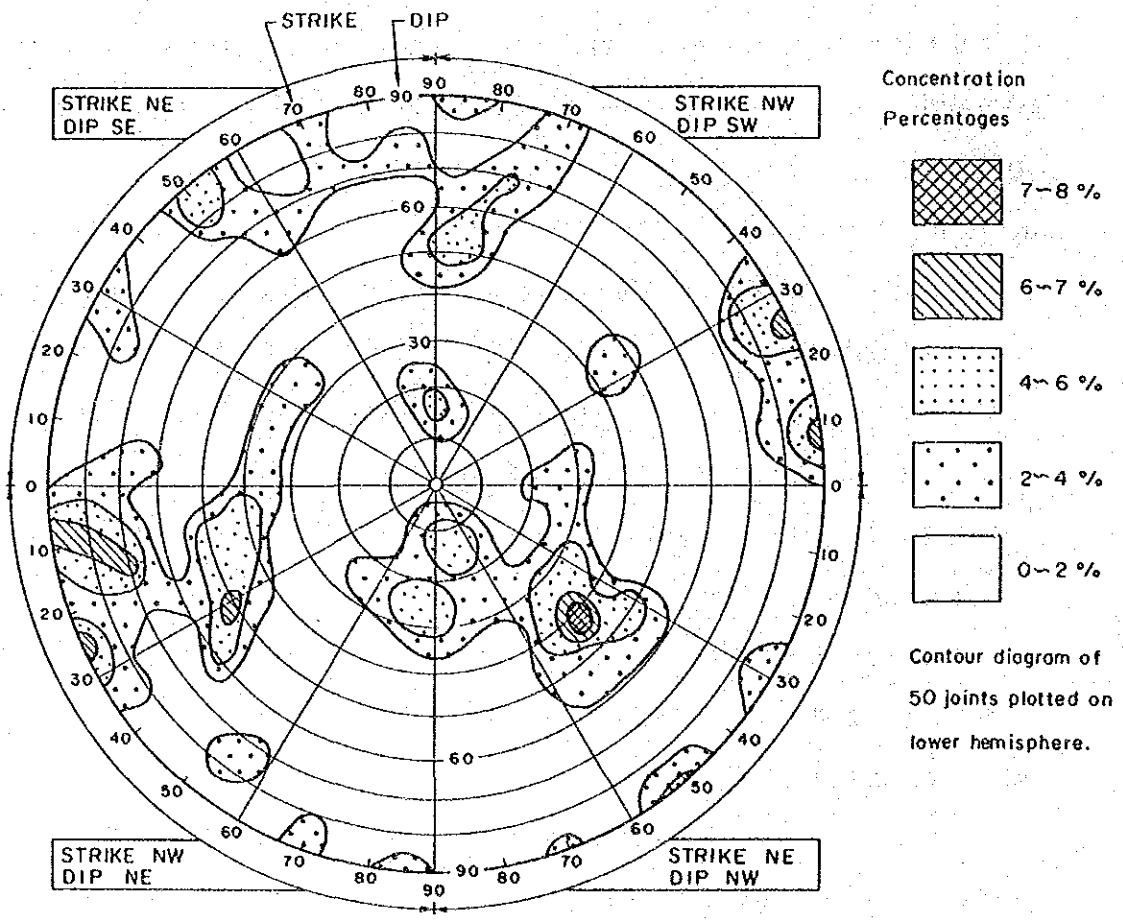
上述の導水路上流部に分布する玄武岩は玄武岩質凝灰角礫岩を一部に挟在する。これらの岩石はAtrato川沿いの露頭で見る限り、新鮮部は堅硬で亀裂が少なく、層理はほとんど認められない。No.1ダム地点では走向N20°W・傾斜85°Nの玄武岩質凝灰

角礫岩の層理面が観察される他、それより下流のAtrato川沿では一部の玄武岩中に走向N50°E・傾斜40°～50°NWを示す流理面が認められる。

導水路下流に分布する礫岩、砂岩頁岩互層は各単層の厚さは5～50cmで繰り返して成層しており、玄武岩はこれらに厚さ数m～数10mで挟在されている。これらの岩石はAtrato川沿い、Sta Isabel沢等で見る限り、新鮮部は堅硬で亀裂も少ない。これら地層の走向はトンネルとほぼ直交するNS方向で東へ急斜するものが多い。

導水路経過地周辺の節理面の卓越方向はFig.10-2に示すように走向N40°E・傾斜40°NWと走向N10°E・傾斜80°NEである。

Fig. 10-2 Contour Diagram of Joints in El Siete No.1 Waterway Alignment



(3) 断層およびリニアメント (Fault and Lineament)

No.1導水路経過地においては現在までの地表踏査では断層は確認されていない。また、本経過地においては航空写真判読によって上流区間の沢部付近に3条のリニアメントが判読されており、このうちNieve 沢(NS方向)を通る1条のリニアメントは連続性がある。このフォト・リニアメントが断層によって形成されたものかどうかは確認されていない。

(4) 地 下 水 (Ground water)

導水路経過地を横断するNieve 沢や経過地近傍の沢では標高1600mより上部まで表流水が見られ、また、高標高部でも樹木が繁茂していることから地下水面は地形なりに地表面から比較的浅部に存在すると推定される。

(5) 土木地質的評価

1) El Siete No.1導水路トンネル経過地に分布する岩石はいずれも新鮮部では堅硬、ち密な岩石であり、トンネルの被りも200 m以上の区間が全長の約70%を占めることから大部分の区間では断層部や坑口付近を除けばトンネル掘削中特に問題となる地質条件はないと考える。

2) 取水口付近や調圧水槽付近のトンネル被りのやや薄い区間の岩盤は地表からの風化の影響を多少受けていることも考えられるので注意を要する。

3) これまでの航空写真判読によればトンネルと交差するリニアメントが3条あり、これらは現在の所その成因が不明である。もし、このリニアメントが断層である場合には前述したように経過地の地下水面が地表から浅部に存在すると予想されることと考え合わせるとトンネル掘削時にそれら断層部で圧力を持った湧水を生じる可能性もあろう。

4) 導水路経過地については、さらに精度を上げた地表地質踏査を実施しておく必要があろう。

10.3.5 El Siete No.1補助連絡トンネル経過地

(El Siete No.1 Auxiliary Connection Tunnel)

El Siete No.1計画の補助連絡トンネルはNo.1補助ダム左岸の取水口で取水した水を下流のNo.1ダムの左岸側に計画されるNo.1導水路トンネルに合流させるもので、その延長は約860 m(仕上がり内径 3.4m)の無圧トンネルである。

これまでに El Siete No.1 補助連絡トンネル経過地を対象として縮尺1／1,000 地形図を使用して地表地質踏査を実施すると共に航空写真地質判読が実施されている。

(1) 地形的条件

本補助連絡トンネルはDwg. －06及びDwg. －07（H_1-H_1）に示すように全体として西に流下するアトラート川左岸の山体の下に計画されており、トンネルの最大被りは約60mでトンネルの中間の Sta Lucia沢で約20mの被りとなっている。本トンネルは中間で1カ所 Sta Lucia沢の下を通過する他は全体に急な山斜面の裾部を通過している。

(2) 岩種および岩質

本トンネルは、これまでの調査結果に基づくと上流側前半区間でK_{1B} 層のチャートと石灰岩の互層を、残りの区間でK_{2A} 層の玄武岩の中を通過すると推定される。両層は、Atrato川左岸側の露頭での観察では両層の境界付近は多少破砕されているが整合関係であるように見える。

本導水路区間に分布する岩石はいずれも新鮮部では堅硬である。

チャートと石灰岩互層の層理面は走向N5°W～N20°Eでほぼトンネルに直交し、下流に急傾斜するものが多く、各単層の厚さは2～40cmである。玄武岩は本区間では一般に塊状である。

本導水路区間の風化程度についてみると、本トンネル通過地の地形は急峻でその斜面上に比較的新鮮堅硬な露頭が多いことから判断して、トンネル通過部分では一般に新鮮部が多いものと考えられる。

(3) 断層及びリニアメント（Fault and Lineament）

断層はこれまでの地表踏査で Sta Lucia沢付近でDwg. －07及びDwg. －08に示す破砕幅10～30cmの南北方向のものが4条発見されており、またその沢沿いに南北方向に連続するリニアメントも航空写真により認められている。

本トンネルは前述のK_{2A} 層とK_{2B} 層との境界部と交差するが、その境界部はアトラート川左岸側の露頭ではK_{2B} 層側が幅2～3mわずかに破砕され、片状を呈している。

(4) 地　下　水（Ground Water）

Sta Lucia 沢及びその支沢ではいずれも表流水が高標高部まで認められることから本トンネル通過地では地下水面は地表から浅い深度に存在すると考えられる。

(5) 土木地質的評価

1) これまでの調査結果を総括すると、本トンネルは幅2～3mのやや破砕されてい

るK_{1B}層とK_{2A}層の境界線の他、少なくとも3条の小断層（いずれも破砕幅20～30cm）とDwg.－08に示されるように、Sta Lucia 沢近くで交差する可能性がある。

本トンネルは比較的多量の表流水を持つ Sta Lucia沢の直下約20mの地下を通過するがその付近の地表部で見る限り新鮮な露頭が観察できる。しかし、この沢の近くでは前述の弱線とトンネルが交差する可能性があり、その地点付近では掘削に際して多少地下水が湧出する可能性があり注意を要する。

2) 本トンネル通過部の岩盤は上述の地質条件不良部を除けば大部分の区間は新鮮で堅硬な岩盤が分布していると予想される。

10.3.6 El Siete No.1調圧水槽、水圧管路、発電所および放水路地点

El Siete No.1調圧水槽（底部標高1423m）は高さ約43m（内径 7.8m）でそれに接続する水圧管路は延長約1300m（内径 3.4m～1.25m）で大部分が地表式として、また発電所はAtrato川左岸の地盤標高約1090mの位置に地表式（放水位1071m）で計画されている。放水路トンネル（全長 185m、内径 3.6m）はAtrato川の左岸側でNo.1発電所より上流側に設けられるNo.2取水ダムまでの間となる。

上述の計画諸構造物及びその周辺部では縮尺1／2,000 に拡大した航空写真及び縮尺1／25,000の概略地形図（ＪＩＣＡ1981年図化）を使用した地表踏査以外にTable 10-1に示すトレンチ16坑延長計173.43m、立坑2坑延長計3.65m、弾性波探査3測線延長計770 m、垂直電気探査3測点[1]がこれまでに実施されている。

(1) 地形的条件

調圧水槽はほぼ西方に延びる尾根部に、水圧管路は水槽地点から南西ないし西南西に派生する尾根沿いにルートが選定されている。

水圧管路はDwg.－11及びDwg.－12に示すように全体に傾斜約15度と緩い尾根を経過し、発電所に到達する直前で1条の沢（Aguila沢）を横断する。また水圧管路経過地は上部で尾根の幅が広いが、中央部から下部にかけては尾根幅が狭くなっている。この尾根の中腹斜面には小崩壊地が点在している。

注：1) 本計画地域内で実施された電気探査については測点位置が現計画構造物と離れていることから、この節では述べてないが、Appendix－Ⅲ-3(2)で説明されている。

発電所地点はAtrato川左岸、比高50mの平坦地上に位置する。更にNo.1発電所の放水路トンネルは前述したように当発電所地点より約130m上流に計画されるNo.2取水ダム地点までAtrato川の左岸側を通ってNo.2導水路トンネルに連続される。この放水路トンネルの被りは約40m～50mである。

(2) 基盤岩の岩種及び岩質

調圧水槽地点から発電所地点にかけてはDwg.－11、Dwg.－12で示すように白亜紀上部のK_{2B}層の主に砂岩頁岩互層が礫岩・玄武岩を所々に挟在して分布する。放水路トンネルはその全区間のうち発電所側の1/3の区間に砂岩頁岩互層が分布する他は玄武岩が分布している。これら地層の層理面は一般に水圧管路とほぼ直交する走向で上流側傾斜（ＮＳ・50°～70°Ｅ）を示す。

水圧管路経過地付近の沢には新鮮、堅硬な上述の基盤岩が認められるが、その経過地のうち、斜面裾部で実施されたトレンチ調査結果によれば、基盤は少なくとも地表から２～３ｍの深さまで軟質となっている。

発電所地点近傍の前述した沢（Aguila）の底部には新鮮で堅硬な砂岩頁岩互層が観察される。

放水路経過地沿いの急崖をなすAtrato左岸斜面には新鮮で堅硬な塊状をなす玄武岩が露出している。

(3) 基盤岩の風化（Weathering）

水圧管路経過地尾根を形成する基盤岩の表面部は一般に強く風化されている。砂岩頁岩互層の強風化部は茶褐色に変色し、岩片が指でつぶせる程度にまで軟化しているものが多く、また、玄武岩の強風化部は、茶褐色に変色し、軟質化した基岩中に堅硬な玄武岩が礫状に含まれている状態を呈する。

水圧管路経過地尾根では前述したように尾根の勾配が緩く、尾根幅の狭い区間も存在することから一般に風化が深くまで及んでいると推定される。いままでの調査結果及び地形的性状から基盤の強風化層の厚さは調圧水槽地点から水圧管路経過地の標高約1250m間では一般に５ｍ以下と推定され、また、水圧管路経過地の標高約1250mから約1100mでは強風化部の厚さは一般に５ｍ前後であるが尾根幅の狭い標高約1160m～1140m間ではその厚さは20m前後と推定される。発電所から放水路経過地においては強風化層の厚さは５ｍ以下と考えられる。

(4) 断層およびリニアメント（Fault and Lineament）

本地点では現在までの調査では断層は発見されていない。

水圧管路下部に、航空写真判読による北西－南東方向に連続するリニアメントが判読されており、それは水圧管路の下部（発電所より約 200m上流付近）で交差するがいままでの地表踏査ではそれが断層によって形成されたものかどうかは確認されていない。

(5) 地　下　水（Ground water）

水圧管路尾根の両側の沢（Aguila沢、San Jose沢）では高標高部まで表流水が見られ、また高標高部では樹木が繁茂していることから地下水面は尾根幅の狭い部分を除き、地形なりに地表面から比較的浅部に存在すると推定される。

放水路トンネルは地下水面下を通過すると予想される。

(6) 弾性波速度（P-wave velocity）

EL Siete No.1水圧管路下部及びその周辺で屈折法による弾性波探査（3測線）が実施された。この結果によればTable －10.5、Dwg.－12、Appendix－Ⅲ-3(1)に示す通り、地盤のP波速度は4または5層に区分される。このうち第1層と第2層は 0.7km／s 以下のP波速度を示し、表土・Slopewash に相当しているものと思われ、第3層の速度1.1 ～ 1.4km／s はSlopewash ・段丘堆積物・風化残留土に、第4層の速度 1.6～1.9 km／s は強風化岩に、第5層の速度2.2 ～ 4.2km／s は多少風化した岩盤から新鮮な岩盤に、夫々対比されると考えられる。

(7) 表層堆積物（Overburden）

調圧水槽及び水圧管路経過地においては一般に表層堆積物は薄く、前述したように尾根の表層部には強風化し、風化残留土状となった岩盤が地表から浅部にかけて分布している。

発電所地点およびその付近には厚さ2～3m程度の主に玄武岩、砂岩等の角礫とシルトからなるルーズな堆積物の分布が認められる。

放水路トンネル経過地では表層堆積物の分布は非常に少ない。

(8) 土木地質的評価

1) 調圧水槽地点の岩盤は地表から5m程度の深さまでは強風化している可能性がある。調圧水槽地点の地表部では高さ約20mの掘削法面が出現するが、その掘削法面には強風化岩盤が露出することになる為、その部分の安定性確保には留意する必要があろう。

2) 水圧管路経過地では表層堆積物と岩盤強風化部の厚さは、トレンチと弾性波探査結果および地形条件からその斜面上部で約5m、下部では約20mと推定される。水圧管路固定台の基礎は少なくとも、上記の表層堆積物と岩盤の強風化部より下位に求めなければならぬであろう。

また、前述したように水圧管路経過地付近には小崩壊地が点在しているが、将来精査を行い、それらの性状をよく把握する必要があると考えられる。その調査結果によっては、崩壊地の拡大を防ぐ何らかの対策が必要となるかもしれない。

3) 発電所は地表から約20m掘削して設ける計画となっていることから、発電所底部の基盤岩は新鮮で堅硬な砂岩頁岩互層及び玄武岩となり、計画されている構造物規模であれば十分な地耐力が得られると推定される。

発電所付近には高さ約30mの掘削法面が出現するがその最上部にSlopewash が、次いで強風化した岩盤などが分布することから、その法面の安定性については注意する必要があろう。

4) 放水路トンネルは地下水面下を通過すると考えられるが、その部分の岩盤は全体に新鮮で堅硬と推定され、これまでの調査結果では土木地質的問題点は少ないと予想される。

5) 調圧水槽及び水圧管路上部の地表地質踏査を実施した時点では精度の高い地形図や、鮮明な航空写真が利用できる状態にはなかったので、今後精度の高い地形図が整った時点で詳細な踏査（崩壊地調査を含む）を実施する必要がある。

また、調圧水槽地点、水圧管路固定台地点および発電所地点では基盤の風化状態を含めた岩盤性状をボーリングによって確認する必要がある。

10.4 El Siete No.2 計画地点の地質

El Siete No.2 計画は、No.1 発電所から放流された水とNo.1 ダムの下流域の水をNo.2 ダムで合流させ、それをAtrato川の右岸側を長さ約9kmの導水路と約1kmの水圧管路でNo.2 発電所に導き最大出力85MWの発電をしようとするものである。

10.4.1 El Siete No.2 取水ダム地点

El SieteNo.2 取水ダムはNo.1 発電所の上流約 130mに位置し、そこでは堤頂標高1075m、堤頂長 146m、堤高35mのコンクリート重力ダムが計画されている。また、右

岸側には沈砂池が併設される予定である。（No.1発電所放水路トンネルはNo.2取水ダム堤体内を横断し、右岸側のNo.2導水路トンネルに合流される。）

本取水ダム地点及びその周辺部では Table－10.1に示すボーリング2孔延長計79.4m、弾性波探査4測線延長計1310mがこれまでに実施されている。以上のうちダム軸ではボーリングBD－2孔（深度 9.5mで機械トラブルの為中止）及び弾性波探査（SB－2測線、長さ 320m）が実施された。

(1) 地形的条件

取水ダム地点はDwg.－11に示すようにAtrato川が南南東から南南西に流れを変える曲流部に位置し、その河床部標高は約1055mで流路幅は約15mである。ダム地点の右岸側には比高約20mの段丘が形成されている。現計画ではダムの堤頂はその段丘面よりわずかに高い。

ダム地点両岸の斜面はDwg.－10のC－C断面に示すように40度～50度の傾斜を示す。この右岸段丘面の直下には後述するように泥流堆積物により埋積された旧河川の存在が予想されている。

(2) 基盤岩の種類および岩質

ダム基礎左岸及び河床には玄武岩（K_{2B} 層）、右岸には同時代の砂岩頁岩互層（K_{2B} 層）が、厚い泥流堆積物・段丘堆積物・Slopewash に被覆されて分布する。

ダム軸付近では基盤岩の露頭は左岸側に多く認められるが、右岸側では河床部にわずかに観察されるにすぎない。ダム右岸の基盤の断面形状は、地表踏査、ボーリングBD－1孔（基盤は地表から42mの深さに分布）、弾性波探査の結果を総合するとDwg.－10に示すように右岸台地直下に現河床面より低い凹部が存在すると推定される。これは泥流堆積前にはAtrato川が現河道よりも右岸よりを流下していた為に形成れさたと考えられる。

ダム基礎を成す玄武岩は黒色を呈し、堅硬で亀裂が30～100 cm間隔で発達しており、砂岩頁岩互層は灰色砂岩層厚さ1～5cmと黒色頁岩層厚さ1～30cmからなり、その硬度は玄武岩に比較するとやや劣る。この玄武岩と砂岩頁岩互層の境界部には、厚さ 1.5mの火山礫凝灰岩（lapilli tuff）を挟在している。

この砂岩頁岩互層の走向はダム地点付近ではほぼN－Sで西方に急傾斜を示す。

(3) 断　　層（Fault）

これまでの調査では直接ダム基礎部を通るような断層は見い出されていない。

(4) 地　下　水（Ground Water）

ダム地点に於ける地下水位の測定は、ダム地点右岸に実施されたボーリングBD－2孔の掘削中の孔内水位（深度 0.6m）のみである。また、ダム上流ボーリングBD－1孔の孔内水位（深度 8.4m）やダム地点付近の沢の状態、地表に湿地が存在する等からみて、地下水位は比較的地表面下浅部にあるものと予想される。

(5) 弾性波速度（P-wave velocity）

右岸泥流堆積物及び基盤の弾性波速度を知る為、ダム地点及びその周辺では屈折法による弾性波探査（4測線）が実施された。この結果は、Table-10.5、Dwg.－10、Appendix－Ⅲ-3(1)に示されている様に本地点のP波速度は4ないし5層に区分される。このうち表層の第1層から第3層までは 1.8km／s 以下のP波速度を示し、泥流堆積物またはSlopewash に相当しているものと思われ、第4層の 1.7～2.7 km／s の速度は強風化岩盤または亀裂の発達した岩盤に、第5層の 2.3～4.6 km／s の速度は多少風化したまたは新鮮な岩盤に夫々対比されると考えられる。

(6) 表層堆積物（Overburden）

1) 泥流堆積物（Mudflow deposit）

ダム地点の泥流堆積物は、場所により組成の変化があるが、主に玄武岩の直径0.5 ～30cmの亜角ないし亜円礫を灰色シルト質基質中に50～80％含む未固結堆積物であり、木片を含むこともある。

ダム上流のボーリング（BD－1孔）および弾性波探査の結果から、ダム地点では泥流堆積物が30～40m程度の厚さで分布していると推定される。

本堆積物は地表部ではところによりかなり締まった状態を示しているが、コンクリートダム基礎となるような強度は有していないと推定される。

2) 段丘堆積物（Terrace deposit）

ダム地点の段丘堆積物は、主に大礫とその間を充塡するシルト質砂よりなり、その厚さは最大7～8m程度はあると思われる。この堆積物は、全体としてルーズな地層をなしている。

3) Slopewash

ダム地点のSlopewash は直径3～30cm程度の玄武岩や砂岩の角礫を含むシルトからなる全体にルーズな堆積物である。本地点での本層の厚さは2～3mである。

4) 河川堆積物（River deposit）

ダム地点の河川堆積物は主に玄武岩の大礫ないし中礫とその間を充填するシル質砂よりなるが、河床には直径数mの巨礫も散在している。

ダム地点での本層の厚さは5m以内と思われる。

(7) 土木地質的評価

1) ダム基礎掘削

本地点（現在の河床面標高約1055m）ではダム頂標高1075mのコンクリート重力式ダムが計画されている。上述の規模のダム基礎は河岸に認められるような比較的風化の少ない基盤岩に求める必要があり、その為には河床砂礫・泥流堆積物及び強風化した玄武岩は掘削除去することとなろう。ダム軸右岸のダム基礎掘削は少なくとも弾性波探査解析断面（Dwg.－10のC－C断面）でP波速度 2.0km／s 未満の速度をもつ部分は掘削除去する必要があると思われる。更にその上、基礎岩盤に対してある程度の地盤改良（コンソリデーショングラウト等）を施す必要性もあるかも知れないが、それについては今後精査して判断すべきである。

2) 基盤の保水性

基盤の透水性については未だ透水試験は実施されていないが、弾性波探査のP波速度から推定すれば、岩盤表面から少なくとも深さ10m～20m程度は亀裂が発達していると予想されるのでダム軸沿いになんらかの止水処理を考える必要があろう。

(8) 補 足 調 査

ダム基礎の掘削線及び止水処理範囲を確認する為には特にダム河床部およびダム右岸台地の泥流堆積物ならびに岩盤の性状を確認する為の地質調査（主にボーリングと透水試験）が必要である。

10.4.2 El Siete No.2 導水路トンネル経過地

El Siete No.2計画の導水路はNo.2取水ダム右岸の取水口から、同じくAtrato川右岸の調圧水槽までの延長約9.1km（内径 3.6m）の圧力トンネルである。

これまでに El Siete No.2導水路トンネル経過地を対象として縮尺約1／25,000の概略地形図（JICA1981年図化）を使用した地表地質踏査と航空写真判読が実施されている。

(1) 地形的条件

本導水路トンネルはDwg.－06およびDwg.－07（H_2－H_2）に示すように全体としてほ

ぼ南に流下するAtrato右岸の山体中を通る予定である。

このトンネルの最大被りは約 400mで、トンネル両端部および途中の沢部の被りが100m以下の区間は、合計長約1700m（トンネル全長の約20%）である。

本トンネルはDwg.－07に示されるように前半区間中3カ所でいずれも大きな沢を通過し、そこでの被りは上流から順に夫々 140m、70m、80mであり、後半区間は大体尾根の真下を通過している。

(2) 岩種および岩質

El Siete No.2導水路トンネルは取水口から下流に向かって順次、砂岩頁岩互層よりなるK_{2B} 層、主に輝緑岩よりなるK_3層および主に閃緑岩よりなるTd層が分布する。これまでの初歩的な調査結果に基づくと、トンネルにはこれらのK_{2B} 、K_3およびTd層が夫々約10%，約60%、約30%分布すると推定される。

互層をなすK_{2B} 層の層理面の一般的な走向・傾斜はＮＳ・70°～90°Ｅで、所により凝灰質部や流紋岩質部を挟在している。各単層の厚さは一般に5cm程度で新鮮部の岩質は堅硬である。

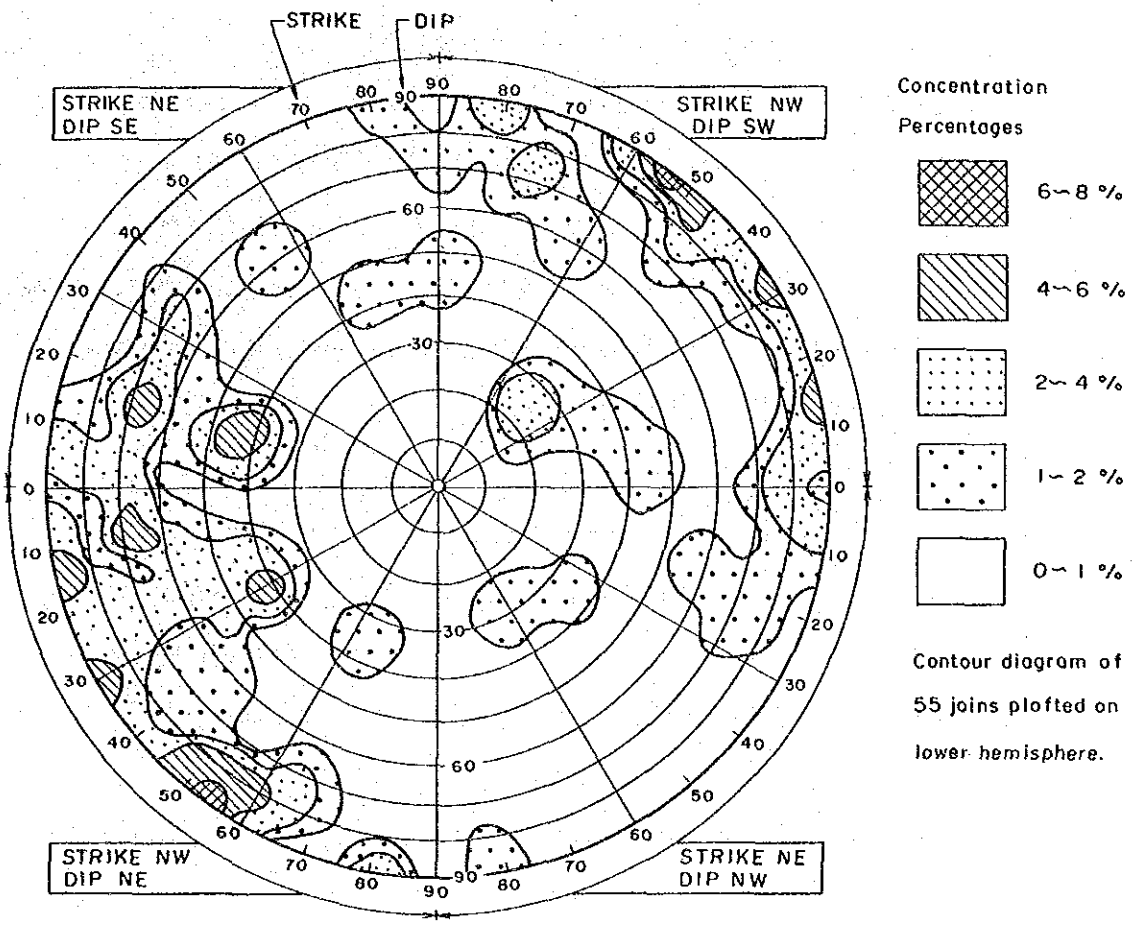
K_3層の輝緑岩は暗緑色で堅硬、ち密な岩石であるが、本計画地域内の地表部の露頭では多少風化し、やや亀裂の多い岩盤となっている。

Td層の閃緑岩は、本来ち密な岩石であり、本トンネルでは調圧水槽付近および上記のK_3層との境界付近を除けば堅硬な岩盤となっているであろう。

上記の輝緑岩と閃緑岩の境界は、本トンネル下流部でAtrato川と本トンネル経過地との間に入る比較的大きな沢（El Piñon）沿に存在しているが、その沢の露頭ではその境界沿いに変成作用による角閃岩帯（露頭での幅 200～300 m以上）が片状構造を成して分布している。その角閃岩帯部はその両側の岩石に比較すれば岩質が劣化しており、本トンネルとは中央より少し下流側（調圧水槽側）で交差する可能性がある。

導水路経過地周辺の節理面はFig.－10.3に示すとおり走向Ｎ55°Ｗ・垂直とＮ30°Ｗ～Ｎ20°Ｅの走向で40°～90°Ｅ傾斜のものがやや卓越している。

Fig. 10-3 Contour Diagram of Joints in El Siete No.2 Waterway Alignment



(3) 断層およびリニアメント (Fault and Lineament)

本トンネル経過地と交差するフォト・リニアメントはＮＳ方向に１～２㎞連続するものがトンネルの前半区間で２条、後半区間でＮ45°～50°Ｗ方向のものが５条認められるが、それらの成因は不明である。

(4) 地　下　水 (Ground water)

トンネル経過地の周辺の沢では表流水が高標高部まで認められること、また山地頂部まで樹木が繁茂していることから、トンネル経過地地山の地下水面は地形なりに地表面から比較的浅部に存在すると推定される。

(5) 土木地質的評価

1) 前述したように輝緑岩と閃緑岩との境界部の角閃岩帯は片状構造が発達しており、その部分の岩質は脆くなっていると考えられ、その部分のトンネリングには注意を

要する。

2) 本トンネル地域では航空写真判読によるとトンネルルートとほぼ直交する方向のフォト・リニアメントが7条抽出されている。そのうちトンネル中央部のQuitasuenos 沿いのものはトンネルまでの被りが比較的浅い（約80m）場所で交差すると予想されるので、その性状については今後調査する必要がある。

3) BL Siete No.2導水路トンネルはトンネルの被りが 100m以上ある部分が全区間の80%以上を占め、その区間では上記1)と2)のような局部的な不良部があるとしても、大部分は良好な岩盤中を通過するだろう。しかし、No.2計画でこの導水路トンネル工事が費用面で占める割合は大きいので、その通過地域の地質状態をより多く把握する為の調査が今後も必要である。

10.4.3 El Siete No.2調圧水槽、水圧管路および発電所地点

El Siete No.2調圧水槽（底部標高1040m）は高さ48m（内径9m）でそれに接続する水圧管路は延長約1045m（内径 3.4m～1.25m）で大部分の区間は地表の設置が計画されている。またNo.2発電所（放水位標高 687m）はAtrato川右岸に地表式で計画されている。

本地点では水圧管路経過地中間点より下方でTable-10.1に示すボーリング（2孔延長計 68.68m）、標準貫入試験（ボーリング2孔計18点）、トレンチ（5坑延長 計70.95 m）、垂直電気探査（3測点）が実施されている。

(1) 地形的条件

No.2計画の調圧水槽地点は、Atrato川の右岸側でほぼ南方に延びる主尾根の末端付近に位置しており、その付近の斜面の傾斜角は約30度である。

水圧管路は、はじめ上記の主尾根から南東方向に派生する小尾根沿いに、ついで丸みを帯びた緩斜面をもつ平坦地を下りてNo.2発電所地点に至る。

No.2発電所はAtrato川の右岸側の上記35度の傾斜面の裾部に計画されている。

(2) 基盤岩の種類および岩質

調圧水槽地点から水圧管路地域を経て発電所地点の手前まで閃緑岩が分布し、発電所基礎付近では閃緑岩と角閃岩（K_3層）が混在して分布し、一分はミロナイトとなっている。

閃緑岩の新鮮部は節理が20～40cmで発達し、堅硬である。しかし、水圧管路経過

地では地表から20～30ｍの深さまで風化が及んでおり、ボーリングコアではコア採取率が低くかつ砂礫状のコアとして採取されている。閃緑岩には走向Ｎ10°～50°Ｅ・傾斜60°ＳＥ、走向Ｎ60°～90°Ｗ・傾斜60°～90°Ｎ、走向Ｎ10°～60°Ｗ・傾斜20°～50°ＮＥの３つの節理系（Joint sets）が見られ、この節理沿いに風化が進んでいるのが観察される。

また、角閃岩は発電所付近河岸で見られるものは新鮮で比較的堅硬であるがボーリングＣＤ－１孔では深度８ｍ程度まで風化を受けている。この岩石には東西方向の走向で川側に70°前後傾斜する片状構造が認められる。

(3) 基盤岩の風化（Weathering）

基盤の閃緑岩は標高約 815ｍの緩傾斜を示す尾根で実施されたボーリングＣＤ－２孔の結果によれば深度23ｍまで風化が著しく、ボーリングコアの採取率が悪く、かつ採取されたコアも砂礫状をなしている。また地表から約0.5ｍの深さまでは強風化し風化残留土状を呈しており、深さ４ｍまでは茶色に変色して構成鉱物自体もこれより深部の岩石に比べ、風化が進み脆くなっている。

Dwg.-14 に示されるように調圧水槽地点から水圧管路経過地の標高900ｍ～800ｍ間の尾根部の風化は20ｍ～30ｍの深さまで、標高800ｍから発電所に至る斜面の風化は浅く１ｍ～２ｍ程度の深さまで夫々及んでいると推定される。

(4) 断層およびリニアメント（Fault and lineament）

断層としては発電所上流約250ｍのAtrato川右岸にはAtrato川と平行する走向（Ｎ52°Ｅ）で川側に55°傾斜するものが１条（破砕幅20cm）が確認され、これが発電所位置付近を通過する可能性がある。ＣＤ－１孔（ボーリング孔）では地表から深度20ｍまで不良岩盤の存在が確認されたが、その不良部は上記断層の影響によるものと推定される。

フォト・リニアメントに関してはDwg.-13 に示すように水圧管路の途中の平坦部で水圧管路と交差する２条のリニアメントが抽出されている。これまでの調査では、これらリニアメントの成因は不明である。

(5) Ｎ値（N-Value）

水圧管路および発電所地点のボーリング孔内で実施された標準貫入試験の結果は、Table —10.6に示されているようにＮ値が50以上となる地表からの深さはボーリング孔ＣＤ－１では約２ｍ、ＣＤ－２では約７ｍである。

これらの結果は、岩盤自体は風化されていても、そのN値は比較的大きいことを示している。

Table-10.6 N-Value in Drillholes at No.2 Penstock Site

Hole Name	Depth in Hole (m)	N-Value (Numbers of blow in 30 centimeters)
CD-1	0 - 0.6	14
	0.6 - 1.2	28
	1.2 - 1.8	31
	1.8 - 2.0	above 50
CD-2	0 - 1.18	1
	1.18 - 5.29	2 - 4
	5.29 - 6.32	6 - 7
	6.32 - 6.82	30
	6.82 - 7.32	above 50

(6) 電気探査 (Vertical electrical sounding)

Dwg.-06 は垂直電気探査の実施位置を、またTable-10.7はそれらの結果を示す。El Sicte No.2 水圧管路経過地においてはボーリング孔ＣＤ－２のコアとの対比から第１層は完全に風化した閃緑岩、第２層は上部より風化の程度が少ない閃緑岩、第３層は第２層の岩盤が地下水で飽和しているもの、第４層は新鮮な閃緑岩に夫々相当すると推定される。

これらの結果は、この地域では全体に風化深度が深いことを物語っている。

(7) 表層堆積物 (Overburden)

表層堆積物は発電所地点近傍にSlopewash 、河川堆積物がわずかに認められるのみで各計画構造物地点にはほとんど分布しない。

Table-10.7 Resistivity Layers in Project Area (Vertical Electrical Sounding)

Location	Mesuring-Point	Resistivity (ohm·m) 1st layer	2nd layer	3rd layer	4th layer	Remarks
El Siete No.1 Penstock Site	S-4	110 (1)	860 (15)	19.5 (40)	3,000	Location of mesuring-points are shown in Dwg.-06.
	S-5	52 (5) 70 (15)	200 (30)	22 (62)	200	
	S-6	240 (4)	600 (8)	24 (30)	180	
El Siete No.2 Penstock Site	S-1	650 (2.5)	1,300 (9)	350 (30)	2,500	
	S-2	1,500 (5)	3,200 (11)	250 (25)	1,500	
	S-3	640 (4.5)	1,400 (7.5)	185 (28)	3,000	

NOTE : ( ) shows depth of resistivity boundary in meter.

(8) 土木地質的評価

1) 調圧水槽地点の基盤は表層から最大20m程度まで強風化している可能性があり、水槽立杭と地表部の切取斜面の設計にはこの風化条件を考慮する必要がある。

今後詳細設計を進める為には例えばボーリングにより基盤の風化深度や地下水位を確認しておく必要がある。

2) 前述したように水圧管路通過部の基盤は地表から最大約20～30mの深部まで風化されているようである。しかし、水圧管路固定台の支持基盤は標準貫入試験結果を参考とすると6～7m以浅で得られる可能性があるが、今後より精度の高い調査で、最終的支持基盤の深さを決定すべきであろう。

3) 発電所基礎は現地盤より約15m深部となることから、ほぼ十分な地耐力を持つ、部分的に風化した角閃岩となると推定される。

発電所背面の法面の安定性については川側に傾斜する節理や片状構造が認められることから、注意を要する。

10.5 コンクリート骨材

本地点ではＩＣＥＬにより天然骨材調査（Exploration of natural aggregate deposits)の他、土質材料の調査も実施されたが、第12章で述べるようにダム型式がコンクリート重力式となったことから、土質材料試験結果については言及せず、その結果をAppendix－Ⅲ5(5）に添付するに留める。これらの調査数量はTable-10.1に、位置はDwg.-06 に夫々示す通りである。

El Siete No.1及びNo.2計画で必要とされるコンクリート骨材量は下記の通りである。

El Siete No.1 ダム	175,000 m³
その他の構造物	387,000 m³
合　計	562,000 m³

(1) 天然骨材(Natural Aggregate Deposits)

ＩＣＥＬにより、El Siete No.1ダム地点上流1.5 kmに位置するAtrato川沿いのPuente Sanchez地区（Dwg.-06 の AFs地点）及びEl Siete No.2発電所地点下流約 2.5kmに位置するQuebrada La Borrasca地区(Dwg.-06のAFb 地点）に於いて河川堆積物を対象とした天然骨材調査が実施された。Puente Sanchez地区では立坑が

Table-10.8 Gradation of Concrete Aggregate

Sampling Spot	Trench or Pit Name	Coarse Aggregate (%)				Fine Aggregate (%)							Gradation (%)	
		76.2-38.1mm	38.1-19.0mm	19.0-9.51mm	9.51-4.76mm	4.76-2.38mm	2.38-1.19mm	1.19-0.595mm	0.595-0.297mm	0.297-0.149mm	0.149-0.074mm	≦ 0.070mm	76.2-4.76mm	≦4.76mm
PUENTE SANCHEZ	AFs-13	21	19	32	27	34	18	11	16	11	5	5	62	38
	AFs-14	23	25	26	26	31	15	10	13	15	5	10	61	39
	AFs-15	25	31	26	18	20	20	13	13	10	5	18	61	39
QUEBRADA LA BORRASCA	AFb-1	25	29	24	22	20	20	14	12	8	6	18	51	49
	AFb-2B	33	26	21	20	53	26	5	5	0	0	11	81	19
	AFb-5	24	34	28	14	19	19	19	19	12	2	10	58	42
	AFb-6	8	31	29	31	24	23	18	16	6	3	10	28	62
	AFb-7	12	21	33	33	40	28	14	7	2	2	7	57	43

4坑、Quebrada La Borrasca地区では立坑が7坑とトレンチ1坑が夫々掘削され、そこから採取された試料についてふるい分け試験（Gradation analysis）が実施された。その結果はTable-10.8に示す通りである。

また、礫の種類、形状、堅硬度は観察によれば Puente Sanchez 地区の河川堆積物では砂岩・頁岩・チャート・玄武岩等の亜円礫ないし亜角礫よりなり、多くは堅硬な礫であるが、風化が進行し軟質な砂岩をかなり含むと同時に偏平で剥離性(fissility) のある頁岩も多く含む。またＩＣＥＬ報告書によれば同地区の堆積物には硫化物が許容量以上含まれている可能性が指摘されている。

またQuebrada La Borrasca地区では玄武岩、閃緑岩、礫岩よりなる亜円礫ないし亜角礫の堅硬な礫が多い。ＩＣＥＬによる推定採取可能量は15,000m³である。

以上の調査結果を勘案すると、Puente Sanchez地区の骨材では経済的に高品位なコンクリートは生産できないであろうし、また量的にもわずかであることから主たる採取地としては不適当である。また、Quebrada La Borrasca地区の骨材については推定採取可能量15,000m³であるにも係わらず運搬距離が既存国道まで1～2kmであり、またEl Siete No.1ダムまでは20km以上の運搬距離があることから経済性に問題があろう。

(2) コンクリート骨材原石山(Rock Quarry for Concrete Aggergate)

上述したように天然骨材を使用して多量の高品位コンクリート骨材を生産することは量的にも、経済的にも不可能であろうと判断される。

このことからＪＩＣＡ調査団はコンクリート骨材の原石山候補地（Prospective Rock Quarries for Concrete Aggregate）としてEl Siete No.1ダム地点を中心として約10km範囲内を概略調査した。

踏査により表層堆積物の厚さが薄く、岩質が堅硬で、亀裂が少なく、新鮮な玄武岩が分布すると推定されるEl Siete No.1ダム地点下流約 1.5kmの左岸に位置する塊状尾根を候補地（Quebrada Copo 地区）として選定した。

本候補地の沢部には新鮮、堅硬な岩質であるが5～50cm間隔の亀裂を伴う玄武岩が露出している。

ＪＩＣＡ調査団はこのコンクリート骨材原石山候補地・Quebrada Copo 地区の露頭から採取した岩石試料を使用して、次の項目を東京において試験した。なお試料採取位置はAppendix-Ⅲ-6に示されている。

a．岩石顕微鏡による岩石学的観察

b．X線分析による粘土鉱物の同定

c．岩石の物性（比重、吸水量）

上記試験は採取した3試料について実施し、その結果はTable-10.9に示されるとおりである。

試験の結果3試料とも表乾比重(bulk specific gravity-saturated surface-dry basis)は2.85～2.94を示し、吸水率(absorption)は 0.7～1.16といずれもコンクリート骨材としては十分な値を示している。また、岩石顕微鏡による岩石学的な観察、X線分析結果ではコンクリートに有害な膨潤性粘土鉱物(expanding clay mineral)やアルカリ骨材反応(alkali-aggregate reaction) を生じさせるような鉱物は発見されなかった。

(3) 土木地質的評価

本地域に分布する天然骨材は量的に少なく、質的にも問題が生じる可能性があることから使用するにしても仮設備用コンクリートなどに使用することとなろう。なお、骨材として使用する場合には使用に先立ち骨材の比重、吸水率、安定性、スリヘリ減量等の試験を実施する必要がある。

El Siete No.1ダム堤体等の重要構造物には高品位のコンクリートが要求されることから原石山より採取した岩石を砕石して使用することとなろう。原石山候補地としてはNo.1ダム地点下流約 1.5kmの左岸山体・Quebrada Copo 地区が有望であり、今後この地点に対して数孔のボーリングを実施し、岩盤の風化、硬さ、亀裂状態を把握すると伴に骨材の安定性、スリヘリ減量、一軸圧縮試験を実施し、量および質の確認をする必要がある。

Table-10.9 Physical Properties of Basalt in Quarry Site (Quebrada Copo Area)

Sample No.	Rock Name	Bulk Specific Gravity (S.S.D.)	Bulk Specific Gravity (Dry)	Absorption (%)	Microscopic Observation and X-ray Analysis
Q - 1	Augite meta-basalt	2.94	2.92	0.83	No trace of harmful mineral for concrete
Q - 2	ditto	2.95	2.92	1.16	
Q - 3	ditto	2.85	2.83	0.70	

10.6 地震解析

10.6.1 地震データ

解析に用いたデータはＮＯＡＡ（National Oceanic and Atmospheric Administration Environmental Data Service）により収録された「地震データファイル」（"The Earthquake Data File"）を用いた。1929～1981年の全地震数は2711である。解析にはFig.－10.6.1に示すように、アトラートプロジェクト地点（5° 51'N, 76° 15'W）より半径、1,000 km以内のすべての地震を用いた。解析に用いた地震データのうち毎年の地震データ数と1929年からの累加地震数を Table－10.4に示す。また、マグニチュード、震央距離等の分布を Table－10.11 およびFig.10－4 ～10－11に示す。

10.6.2 減衰モデル

従来提案されてきた減衰モデル（最大加速度Ａgal を地震マグニチュードＭ、震源距離Ｒkmたはは震央距離Ｄkmで表わしたもの）のうち、以下の示す５モデルを本解析に用いた。

$$\log A = 3.090 + 0.347M - 2\log(R + 25) \quad (1)$$

by C. Oliveira[1].

$$\log A = 2.674 + 0.278M - 1.301\log(R + 25) \quad (2)$$

by R.K. McGuire[2].

$$\log A = 2.041 + 1.842M - 1.6\ 1\log D \quad (3)$$

by L. Esteva and E. Rosenblueth[3].

$$\log A = 2.308 + 0.411M - 1.637\log(R + 30) \quad (4)$$

by T. Katayama[4].

$$\log(A/640) = (D + 40)(-7.6 + 1.724M - 0.1036M^2)/100 \quad (5)$$

by S. Okamoto[5].

上述の全地震データに対し、上記の減衰モデルを用いてプロジェクト地点の最大加速度を計算した。この結果、各年の最大加速度としてTable-10.12 に示す値が得られた。

10.6.3 最大加速度の統計解析

1929～1981年における各年の最大加速度計算結果を用い、「極値理論」に基づいた確率モデルを作成した。この場合、時間間隔は1年とした。

プロジェクト地点に生ずるであろう最大加速度の確率分布は未知であるが、この確率関数P(x)は次式で表わされる第Ⅲ型の漸近分布と仮定するのが合理的である。

$$P(x) = \exp\left[-\left[(w-k)/(w-u)\right]^{k}\right] \qquad (6)$$

ここに、w：確率変数Xの上限値

k：定　　数

u：特　性　値

であり、確率変数xは、この場合各年の最大加速度の対数で表される。

$$x = \log Amax \qquad (7)$$

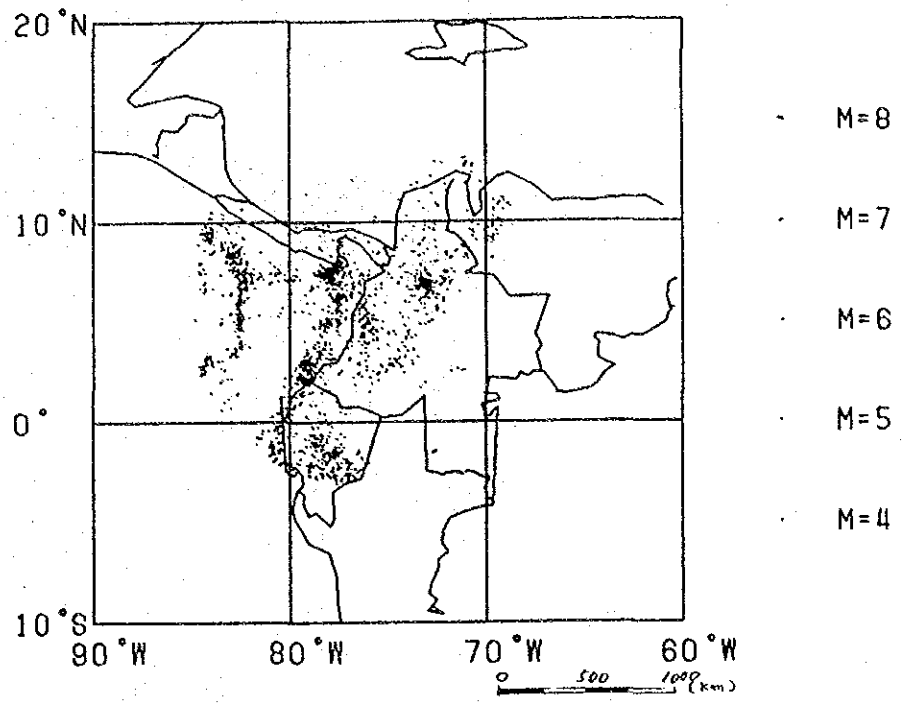
いま、10.6.2に述べた最大加速度データを次式に示すプロッテイングポジション式を用いて図上にプロットすれば Fig-10.12 ～10.16

$$P(m) = (N-m+1)/(N+1) \qquad (8)$$

ここに、N（＝53）は時間間隔の全個数であり、m は大きい方から数えたデータの順番を示す。同図上には、第Ⅲ漸近分布関数を実線で併記しているが、この結果より各再現期間に相当する最大加速度が算定できることになる。

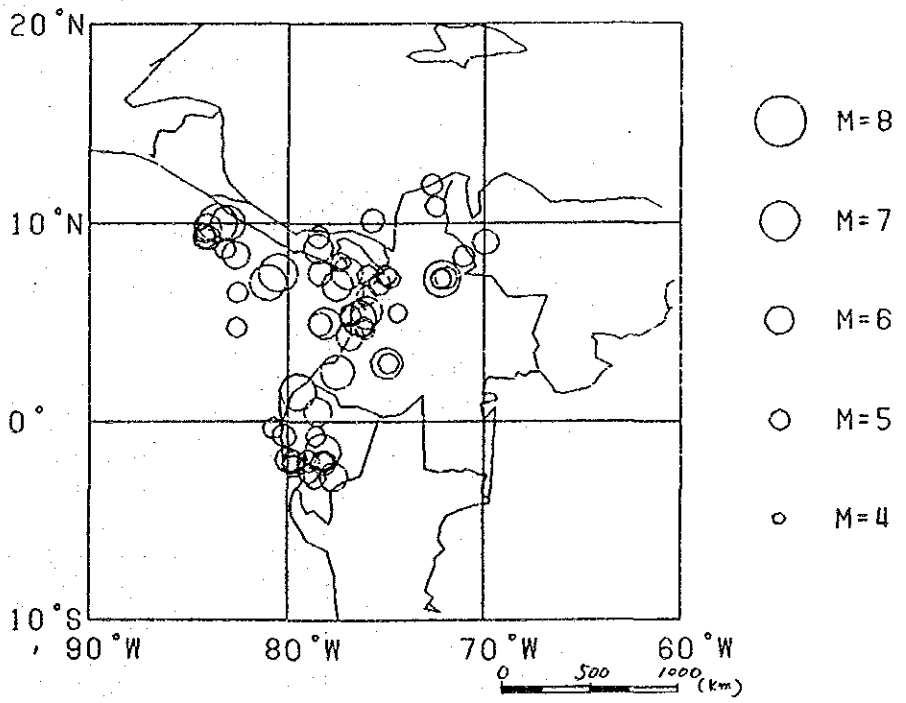
Table-10.13 に再現期間50,100,200,500年に対してプロジェクト地点に予想される最大加速度を示す。

Fig. 10-4 Seismicity of All Data in 1929 - 1981



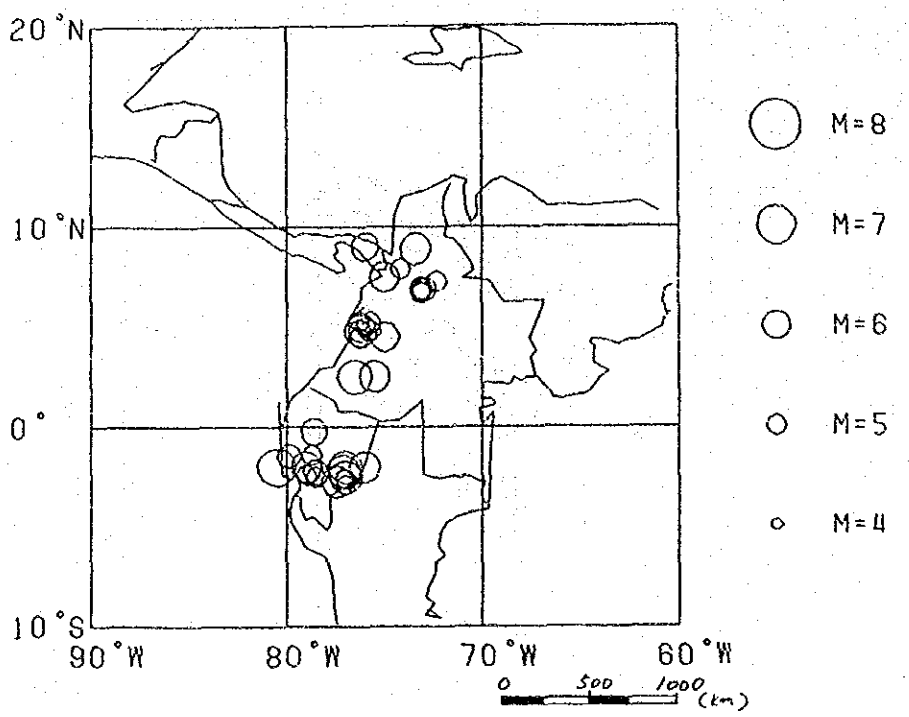
Total Number of Plots in the area of $\Delta \leqq 1000.0$ (km) is 2407.

Fig. 10-5 Distribution of Focul Depth $50 \leqq D < 100$ km ($M \geqq 5$) in 1929 - 1981



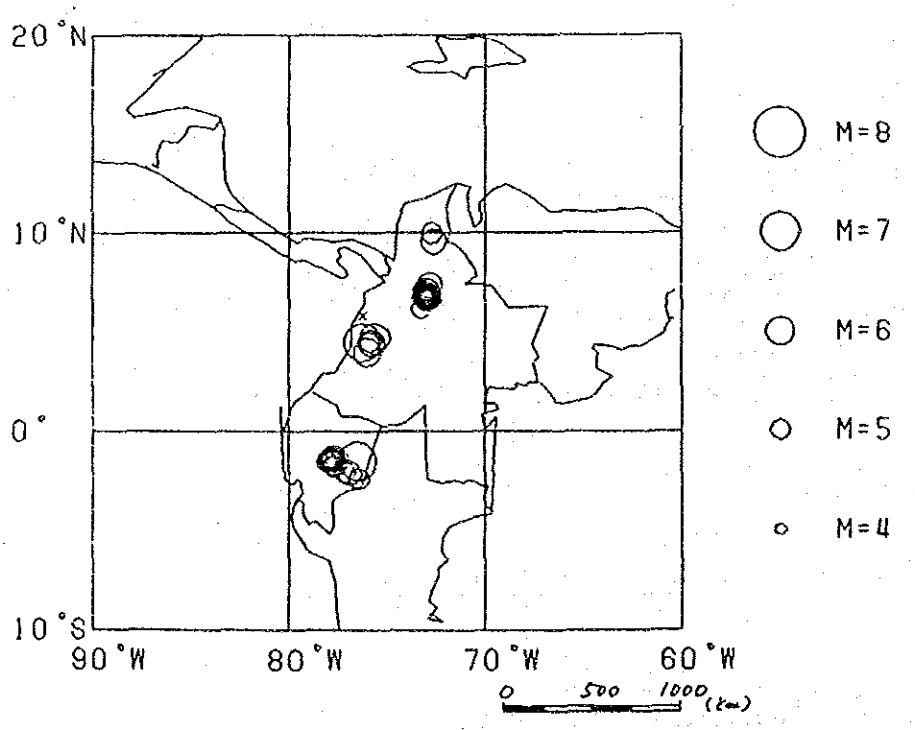
Total Number of Plots is 59.

Fig. 10-6 Distribution of Focul Depth 100 ≦ D < 150 km (M≧5) in 1929 - 1981



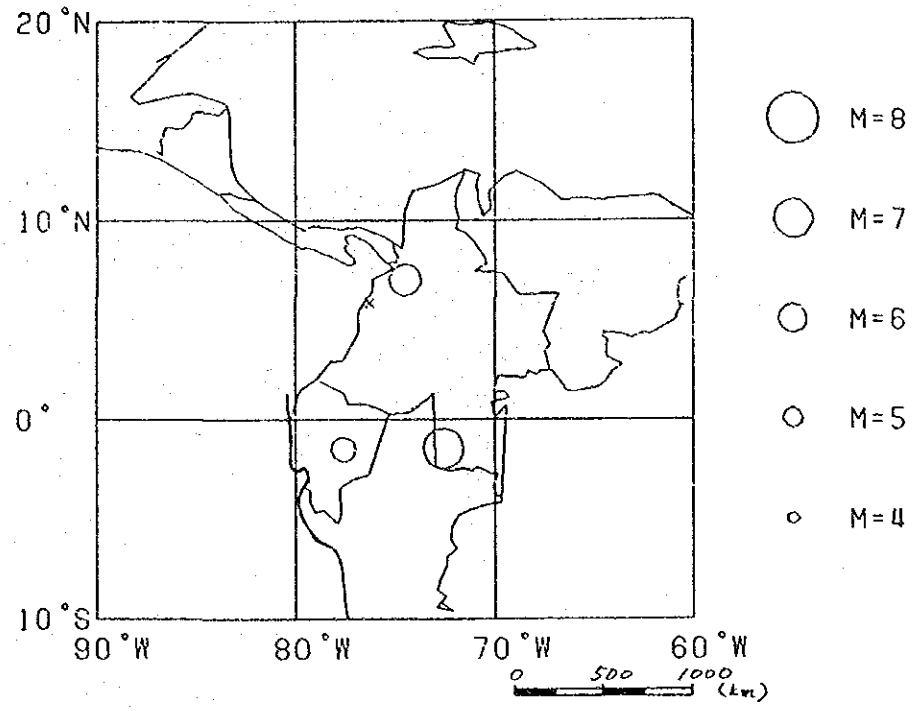
Total Number of Plots is 36.

Fig. 10-7 Distribution of Focul Depth 150 ≦ D < 200 km (M≧5) in 1929 - 1981



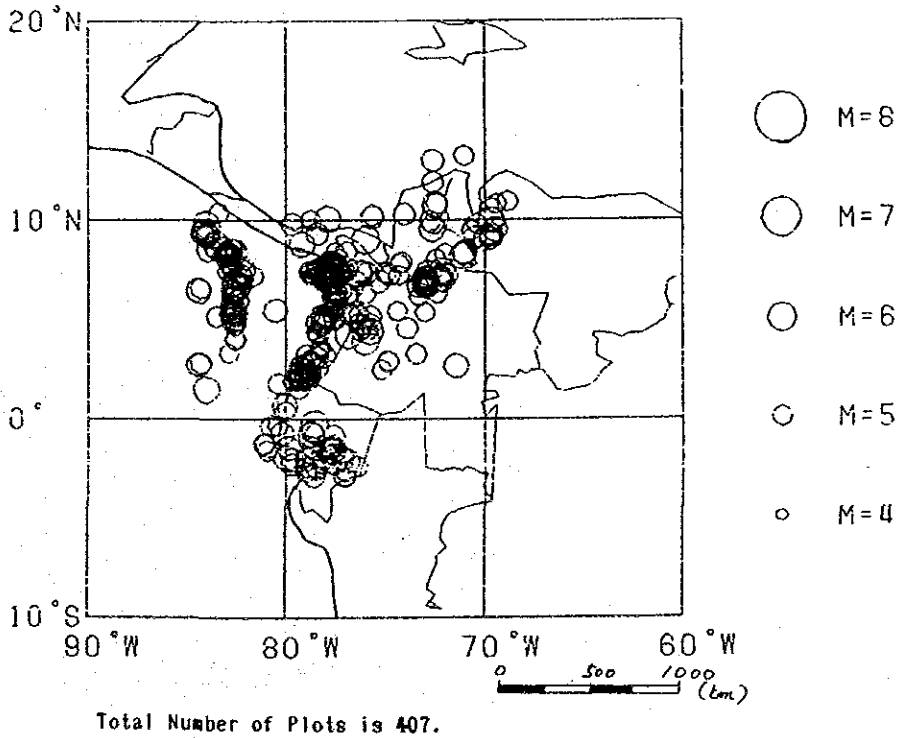
Total Number of Plots is 84.

Fig. 10-8 Distribution of Focul Depth D ≧ 200 km (M≧5) in 1929 - 1981



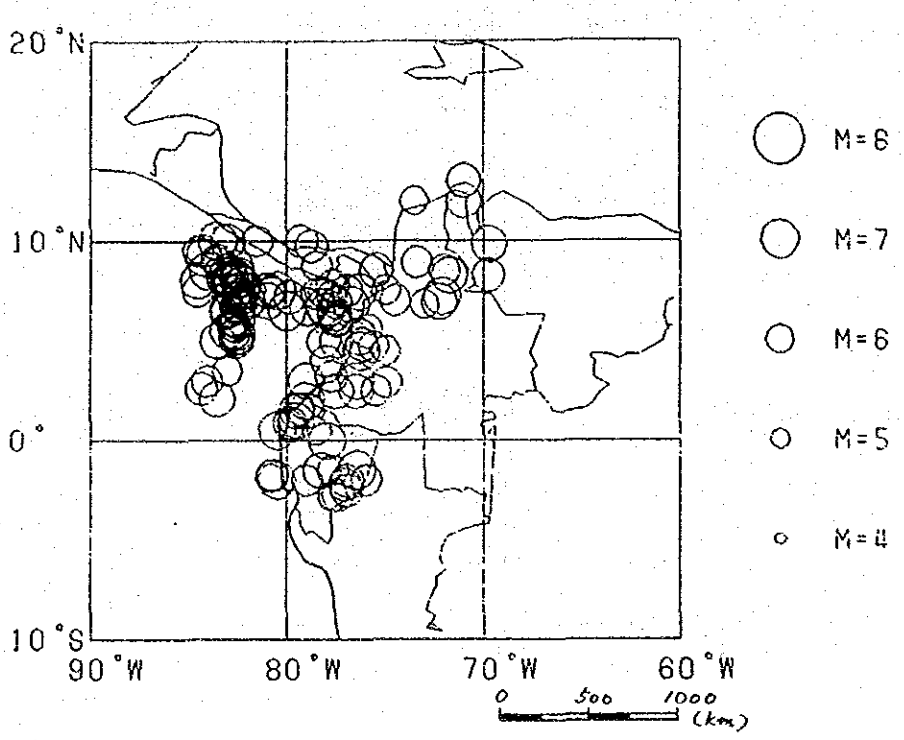
Total Number of Plots is 3.

Fig. 10-9 Seismicity of Magnitude 5≦M<6 in 1929 - 1981



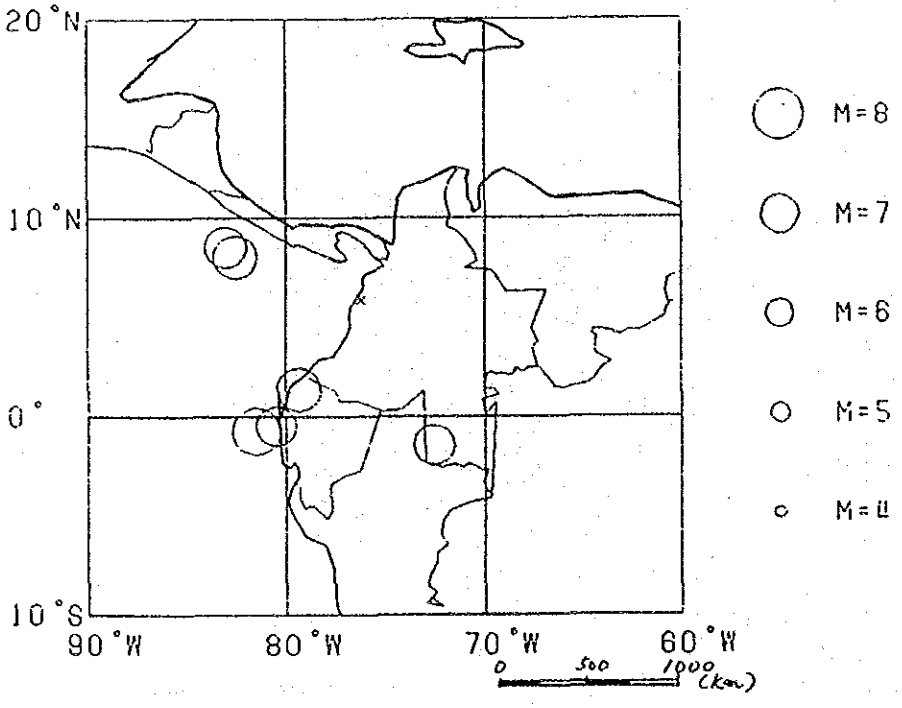
Total Number of Plots is 407.

Fig. 10-10 Seismicity of Magnitude 6≦M<7 in 1929 - 1981



Total Number of Plots is 142.

Fig. 10-11 Seismicity of Magnitude 7≦M<8 in 1929 - 1981



Total Number of Plots is 6.

Fig. 10-12 Maximum Acceleration [Oliveira, C Eq.(1)]

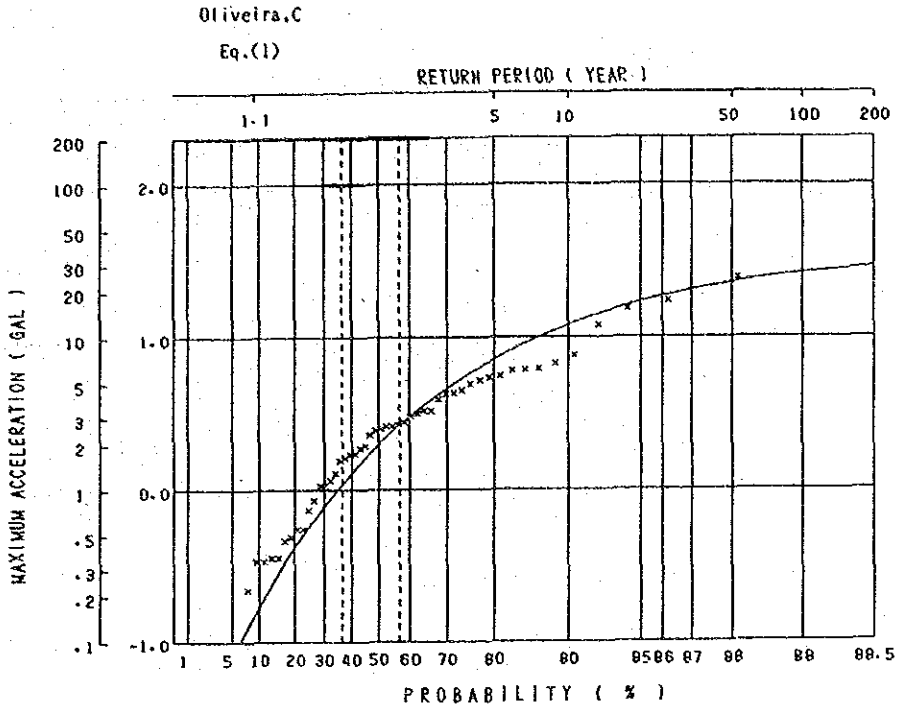


Fig. 10-13 Maximum Acceleration [McGuire, R.K. Eq.(2)]

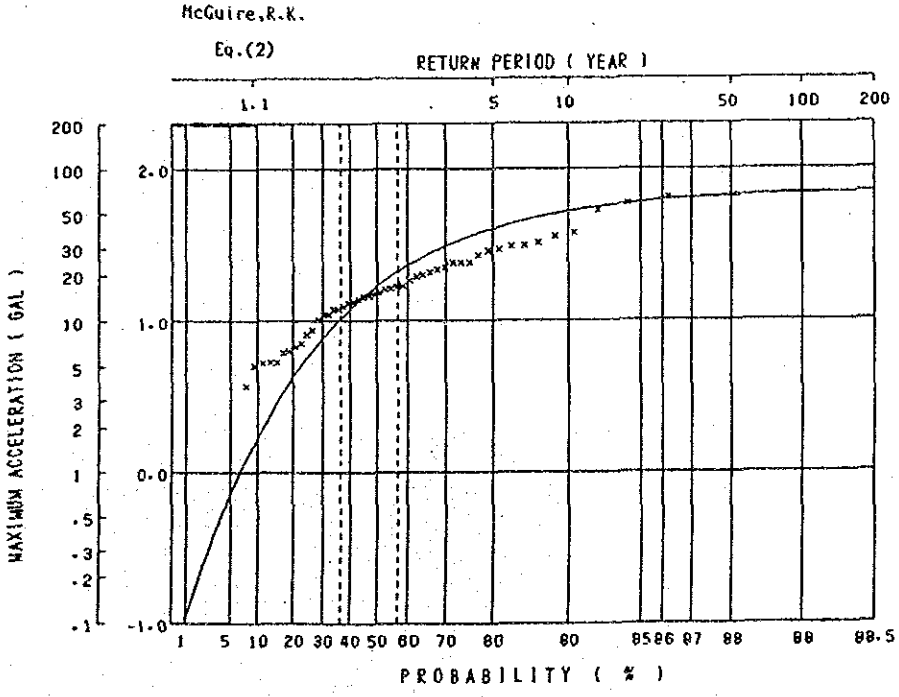


Fig. 10-14 Maximum Acceleration [Esteva, L. α Rosenblueth, E. Eq.(3)]

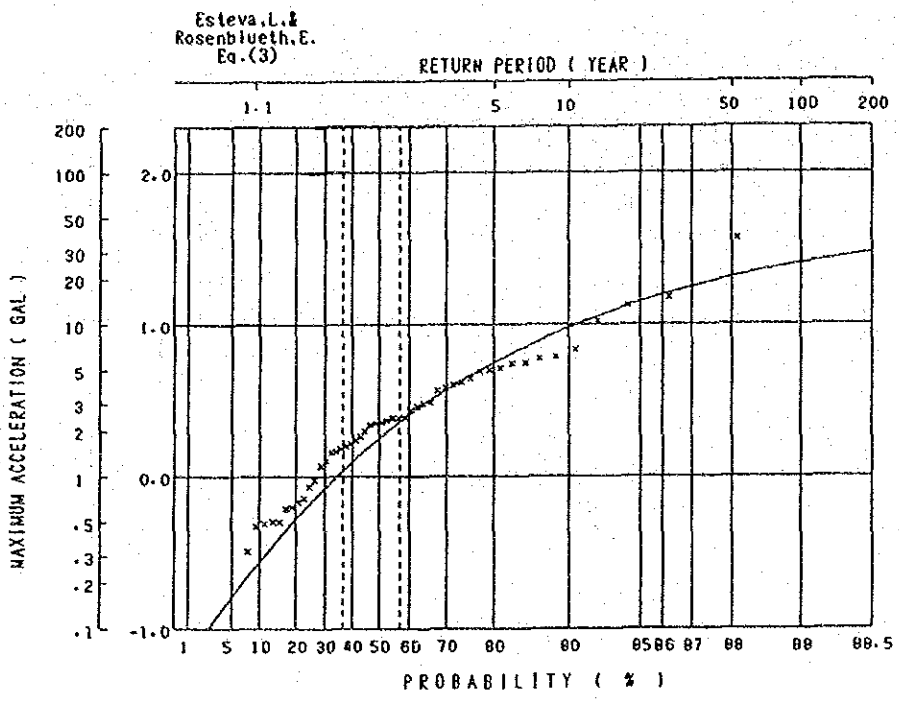


Fig. 10-15 Maximum Acceleration [Katayama. T. Eq.(4)]

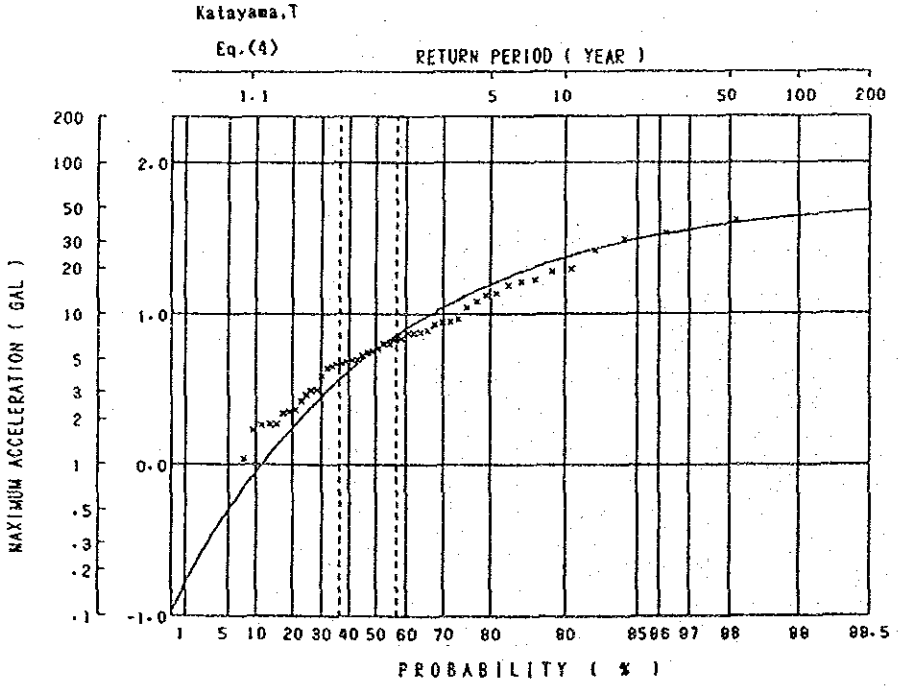


Fig. 10-16 Maximum Acceleration [Okamoto. S. Eq.(5)]

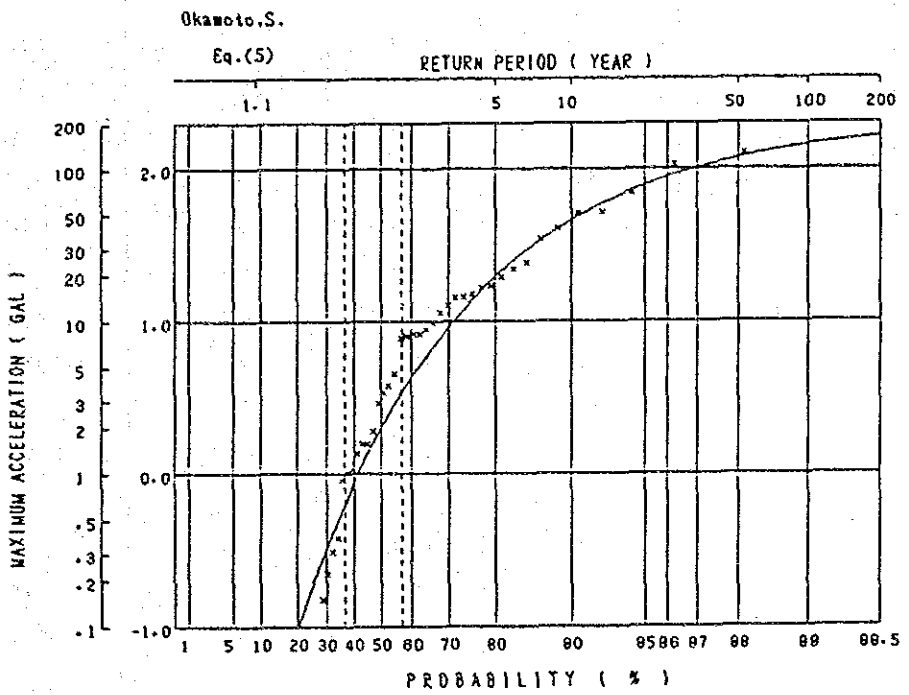


Table-10.10 Number of Earthquakes in a year during the period from 1929 to 1981

Year	N	Sum of N	Year	N	Sum of N
1929	2	2	1958	15	124
1930	3	5	1959	3	127
1931	3	8	1960	6	133
1932	3	21	1961	6	139
1933	10	21	1962	8	127
1934	8	29	1963	104	251
1935	6	35	1964	129	380
1936	0	35	1965	159	539
1937	5	40	1966	151	690
1938	2	42	1967	146	836
1939	3	45	1968	100	936
1940	2	47	1969	74	1010
1941	5	52	1970	113	1123
1942	4	56	1971	73	1196
1943	8	64	1972	66	1262
1944	3	67	1973	132	1394
1945	3	70	1974	185	1579
1946	0	70	1975	103	1682
1947	0	70	1976	170	1852
1948	1	71	1977	83	1935
1949	2	73	1978	79	2014
1950	1	74	1979	212	2226
1951	3	77	1980	137	2363
1952	11	88	1981	44	2407
1953	0	88			
1954	5	93			
1955	1	94			
1956	8	102			
1957	7	109			

Table-10.11 Distribution of Magnitude and Epicentral Distance of the Seismicity Data

	0 ≦ < 50	<100	<200	<300	<400	<500	<600	<700	<800	≦1000	Total
3.0 ≦ M < 3.5	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	4
< 4.0	0	5	9	6	59	11	5	4	7	35	141
< 4.5	5	10	43	74	255	54	30	41	64	192	768
< 5.0	1	8	73	137	234	79	44	59	100	204	930
< 5.5	0	6	24	56	78	24	17	21	42	54	322
< 6.0	0	1	8	10	11	6	6	9	13	21	85
< 6.5	1	0	9	10	4	3	5	7	19	19	77
< 7.0	0	1	4	2	5	4	6	14	10	19	65
< 7.5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	5
< 8.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	7	31	170	295	649	182	113	156	256	548	2407

△ : Epicentral Distance (km)
M : Magnitude

Table-10.12 Maximum Accelerations during a year from 1929 to 1981

	Oliveira,C Eq.(1)	McGuire,R.K. Eq.(2)	Esteva,L. & Rosenblueth,E. Eq.(3)	Katayama,T Eq.(4)	Okamoto,S. Eq.(5)
1929	.3	5.1	.5	1.7	.0
1930	1.6	13.2	1.6	5.3	2.9
1931	5.6	30.0	5.1	15.4	14.4
1932	3.3	20.6	3.1	8.9	3.8
1933	.5	6.7	.7	2.3	.0
1934	2.0	15.2	2.0	6.3	1.1
1935	15.1	58.5	13.4	33.9	127.4
1936	.0	.0	.0	.0	.0
1937	1.3	12.0	1.4	5.0	.4
1938	5.2	30.9	5.0	16.8	40.3
1939	.8	8.7	.9	3.1	.0
1940	.2	3.7	.3	1.1	.0
1941	5.5	28.7	4.9	13.3	11.6
1942	2.3	16.9	2.3	7.6	3.4
1943	1.6	14.6	1.8	6.7	.9
1944	1.1	10.2	1.2	3.9	.1
1945	4.3	26.8	4.1	13.7	9.9
1946	.0	.0	.0	.0	.0
1947	.0	.0	.0	.0	.0
1948	.3	5.3	.5	1.9	.0
1949	.4	5.3	.5	1.8	.0
1950	.4	5.3	.5	1.8	.0
1951	1.1	11.1	1.3	4.7	.2
1952	7.6	37.3	6.8	19.8	24.0
1953	.0	.0	.0	.0	.0
1954	.5	6.2	.6	2.2	.0
1955	.5	7.1	.7	2.6	.0
1956	6.8	35.3	6.2	18.8	21.8
1957	11.9	52.0	10.6	31.1	51.5
1958	1.2	12.4	1.5	5.9	.3
1959	.5	6.4	.6	2.2	.0
1960	3.9	23.9	3.7	11.1	8.0
1961	.7	8.1	.9	2.9	.0
1962	17.1	65.8	15.1	41.3	106.3
1963	1.7	11.0	1.5	3.1	1.3
1964	2.5	13.8	2.2	4.6	12.7
1965	2.7	16.1	2.4	5.6	16.5
1966	2.6	14.4	2.3	4.4	17.0
1967	1.7	12.1	1.6	4.5	1.9
1968	4.5	21.5	4.0	7.5	4.6
1969	6.1	24.1	6.0	7.5	8.3
1970	24.2	63.6	36.3	26.2	50.9
1971	2.5	14.8	2.2	4.8	1.0
1972	3.1	18.3	2.8	6.9	69.7
1973	3.3	20.0	3.0	8.8	15.0
1974	4.3	22.4	3.8	8.6	8.9
1975	6.3	29.1	5.5	12.2	14.2
1976	5.0	24.2	4.4	9.3	19.4
1977	3.2	19.4	2.9	7.8	7.8
1978	2.6	16.8	2.4	6.3	1.6
1979	6.1	32.3	5.5	16.3	34.7
1980	1.9	13.3	1.7	4.9	8.4
1981	2.8	16.4	2.5	5.7	1.6

unit: gal

Table-10.13 Maximum Accelerations for Three Return Periods (gal)

Model (Eq. No.)	Proposer(s)	Return Period. Tr (year)			
		50	100	200	500
(1)	C. Oliveira	23	26	29	31
(2)	R.K. McGuire	65	68	69	70
(3)	L. Esteva & R. Rosenblueth	32	40	48	58
(4)	T. Katayama	39	44	48	51
(5)	S. Okamoto	118	142	161	179

10.7 結論および勧告

10.7.1 結論

今回の調査によって得られたEl Siete No.1およびNo.2計画に関する地質工学上の所見を要約すると下記のとおりである。

(1) El Siete No.1調整池

El Siete No.1調整池地内には、池の水密性のうえで問題となるような地形的、地質的条件は存在しない。

調整池リムに分布する泥流堆積物斜面の安定性に関しては一応その検討対象となるがその大部分が貯水池満水位より上部に分布することから局部的な保護を行えば大きな崩壊を生じる可能性は少ないと考えられる。

調整池周辺部および上流域の斜面の小崩壊や流出土砂による貯水池内への堆砂問題に関しては調整池容量確保のため堆砂対策を考慮しておく必要があろう。

(2) El Siete No.1ダム

El Siete No.1ダム基礎として、その右岸側に分布する泥流堆積物は掘削除去する必要がある。また、ダム基礎として、本地点の基盤を成す玄武岩の表面の風化部を掘削し、かつ適当な止水処理（例えばカーテングラウト）により保水性を確保する必要がある。

また堤体右岸アバットの上流および下流部の泥流堆積物上の掘削法面は湛水の影響で崩壊する可能性もあることから斜面の安定対策を考慮しておく必要があろう。

(3) El Siete No.1補助ダム

El Siete No.1補助ダム基礎として、河床砂礫・段丘堆積物および基盤表層の風化部は掘削除去する必要がある。基盤の保水性に関しては基盤表層の風化部を除去すれば十分な保水性が確保されると考えられるが、部分的には止水処理（例えばカーテングラウト）が必要となるかもしれない。

(4) El Siete No.1導水路トンネル

El Siete No.1導水路トンネル経過区間のうち約80%に玄武岩が分布し、約20%に砂岩頁岩を主体とした地層が夫々分布すると推定される。

導水路トンネルに分布する、これら岩石の大部分は新鮮で堅硬、ち密と予想され、また、トンネルと交差すると推定される断層も少ないことからトンネル掘削には地

質的に不都合な条件は比較的少ないと考えられる。

(5) El Siete No.1補助連絡トンネル

El Siete No.1補助連絡トンネル区間のうち約50%に頁岩と石灰質頁岩の互層およびチャートと石灰岩の互層が、約50%に玄武岩が夫々分布すると推定される。本トンネルに分布する、これら岩石はおおむね新鮮で堅硬、ち密であり、トンネル掘削に特に大きな地質的問題を提供しないと考えられる。

ただし、本トンネル経過地のうち、Sta Lucia 沢付近ではトンネルの被りが薄く、またその付近で数条の小断層とトンネルとが交差する可能性があり、掘削時に多少地下水が湧出する可能性があり注意を要する。

(6) El Siete No.1調圧水槽、水圧管路、発電所および放水路地点

El Siete No.1調圧水槽から水圧管路経過地の基盤表面は水圧管路下部ほど風化が深部まで及んでいると予想される。

調圧水槽地点では掘削法面に強風化岩盤が露出することになることから、その安定性確保に留意する必要がある。

水圧管路固定台基礎は基盤の強風化部より深部に求める必要がある。

発電所基礎には新鮮、堅硬な岩盤が分布し、発電所基礎として十分な地耐力が得られよう。但し発電所基礎掘削により出現する掘削法面にはSlopewash ・強風化岩盤部が存在することから、その法面の安定性については注意をする必要があろう。

放水路トンネルには全体に新鮮で堅硬な岩盤が分布すると推定され、土木地質的問題点は少ないと予想される。

(7) El Siete No.2取水ダム

El Siete No.2取水ダム右岸側の泥流堆積物はダム基礎としては不適当で掘削除去する必要があるだろう。また、ダム基礎として本地点の基盤を成す玄武岩および砂岩頁岩互層の表面の強風化部を掘削除去し、かつ適当な止水処理（例えばカーテングラウト）を考える必要があろう。

(8) El Siete No.2導水路トンネル

El Siete No.2導水路トンネル経過区間のうち約10%に砂岩頁岩互層が、約60%に輝緑岩および角閃岩が、約30%に閃緑岩が夫々分布すると推定される。本トンネルに分布する、これら岩石は大部分、新鮮、堅硬で局部的な不良部が存在するとしても大部分は良好な岩盤中を通過すると考えられる。

なお、本トンネルと交差する輝緑岩と閃緑岩の境界部には片状構造をもつ角閃岩帯が分布していることから、その部分のトンネリングに際しては多少の注意が必要であろう。

(9) El Siete No 2 調圧水槽、水圧管路および発電所

調圧水槽地点の基盤をなす閃緑岩は表層から最大20m程度まで強風化している可能性があり、水槽立坑と地表部の掘削法面の設計にはこのことを考慮する必要がある。

水圧管路経過地の基盤をなす閃緑岩は地表から最大約30m程度の深さまで風化していると推定されるが、水圧管路固定台の支持基盤は地表から6～7m以浅で得られる可能性がある。

発電所基礎はほぼ十分な地耐力を持つ、部分的に風化した角閃岩となると考えられる。発電所背面の法面の安定性については川側に傾斜する節理や片状構造が基盤に存在することから注意を要する。

(10) コンクリート骨材

本地域に分布する天然骨材は量的に少なく、質的にも問題が生じる可能性があることから使用するにしても補助としてであろう。El Siete No 1 ダム堤体等の重要構造物には高品位のコンクリートが要求されることから原石山より採取した岩石を砕石して使用することとなろう。

原石山候補地としてはEl Siete No 1 ダム地点下流約1.5kmのAtrato川左岸山体・Quebrada Copo 地区が有望であろう。

10.7.2 勧告

上述の結論は初歩的調査結果に基づいており今後実施設計の段階とするには下記に示すような種々の調査が各計画構造物地点で必要と思われ、その実行を勧告する。

a. 精度の高い地形図（縮尺1／500 ～1／1,000 程度）を利用した各構造物地点の地質踏査を実施する。

b. 精度の高い地形図（縮尺1／5,000 程度）を利用した水路経過地の地質踏査を実施する。

c. Table-10.10 に示すボーリングおよび横坑調査を実施する。

Table-10.14 Proposed Additional Subsurface Investigation Works

Project	Site		No.	Length (m)	Direction	Remarks
EL SIETE NO.1	Auxiliary Dam and Sedimentation Baisn	Drillhole	AD-101	20	Ver.	Water pressure test should be performed
			102	20	Ver.	
			103	25	Ver.	
			104	20	Ver.	
			105	20	Ver.	
			106	15	Ver.	
			107	15	Ver.	
			Total: 7 holes 135m			
	Dam	Drillhole	AD-10	50	Ver.	Water pressure test should be performed.
			11	30	45° N18°E	
			12	40	Ver.	
			13	30	Ver.	
			14	40	Ver.	
			15	40	Ver.	
			Total: 6 holes 230m			
		Adit	AA-1	50	N20°E	Plate loading test and rock shear test should be performed.
			-2	30	S20°W	
			Total: 2 adits 80m			
	Surge Tank	Drillhole	AD-201	60	Ver.	Standard penetration test should be performed.
	Penstock		202	15	Ver	
			203	15	Ver.	
			204	15	Ver.	
			205	20	Ver.	
	Powerhouse		206	40	Ver.	
			207	20	Ver.	
	Surge Tank – Powerhouse		Total: 7 holes 185m			

Project	Site		No.	Length (m)	Direction	Remarks
EL SIETE NO.2	Intake Dam	Drillhole	BD-101	20	Ver.	Water pressure test should be performed.
			102	30	45°N80°E	
			103	25	Ver.	
			104	50	Ver.	
			105	45	Ver.	
			106	20	Ver.	
			Total: 6 holes 190m			
	Surge Tank	Drillhole	CD-3	60	Ver.	Standard penetration test and lateral loading test should be performed.
	Penstock		4	15	Ver.	
			5	15	Ver.	
			6	15	Ver	
			7	20	Ver.	
	Power-house		8	20	Ver.	
			9	20	Ver.	
	Surge Tank – Penstock		Total: 7 holes 165m			
	Penstock	Pit	BT-15	5	Ver.	Plate loading test should be performed.
			16	10	Ver.	
			Total: 2 pits 15m			
NO.1 AND NO.2	Quarry Site	Drillhole	QD-1	50	Ver.	
			QD-2	30	Ver.	
			QD-3	30	Ver.	
			Total: 3 holes 110m			

第11章　開発方式および開発規模の検討

第１１章　開発方式および開発規模の検討

11.1　基本方針および基本条件 ……11－1

11.1.1 基　本　方　針 ……11－1

11.2　開発方式の検討 ……11－4

11.2.1　調整式、自流式および、貯水式の比較 ……11－4

11.2.2　調整池における堆砂対策 ……11－12

11.2.3　El Siete No1 ダム（調整池）のダム軸の選定 ……11－14

11.2.4　El Siete No1 補助ダムのダム軸の選定 ……11－15

11.2.5　El Siete No1 ダム（調整池）の最大規模の決定 ……11－15

11.2.6　各発電所位置および導水路ルートの検討 ……11－18

11.3　開発規模の検討 ……11－27

11.3.1　El Siete No1 発電所の最大使用水量 ……11－27

11.3.2　El Siete No2 発電所の最大使用水量 ……11－27

FIGURE LIST

		Page
Fig. 11–1	Area Capacity Curve of El Siete No1 Reservoir	11–7
Fig. 11–2	Sediment Trap Efficiency	11–12
Fig. 11–3	Study on Optimum Dam Height	11–16
Fig. 11–4	Comparison Plan of Power Station Site and Headrace Tunnel Route	11–21
Fig. 11–5	Study on Optimum Maximum Discharge	11–29
Fig. 11–6	Optimum Capacity of No.2 Intake Dam	11–31

TABLE LIST

Table–11.1	Outline of Development Plans of Regulating Pond Type	11–8
Table–11.2	Outline of Development Plans of Run-Off River Type	11–9
Table–11.3	Outline of Development Plans of Reservoir Type	11–10
Table–11.4	Comparison Study of Development Type of Atrato Project	11–11
Table–11.5	Operation Study on Sediment Flushing at El Siete No.1 Regulating Pond	11–13
Table–11.6	Study of Economic Comparison on El Siete No.1 Dam Axis	11–14
Table–11.7	Study of El Siete No.1 Dam Height in Daily Control Reservoir Type	11–17
Table–11.8	Outline of Development Plans of Alternative Power Stations Sites	11–23
Table–11.9	Study of Economic Comparison on Each Power Station Sites	11–26
Table–11.10	Study on Optimum Maximum Discharge	11–30
Table–11.11	Study on Optimum Maximum Discharge of No.2 Project	11–32

第11章　開発方式および開発規模の検討

11.1　基本方針および基本条件

11.1.1　基　本　方　針

アトラート川水力発電計画の基本的開発構想はマスター・プラン報告書にEl SieteNo.1およびNo.2が計画として提案されている。すなわち支流Toro川合流点下流付近のAtrato川本流にダムを築造して調整池を設け、ダム左岸より取水し、導水路によりGirardot測水所下流付近のAtrato川本流左岸に設置するNo.1 発電所に導水し発電を行い、発電後の放流水はNo.2は発電所の導水路に直接流入させるとともに、No.1発電所直上流のAtrato川本流に築造するNo.2取水ダムで取水した残流域の流入量も合せて導水路に流入させ、導水路によりPiñon 川合流点下流付近Atrato川本流右岸に設置するNo.2発電所に導水し発電を行うものである。またこの下流には今回の調査対象にはなっていないがEl Once 発電所が計画されている。

今回の発電計画の検討にあたっては、上記の基本的開発構想に基づきマスター・プラン報告書作成後に実施された水文、気象、地形、地質調査の結果を用いて、下記の検討を行うものとした。

— 調整池式、自流式、および貯水池式開発計画の比較検討

— 調整池式開発における堆砂対策

— El Siete No.1 ダム軸の選定

— El Siete No.1 補助ダム軸の選定

— El Siete No.1 ダム高の検討

— 各発電所位置および導水路ルートの検討

— 各発電所最大使用水量の検討

なお本計画の開発基本構想はEl Siete　No.1計画のダムに日間調整容量を持たせてNo.1およびNo.2計画とも調整池式ピーク発電所とするものであるので、両発電所を合せて一つの計画として、とりあつかう事とした。

11.1.2 基　本　条　件

(1) 開 発 計 画 区 域

マスター・プラン開発基本構想では計画区域を支流Toro川合流点下流付近標高1,450mよりPiñon 川合流点下流標高687m付近までのAtrato川本流約18.4km区間としており、この間の平均川床勾配は1／24急流であるが、その上流区域は平均約1／60、下流区域は約1／50で、ともに比較的暖い河床勾配となっている。また、前記Toro川合流点下流付近を除いては貯水池あるいは貯水池としての適地は存在しない。

このため開発方式の如何にかかわらず計画区域を開発基本構想よりも上、下流いずれに拡大しても、計画の経済性を著しく低下させる事になる。

従って本章の検討にあたっても、計画区域はマスター・プラン開発基本構想と同一区域とする。またこの区域はマスター・プランで下流地点としてあげられているEl Once 計画の影響範囲外である。

(2) 調 整 池 内 堆 砂

第8章5項で記述した通り、Atrato川本流に調整池あるいは貯水池を設けた場合、El Siete No.1 ダム地点では年間 $1.6\times10^6 m^3$の流入土砂が予想される。この土砂量は調整池を1年を経ずして埋没させるものである。したがって調整池式では堆積土砂排除が可能な方式を採用することを検討することとした。

(3) 保証流量と最大使用水量

開発計画を比較検討するにあたり、流量条件として、保証流量を選定した。

El Siete No.1 ダム地点へ流入する保証流量は、直上流にあるSanchez 測水所流量資料より流域換算して求めると12.3m³/sであり、El Siete No.2 取水ダム地点では14.3m³／s である。

保証流量は年間を通じて95％日数、(346日) 確保される流量であり、ＩＣＥＬおよびＩＳＡで水力計画を立案する上で基準となる確率流量である。

El Siete No.1およびNo.2計画の最大使用水量は保証流量で系統負荷に適応し、50％負荷で運転できる流量、すなわち調整式の場合、保証流量の2倍に相当する流量を基準とした。

この数値は開発方式検討の各案に共通して適用するとものであるが、貯水池式の場合の保証流量は上記の流量に貯水池から補給されうる流量を加算した流量が

適用される。

(4) 最適開発計画決定のための評価基準

本節では水力発電所を建設することを前提とした場合、その開発規模を決める尺度（評価基準）について述べるものである。一方第16章で述べる本プロジェクトの財務・経済的な評価は１つの評価尺度ではあるが、与えられたプロジェクト地点にあげる水力資源の最適利用を計測する尺度ではなく、電力以外の他のセクターにおけるプロジェクトとの間での優劣を、市場金利又は資本の機会費用との間で比較するものである。

一般に水力発電所の経済評価はプロジェクトの産出物である電気を代替発電設備で同じ供給信頼度のもとで産出した場合に必要なコストと水力発電プロジェクトのコストとの間で比較し水力プロジェクトのコストが小さい場合、水力プロジェクトは経済的にフィジィブルであるとされる。この代替発電設備については、電力系統の現状および将来の電源構成を考え、本プロジェクトが無い場合に、真に代替設備として建設される可能性のある発電設備を想定し評価基準とすることが大事である。

この意味において調査団はコロンビア電力系統の現状を調査すると共に将来開発が予定されているCartagena 石炭火力を代替火力発電設備として選定した。Cartagena 石炭火力発電計画については既にCORELCA によってフィジビリティが立証されており、水力発電プロジェクトの代替設備として最も妥当な評価基準とみて良い。

このCartagena 石炭火力発電プロジェクトを代替発電設備とした場合水力発電計画との間で同一供給信頼度レベルに合せるための補正係数を考慮した結果その評価尺度は次の如くなる。

1) 前提条件(300MWユニットの石炭火力が想定されている)

— KW当りの建設費（1984年表価格）	:	897.5 USドル
— 耐用年数	:	30年
— 所内比率	:	6 %
— 事故停止率	:	5 %
— 補修停止率	:	10%
— 運転保守維持費（燃料費を除く）	:	3 %