

5.5.4 各取水ダム地点流量の算定

5.5.3により、補足整備された基準測水所の流量資料を用い、各計画取水ダム地点の河川流量を下記により算出することとする。

(1) Rio Cauca 取水ダム地点流量の算定

$$Q_C = g_J \times \frac{A_C}{A_J}$$

Q_C : Rio Cauca 取水ダム地点流量 (m^3/sec)

g_J : Julumito 測水所地点流量 (m^3/sec)

A_C : Rio Cauca 取水ダム地点流域面積 (Km^2)

A_J : Julumito 測水所地点流域面積 (Km^2)

(2) Julumito ダム地点流量の算定

$$Q_S = g_S \times \frac{A_D}{A_S}$$

Q_S : Julumito ダム地点流量 (m^3/sec)

g_S : Pte. Carretera 測水所地点流量 (m^3/sec)

A_D : Julumito ダム地点流域面積 (Km^2)

A_S : Pte. Carretera 測水所地点流域面積 (Km^2)

(3) Rio Palace 取水ダム地点流量の算定

$$Q_P = g_M \times \alpha_1 \times \frac{A_P}{A_M} \quad (1月 \sim 4月, \quad 11月 \sim 12月)$$

$$Q_P = g_M \times \alpha_2 \times \frac{A_P}{A_M} \quad (5月 \sim 10月)$$

Q_P : Rio Palace 取水ダム地点流量 (m^3/sec)

g_M : Malvasa 測水所地点流量 (m^3/sec)

A_P : Rio Palace 取水ダム地点流域面積 (Km^2)

A_M : Malvasa 測水所地点流域面積 (Km^2)

α_1 : 流量修正係数 0.56

α_2 : 流量修正係数 0.36

(4) Rio Blanco 取水地点流量の算定

$$Q_B = g_J \times \frac{A_B}{A_J}$$

Q_B : Rio Blanco 取水ダム地点流量 (m^3/sec)

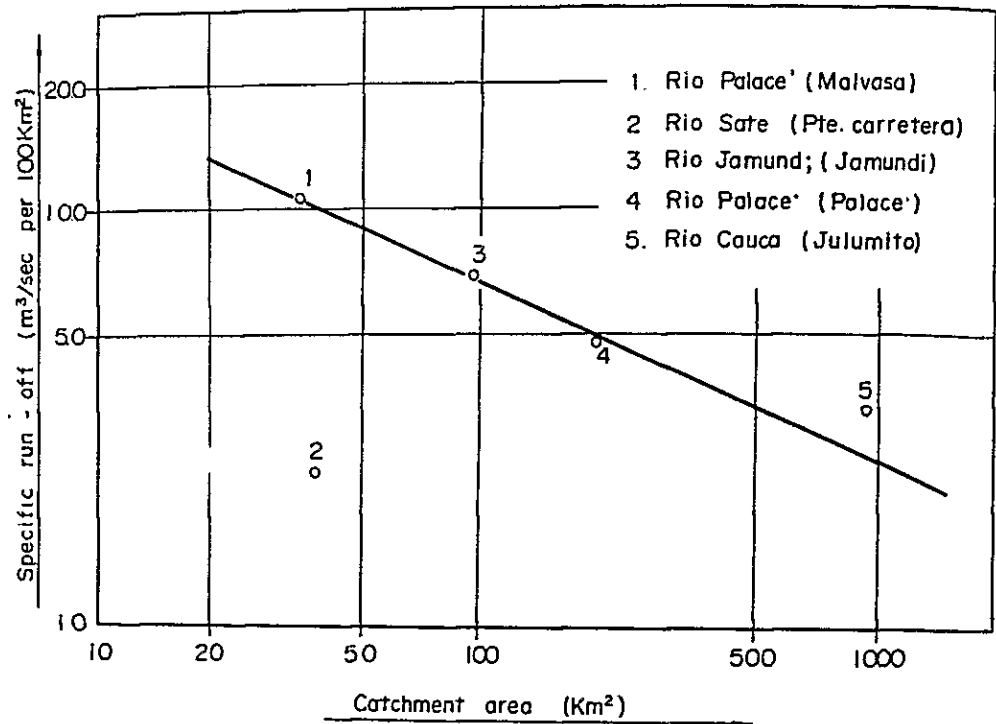
g_J : Julumito 測水所地点流量 (m^3/sec)

A_B : Rio Blanco 取水ダム地点流域面積 (Km^2)

A_J : Julumito 測水所地点流域面積 (Km^2)

(3)の修正係数 α は、Malvasa 測水所流量記録を使用するにあたっての比流量の修正である。本計画地域内外本・支流の比流量は Fig. 5-10に示すごとく、流域面積との間に高い相関がある。

Fig. 5-10 Correlation between Specific Run-off and Catchment Area



Malvasa 測水所地点比流量を 1.00 とした場合のこの相関は、ほぼ Table. 5-12 に示すごとくなる。これによれば、Rio Palace 取水ダム地点（流域面積 197.0 Km²）の比流量は、1月～4月および11月、12月の6ヶ月間、また、5月～10月の6ヶ月間の2季節に大別すると、Malvasa 測水所地点のその約 56% と 36% となる。

従って、Rio Palace 取水ダム地点の流量算定にあたっては、 $\alpha_1 = 0.56$ （1月～4月、および11月、12月）、 $\alpha_2 = 0.36$ （5月～10月）をとり、計算を行なうこととする。

以上により算定した各取水ダム地点および Julumito ダム地点の 1962 年 1 月から 1976 年 12 月までの 15 年間の月平均流量は、Table. 5-13 (1)～(4) に示す通りである。

Table 5-11 Specific Run-off at Malvasa and Palace Gauging Station

Gauging Station	(Unit: m ³ /sec./100 Km ²)												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
Palace	3.19	4.50	4.48	3.47	4.91	4.19	3.98	4.59	3.38	4.20	5.28	6.08	4.36
Malvasa	5.63	8.03	6.97	6.54	11.31	15.26	15.03	14.40	9.20	13.23	12.09	11.71	10.78

Note: Average of 1974 and 1975.

Table 5-12 Ratio of Specific Run-off in Rio Palace

Site	Month												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
Malvasa G.S. (35 Km ²)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Palace G.S. (204 Km ²)	0.57	0.56	0.64	0.53	0.43	0.27	0.26	0.32	0.37	0.32	0.44	0.52	0.40
Palace Diversion Dam Site (197 Km ²)	0.59	0.58	0.65	0.55	0.45	0.30	0.29	0.35	0.40	0.35	0.46	0.54	0.46
Average at Palace Diversion Dam Site													0.46
													$\alpha_1 = 0.56$
													$\alpha_2 = 0.36$
													$\alpha_1 = 0.56$

Note: Average of 1974 and 1975.

Table 5-13(1) Run-off at Rio Cauca Diversion Dam Site

Catchment Area 857.0 Km² (Unit: m³/sec.)

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
1962	20.66	22.01	23.87	19.47	24.16	26.52	25.89	21.91	15.70	17.08	22.55	29.70	22.48
1963	21.10	21.69	24.73	32.69	34.38	21.71	27.77	24.29	14.59	12.17	26.81	22.49	24.48
1964	21.90	17.80	14.22	18.72	17.51	20.48	20.78	36.55	21.13	28.37	20.11	29.43	22.25
1965	21.63	28.57	16.55	24.46	32.14	26.16	22.93	24.18	15.34	16.91	34.41	23.51	23.85
1966	16.18	14.18	21.86	20.31	16.33	17.74	22.50	18.67	15.88	17.57	28.69	46.81	21.46
1967	29.38	29.83	28.44	21.63	18.30	30.22	35.66	27.17	14.84	14.59	28.60	23.39	25.15
1968	18.16	13.93	19.32	21.31	16.25	22.49	29.97	14.61	13.96	24.53	35.69	22.05	21.04
1969	24.31	25.45	15.75	36.80	21.40	25.69	29.19	24.13	13.47	25.74	28.87	23.55	24.50
1970	21.33	32.44	30.24	18.72	26.93	39.18	29.63	27.40	23.19	26.52	42.03	31.43	29.04
1971	36.19	29.02	24.37	33.54	26.39	21.11	32.96	20.62	15.16	20.22	25.50	23.06	25.67
1972	32.13	26.24	23.59	32.29	25.83	26.45	42.12	22.57	22.96	14.01	26.18	27.86	26.85
1973	16.32	14.24	14.47	14.90	17.13	17.67	26.95	27.30	20.93	23.62	26.10	26.57	20.57
1974	26.83	37.78	37.76	22.03	25.05	20.65	39.54	23.04	17.97	20.14	30.23	25.81	27.20
1975	21.37	27.19	28.35	19.69	24.37	33.39	24.31	28.01	21.71	24.72	44.99	58.87	29.77
1976	23.66	25.01	32.76	34.07	27.00	30.70	52.82	26.96	18.30	15.88	15.06	10.67	26.10
Average	23.41	25.03	23.75	24.71	23.54	25.34	30.87	24.49	17.68	20.14	29.05	28.35	24.70

Table 5-13(2) Run-off at Julumito Dam Site (Rio Sate)

Year	Catchment Area 31.0 Km ² (Unit: m ³ /sec.)												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
1962	0.96	1.05	1.18	0.88	1.19	1.31	0.71	0.60	0.43	0.76	1.31	2.16	1.05
1963	0.98	1.77	1.25	1.84	1.69	1.07	0.76	0.66	0.40	0.48	1.72	1.24	1.15
1964	1.06	0.74	0.56	1.15	1.14	1.55	0.95	0.79	0.71	0.98	1.53	1.82	1.08
1965	1.31	0.86	0.63	1.02	1.15	0.60	0.63	0.45	0.37	0.77	1.68	1.94	0.95
1966	1.03	0.62	0.65	0.72	1.05	1.88	0.84	0.62	0.48	0.91	2.22	4.90	1.25
1967	1.58	1.61	1.52	1.07	1.11	1.29	0.98	0.74	0.41	0.62	1.99	1.33	1.18
1968	0.93	1.26	1.09	1.43	1.01	1.07	1.11	0.60	0.55	1.21	1.64	1.29	1.10
1969	1.02	1.15	0.71	1.68	1.46	1.02	0.75	0.50	0.38	1.30	1.57	1.42	1.08
1970	0.90	1.44	1.60	0.85	0.62	0.28	0.21	0.24	0.21	0.36	1.14	1.03	0.73
1971	1.51	1.37	0.91	0.81	0.89	0.58	0.26	0.16	0.31	0.73	1.26	0.89	0.80
1972	0.98	0.69	0.54	0.60	0.57	0.39	0.28	0.21	0.17	0.20	0.40	0.63	0.47
1973	0.45	0.31	0.26	0.23	0.25	0.34	0.57	0.76	0.79	0.95	1.33	1.44	0.64
1974	1.03	1.17	1.05	0.65	0.38	0.23	0.20	0.19	0.19	0.53	1.00	1.20	0.65
1975	0.79	1.01	0.74	0.53	1.00	0.62	0.60	0.32	0.31	0.41	1.42	2.02	0.81
1976	1.34	0.80	1.42	1.66	0.89	0.49	0.25	0.44	0.16	0.37	0.52	0.85	0.77
Average	1.06	1.06	0.94	1.01	0.96	0.78	0.61	0.49	0.39	0.71	1.38	1.61	0.92

Table 5-13(3) Run-off at Rio Palace Diversion Dam Site

Catchment Area 197.0 Km² (Unit: m³/sec.)

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
1962	4.39	3.39	6.97	5.72	8.62	11.32	21.64	16.79	6.63	5.36	9.65	6.39	8.96
1963	5.16	6.44	5.40	5.56	6.72	9.51	4.69	6.87	6.20	3.72	18.23	7.83	7.17
1964	2.64	2.70	2.00	6.10	5.66	9.96	9.55	12.15	9.20	14.13	10.09	13.86	8.20
1965	13.71	6.34	4.56	8.64	12.32	18.21	10.29	7.79	3.30	6.56	27.91	12.32	10.58
1966	3.50	2.86	4.71	4.61	2.40	3.86	8.37	10.27	7.10	4.00	16.91	50.94	10.04
1967	6.99	5.20	5.67	8.62	4.59	28.06	18.15	17.83	3.84	3.79	10.96	6.33	9.60
1968	4.37	4.65	5.09	9.43	8.07	27.50	39.40	17.28	2.29	3.74	11.54	11.17	12.08
1969	5.63	4.17	2.85	13.56	7.03	9.90	13.11	6.64	3.34	8.21	7.32	4.17	7.17
1970	3.95	8.53	5.86	7.97	11.40	15.31	8.30	11.96	9.34	8.49	19.84	8.76	9.95
1971	9.92	6.80	9.01	10.35	7.16	5.03	16.44	10.63	6.77	7.35	15.68	7.68	9.42
1972	12.90	10.30	8.32	8.71	6.96	7.88	18.51	5.58	5.50	3.52	10.10	8.11	8.87
1973	3.07	2.90	4.81	6.51	5.70	5.37	9.16	13.71	9.26	5.93	8.62	8.14	6.96
1974	6.92	9.97	7.43	7.87	6.61	8.54	14.01	7.08	5.24	5.93	10.06	6.68	8.01
1975	5.49	7.73	7.94	6.52	9.43	13.10	7.30	13.34	7.81	12.81	16.58	19.12	10.62
1976	6.81	7.17	6.79	12.37	9.45	11.15	19.61	9.81	7.25	5.28	9.42	6.30	9.29
Average	6.36	5.94	5.83	8.17	7.47	11.65	14.57	11.18	6.20	6.59	13.53	11.85	9.12

Table 5-13(4) Run-off at Rio Blanco Diversion Dam Site

Year	Catchment Area 39.0 Km ² (Unit: m ³ /sec.)												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
1962	0.94	1.00	1.09	0.89	1.10	1.21	1.18	1.00	0.72	0.78	1.03	1.35	1.02
1963	0.96	1.44	1.13	1.49	1.56	0.99	1.26	1.11	0.66	0.55	1.22	1.02	1.11
1964	1.00	0.78	0.65	0.85	0.80	0.93	0.95	1.66	0.96	1.29	0.92	1.34	1.01
1965	0.98	1.30	0.75	1.11	1.46	1.19	1.04	1.10	0.70	0.77	1.57	1.07	1.03
1966	0.74	0.65	0.99	0.92	0.74	0.81	1.02	0.85	0.72	0.80	1.31	2.13	0.98
1967	1.34	1.36	1.29	0.93	0.83	1.37	1.62	1.24	0.68	0.66	1.30	1.06	1.14
1968	0.83	0.63	0.88	0.97	0.74	1.02	1.36	0.66	0.64	1.12	1.62	1.00	0.96
1969	1.11	1.16	0.72	1.68	0.97	1.17	1.33	1.10	0.61	1.17	1.31	1.07	1.11
1970	0.97	1.48	1.38	0.85	1.23	1.78	1.35	1.25	1.06	1.21	1.91	1.43	1.32
1971	1.65	1.32	1.11	1.53	1.20	0.96	1.50	0.94	0.69	0.92	1.16	1.05	1.17
1972	1.46	1.19	1.07	1.47	1.18	1.20	1.92	1.03	1.04	0.64	1.19	1.27	1.22
1973	0.74	0.65	0.66	0.68	0.78	0.80	1.23	1.24	0.95	1.08	1.19	1.21	0.94
1974	1.22	1.72	1.72	1.00	1.14	0.94	1.80	1.05	0.82	0.92	1.38	1.17	1.24
1975	0.97	1.24	1.29	0.90	1.11	1.52	1.11	1.28	0.99	1.12	2.05	2.68	1.35
1976	1.08	1.14	1.49	1.55	1.23	1.40	2.40	1.23	0.83	0.72	0.68	0.48	1.19
Average	1.07	1.14	1.08	1.12	1.07	1.15	1.40	1.12	0.80	0.92	1.32	1.29	1.12

Fig. 5-11 Hydrograph at Gauging Stations in Project Area (1)

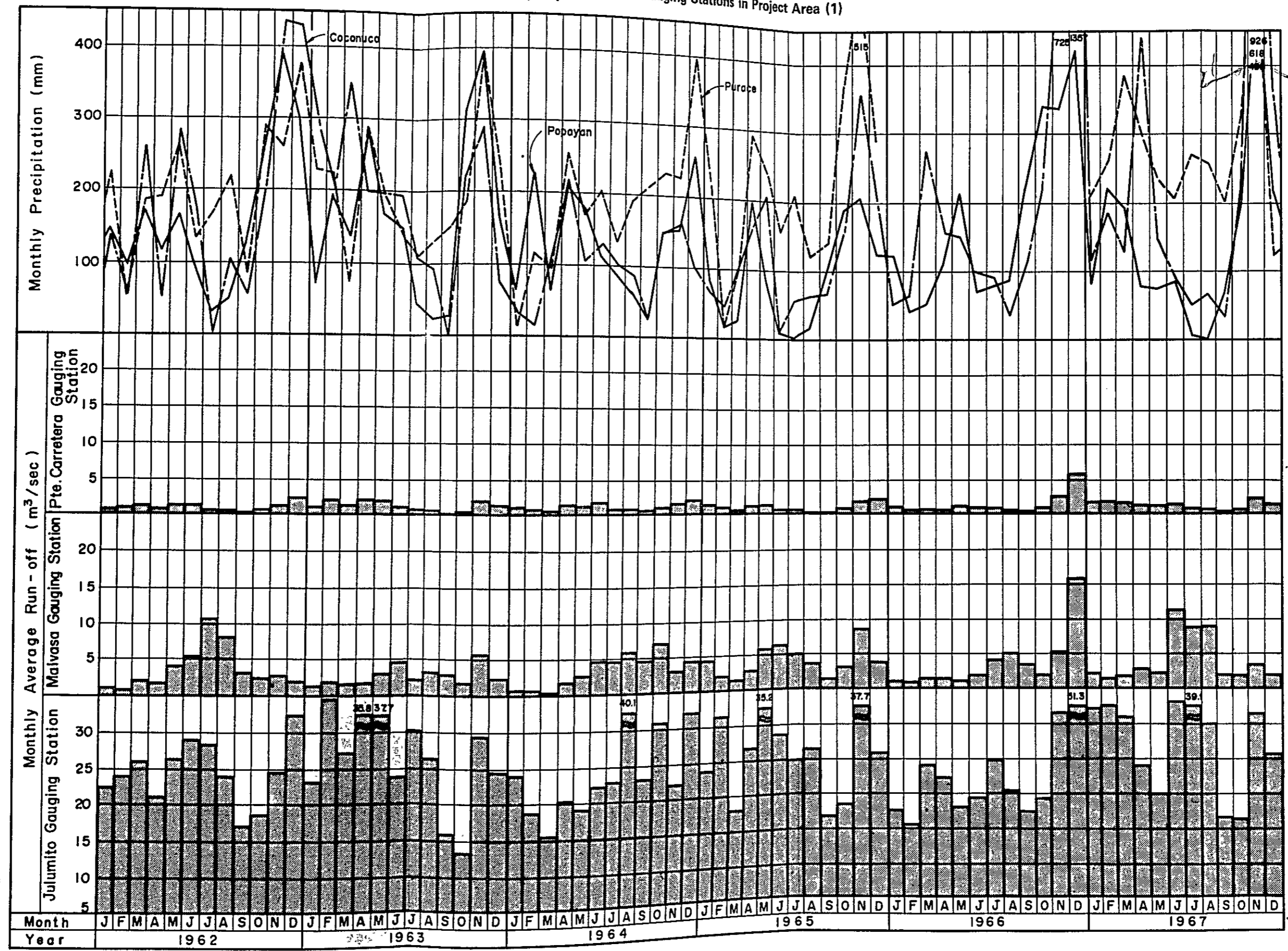
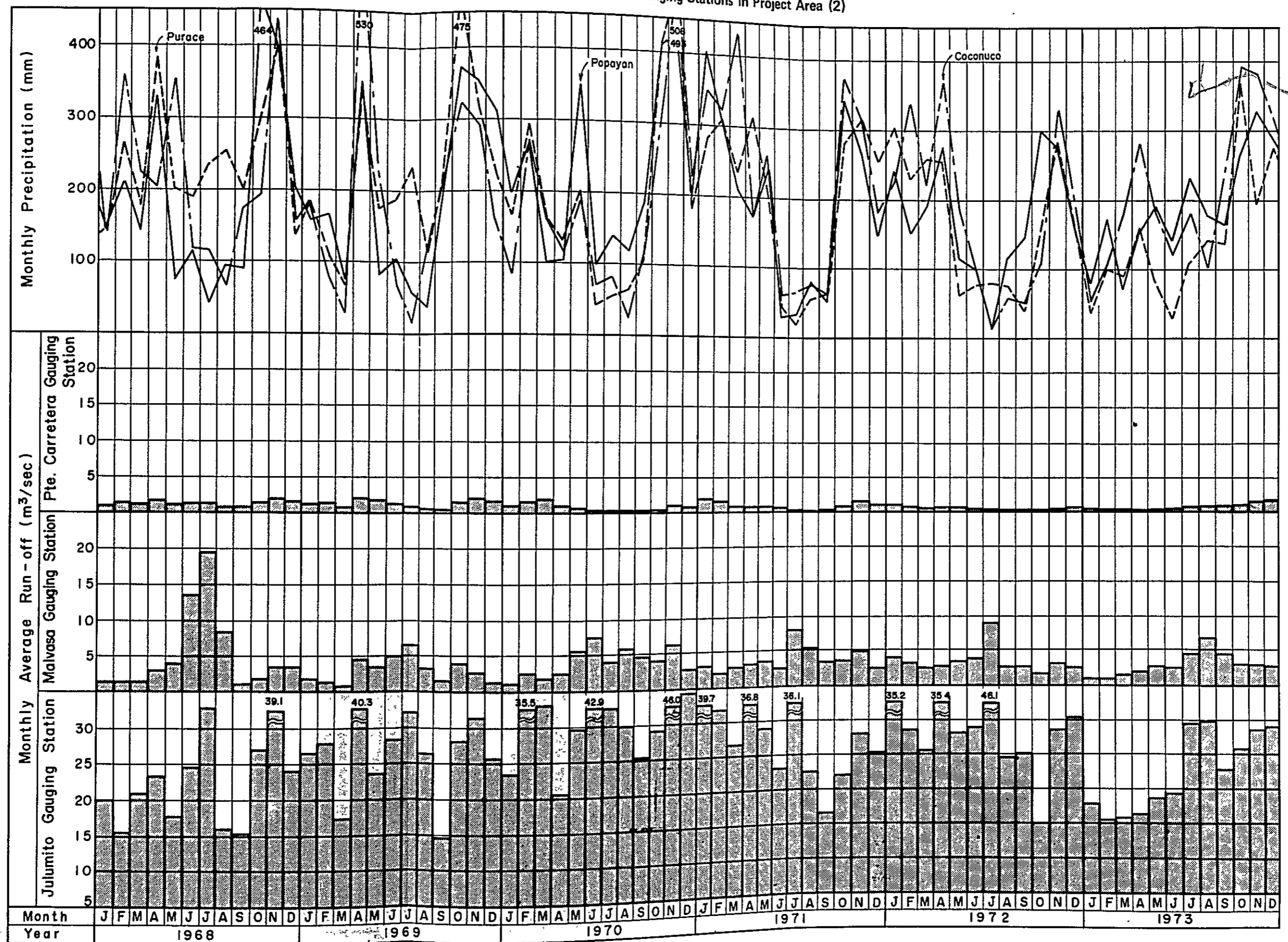


Fig. 5-11 Hydrograph at Gauging Stations in Project Area (2)



5.6 設計洪水量

Rio Sate に設ける Julumito ダムはロックフィルダムとして計画しているが、この地点における設計洪水量は次の方法で算定する。すなわち、Rio Cauca およびその周辺の本・支流においては高水の観測が行われていない。

したがって、計画流域内の Florida 地点および Coconuco 地点における 1961 年から 1977 年までの 17 年間（Florida 地点では 1969 年から 1975 年までの 7 年間）の年最大日雨量の記録から確率日雨量を推定し、これに基づいて Rational 式により、確率洪水量を算定することとする。

また、Rio Cauca, Rio Palace および Rio Blanco 等の取水ダム地点の設計洪水量についても同様に確率日雨量から確立洪水量を算定する。

5.6.1 確率日雨量

Table.5-14, 5-15 に示す Florida 地点および Coconuca 地点の年最大日雨量 X_i (mm/day) を用い、対数正規分布を利用した岩井法によって計算する。

(1) Florida 地点

Table 5-14 Maximum Daily Precipitation in each Year

No.	Date	X_i (mm/day)	$\log X_i$	X_i+b	$\log (X_i+b)$	$\{\log (X_i+b)\}^2$
1	Oct. 1969	107.0	2.0293838	52.36	1.7189996	2.9549596
2	Oct. 1971	84.2	1.9253121	29.56	1.4707044	2.1629714
3	Mar. 1974	82.4	1.9159272	27.76	1.4434195	2.0834599
4	Jun. 1972	72.6	1.8609366	17.96	1.2543063	1.5732843
5	Apr. 1975	72.0	1.8573325	17.36	1.2395497	1.5364835
6	Dec. 1973	69.0	1.8401061	14.56	1.1631614	1.3529444
7	Dec. 1970	65.0	1.8129134	10.36	1.0153598	1.0309555
1/n			1.8917017		$X_G=1.3294$	$X_G^2=1.8136$

(a) X_G の計算

$$\log_{10} X_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^7 \log_{10} X_i = 1.8917017$$

$$\therefore X_G = 77.93$$

$$\therefore X_G^2 = 6073.08$$

(b) b の推定

$m = N/10 = 0.7 \div 1$ であるから、次式から b を求める。

$$b = \frac{X_1 \cdot X_7 - X_g^2}{2X_g - (X_1 + X_7)} = \frac{107.0 \times 65.0 - 6073.08}{2 \times 77.93 - (107.0 + 65.0)} = -54.64$$

(c) $1/a$ の推定

$$\frac{1}{a} = \sqrt{\frac{2N}{N-1}} \cdot \sqrt{X^2 - X_0^2} = 0.3287$$

(2) Coconuco 地点

Table 5-15 Maximum Daily Precipitation in each Year

No.	Date	X_i (mm/day)	$\log X_i$	X_i+b	$\log (X_i+b)$	$\{\log (X_i+b)\}^2$
1	Dec. 1966	117	2.0681859	117.32	2.0693721	4.2823009
2	Feb. 1972	104	2.0170333	104.32	2.0183676	4.0738078
3	Mar. 1971	90	1.9542425	90.32	1.9557839	3.8250907
4	Nov. 1961	85	1.9294189	85.32	1.9310508	3.7289572
5	Dec. 1962	85	1.9294189	85.32	1.9310508	3.7289572
6	Nov. 1967	85	1.9294189	85.32	1.9310508	3.7289572
7	Apr. 1969	80	1.9030900	80.32	1.9048237	3.6283533
8	Mar. 1974	77	1.8864907	77.32	1.8882918	3.5656459
9	Apr. 1973	75	1.8750613	75.32	1.8769103	3.5227923
10	Nov. 1968	74	1.8692317	74.32	1.8711057	3.5010365
11	Dec. 1975	70	1.8450980	70.32	1.8470789	3.4117005
12	Apr. 1976	67	1.8260748	67.32	1.8281441	3.3421109
13	Nov. 1963	64	1.8061800	64.32	1.8083460	3.2701153
14	Nov. 1965	64	1.8061800	64.32	1.8083460	3.2701153
15	Feb. 1970	59	1.7708520	59.32	1.7732011	3.1442421
16	Sep. 1977	55	1.7403627	55.32	1.7428822	3.0376384
17	Apr. 1964	45	1.6532125	45.32	1.6562899	2.7432962
$1/n$			1.8711501		$X_0=1.8731$	$X^2=3.5179$

(a) X_g の計算

$$\log_{10} X_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{17} \log_{10} X_i = 1.8711501$$

$$\therefore X_g : 74.33$$

$$\therefore X_g^2 : 5524.95$$

(b) b の推定

$$m = \frac{17}{10} = 1.7 \approx 2$$

$$b_s = \frac{X_t \cdot X_s - X_g^2}{2X_g - (X_t + X_s)}$$

$$b_{s1} = \frac{117 \times 45 - 5524.95}{2 \times 74.33 - (117 + 45)} = 19.49$$

$$bs_2 = \frac{104 \times 55 - 5524.95}{2 \times 74.33 - (104 + 55)} = -18.86$$

$$b = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m bs = \frac{1}{2} (19.49 - 18.86) = 0.32$$

(c) $1/a$ の推定

$$\frac{1}{a} = \sqrt{\frac{2N}{N-1}} \cdot \sqrt{X^2 - X_0^2} = \sqrt{\frac{2 \times 17}{17-1}} = \sqrt{3.5179 - 1.8731^2} = 0.1413$$

5.6.2 設計洪水量

(1) 洪水到達時間

洪水到達時間は Rziha の式により計算する。

$$W = 72 \cdot \left(\frac{H}{L}\right)^{0.6}$$

$$T = \frac{L}{W}$$

W : 洪水の流下速度 (Km/hr)

H : 標高差 (Km)

L : 流路の区間長 (Km)

T : 洪水の到達時間 (hr)

上式より求めた各河川の洪水到達時間は下記の通りである。

Rio Cauca	10.0 時間
Rio Palace	6.6 時間
Rio Blanco	2.4 時間
Rio Sate	5.5 時間

(2) 洪水量の算定

各地点の洪水量は Rational 式により算定する。

$$Q = 1/3.6 \cdot f \cdot r \cdot A$$

Q : 洪水のピーク流量 (m^3/sec)

f : 流出係数 0.7

r : 洪水到達時間内の平均雨量強度 (mm/hr)

物部式により算定する。

$$r = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{T}\right)^{\frac{2}{3}}$$

A : 流域面積 (Km^2)

以上により、算定した各地点設計洪水量を Table.5-16 に示す。

Table 5-16 Design Flood Discharge

Diversion Dam	Catchment Area (Km ²)	Frequency	Flood Discharge (m ³ /sec.)	
			By Florida Data	By Coconuco Data
Rio Cauca	857	1/50	1,480	* 1,490
Rio Palace	197	1/50	450	* 450
Rio Blanco	39	1/50	175	* 175
Rio Sate	31	1/200	* 95	90

従って、各地点の計画洪水量について、上述の二つの地点のデータを用いて検討した結果のうち、大きい方の値（*印）を計画洪水量として採用する。

5.6.3 仮排水路トンネル通水容量

Rio Sate に設ける Julumito ダムの工事のため、Rio Sate の河流を一時的に仮排水路トンネルにより切替える必要がある。この仮排水路トンネルの通水容量の決定は、ダム地点における 1962～1976 年の 15 年間の日流量の既往実測記録の最高値、ならびに確率日雨量よりの推定結果等を勘案して、25.0 m³/sec とする。

5.7 堆砂量

第 6 章「地質」で述べたごとく、Rio Sate に設けられる Julumito 貯水池の流域は Popayan 市郊外に位置するゆるやかな起伏の丘陵地帯であり、その流域面積は 31 Km² と非常に小さい。

この流域および貯水池地域の表層部の大部分は、ほぼ均一な火山灰層により構成されているが、ダム地点附近および上流部の谷底では安山岩質熔岩が分布している。地表は芝状の雑草およびかん木に被われ保護されている。

Rio Sate 流域内を踏査した結果では著しい流砂、堆砂および崩壊地の根跡は認められず、流域の上記の地形、地質から判断しても、湛水による大規模な地沈み等の発生は考えられない。

以上のことから、Julumito 貯水池への土砂の流入および堆砂の量は非常に小さいものと想定されるが、以下、堆砂の起因と考えられるいくつかの要素を考慮した諸経験式により、同貯水池の堆砂量を推定する。

(1) 貯水池容量と流域面積による算定

貯水池の堆砂量が貯水池容量および流域面積の 2 つの因子に起因するとして導いた Wilzig の経験式により算定する。

$$g_s = K_1 (V/A)^{0.83}$$

但し, g_s : 比堆砂量 (Acre·feet / 100 S_g miles / year)

V : 貯水池容量 49,295 (Acre / feet)

A : 流域面積 11.969 (miles)

K₁ : Regional Index 0.167

$$g_s = 167 \text{ (Acre·feet / 100 S}_g \text{ miles / year)}$$

$$= 795 \text{ (m}^3 \text{/Km}^2 \text{/ year)}$$

(2) 貯水池容量, 流域面積および貯水池流入量による算定

上記の Witzig の式に, 更に貯水池流入量を考慮して導いた下記吉良の式により, 推定を行なうと次のごとくとなる。

$$g_s = K_2 \times V^{0.527} \times I^{0.473} \times A^{-1} \times 1/100$$

但し, g_s : 比堆砂量

V : 貯水池容量 60.8×10^6 (m³)

A : 流域面積 31 (Km²)

I : 貯水池年平均流入水量 28,861,100 m³

K₂ : 係数 0.05

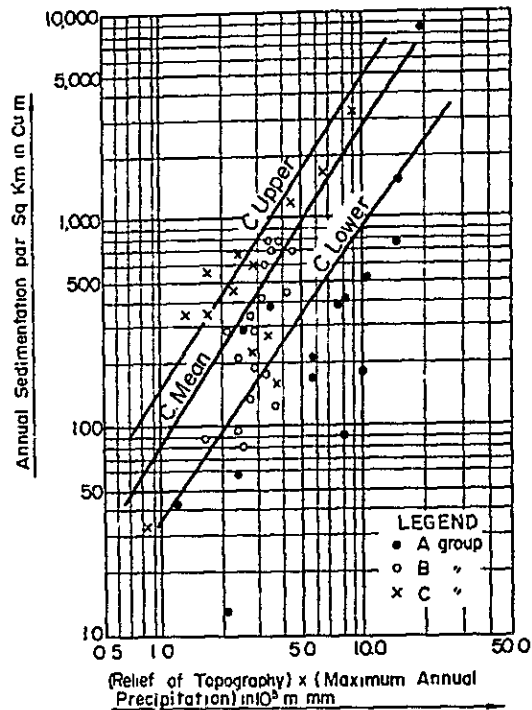
$$g_s = 689 \text{ (m}^3 \text{/Km}^2 \text{/ year)}$$

(3) 流域内の地質条件, 地形条件と降雨量による算定

また, 堆砂量は流域内の地形, 地質および降雨量に左右されるとして, これらを Fig. 5-12 に示される実績に基づいて作成した石外の経験式から, 堆砂量の推定を試みる。

尚, Julumito 貯水池の集水区域内の上記の諸条件は, 下記のごとく考える。

Fig. 5-12 Relation between Sedimentation, Geology, Topography and Precipitation



Note :

- Group A : Catchment area consisting mainly of pautozoic and Mesozoic sedimentary rocks
- Group B . Catchment area consisting mainly of acidic plutonic, hypobyssei and their meta-morphic rocks represented by granite and schist
- Group C : Catchment area consisting mainly of cenozoic sedimentary rocks and effusive rocks

地質条件 : Cグループ

(新生代堆積岩, 中塩基性の深成岩, 半深成岩, 噴出岩, 結晶片岩, 蛇紋岩等)

最大年雨量 (P) ; 2,446.1 mm

起伏量 (R_f) ; 150 m

地質条件(c)に対する石外の式は, 下記のように与えられる。

$$\log g_s = 1.50 \log X - 5.58 \pm 0.65 \sqrt{0.09 + (\log X - 5.41)^2}$$

但し, g_s : 比堆砂量 ($m^3/Km^2/year$)

$$X : P \times R_f = 366,915 (m \cdot mm)$$

$$g_s = 968 m^3/Km^2/year \quad \text{or} \quad 353 m^3/Km^2/year$$

以上の各経験式を用いて, Julumito 貯水池の100年間堆砂量を算定した結果をまとめて, Table. 5-17に示す。

Table 5-17 Sedimentation at Julumito Reservoir

Case	Sedimentation ($m^3/Km^2/year$)	Sedimentation ($10^3m^3/100\ years$)	Factors Considered
1	795	2,460	Storage Capacity, Catchment Area
2	689	2,140	Storage Capacity, Catchment Area, Reservoir inflow
3	968	3,000	Geology, Topographical Relief, Precipitation

Note: Catchment Area; 31 Km^2

従って、Julumito貯水池の堆砂量について、上述の3つの方法により検討した結果、最も大きな値を示す(3)の方法による968 $m^3/Km^2/year$ を採った場合、堆砂年100年とした場合の貯水池堆砂量は $3.0 \times 10^8 m^3$ となる。Julumito貯水池計画低水位は1,700mであり、これ以下の容量は10,000 m^3 であるから、有効貯水容量の確保に対しては充分安全である。

また、取水口から圧力トンネルへの土砂の流入に対しては、適切な取水口の設計により、十分防止することができる。

第6章 地質および材料

第6章 地質および材料

6.1	調査の目的および結論	6-1
6.1.1	地質調査の目的および内容	6-1
6.1.2	既往の調査	6-1
6.1.3	結論	6-1
6.2	計画地域の一般地質	6-3
6.2.1	地形・地質の概要	6-3
6.2.2	層位および岩種 (Stratigraphy and Rock type)	6-4
6.2.3	地質構造	6-9
6.2.4	地震	6-10
6.3	主要計画地点の地質	6-12
6.3.1	流域および貯水池	6-12
6.3.2	Julumitoダムおよびダイク	6-13
6.3.3	圧力トンネル	6-18
6.3.4	調圧水槽, 水圧管路および発電所	6-19
6.4	集水計画地点の地質	6-20
6.4.1	Rio Cauca 集水計画	6-20
6.4.2	Rio Palace 集水計画	6-22
6.5	材 料	6-23
6.5.1	土質材料	6-23
6.5.2	ロック材料およびフィルター材料	6-25
6.5.3	コンクリート骨材	6-33
6.6	地質調査工事の結果	6-34
6.6.1	調査工事数量内訳および位置	6-34
6.6.2	ダム地点調査工事結果	6-35
6.6.3	ダイク地点における調査工事結果	6-36
6.6.4	取水口付近の調査工事結果	6-37
6.6.5	調圧水槽調査工事結果	6-37
6.6.6	Cauca 取水ダム地点調査工事結果	6-37
6.6.7	土取場調査工事結果	6-38
6.6.8	原石山調査工事結果	6-38
6.7	土質材料試験結果	6-39

FIGURE LIST

Fig. 6 - 1 General Map of Topography and Geology in Cauca District

TABLE LIST

Table 6 - 1 Generalized Geologic Chronology in the Julumito Project Area

Table 6 - 2 Outline of Stratigraphic Sequence and Rock Type of Foundation Rock in Civil Structure on Julumito Project

Table 6 - 3 Classification of Seismic Intensity in Colombia

Table 6 - 4 Earthquake around the Julumito Project Area

Table 6 - 5 Pedological Profile of Weathering Process in Volcanish Ash

Table 6 - 6 Result of Soil Test (Sheet 1 of 2)

Table 6 - 7 Result of Soil Test (Sheet 2 of 2)

Table 6 - 8 Result of Rock Test

第 6 章 地質および材料

6.1 調査の目的および結論

6.1.1 地質調査の目的と内容

この調査の目的は、Julumito 水力発電開発計画について、1972年に実施されたフィジビリティ調査をふまえ、今回更に土木構造物の安全性、および技術的、経済的な設計を行なうために必要な地質調査および地質学的解析を実施するものである。

かかる目的により予備調査ならびにフィジビリティスタディにより選定された Julumito 水力発電計画の Julumito ダム地点、貯水池地点、発電所地点および付帯構造物 — 取水口、圧力トンネル、調圧水槽、鉄管路など — ならびに二つの集水路計画 — Cauca, Palace および Blanco の各集水路 — について地質学的可能性の検討を行なうとともに、ダム築造の材料についても調査および試験を実施するものである。

この報告書では 1972 年実施のフィジビリティ調査の結果を含め、選定した土木構造物の基礎と築造材料に関する地質学的所見を記述するとともに、今回調査において調査団が実施した地質調査工事、基礎の透水試験およびダム築造材料の諸試験の結果をも述べる。またこの資料については APPENDIX-VII および VIII に集録する。

なお 1972 年のフィジビリティ調査での地質調査および今回の調査の結果は、開発計画の検討や土木構造物の配置、設計の決定に十分反映させてある。

6.1.2 既往の調査

Julumito 水力発電開発計画に関する地質調査は 1969 年に ICEL および CEDELCA によって実施されて以来、1970 年に日本政府地質専門家による調査、続いて 1971 年に ICEL, CEDELCA により、ボーリング、横杭テストビット試掘等による主要構造物計画地点の地質調査、ダム築造材料の調査および試験等が行なわれた。

また、1972 年には日本政府調査団によるフィジビリティ調査が行なわれ、地質技師により、これらの調査結果の確認が行なわれるとともに、さらに現地の踏査が行なわれた。また、さらに詳細設計のために必要な地質調査工事およびダム築造材料の諸試験が勧告された。

この勧告に基づく上述の地質調査は 1979 年に調査団および ICEL により実施された。

6.1.3 結 論

6.1.2 項の過去に行なわれた諸地質調査の結果、ならびに今回の現地調査の結果を含め本計画についての地質ならびにダム築造材料についての結論を以下に述べる。

- (1) 予備調査で立案されている Julumito 水力発電計画の基本的開発パターン Plan-C は地質調査の結果からも、最も優れていると判断される。
- (2) Julumito ダム地点についてはプレリミナリィ・スタディ段階で3地点がダム候補地点として考えられていたが、地表踏査およびボーリング、横坑、テストビット等の試掘による地質調査資料等をも考慮しつつ、ダム基礎の地質、風化状況、透水性および浸透路長等について検討した結果、選定したダム地点 (proposed dam site No 2) が優れていることを再確認した。

本 Julumito ダム地点は、右岸部は巾の広い片斜面であるが、左岸部はやせ尾根となっている。

地形および基礎の風化状況より判断してこのやせ尾根の上流に位置する沢の部分にダムコア部を岩着させアーチ状を呈するフィルダムとするのが望ましいと判断する。なお、本ダム基礎を構成する地質は、風化安山岩、および満水位付近では固結度の低い火山灰層となっており、ダム基礎の掘削や基礎処理は慎重な工学的配慮が必要である。
- (3) 発電所地点は基盤が $50 \sim 100 \text{ kg/cm}^2$ の圧縮強度を持つ凝灰角礫岩よりなり、地上式発電所の基礎として十分な地耐力を持っており、地形、地質的に問題ないものとする。
- (4) Julumito ダムによって形成される貯水池は漏水や堆砂は無視し得る程度に小さいものと考えられる。(堆砂については「5.7 堆砂量」参照)
- (5) 貯水区域内に鞍部が2ヶ所あり、ここにダイク(ダイクNo 1, ダイクNo 2)を構築する必要がある。ダイクNo 1 地点については、今回の踏査の結果から、1972年のフィジビリティ・スタディで提案されているダイク地点より、さらに上流の地点の方が堤長は長くなるが、ダム高がより低くなる。ボーリング DDH-101, 102 の結果からも、この新ダイク地点で特に問題はない。
- (6) 圧力トンネルの経過地は安山岩質熔岩よりなっている。水圧管路は堅硬な安山岩質熔岩よりなる急崖を整形し設けられる。安山岩質熔岩には割目の多い個所があるので、圧力トンネルの施工に当っては、肌落ちや落盤を防止しなくてはならないし、湧水の発生に対して十分な準備が必要であろう。水圧管路の固定台および小支台は、十分な支持力をもつ岩盤に設けうる筈であるが、一部掘削後の斜面の安定について留意すべきである。
- (7) Rio Cauca および Rio Palace 集水計画の取水ダムの基礎はいずれも未固結な地層である。いずれのダムも高さは低いがその基礎は充分締った層に求め、適当な基礎処理が必要であろう。

集水路は Palace および Blanco 集水路がトンネルの計画であり Cauca 集水路の大部分は開渠である。経路の地質は河成段丘堆積物や火山灰層からなる未固結層であるが、経路の地形はゆるやかな波曲を呈する丘陵地であるので通常の状態では地じりの発生によって水路が破壊することは考えられない。

トンネルは火山灰層を掘削するので、坑口付近は十分な切取りが必要である。重要なことは、集水路からの漏水による開渠およびトンネルの基礎の、不等沈下や水路側方への地山の滑動を防止するため、コンクリートの打設を入念に行なわねばならない。

- (8) ダム築造材料はいずれも土木構造物の近傍で採取しうる見込みである。土質材料は主として火山灰層を用いることになるが、この地層は、細粒かつ高含水比の特殊土である。従って、(2)に述べるごとき設計を提案したが今後さらに適切な試験方法により、その特性を完全に把握し、これに基づいた詳細設計および施工を行なわなくてはならない。また火山灰層と、風化安山岩層および同質風化残留土を混合して使用することにより、粒度組成および含水比を調節し、施工性のよいコア材料を作る試験を行なうことを提唱する。

ロック材料、フィルター材料およびコンクリート骨材は、安山岩熔岩の分布する山体より採取する計画である。原石山 (quarry site) は採取、運搬、その他の条件を考慮し、今回の調査では Rio Cauca の右岸で発電所地点の約 500 m 下流の山体を原石山候補地に選定した。風化層が若干厚いと考えられるが quarry の採取条件は比較案 (Rio Cauca 左岸) より良いと思われる。

また、水圧管路および圧力トンネルの掘削ズリも、ダム築造材料の一部に充当できると思われる。

6.2 計画地域の一般地質

6.2.1 地形・地質の概要

(1) 地形

南アメリカ大陸の西縁を形成する Andes 山系は、ペルーを頂点とし、南北へ延び、北方の延長は、その高度を減じながら、エクアドルのほぼ中央部を経てコロンビアにおよんでいる。

Andes 山系はコロンビアの領土に入ると次の三つの山脈に分かれる。

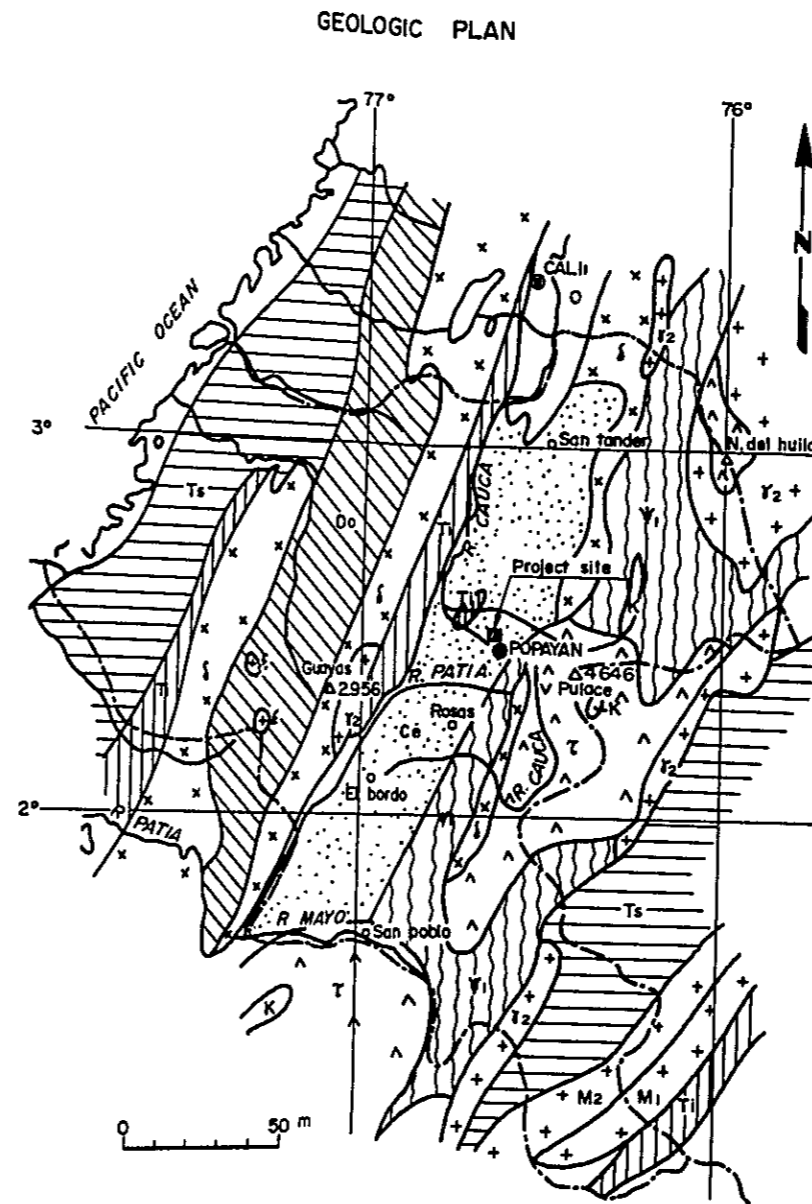
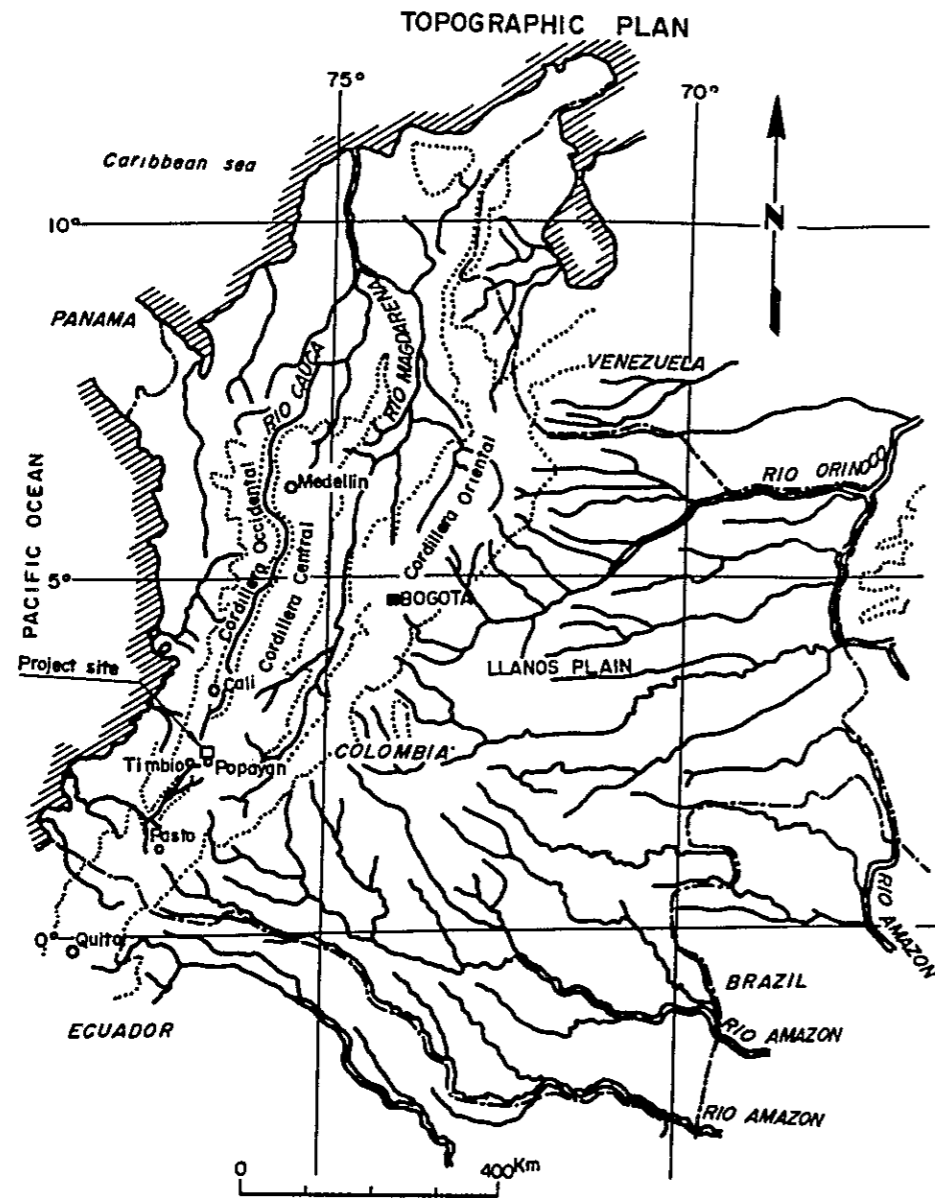
- a) 東部山脈 (Cordillera Oriental)
- b) 中央山脈 (Cordillera Central)
- c) 西部山脈 (Cordillera Occidental)

これらの山脈のうち最も高い山脈は中央山脈であり、平均 3,000 m に近い高度を持ち、かつ海拔 5,500 m を越える山が数峯あり、南北 800 km に達している。中央山脈と西部山脈の間には、流長 1,500 km を越える Rio Cauca が南より北へ流れ、その流域は、幅 60～80 km の一大平原をなしている。

中央山脈と東部山脈の間には、Rio Magdalena が北流し、Rio Cauca とコロンビアの北部で合流し、カリブ海に注いでいる。

東部山脈より東へ延びる平地は Rio Amazon および Rio Orinoco の水源地であり、Lla-

Fig. 6-1 General Map of Topography and Geology in Cauca District



LEGEND

Ce	Undifferentiated cenozoic
O	Ouaternary
Ts	Upper tertiary
T1	Lower tertiary
K	Cretaceous
Do	Mainly mesozoic
Y1	Ectinite
M2	Migmatite
M1	Anatectic granite.
△	Andesite, Basalt and volcanic ash (Cenozoic)
δ	Diabase
+ T2 +	Granite and granodiorite
+ E +	Tonalite and basic intrusive rock

NOTE .

The origin of this map is MAPA GEOLOGICO DE COLOMBIA by servicio geologico nacional, Bogota, Colombia (1962)
Scale of 1 : 1,500,000

Table 6-1 Generalized Geologic Chronology in the Julumito Project Area.

Period or era	Stage	Formation	Rock
Quaternary	Pleistocene	Popayan formation	Volcanic ash.
Neogene to Quaternary	Plio-pleistocene		Unconformity *1
			Andesite lava
			Conformity *2
Neogene	Pliocene	Rio Cauca formation *3	Tuff breccia
			Unconformity
Mesozoic		Dagua formation	Metamorphic rocks; green schist and graphite schist. Basic igneous rocks diabase, dolerite and so on.

* 1 : Slight recognition of hiatus (time gap of sequence seen as unconformity).

* 2 : Between the tuff breccia (Rio Cauca Formation) and andesite lava (Popayan Formation) there are no facts in the survey area which particularly indicate unconformity such as basal conglomerate. Rather, it appears that tuff breccia is of the same geologic age as andesite lava.

Table 6-2 Outline of Stratigraphic Sequence and Rock Type of Foundation Rock in Civil Structures on Julumito Project

Diagrammatic column	Rock type	Thickness*1 (m)	Distribution
	Top soil	Less than 10	Wide spread
	Volcanic ash	30 to 40	Wide spread Dam site and reservoir area, etc.
	Andesite lava	about 120	Dam site, headrace tunnel route, penstock line, tributary diversion waterway route, etc
	Tuff breccia		Powerhouse site and vicinity of it

*1 : data originated from boring DH-1 on the left bank of the Julumito powerhouse site

Julumito 水力発電計画地域を構成する地質の最下部に位置する地層である。

Rio Cauca が Popayan 市の郊外より下流において上位の安山岩熔岩を深く侵食し、峡谷をなしている部分の谷底部に露出している。また、Julumito ダム地点左岸部で地下発電所計画案の可能性を調べるために削孔したボーリング DH-1（鉛直、長さ 160 m によれば深度 143.0 m（標高 1,585.6 m）の個所に、この凝灰角礫岩の存在が認められた。前記の露頭やボーリングの資料から、凝灰角礫岩と安山岩熔岩との境界線は、標高 1,585 m 付近にあり、ほぼ水平と推定される Rio Cauca 右岸に計画する Julumito 発電所建設地点は、この岩石により構成されている。この凝灰角礫岩は緑灰色を呈し、直径 3～5 cm の火山礫を含み、石英安山岩質であり、ハンマーで容易に砕ける軟岩である。しかしながら一軸圧縮強度は 50～100 kg/cm² であり、地上式の発電所構造物の基礎としては充分の強度を持っている。

(2) 安山岩、熔岩層

Popayan 市周辺において広くかく厚く分布する地層で Julumito 水力発電計画においてはダム、圧力トンネル、水圧管路等の基礎は、その大部分がこの安山岩熔岩に位置するよう設計される。

この地層は本計画の発電所予定地点付近において、Rio Cauca が深く刻食してもたらした兩岸の急崖に模式的な露出を示している。露頭においては、数段の顕著な冷却節理（柱状節理）が見られ、熔岩流として数回にわたり流出した事を示している。

地下発電所計画案の調査のため掘削したボーリング DH-1 の資料によれば安山岩熔岩は約 120 m の厚さがあり、かつ四つの層に分ける事が出来る。下部より三層は同質の岩質であるが最上部の熔岩は、やや岩質を異にしている。すなわち、下部の三層は長石の斑晶の顕著な灰紫色の安山岩であり、各層に柱状節理が発達している。これに対し、最上層は灰青色を呈し、黒雲母および石英の結晶を含み石英粗面岩に近い岩質を示している。

各安山岩熔岩の間には、厚さ 3～4 m の風化層および凝灰岩の薄い層を挟んでおり、噴出時期の差異が認められる。これらの熔岩層について岩石学的な記載および物理的性質については 6.3.2.A-2 (f) 項において詳述する。

この安山岩層は、次に述べる火山灰層によって厚く被われているがその表面の形状は驚くほど平坦である。すなわち、圧力トンネル経過地の地質調査のため掘削した DH-1、DH-2、DH-3 および DH-5 等のボーリングによれば安山岩の表面は、それぞれ標高 1,703.2 m、1,696.8 m、1,702.0 m、1,704.3 m とほぼ 1,700 m の点で確認された。一方、次に述べる火山灰の分布範囲をたどってみると、Rio Cauca は、もちろん Rio Saie や Rio Palace 等の支流では、標高 1,700 m よりはるかに低い兩岸の斜面部に火山灰層が一樣の厚さで堆積している。この事実は安山岩熔岩の噴出後、火山灰の堆積までの間に、侵食が行なわれ、現在の地形に非常によく似た地形が出来上ったことを示している。

この地質現象は 6.3.2 項および 6.5.2 項において述べるとおりダム地点における安山岩熔岩の風化に対する基礎処理，およびロック材料，コア材料採取地点の選定に際して，重要な意味を持っている。

(3) 火山灰層

この火山灰は Cali 市以南より Timbio 市周辺まで広く分布しており，明らかに降下火山灰で Julumito 水力発電計画地域においては 30～40m の厚さを有している。下部においては，かなり固結しており凝灰岩と呼んでよいと思われる部分がある。空中からの降下物であるため火山灰堆積以前の地形にはほぼ平行に堆積しており，運搬能力および削はく作用の顕著な河川および沢部においてのみ，その層厚が小さくなっているが，丘陵地においては，ほぼ同じ厚さで残っている。これらの火山灰層は地表からの独特の風化を受け特殊な土壌断面をなしている。この点に関してはダム地点における火山灰層の項（6.3.2 A-2 (e)）で詳述する。この火山灰層は新鮮な部分においては茶白色ないし乳白色を呈し，その粒度組成は篩目 # 200 以下の通過率が 90% を越す細粒な火山灰である。また肉眼観察においても石英の細粒と，うろこ状の黒雲田が顕著であり石英安山岩質な火山灰である。

6.2.3 地質構造

コロンビアの地質構造は，Andes 造山運動に支配されて，NNE-SSW の方向が非常に卓越している。Andes 山系も地質構造の方向に続いており，山系を源とし北流する Rio Cauca や Rio Magdalena も地質構造に従っている。6.2.1 (1) 地形で述べたようにコロンビア Andes は東部，中央および西部の山脈に三分される。それぞれの山脈の背梁は概ね背斜部に当たっているため古い岩石や地層が分布しており，一方谷の部分は向斜部であるため新生代の若い地層が占めている。

コロンビア Andes は次の二つの地質区に大別できる。

(1) 東部 (Cordillera Oriental) 地質区

大部分堆積岩からなり，新しい火山岩が少ない。山系の山腹や谷の部分（向斜部）には第三紀層や中生層，背陵部（背斜部）には古生層が NNE-SSW 方向の軸に沿って帯状に分布するが白亜紀の海成層が最も広く占めている。

この地質区は，チリー，ボリビア，ペルー，エクアドル等の火成岩変成岩を多く含む Andes 山系本体と地質を異にしている。

(1) 中央および西部 (Cordillera Central and Cordillera Occidental) 地質区

主として火成岩，変成岩から成り，それに堆積岩が伴っている。これらの岩石と地層はエクアドル以南の Andes 山系本体の北方延長であり，北は El Blanco 付近の北部海岸低地の下へ沈降する。火山は山系の方向に沿って分布し，中新世の頃盛んに活動し，一部は現在も活動している。

活火山は特に中央山脈 (Cordillera Central) の南部において著しい。

東部地質区と同様に、山脈の脊陵部には酸性や塩基性の深成岩類、片麻岩類など古期岩石、谷の部分には、新生代の地層や岩石、その中間部には中生代の地層が褶曲軸の方向に帯状をなして分布する。

Julumito 水力発電計画地域は、安山岩熔岩を基盤とし、その上に厚く火山灰が被っているが、その境界は概ね平坦である。調査の結果、計画地域には断層はほとんど認められていない。

6.2.4 地震

コロンビアは環太平洋地震帯の一部に位置しており活発な地震活動が認められる。これらの地震活動は Andes 山系および太平洋岸にほとんど限られている。ベネズエラおよびブラジルに近い東部平原地帯 (Llanos) では地震は稀であり、あっても激しいものではなく無地震地帯と考えてよい。過去の地震の記録によればコロンビアにおける地震の震央は大別して、次の四つの地域に分けられる。

Zone - 1 中央山脈南部…… Pasto 市を中心とするエクアドル国境付近。

Zone - 2 東部山脈北部……北 Santander 県および Tachira 県 (ベネズエラ) 付近。

Zone - 3 西部山脈中、北部および太平洋海岸。

Zone - 4 コロンビア国土の北部および東部に散在。

これらの地震の記録は、APPENDIX - K に示す。このうち白丸は、1566 年～1900 年に起ったものであり、地震計による計測ではなく、種々の記録より規模と震央を推定したものである。1900 年以降の記録については、コロンビア国内における計測および世界の地震観測機関の資料により地球物理的に判定されたものである。

これらの地震は、その強度を Table 6-3 のように分類されている。

Table 6-3 Classification of Seismic Intensity in Colombia

Intensity	Degree	Correlation with Scale of Rossi-Forel	Acceleration - Part of gravity
I	Slight	I. II. III. IV.	0~0.03 g (0~30 gal)
II	Strong	V. VI. VII	0.03~0.05 g (30~50 gal)
III	Destructive	VII. IX. X	0.05g ~ (50 gal ~)

Julumito 水力発電開発地域は、コロンビアにおける前記の四つの地震地帯よりはずれた地域にある。

すなわち前記 Zone - 1 および 2 からは 150 km ~ 200km 以上はなれ、Andes 山系においては地震の少ない地域といえる。

過去の記録による計画地域周辺の地震の発生を Table 6 - 4 に掲げた。

Table 6-4 Earthquake around the Julumito Project Area

Epicenter	Intensity	Frequency	Occurred year
Within 50 Km *1	II	2	1751 and 1878
	III	2	1735 and 1736
Within 100 Km *2	I	2	1566 and 1946 (two times Mar. 29 and 30)
	II	1	1827

* 1 : Centering around popayan city

* 2 : Excluding * 1

これらの地震のうち地震計によって計測されたものは Intensity I の地震 1 回であり、他は全て 1900 年より古いものである。APPENDIX - K に示すように、実測された地震は四つの地震地域に集中しており、Popayan 市周辺においては唯一つであるにもかかわらず、実測されていない古い時代の地震が多いことを示している。古文書より判定する地震は、その記録が当時の人口の集中地に多く偏在して残されており、普遍的な資料として取扱えぬ場合が多く、また、その震央を決めるのが非常に難しい。従って Julumito 水力発電開発地域における今後の地震の期待値を求める場合、1900 年以後の地震のみにより判定するか、以前の地震をも、考慮に入れるかは一つの問題である。

もちろん、過去において地震があったことは、その地点に今後も地震が起る可能性を示すものである。この計画に直接影響する地震を論ずる場合、過去の地震の震央からの距離や強度について確証のある地震のみを考慮すべきであろう。

ここにおいて、非常に慎重な立場をとって、すべての地震の記録を参考にすれば次のようにいえる。1560 年より現在に至るまで Julumito 水力発電計画地域より 50km 以内の区域では Intensity III の地震が 2 回あった。これは 200 年に 1 回の頻度である。また 100 km 以内の地域では、Intensity III の地震が 3 回あり、130 年に 1 回の割合である。

これらのことより、この計画地域は 100 年に 1 回は Intensity III の地震が発生する可能性があるように思われる。

6.3 主要計画地点の地質

6.3.1 流域および貯水池

(1) 地 形

Julumito 湛水地域はゆるやかに波曲した地形を拵げており、谷底部を除き一様に厚く火山灰層に被われている。

そして Rio Sate 本流のみがこの火山灰層の下位にある安山岩熔岩まで浸食している。火山灰堆積以前の原地形は、起伏が少なく平行流路を示す。水系パターンを示しており、現在の地形によく似ていたものと思われる。この原地形に一様に降下火山灰が 30～40m の厚さで堆積した後、Rio Sate が再びほぼ同じ位置を浸食し、現在の地形を形成したものとみなされる。この推察は、Rio Sate の上下流のみならず Rio Cauca の兩岸の火山灰層の堆積状態からも容易に推察出来る。

地形的な特徴から貯水地域は次の二つの地域に大別することが出来る。

a) 上流地域

この地域では Rio Sate およびその支流は東から西へ流れる互に平行な流路を持つ。この地域は、火山灰層堆積後、その当時の表面に沿い重力方向へ下刻した非常に若い浸食段階を示す流路である。これらの谷においては上流の集水面積が小さく、水の浸食の営力も小さい上、構成している地質が軟質な等方均質な地層のため沢は傾斜方向に流れ、下刻作用のみが行なわれた。その結果、隣接する沢の間隔がほぼ 500m の平行な水系模様を形成した。

いずれの谷もゆるやかな谷壁であり、隣りとの沢の間には、平坦な原地形の一部を残している。

今後集水区域では谷頭浸食が進むであろうが集中的な豪雨に見舞われる地域でないので、Julumito 貯水池に対する堆砂の問題は小さいと思われる。

b) 中流およびダム地点周辺

この地域は原地形（古 Rio Sate）の谷部にあり、谷の幅は上流地域に比べると、はるかに狭い。

下刻作用は安山岩質熔岩まで達しており、谷底は比較的硬い岩盤が露出している。流路は側方浸食をあまり受けておらず、流路には狭い氾濫原および未発達な低い河成段丘が形成されている。

この区間において合流する Rio Sate の諸支流は流量も少なく、下刻作用の力も弱いいため浸食は安山岩熔岩には達しておらず Rio Sate との合流点では小規模な懸谷を形成している。

貯水地域で最も注意すべきことは、貯水池の一部分に計画満水位より低い部分（鞍部）

が二ヶ所あることである。その位置は、Julumito 部落の東南で、Rio Sate と Rio Cauca との間の山体をそれぞれの支流が浸食して鞍部を型成している。この地形に対しては、ダイクの構築が必要であり、詳細については6.3.2項において述べる上記ダイク地点以外の貯水池の周辺の地山は満水位においても難透水性の火山灰層よりなり、他の流域へは長い浸透経路を持っているので貯水池からの漏水の心配はないものと考えられる。

(2) 地質

貯水池地域の大部分は、ほぼ均一な火山灰層より構成されているが、ダム地点および上流の谷底では安山岩熔岩が分布している。火山灰層については、ダム地点および土質材料採取地点で行なった透水試験結果によれば透水係数は 10^{-4} cm/sec ないし 10^{-3} cm/sec のオーダーの値を示しており、その上、水によって飽和された場合は、さらに透水係数が小さくなる傾向を示している。

安山岩熔岩についてはダム地点においてボーリング孔を利用して行なったルジオンテスト結果によれば、その値は、1以下を示している。従って共に湛水池の基盤から漏水のおそれはないと思われる。

計画満水位（標高1,715m）は火山灰層の層準にあり、なだらかな起伏の丘陵地の斜面となっている。その斜面は厚さ50～100cmの表土に被われており、灌木および雑草が繁茂している。このような地形、地質より湛水による大規模な地氾りの発生は考えられない。

6.3.2 Julumitoダムおよびダイク

(1) Julumito ダム地点

a) 地形

このダムが位置する Rio Sate は、この主ダムとその周辺では北西へほぼ直線状に流れている。河道は幅7～10m、高さ3～5mの溝状をなし、これに続く兩岸は標高1,700m付近まで 35° ～ 40° の比較的急な斜面をなし、背の高い潤葉樹が生い茂っている。標高1,700m付近より上は、斜面はゆるやかとなり、標高1,730～1,750mの Popayan の台地へと続く背の低い灌木の茂みや草地となっている。

右岸部はダム軸の上流と下流に沢があるが、これらの沢に挟まれた山体はヒダが少なく都合よくダムが収まる大きさを持っている。これに対し左岸部はダム軸のすぐ上流に比較的大きな沢があり、本流合流点から標高1,690m付近まで深く浸食している。この間は、小さな滝が連続している。一方ダム軸より180m下流の地点で本流は鋭く屈曲する。この屈曲部で合流する沢とダム軸上流の沢に、挟まれており、細いやせ尾根となっている。この尾根はその表土およびその風化層を掘削除去すると一層小さくなることが予想される。従って、ダム軸は次に述べる地質的条件を含め左岸ダム軸を上流の沢に位置せしめるのが望ましい。

b) 地質

このダム地点を構成する地質は安山岩熔岩、火山灰層の他、これらを被う崖錐、河岸段丘および現河床の堆積物ならびに表土である。

ダム基礎となる地質は、ほとんどが安山岩熔岩であるが、全般に強度の風化作用を受け地表近くでは残留土となり、その下部でもかなりの深度まで風化が進んでいる。安山岩熔岩を被っている火山灰層も地表からの風化作用を受け特異な風化断面を形成している。

(i) 表土

地表に繁茂している植物の腐蝕土であり、黒褐色を呈し含水比が高く、粘土質である。ダム堤体基礎として、当然除去しなければならない。

(ii) 崖錐堆積物

ダム上流端の右岸の沢部、ダム左岸下流堤体基礎部およびダム下流端左岸部にその分布が見られる。この堆積物は所々に風化安山岩の岩塊を含む砂質シルトおよびシルト質粘土である。2～3mの厚さを有し、未固結であるので掘削除去すべきである。

(iii) 河床堆積物

Rio Sateの川底の他、曲流した部分の内側など狭い浅瀬で見ることが出来る。直径20～40cmの風化安山岩および安山岩の礫を多く含み、砂質シルトにより密に絡まっている。ダム軸左岸部で河床近くに掘削したボーリングDH-203の資料によれば、この河床堆積物は、約5mの厚さであり、その境界の標高は1,637.40mである。流心および右岸部の河床堆積物の厚さおよび、上下流方向への厚さの変化については、現在、ボーリングによる調査を実施中である。

この堆積物はダムのコア盛立部の基礎としては、その透水性が大きくその改良は困難なので掘削除去すべきである。またロック盛立部の基礎としてもこの堆積物の表層部は、支持力に対し、不安な個所があるので、ダムの鉛直荷重の大きさに応じて、掘削除去する配慮が必要であろう。

(iv) 河岸段丘堆積物

この堆積物は、ダム上流端付近の兩岸、ダム軸左岸、ダム下流端右岸において幅3～5m程度の平坦地をなしている。これらの段丘は現河床より2～3m高い位置にあり、現在の氾濫原とも考えられる。段丘堆積物は未固結なシルト分の多い砂礫層であり、厚さも極めて薄い(1～2m)ので、ダムの基礎では掘削除去すべき層である。

(v) 火山灰層

火山灰層は、このダム地点では標高1,670m以上に分布しており、標高が高まるにつれて厚くなっている。兩岸の天端付近での厚さは右岸では15m、左岸では18mである。これらの火山灰層は地表からの風化により特殊な土壌断面を形成している。ダ

ム天端における火山灰層の下限の標高は 1,700 m 前後であるので当然この火山灰層にダムの翼部は取りつくことになる。野外調査の結果では兩岸ともダム基礎として充分の地耐力と不透水性を持っているものと思われるが、なお圧密試験、せん断試験、支持力試験、透水試験等を行なって、これを確めることが必要であり、今回の調査において実施した結果については 6.6 項に記述する。

火山灰層については CEDELCA は 1971 年、Cauca 大学に依頼して土質試験を行なった。

その試料のうち土壌学的に興味ある試料についてはインヘオミナス (INGEOMINAS)^{*1} によって再び試験が実施された。Table 6-6 は、現地調査と試験報告を参考として、Julumito 水力発電計画地域の土壌断面の作成を試みたものである。このような風化過程は、次に述べる安山岩熔岩 (6.3.2 (I)-b (VI) 参照) の風化残留土にも認められる。

これらの透水試験結果を見ると、同じ注入圧でも試験開始時よりも時間の経過とともに透水係数が小さくなって行き、約 5 時間経過後ほぼ一定になっていることが解る。これはこの地層が水で飽和されていくのに従って透水係数が小さくなって行くことを示している。Table 6-5 における Unit (II) および (III) は、ダム基礎としての支持力の点からは必ずしも満足できないと判断されるので、これらの層は掘削除去し、ダム基礎は Unit (IV) (V) ないし (VI) とすべきであろう。Unit (IV) (V) (VI) は上部の Unit より固結度が大きく透水係数が小さくなると思われるが、透水試験を行なう事が望ましい。

(V) 安山岩熔岩

この地点に分布する安山岩熔岩は全般に風化作用を強く受け、地表においては新鮮な部分は見当らない。この安山岩熔岩は、その風化の程度から三つの層に分けることが出来る。

- 未風化な安山岩熔岩
- 風化安山岩熔岩 (岩盤状をなすが造岩鉱物のほとんどが風化により二次鉱物にかわっている。)
- 安山岩熔岩起源の残留土 (風化が極度に進み、造岩鉱物は、ハロイサイト、カオリナイト等の粘土鉱物に変化している。表層はポーキサイト質粘土が形成されている。)

② 未風化安山岩熔岩

ダム地点ではこの種の岩盤の露頭は認められず、僅かにボーリング DH-204 の 9 m 以深のコアに見られるのみである。

このコアは長石の顕著な青灰色の安山岩で、やや石英粗面岩質であり、その顕微

*1 Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas Mineras.

Table 6-5 Pedological Profile of Weathering Process in Volcanish Ash.

Layer	Explanation	Soil Classification x 5	Technical judgment		Remarks
			Degree of Compaction	Per-meability	
(I)	Blackish brown humus 1 m	O	loose	more	Cr Appendix IV-6
(II)	Brown leached layer x 1	A ₁			
(III)	High content of gibbsite x 2 15 m	A ₂			
	Yellowish white to grayish white Bauxitic clay layer x 3 2 m				
(IV)	Accumulated zone of colloidal material high content of silica Yellowish white 0.5 m	B ₁ to B ₂			
(V)	Altered chiefly kaolinite and halloysite x 4 ± 7 m				
(VI)	Non-weathered volcanic ash.	C ₁	compact	less	

- x 1 Leaching of silica (SiO₂)
- x 2 Gibbsite (Al₂O₃·3H₂O) confirmed by X-ray diffraction and differential thermal curve analysis
- x 3 Silica-Alumina ratio (SiO₂/Al₂O₃) = 1

Chemical analysis of clay of unit (III)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Others	Total
43.00	31.66	10.00	0.64	1.12	0.92	0.09	11.40	98.83%

- x 4 Silica-Alumina ratio = 2
- x 5 U.S. Department of Agriculture (1951); Soil survey manual

鏡的所見は1972年のフィジビリティ調査報告書のAPPENDIX-N-3に記した。熔岩は肉眼観察によっても黒雲母が認められ、石英の斑晶が多く、安山岩というより石英安山岩、あるいは流紋岩に近い性状を持っている。しかしながら石基および斑晶の大半は斜長石（曹長石であり今回の調査においてはField Nameとして安山岩熔岩という呼称を使用する。

⑨ 風化安山岩

この岩石はRio Sate河岸と調査横坑A-2, A-3およびA-4の奥において見られる。灰白色ないし乳白色を呈する塊状の岩石で、風化しており軟岩に属するが圧縮強度は 100 kg/cm^2 以上である。

この岩盤は80m級のフィルダムの基礎としては十分な地耐力を持っていると思われるが今後の調査において、現地載荷試験等により確認すべきである。

ダム右岸に掘削した調査横坑A-3ではこの風化安山岩の開隙亀裂より湧水が認められる。湧水量は 3 l/min 程度で水圧は小さく、明らかに地表からの浸透水と思われる。これらの風化安山岩の原岩では明瞭な柱状節理が認められており前記開隙亀裂はその痕跡である可能性がある。この節理系の規模や状態はダム基礎の透水性に関連を持つものである。今回の調査でダム地点の岩盤について広範囲にわたるコアボーリングとボアホールを利用したルジオン・テストを行なって岩盤の透水性を調査したが、その結果については6.6項に記述する。

⑩ 安山岩起源の残留土

この層の下層部は灰白色ないし乳白色を呈し粗粒でやや締っているが、上層部は赤褐色ないし灰紫色を呈しルーズになっている。

この層の厚さは調査横坑ボーリング等の資料によると3mないし5mあり、その締り具合や厚さからみてダム基礎としては掘削除去すべきものとする。

この残留土と風化安山岩との境界は、トレンチや横坑の側壁では明瞭であるが、露頭やボーリングのコアでは必ずしも明瞭ではない。残留土と風化安山岩は施工に際してダム基礎としての強度を判定すべき基準を設ける必要があるように思われる。既に掘削している横坑を利用した現位置載荷試験、CBR試験の他、不かく乱試料による直接せん断や、三軸せん断試験等を行ない、これらの大部分の試験は今回の調査において実施したが、その結果については6.6項において述べることにする。

(2) ダイクNo.1地点

この地点はJulumito部落の南はずれのRio SateとRio Caucaの境界が相接する鞍部に位置する。

両岸はなだらかな斜面で標高1,725m前後の丘陵へ続いている。このダイク地点からRio Caucaまでの距離は約500mである。

1972年のフィジビリティ調査においては、洪水吐をこの地点に設ける考えであったが、今回の調査で、洪水吐を本ダムに付随させる計画にした。このため、この鞍部には、ダイクのみが築造される。

この観点より、ダムの位置を再検討した結果、ダム高のより低くなる上流地点へ移動することとした。

本ダイク地点を構成している地質は大部分が火山灰層である。このダイク地点で行なったボーリングDDH-1（標高1,715.11m）によれば深度16.00mまでは砂層およびシルト質砂層の互層となっており、深度16.00m～16.30mには、古い時期の表土と思われる腐食土が採取され、その下は火山灰層となっている。前記深度16m以浅の地層は、明らかに河川による運搬物であり、ある程度の分級作用を受けている。この層の分布は地表が腐食土によって完全に被われているので地表踏査のみでは明らかにすることは出来ない。おそらく、この層は標高1,708mの段丘面にのみ分布すると思われるがダム軸に沿うトレンチ掘削あるいはハンドオーガーによる調査で確かめておく必要がある。

このダイクの高さは5.0mであり、基礎の地耐力については特に問題はないものと考えられる。

(3) ダイク№2地点

この地点は、平坦な丘陵地であり、地表は腐食土に被われた牧草地となっている。

ダム最低部におけるボーリングDDH-2の資料によれば、厚さ1mの表土の下は火山灰層となっており、深さ23m以上に及んでいる。このダイクは盛立高さ（7.0m）も低くダムの基礎としての問題は特にない。

6.3.3 圧力トンネル

圧力トンネルを構成する地質は取水口付近を除き新鮮な安山岩熔岩である。取水口付近は風化安山岩とその残留土が分布している。取水口の基礎は残留土の下位の風化安山岩にあたるが、ダム基礎と同様に十分な地耐力を持っていると思われる。

トンネルの経路は安山岩熔岩の最上層を通るがこの層は灰青色で、やや粗粒や堅硬な安山岩である（この岩石の物理的性質については、6.5.2項参照）。これらの安山岩熔岩の分布と性質は圧力トンネルの経路上に掘られたボーリングDH-1、DH-2、DH-3およびDH-4により確認されている。

Rio Caucaの兩岸の露頭の状態より考えると、トンネルが通過するこの層は、下位の安山岩熔岩に比較してやや多孔質であるが塊状で冷却節理も少ないように思われる。トンネル掘削時においては、この経路には断層等も少なく大きな問題はないと思われる。しかしトンネル掘削時には冷却節理（柱状節理）に起因する側壁もしくはスプリング部における肌落ちや

崩落が発生する可能性がある。また、冷却節理は連続した水みちを形成していることが多い。従って、トンネルの経路の地下水の賦存状態によっては掘削時には湧水に遭遇することも考えられる。

6.3.4 調圧水槽，水圧管路および発電所

今回の調査においては、調圧水槽から発電所までの経路について、次の二案について検討を行なった。

(1) 地表式案

調圧水槽から発電所までを Rio Cauca 右岸の斜面にそい、地表式でペンストックを設置する案である。調圧水槽付近は、標高 1,720m 前後の平坦地であり、30m 程の厚さの火山灰層が分布しているが、Rio Cauca に面した斜面は、Rio Cauca の急激な下刻作用のために峡谷をなしており 45° 以上の急斜面となっている。

圧力トンネルの終端部のトンネル低部の標高は 1,669.81m であり、安山岩熔岩層の中を通過すると思われる、斜面頭部の固定台は堅硬な安山岩中に設置しようと思われる。この部分の火山灰層は、不安定であり掘削除去する必要がある。現計画では、1:1.0 の法勾配で 40m ほどの高さの斜面となる。

斜面部は、所々露岩も見られるが、斜面下部は小沢となっており、崖錐の堆積が認められる。

(2) 堅坑案

調圧水槽から Rio Cauca 右岸の地山の内部に堅坑を設定し、標高 1,583m より 1:10 ほどのゆるい斜坑で発電所へ導入する案である。

堅坑部を構成する地質は前述のように安山岩熔岩であり、塊状堅硬であり大きな問題はないと思われる。ただしこの熔岩層はおよそ四層程にわかれておりその境界部に凝灰岩および凝灰質シルト岩層を 1~3m の厚さで挟んでおり、この層が不透水性を示し、局所的な地下水の制限床となり、この層に貯留された地下水が堅坑掘削時に湧水する可能性がある。峡谷の斜面を見る限りこの境界より地表への流出は認められず、堅坑での湧水の心配は軽微なものと思われる。

堅坑の位置は調圧水槽の直下であることが設計、施工上望ましい。また、調圧水槽そのものの位置は厚い(25~30m)火山灰層の存在を考慮し、地質的に安定となる位置に設けることが大切である。

また斜面の安定、および火山灰層および安山岩層上部の地耐力等について調査を行なうことが必要であろう。

(3) 発電所地点

(a) 地形

発電所地点 Rio Cauca の右岸に位置する。

発電所建物は幅 25 m 程の河岸段丘部に建設するが、その背後に水圧管路を設置する。この斜面は 40° ないし 60° となっている。この斜面のすそには小規模な崖錐堆積物が存在する。

(a) 地質

発電所地点で掘削したボーリング DH-4 (標高 1,568.66 m) によれば、厚さ 9.9 m の崖錐堆積物と、その下の厚さ 5.2 m の段丘堆積物を経て、発電所の基礎となる凝灰角礫岩となっている。

この凝灰角礫岩は緑灰色を呈し、粗粒で安山岩質小礫を多く含んでいる。軟岩に属するがその圧縮強度は $50\sim 100\text{ kg/cm}^2$ であり、均質かつ塊状であるので計画する発電所の基礎として十分な地耐力を有しているものと考ええる。

6.4 集水計画地点の地質

集水計画は Rio Cauca 本流から取水し、Rio Sate へ導水する Rio Cauca 集水計画と支流 Rio Palace および Rio Blanco から取水し、Rio Sate へ導水する Rio Palace 集水計画と Rio Blanco 集水計画がある。

Rio Cauca 集水計画は Rio Cauca 取水ダムと、それから Julumito 貯水池にそそぐ Quebrada La Paz に至る Cauca 集水路からなっている。

Rio Palace 集水計画は、Rio Palace 取水ダムと Rio Blanco に至る Palace 集水路からなり、Rio Blanco 集水計画は Rio Blanco 取水ダムとそれから Julumito 貯水池にそそぐ Quebrada Pambazo に至る Blanco 集水路からなる。

6.4.1 Rio Cauca 集水計画

(1) Rio Cauca 取水ダム地点

この地点に計画されているダムは DWG. No 25 および 26 に示したような、越流式コンクリート重力式ダム (ダム高 12.5 m, ダム頂長 77.0 m) である。

この地点は Popayan 市街の北東約 4 Km, Cali 市に至る旧街道が Rio Cauca を渡る橋の直下流に位置する。

この付近は、Rio Cauca が Popayan 高原の丘陵地をぬけ、河岸段丘よりなる平坦地への出口に当たっている。

左岸は、標高約 1,785 m 幅 200 m の河岸段丘 (Te_1) を経て、東方の丘陵地へ続いている。河床の流水部分の幅は約 20 m あり、浅瀬となっており、右岸寄りにはこの河道部より 2 ~ 3 m 高い氾濫原が、川に沿い、幅約 50 m で下流へ続いている。右岸は、この氾濫原より比高差 5 ~ 7 m の段丘崖を経て、 Te_2 の河岸段丘面へつながっている。この平坦面は最近

になり、土地利用が進みダム右岸近傍には、新しく女子中学校が建てられている。この平坦面は幅がおよそ 250m あり、西方はゆるやかな起伏の丘陵地となっている。

河床堆積物は径 10～50 cm の円礫よりなり、砂質シルトが礫間を埋めている。~~この砂礫~~層の厚さは、比較的うすいものと思われる。

段丘堆積物は、径 5～20 cm の円礫を多量に含み、マトリックスはシルト質砂、シルト質粘土よりなりよく締っている。

西に広く拡がる丘陵を構成している地質は火山灰層である。この地点に設けられるダムおよび付属構造物は小規模であるが、基礎はいずれも未固結な堆積物である。したがってダムの安全性を考慮し、適切な基礎処理と揚圧力に対する設計上の配慮が必要である。

ダムおよび取水口の基礎地盤の掘削を決定すると共に基礎処理の設計資料を得るため、今回の調査で、コアボーリング孔を利用した透水試験を実施した。この結果については 6.6 項に記述する。

(2) Rio Cauca 集水路

この集水路は DWG No.29 に示すように設計されている。その容量は $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、延長 2,400 m で、大部分開渠であるが、経路のはぼ終端に延長 220 m のトンネルが設けられることになる。経路の大部分は河岸段丘に位置しており、平坦な地形である。しかし、トンネル部と放水口側 (Quebrada La Paz) の一部は火山灰層が分布している。段丘堆積物は径 10 cm～30 cm の礫を多く混えるシルト質粘土ないし砂質シルトでありよく締っている。

火山灰層はやや粗粒であるが、Julumito ダム地点周辺の火山灰層と同一起源のものであり、厚さや風化の状態なども全く類似している。火山灰層の深部は十分に締っているが軟質であり段丘堆積物は未固結であるので、開渠掘削には火薬使用の必要はなく、通常の土工用掘削機械によって充分施工しうるものと推定される。

一方、水路経過地の地形は全般にゆるやかであり、かつ、開削により著しく高い斜面が形成されることも少ないので、斜面の安定に関しては地形的条件は有利である。しかし、掘削斜面のノリ肩の部分は著しく風化した地層や、非常にルーズな地層であるので小規模な崩壊を起こす場合が多い。この現象は、調査地域の天然の崖でもしばしば観察でき、急な斜面の裾には、上部のルーズな地層が崩落して崖錐を形成している。崖錐堆積物の安息角は 30° 内外である。

このような現象から考えると掘削斜面が侵食を受け崩落した物質が水路に直接崩落しないように、水路の天端と斜面の裾の間に適当な広さの犬走りを設けたり、ノリ肩の部分を緩傾斜にする等の配慮が必要である。火山灰層と段丘堆積物は、地表に近い風化層やルーズな層を除けば開渠の基礎として十分な支持力を持っていると判断されるが、コンクリートの施工継目からの漏水によって基礎が侵食されて、コンクリート構造物が不等沈下し水路の破壊が起らぬように、施工は入念に行なわねばならない。コンクリート打設の不良に

基づく漏水は、地形および地質の条件によっては水路の基礎の滑動をひき起すこともある。

トンネルは火山灰層を掘削することとなろう。従って、支保工はかなりの区間必要であり、また、全区間コンクリート巻立が必要となろう。なお、水路トンネルからの漏水に関しても、閘渠と同様な現象が起こりうるし、その修復は開渠よりもはるかに困難であるので、設計、施工に際しては一層の慎重さを要する。

6.4.2 Rio Palace 集水計画

(1) Rio Palace 取水ダム

この地点に計画されているダムはDWG.NO.27 に示したように、小さな越流式コンクリート重力式ダムである。

このダム地点はRio Palace が山岳部から平野部へ流出する出口にあり、基盤である安山岩熔岩の中を小さな峡谷をなして流れている。すなわちこの付近においてはRio Palace は深さ約10～15m、幅8～12mのU字状をなした峡谷を形作り、ダムサイト付近で右へ大きく曲り、その個所で川幅が広がっている。河川勾配がやや急であり、河床にはφ3～5mのよく円磨された巨礫が点在し、その間を30～50cmの円礫がうめている。河床砂礫の深さは、やや深く3～5mはあるものと思われる。しかしながら、高さの低いコンクリート重力式ダムの基礎としては良好な岩盤である。特にダム基礎としての問題はない。

(2) Palace 集水路

Palace 集水路については今回の現地調査結果により、開渠案からトンネル案に変更することとする。このトンネルは高さ2.8m、幅2.8m、延長770mの上部半円下部方形のトンネルである。

トンネルの経過地付近には、トンネルの敷よりもはるかに高くまで、安山岩熔岩層が分布しており、トンネルの大部分は良好な安山岩中を通過することとなろう。トンネル出口付近では、風化した安山岩もしくは火山灰層に遭遇する可能性があり、この部分については支保工、モルタルまたはコンクリートの吹付等の施工が必要になるとと思われる。

(3) Rio Blanco の取水ダム

計画されているダムはDWG.No.28に示されているような小さな越流式コンクリート重力式ダムである。このダム地点はRio Blancoとその支流Quebrada Clareteとの合流点から約250m下流に位置する。

このダムは低いダムではあるが基礎は未固結な堆積物であるので基礎の支持力および透水性、ダム下流の洗掘等に関してはRio Cauca 取水ダムと同様な配慮が必要である。

(4) Blanco 集水路

この集水路は高さ3.0m、幅3.0m、延長3,650mの上部半円下部方形のトンネルの計画である。

トンネルの経過地の大部分は火山灰層であり、一部風化安山岩となる。火山灰層は、ダム地点で掘削した調査横杭（幅約 1.8 m、高さ 2.4 m）の状態より類推すると、トンネル切羽において十分自立するが、経時変化で劣化し、崩落を起すようになると思われる。従って巻立作業は掘削後、なるべく時間を置かず行うことが望ましく、6ヶ月以上の空白がある場合には、支保工、コンクリートもしくはモルタル吹付等の施工が必要になると思われる。

地表との被りが薄くなる部分においては、風化や雨水の浸透等による劣化が激しく、支保工が必要となるであろう。

現在、トンネルの掘削標高と地下水位の関係が明らかでないので、詳細な地形図が完成した時点でトンネルルート上に地質調査を含めたボーリング調査が必要であると思われる。

トンネル掘削時における湧水については、トンネル標高と地下水位の関係および構成している地質の透水係数および空隙率より推定が可能であるが、今までの調査結果からは特に湧水は多いとは考えられない。特別な湧水があった場合には、近くの小沢へ向けて、排水トンネルを設置することとし、トンネル内を坑口まで自由流下させることは避けるべきである。

6.5 材 料

6.5.1 土質材料

本地点において、土質材料として考えられるのは、火山灰層と安山岩熔岩の風化残留土である。火山灰層は本計画地域に厚さ 20 m ないし 40 m で広く分布しており、その採取は容易である。予備調査報告書では採取地（Borrow area）として Julumito ダム地点下流の Rio Sate 左岸部に二つの地域を選んでおり、調査を行なうよう勧告している。この勧告に基づき 1971 年にこれらの地域に対し、8 坑のテストピットと 2 孔のボーリングが ICEL および CEDELCA の手によって行なわれた。各地点より採取された試料について土質試験が行なわれている。土質試験および地表踏査の結果、採取地 No 1（Borrow area No 1）および No 2（Borrow area No 2）地域の間には特に著しい優劣はない。強いていえば、材料の存在量の豊富さ（必要量 177,000 m³）および運搬距離等の点を勘案すると採取地 No 2 の方が優れている。これらの試験は、Cauca 大学に依頼して行なったものであるが、三軸圧縮試験については Mexico 大学で行なったものである。これらの試験結果を総合して Table 6-6 および Table 6-7 に示す。またこの火山灰層の特殊な風化作用については土壌学的な見地からの報告が INGEOMINAS より出されている。

これらの資料および現地での観察により、土質材料は次のように考察される。

(1) シャ水壁材料としての不透水性に関しては、その粒度曲線より見ても十分と思われる。

しかしながら、突き固め試験において最適含水比および最大乾燥密度を算出する場合に、それぞれの含水比における透水係数を測定し、突き固め - 透水曲線を作成すべきである。

Cauca 大学による透水試験は、圧密試験の際だけに限られている。これらの資料から考察すると、この火山灰層は最適含水比付近の締固め試料において、透水係数は、 10^{-5} cm/sec ないし 10^{-7} cm/sec のオーダーを示しているので、コア材料として十分なしゃ水性を有しているものと思われる。また、この火山灰層の風化段階とコア材料としての適否との関係を明らかにするため、今回の調査においてテストピットを掘削し、深度 1 m 毎に採取した試料について各種試験を実施したが、その結果については 6.6 項に記述する。

なお、各採取地でのテストピットならびにボーリング孔 (DH-6 および DH-7) を利用して行なわれた現位置透水試験の結果においても透水係数は 10^{-4} ないし 10^{-3} cm/sec のオーダーを示している。

(2) この火山灰層をコア材料として使用する場合、問題になるのは非常に細粒である上、自然含水比が高い粘性土であるために盛立材料としての強度および施工機械のトラフィカビリティについてである。

a) 粒度試験によれば #200 (=φ0.074 mm) フルイの通過百分率が実に 90% 近くあり、統一分類法 1. によれば、概ね MH および ML に相当する。また、コンシステンシー試験によれば、液性限界 (LL) が 60% 前後と低く、自然含水比も多くの場合その値に近い。これらの試験結果によると、試料の大部分は塑性限界 (PL) が異常に高く、塑性指数 (PI=LL-PL) が 10% 以下を占めている。提供された資料では突固め試験による最適含水比のみならず、自然含水比でさえも塑性限界より小さい値を示していることは理解できない。試験を行なう際は #200 以下の粒度についても粒度分析を行ないコンシステンシー試験の参考とすべきである。

b) 土の強度に関する試験は一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、直接せん断試験が行なわれており、その結果は Table 6-6 に示した。これらの結果では内部摩擦角(φ)は、異常に大きな値 (35°~55°) を、粘着力(C)は小さな値を示している。この性状は一見、砂質なものを想わせるが、現実には #200 以下が 85% 以上の粘性土であり、一般的な火山灰とは非常に異った値を示している。また三軸試験時の軸圧 ($\bar{\sigma}_1$) が 40~70 kg/cm² と非常に大きな値を示しており、この値は通常の火山灰の極限支持力をはるかに越えたものと思われる。

しかしながら、直接せん断試験の結果も三軸圧縮試験に近い "φ" および "C" の値を得ている。この火山灰層が #200 の通過百分率が 90% 以上であっても #200 以上であっても #200 以下の粒度においてシルト分が卓越し、粘性土としては不活性を示すのかも知れない。

粘土の活性は #200 以下の粘度分析結果より、次の式で与えられる。

$$\text{粘土の活性} = \frac{\text{塑性指数}}{2N \text{以下の粘土含有量}}$$

Popayan 市郊外にある Florida II 発電所の調整池の火山灰層に対する施工状況より判断すると、トラフィカビリティは通常の土木機械（湿地用ブルドーザも含む）での施工が不可能ではないと思われる。この点に関しては火山灰層の不かく乱資料および施工時に想定される含水比で締固めた材料での CBR 試験および、コーン貫入試験により確認することが望ましい。

- (3) 火山灰層をコア材料として使用する場合の試験および施工管理は特別の配慮が必要である。自然含水状態から気乾燥させた試料で突き固め試験を行なってみると、ランマー打げきが規定回数に達していないうちに流動する状態に達し、以後の突固めが不可能となることが多い。これは突固めエネルギー（EC）がこの火山灰層に対しては過大であることを示しているように思われる。

この火山灰層のように自然含水比が非常に高い場合、その飽和度（Sr）は 75% 以上あり、それを締固める場合わずかな突固めエネルギーにより "Sr" が 100% 近くに達してしまうことになる。従って、突固め試験において "Ec" すなわち打げき回数と "Sr" の関係を明らかにし、この関係にふさわしい打げき回数およびランマーの重さを適用した試験法を考案すべきである。

その方法により最適含水比および最大乾燥密度を算出すると同時に、各含水比で締固めた状態において透水試験および一軸圧縮試験を実施する必要があるように思われる。

このような試験結果に基づき現場における転圧機械の種類および巻出し厚さ、転圧回数等の検討を行なうべきである。このような火山性の粘性土は同じ含水比であっても、十分乾燥させた試料に水を加えて締固めた結果と、自然含水状態から乾燥させて締固めた結果とは全く違った乾燥密度になることが多い。従って、完全に炉乾燥した後、加水しながら試験することは望ましくなく、施工の条件を考慮した乾燥条件によって試験を行なうことが必要であろう。このような火山性粘性土の性質を考えると、コア盛立施工においては乾燥密度に締固め度（締固め百分率）よりも飽和度 "Sr" による盛立管理を行なうのが望ましいと思われる。

6.5.2 ロック材料およびフィルタ材料

(1) ロック材料

ロック材料としては、安山岩熔岩が考えられる。予備調査によって選定されたロック採取候補地で行なったボーリング結果では、深度 39 m までは火山灰層が分布、深度 51 m 以下で新鮮な安山岩となっている。

このように、火山灰層および風化安山岩層が厚く、ロック採取のために、この部分を掘

削除することは、経済的に無理となる。

ロック採取地点 (quarry site) 選定のため Rio Sate の上下流を再調査したが「6.3.1 項湛水池の地質」で詳述したように風化が深くまでおよんでおり、ロック採取地に適した箇所は皆無であった。また、Rio Sate と Rio Cauca 川に囲まれる丘陵地も「6.3.3 項圧力トンネル」に述べたように火山灰層が厚くかつ一様に堆積しており、ロック採取地には不適當である。

これらの火山灰層が浸食により除去されているのは Rio Cauca の急速な下刻作用によって、峡谷となっている発電所地点周辺に限られている (6.3.4 項参照)。

1972 年の調査においては確実に新鮮な安山岩が採取出来る地点として、Rio Cauca 左岸で発電所対岸の尾根を選定したが、今回の調査において採取方法および運搬道路計画、および関連する鉄管路、発電所等の施工計画を検討した結果、Rio Cauca 右岸で発電所より約 300m 下流の地点に変更することとした。

このロック採取地は、厚い安山岩熔岩よりなっており、四つの層に分けられるが、いずれの層の材質もロック材料に適していると考えられる。

なお位置は異なるが、同じ安山岩層を掘削したボーリング DH-1, DH-2, DH-3, DH-5 および DH-204 におけるコア材料について岩石物理試験を実施した。試験の項目は、比重、吸水率、弾性波速度 (P 波および S 波) 一軸圧縮強度である。この結果は Table 6-8 に示す通りである。

これらの岩石物理試験より見れば、この安山岩熔岩は、ロック材料として十分な条件を備えているものと見なされる。

安山岩の風化の程度を確かめるべく、ボーリング DH-204 および DH-1 のコアについて X 線回析を行なった。回析チャートには粘土鉱物は、ほとんど認められず、ハロイサイト、モンモリロナイトの存在の痕跡が認められる程度である。このほか、クリストバライトが顕著であるが、これは火成岩として晶出したものであり、風化による生成鉱物ではない。X 線回析の結果は、この安山岩熔岩の深部は概ね新鮮であることを示している。また今回の調査においてこのロック採取地においてボーリングによる地質調査を行なった。この結果については 6.6 項に示す。

(2) フィルター材料

この材料は約 113,000 m³ を必要とする。ダム地点の近くには、適当な粒径を持つ多量の河床砂礫の堆積地はない。

一方、コア材料には、非常に細粒な火山灰を使用するため、フィルター材料は、設計通りの粒度組成を持つ材料を使用することが望ましく、このためには人工骨材の使用が品質管理上有利である。

原石はロック採取地のものと同一でよいと考える。

															TM101			
															TP204			
Name	TP-202		TP-202		TP-202		TP-203		TP-203		TP-204		TP-204		Average		Average	
Date	Sep. 30/70		-		Oct. 27/70		Nov. 4/70		Sep. 30/70		Sep. 30/70		Oct. 31/70		-		-	
Depth	3.00		3.00		3.00		3.00		3.00		3.00		3.00		-		-	
Class	ML		MH		MH		SMu		SM		SM		SMu		-		-	
Gradation analysis	-		100		99.92		99.68		-		-		100		99.60		99.78	
	99.44		99.86		99.62		97.20		99.96		98.66		99.98		99.60		99.78	
	96.98		98.49		97.25		76.20		98.67		90.98		79.37		92.74		99.30	
	-		96.45		91.97		50.23		-		-		59.25		83.74		94.48	
	88.53		94.56		87.79		34.65		90.47		67.64		51.54		80.29		85.52	
Auerberg's limits	47.5		78.75		50.0		-		-		-		-		77.18		81.44	
	37.4		04.50		37.4		-		-		-		-		53.48		58.15	
	10.1		14.25		12.6		-		-		-		-		41.41		45.14	
	0.35		-0.65		0.87		-		-		-		-		12.07		13.01	
	0.65		1.65		0.13		-		-		-		-		0.49		0.60	
e _v	2.45		2.37		2.53		2.46		2.66		2.58		-		0.51		0.40	
	40.8		55.3		48.3		87.8		58.4		107.2		2.59		2.52		2.56	
c _v													178.0		70.69		69.02	
Sr.																		
Compaction test	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H
	-	30.3	39.0	44.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36.0	34.3	38.5	36.7
	-	1.3	1.22	1.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.28	1.32	1.23	1.26
	-	0.8	0.94	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.91	1.08	1.03
-	88.4	98.3	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90.7	95.0	91.3	96.2	
Consolidation test	-		1.05		1.01		2.34		-		-		5.19		1.92		1.84	
	-		0.98		0.83		1.97		-		-		4.56		1.67		1.58	
	-		0.023		0.02		0.044		-		-		0.055		0.027		0.039	
	-		0.0129		0.0066		0.0131		-		-		0.0049		0.0098		0.0118	
	-		0.01122		0.0011		0.0132		-		-		0.0089		0.0093		0.0128	
-		1.4×10 ⁻⁷		6.6×10 ⁻⁵		1.7×10 ⁻⁴		-		-		4.4×10 ⁻⁵		0.6×10 ⁻⁴		1.2×10 ⁻⁴		
Unco Strer	4.5		1.87		-		-		-		-		-		2.74		2.40	
	-		1.5		-		-		-		-		-		1.0		0.68	
Triaxial compres-	-		33		-		-		-		-		-		44		42	
	-		0.649		-		-		-		-		-		0.966		0.900	
Direct	-		0.19		-		0.0		-		-		0.50		0.20		0.16	
	-		39		-		40		-		-		23		36		36	
	-		0.810		-		0.839		-		-		0.424		0.726		0.726	

Table 6-6 Result of Soil Test (Sheet 1 of 2)

		Borrow area No. 1																				TP101 TP204																		
Name of test pit		TP-101	TP-101	TP-102	TP-102	TP-102	TP-103	TP-103	TP-103	TP-104	TP-104	Average	TP-201	TP-201	TP-201	TP-202	TP-202	TP-202	TP-203	TP-203	TP-204	TP-204	Average	Average																
Date		Oct. 26/70	Sep. 30/70	Nov. 7/70	-	Sep. 30/70	Oct. 28/70	Sep. 30/70	Oct. 28/70	Sept. 30/70	-	-	Nov. 9/70	Feb. /70	Sep. 30/70	Sep. 30/70	-	Oct. 27/70	Nov. 4/70	Sep. 30/70	Sep. 30/70	Oct. 31/70	-	-																
Depth of sampling (m)		-	3.00	-	-	3.00	-	3.00	-	-	3.00	-	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	-	-															
Classification U. S. C. E		no plastic	MH	MH	MH	MH	SMu	SM	MH	MH	-	-	MH	ML	ML	ML	MH	MH	SMu	SM	SM	SMu	-	-																
Gradation analysis	4.75 mm > (%)	100	-	100	100	-	99.93	-	100	-	-	99.99	97.82	100	-	-	100	99.92	99.88	-	-	100	99.60	99.78																
	2.0 mm > (%)	99.22	99.99	100	100	99.37	98.06	99.68	99.98	99.82	99.87	99.57	97.65	99.11	99.09	-	-	99.86	99.62	97.20	99.98	98.66	99.98	99.60	99.78															
	0.42 mm > (%)	94.49	99.00	99.81	98.36	97.96	88.19	92.07	99.72	98.17	96.42	96.24	96.53	96.70	96.98	96.98	98.49	97.25	78.20	98.67	90.98	79.37	92.74	99.30																
	0.149 mm > (%)	89.02	-	97.65	97.90	-	76.51	-	97.94	-	91.80	92.46	91.38	-	-	-	96.45	91.97	50.23	-	-	59.25	93.74	94.48																
	0.074 mm > (%)	83.03	92.16	94.85	94.41	89.17	57.26	79.00	94.28	91.52	86.18	85.71	86.42	84.25	88.53	94.56	87.79	34.65	90.47	67.84	51.54	80.29	85.52																	
Atterberg's limits	LL (%)	-	61.0	61.0	67.00	60.0	-	-	67.0	61.0	62.63	58.3	46.30	40.0	47.5	78.75	50.0	-	-	-	-	-	77.18	81.44																
	PL (%)	-	45.4	47.5	60.83	41.0	-	-	52.6	45.9	48.87	39.9	39.25	30.0	37.4	64.50	37.4	-	-	-	-	-	53.48	58.15																
	Ip (%)	-	15.6	13.5	6.17	19.0	-	-	14.4	15.1	13.96	18.4	7.02	10.0	10.1	14.25	12.6	-	-	-	-	-	41.41	45.14																
	I _p	-	2.42	0.72	-2.08	0.74	-	-	0.97	1.42	0.70	0.18	1.14	1.08	0.35	-0.65	0.87	-	-	-	-	-	12.07	13.01																
	I _c	-	-1.42	0.28	3.08	0.28	-	-	0.03	-0.42	0.30	0.84	-0.14	-0.08	0.65	1.65	0.13	-	-	-	-	-	0.49	0.60																
	G	2.69	2.69	2.60	2.71	2.72	2.36	-	2.58	2.58	2.62	2.42	2.53	2.47	2.45	2.37	2.53	2.46	2.66	2.58	-	-	0.51	0.40																
	e natural (%)	49.13	83.1	57.2	48.0	55.0	102.0	76.2	66.61	67.3	67.16	42.9	47.3	40.8	40.8	55.3	48.3	87.8	58.4	107.2	2.59	2.52	2.52	2.56																
Sr. natural (%)																						178.0	70.69	69.02																
Compaction test	Standard *1)	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H															
	e optimum (%)	-	-	42.0	-	45.0	43.5	41.5	-	38.0	-	-	-	-	46.3	-	41.8	43.5	42.4	-	38.1	33.0	32.0	-	26.9	-	30.3	39.0	44.0	-	-	-	-	-	-	-	36.0	34.3	36.5	38.7
	r d. max (g/cm ³)	-	-	1.20	-	1.19	1.18	1.20	-	1.25	-	-	-	-	1.14	-	1.22	1.18	1.20	-	1.30	1.30	1.31	-	1.42	-	1.3	1.22	1.25	-	-	-	-	-	-	-	1.26	1.32	1.23	1.26
	e optimum	-	-	1.24	-	1.18	1.30	1.28	-	1.18	-	-	-	-	1.26	-	1.11	1.22	1.18	-	0.86	0.88	0.93	-	0.74	-	0.8	0.94	0.90	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.91	1.08	1.03
Sr. optimum (%)	-	-	91.1	-	99.1	90.7	89.3	-	87.6	-	-	-	-	94.8	-	97.4	93.4	94.1	-	95	87.9	87.1	-	89.8	-	88.4	98.3	95	-	-	-	-	-	-	-	90.7	85.0	91.3	86.2	
Consolidation test	Initial	1.51	-	1.55	1.39	-	2.91	-	1.40	-	1.75	1.00	0.90	-	-	1.05	1.01	2.34	-	-	-	-	5.19	1.92	1.84															
	Final	1.30	-	1.36	1.25	-	2.18	-	1.24	-	1.47	0.88	0.88	-	-	0.98	0.83	1.97	-	-	-	-	4.56	1.67	1.58															
	σ _v	0.037	-	0.025	0.028	-	0.150	-	0.025	-	0.053	0.012	0.01	-	-	0.023	0.02	0.044	-	-	-	-	0.055	0.027	0.039															
	ε _v	0.0098	-	0.0341	0.0119	-	0.0103	-	0.0056	-	0.0143	0.0132	0.008	-	-	0.0129	0.0066	0.0131	-	-	-	-	0.0049	0.0098	0.0118															
	m _v	0.015	-	0.0098	0.012	-	0.038	-	0.0104	-	0.0170	0.006	0.0053	-	-	0.01122	0.0011	0.0132	-	-	-	-	0.0089	0.0093	0.0128															
K	1.42×10 ⁻⁴	-	3.3×10 ⁻⁴	1.4×10 ⁻⁷	-	4×10 ⁻⁴	-	4.7×10 ⁻⁵	-	1.8×10 ⁻⁴	7.9×10 ⁻⁵	4.2×10 ⁻⁸	-	-	1.4×10 ⁻⁷	6.6×10 ⁻⁵	1.7×10 ⁻⁴	-	-	-	-	4.4×10 ⁻⁵	0.6×10 ⁻⁴	1.2×10 ⁻⁴																
Unconfined compression strength Qu (Kg/cm ²)		-	2.06	1.40	1.52	3.25	-	-	2.26	2.22	2.12	2.41	2.02	2.92	4.5	1.87	-	-	-	-	-	-	2.74	2.40																
	C (Kg/cm ²)	-	-	0.10	0.25	-	-	-	0.75	-	0.37	0.5	1.0	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	1.0	0.68																
Triaxial compression test	φ (°)	-	-	40	55	-	-	-	22	-	39	51	49	-	-	33	-	-	-	-	-	-	44	42																
	tan φ	-	-	0.839	1.43	-	-	-	0.404	-	0.810	1.23	1.15	-	-	0.649	-	-	-	-	-	-	0.966	0.900																
Direct shear test	C (kg/cm ²)	0.1	-	0.00	0.20	-	0.18	-	0.12	-	0.12	0.08	0.22	-	-	0.19	-	0.0	-	-	-	0.50	0.20	0.16																
	φ (°)	40	-	40	36	-	30	-	32	-	36	34	43	-	-	39	-	40	-	-	-	23	36	36																
	tan φ	0.839	-	0.839	0.726	-	0.577	-	0.625	-	0.726	0.674	0.932	-	-	0.810	-	0.839	-	-	-	0.424	0.726	0.726																

Note: 1) P ---- PROCTOR Standard, H ---- HARVARD Standard
 2) This soil test was conducted by Universidad Del Cauca responding to the request of CEDELCA.

Table 6-7 Result of Soil Test (Sheet 2 of 2)

	Headrace tunnel				Dam site No. 2	Borrow area No. 1			Borrow area No. 2			Dike sites				DH2	
	DH-2	DH-2	DH-2	DH-2	DH-203	DH-6	DH-6	DH-6	DH-7	DH-7	DH-7	D.DH-1	D.DH-2	D.DH-2	D.DH-2	D.DH2	
Name of drill hole																	
Date	Nov. 25/70	Nov. 25/70	Nov. 25/70	Nov. 25/70	Nov 25/70	Oct. /70	Oct. /70	Oct. /70	-	-	-	May 5/71	May 5/71	May 5/71	May 5/71	Average	
Depth of sampling (m)	5.00 to 6.00	10.00 to 11.00	15.00 to 16.00	20.00 to 21.00	6.00 to 7.00	6.00 to 7:00	10.00 to 11.00	15.00 to 16.00	5.00 to 6.00	10.00 to 11.00	16.00 to 17.00	20.00	5.00	10.00	20.00	-	
Classification U. S. C. E	MH	MH	ML	-	-	MH	MH	ML	MH	ML	-	ML and gravel	ML	ML	ML	-	
Gradation analysis	4.76 mm > (%)	-	-	100	99.88	97.31	-	-	-	99.94	99.63	64.75	100	100	99.97	95.72	
	2.0 mm > (%)	99.92	99.97	99.98	99.86	95.11	99.90	-	99.86	99.85	99.87	55.61	99.72	99.55	98.46	90.21	
	0.42 mm > (%)	99.15	99.40	96.31	94.34	81.39	99.34	99.13	98.40	99.17	99.24	45.83	98.73	98.13	87.01	92.84	
	0.149 mm > (%)	93.97	96.20	86.00	80.08	68.58	96.82	94.33	92.68	94.84	93.30	85.87	35.74	93.17	92.75	73.92	85.22
	0.074 mm > (%)	89.00	94.25	82.80	74.37	65.66	92.42	90.12	88.15	89.81	86.92	74.24	34.98	81.61	84.86	63.44	79.52
Atterberg's limits	LL (%)	56.0	67.0	35.0	32.8	-	66.5	56.5	42.5	62.0	47.5	-	38.50	63.00	58.00	55.00	52.56
	PL (%)	40.3	52.6	26.9	28.8	-	51.6	44.3	32.8	44.4	31.5	-	37.97	56.28	50.61	50.26	42.18
	Ip (%)	15.7	14.4	8.1	4.0	-	14.9	12.2	9.7	17.6	16.0	-	0.53	6.72	7.39	7.74	10.38
	I _L	1.55	1.68	1.25	2.33	-	1.68	1.16	1.01	0.80	0.98	-	17.88	1.98	0.85	3.38	1.26
	I _c	-0.55	-0.68	-0.25	-1.33	-	-0.68	-0.16	-0.01	0.20	0.02	-	-16.88	-0.98	0.15	-2.38	-0.26
	G	2.58	2.43	2.49	2.5	2.60	-	-	-	-	-	-	2.59	2.82	2.74	2.66	2.58
	ω natural (%)	64.7	76.8	37.0	38.1	37.4	76.7	58.5	42.6	58.4	47.1	42.3	47.45	69.60	56.9	76.39	55.33
r natural (g/cm ³)	1.72	1.65	1.89	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.78	
e natural	1.47	1.60	0.80	0.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.25	
Sr. natural (%)	95 <	95 <	95 <	95 <	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95 <	
Unconfined compression strength Qu (kg/cm ²)	1.42	0.71	-	-	-	1.63	1.34	4.04	1.17	0.70	0.87	0.72	1.93	2.7	0.49	1.48	

Note 1) This soil test was conducted by Universidad Del Cauca responding to the request of CEDELCA.

Table 6-8 Result of Rock Test

Specimen No.	Sample		Rock name	Length (cm)	Diameter (cm)	Area of cross section (cm ²)			Weight (g)				Specific gravity		Ratio of absorption (%)	Ultra sonic velocity (m/sec.)				Compressive strength				Modulus of elasticity E (kg/cm ²)		Remarks		
	Locality	Depth (m)				Upper	Bottom	Average	Natural	Dry	In Water	Wet	Dry	Wet		P-wave		S-wave		Poisson's ratio	Max. load (kg)	Max. strain (×10 ⁻³)	Strength (kg/cm ²)	Future of breaking	Static		Dynamic	
																Dry	Wet	Dry	Wet									Dry
1	DH- 1	38.00	Andesite	5.52	4.19	13.8	14.1	14.0	175.84	175.30	103.50	178.74	2.33	2.37	1.95	3410	3430	2100	2170	0.192	0.166	7300	2.50	521.4	Large pieces	2.11×10 ⁵	2.60×10 ⁵	
2	DH- 1	65.00	Andesite	4.36	4.20	14.0	14.1	14.1	140.68	140.33	83.02	143.02	2.34	2.38	1.92	3350	3600	2180	2190	0.136	0.206	7300	3.50	517.7	Large pieces	1.48×10 ⁵	2.75×10 ⁵	
3	DH- 1	83.00	Andesite	6.21	4.19	13.7	12.2	13.0	182.01	181.27	107.11	188.25	2.23	2.32	3.85	2770	2890	1670	1730	0.180	0.221	2400	2.55	164.6	Large pieces	6.52×10 ⁴	1.70×10 ⁵	
4	DH- 1	98.00	Andesite	4.63	4.19	10.1	11.3	10.7	106.38	106.05	60.73	110.50	2.13	2.22	4.20	3260	3480	2020	2060	0.186	0.230	5000	1.65	467.3	Something into pieces	2.86×10 ⁵	2.32×10 ⁵	
5	DH- 1	105.00	Andesite	5.31	4.19	13.5	14.1	13.8	166.97	166.66	97.32	168.63	2.34	2.36	1.18	3880	4180	2380	2410	0.198	0.251	3800	3.00	275.4	Large pieces	9.52×10 ⁴	3.43×10 ⁵	
6	DH- 1	135.00	Andesite	5.72	4.20	14.0	14.2	14.1	187.05	185.94	108.96	187.76	2.36	2.38	0.98	2860	3030	1740	1820	0.204	0.218	7000	1.60	496.6	Large pieces	2.86×10 ⁵	1.92×10 ⁵	
7	DH- 1	150.00	Silty buff	8.99	3.91	11.9	12.8	12.4	113.70	99.82	56.33	169.16	0.88	1.50	69.47	814	-	490	-	0.221	-	-	-	-	Broken in water	-	(D) 5.14×10 ³	
8	DH- 1	158.00	Tuff breccia	6.78	4.12	13.6	13.6	13.6	134.33	132.40	69.40	155.64	1.54	1.60	17.55	1600	1650	860	880	0.297	0.301	420	5.10	30.9	Large pieces	5.71×10 ³	3.63×10 ⁴	
9	DH- 2	40.00	Andesite	7.61	4.18	14.0	14.0	14.0	235.70	235.10	129.80	243.00	2.28	2.36	3.38	2550	2800	1620	1710	0.159	0.203	7800	6.15	537.1	Small pieces	9.09×10 ⁴	1.66×10 ⁵	
10	DH- 3	15.00	Andesite	6.07	4.18	13.0	12.0	12.5	173.83	173.26	102.38	177.25	2.31	2.37	2.30	3490	3680	2090	2130	0.221	0.248	6000	3.75	480.0	Small pieces	1.25×10 ⁵	2.68×10 ⁵	
11	DH- 3	25.00	Andesite	6.53	4.19	14.1	13.9	14.0	208.00	207.00	122.64	211.50	2.33	2.38	2.17	3800	4110	2280	2420	0.221	0.235	11000	6.10	785.7	Something into pieces	1.25×10 ⁵	3.44×10 ⁵	
12	DH- 4	10.00	River gravel	4.34	4.18	13.8	13.3	13.6	125.96	125.44	73.91	131.27	2.19	2.29	4.65	2080	2420	1250	1360	0.215	0.269	3000	6.40	220.6	Small pieces	3.39×10 ⁴	1.07×10 ⁵	
13	DH- 4	19.00	Tuff breccia	4.70	3.99	12.2	12.7	12.5	125.34	119.35	73.53	136.46	1.90	2.17	14.34	1640	1630	890	-	0.294	-	-	-	-	Broken after measure P wave	-	(D) 3.89×10 ⁴	
14	DH- 5	50.00	Weathered andesite	4.62	4.19	13.7	13.9	13.8	113.35	112.31	65.37	126.64	1.83	2.07	12.76	1230	1340	720	750	0.255	0.272	350	3.60	25.4	Something into pieces	6.90×10 ³	2.96×10 ⁴	
15	DH- 5	57.00	Andesite	5.80	4.19	14.0	13.6	13.9	173.75	172.87	102.61	181.65	2.19	2.30	5.08	2040	2220	1270	1310	0.180	0.233	3200	6.30	230.2	Large pieces	3.57×10 ⁴	9.73×10 ⁴	
16	DH-204	6.00	Weathered andesite	5.28	4.19	13.8	13.7	13.8	150.89	149.46	88.67	159.97	2.10	2.24	7.03	2050	2240	1180	1250	0.249	0.274	2070	7.20	150.0	Small pieces	2.08×10 ⁴	6.92×10 ⁴	
17	DH-204	12.00	Weathered andesite	5.81	4.18	13.7	13.5	13.6	189.75	189.20	98.32	175.68	2.19	2.27	3.83	2110	2370	1260	1310	0.221	0.280	2400	2.40	176.5	Small pieces	7.14×10 ⁴	9.97×10 ⁴	
18	Power House	-	Dacitic andesite	4.78	3.05×3.04	9.3	9.4	9.4	100.26	100.16	58.36	101.27	2.33	2.36	1.11	2100	2330	1190	1250	0.262	0.298	1650	2.90	175.5	Small pieces	5.88×10 ⁴	9.57×10 ⁴	
19	3-8-1 Río Cauca	-	Andesite	4.81	3.05×3.05	9.6	9.4	9.5	103.21	102.77	60.23	104.23	2.34	2.37	1.42	4010	4040	2200	2100	0.329	0.315	5400	4.60	568.4	Small pieces	1.29×10 ⁵	2.75×10 ⁵	
20	La Titelia	-	Meta Dolerite	4.54	3.05×3.03	9.7	9.5	9.6	123.38	123.08	81.76	123.45	2.95	2.96	0.30	5540	5670	3070	3100	0.380	0.287	13800	4.10	1437.5	Small pieces	3.64×10 ⁵	7.32×10 ⁵	
21	DH- 5	57.00	Andesite	5.09	4.19	13.7	14.0	13.9	151.63	150.81	89.64	158.63	2.19	2.30	5.19	2140	2230	1330	1410	0.186	0.187	4400	11.50	316.5	Small pieces	2.78×10 ⁴	1.07×10 ⁵	

6.5.3 コンクリート骨材

Julumito 水力発電計画では約 80,000 m³ のコンクリート骨材が必要である。

骨材採取地点としては、主としてロック採取地および水圧管路および圧力トンネル掘削ずりから人工的に製造して使用する計画である。

この地点の安山岩熔岩の岩石試験結果では比重は 2.35，吸水率は 3～5%，一軸圧縮強度が 500 kg/cm² ないし 700 kg/cm² を示しており，採取個所を選択すれば粗骨材は，この安山岩から人工的に作ることは容易である。また，細骨材についても粗骨材の約半分の量が必要であるが，安山岩より製造可能と思われる。しかし原岩が長石を多量に含んでいるため細骨材の材質は，やや劣るものになると思われる。

一方，Florida II 発電所工事の骨材を採取している Rio Timbio また Rio Ondo の河床堆積物をも補助的に使用する計画である。詳細設計に当たっては，これらの堆積物の量的把握が必要である。

6.6. 地質調査工事の結果

6.6.1 調査工事数量, 内容および位置

調査工事はボーリングを中心に行い, ダムサイトにおいては, 透水試験も併せて実施した。また土取場候補地においては, ボーリングに加えテスト・ピットを掘削し, 土質試料を採取し各種の土質試験を行った。この詳細は別項でのべることとする。実施した地質調査工事を次の表に示す。

Drilling								
Location	Hole Name	Length (m)	Elevation	Coordinates		Final Size of hole	Permiabi- lity test	
				X	Y			
Dam	DH-206	40	1690,764	1,046,595,330	767,991,770	NX	O	
	DH-207	40	1718,145	1,046,501,832	767,970,031	NX	O	
	DH-208	30	1679,247	1,046,698,464	768,068,340	NX	O	
	DH-209	40	1724,202	1,046,746,121	768,137,284	NX	O	
	DH-210	20	1647,552	1,046,666,218	768,004,564	NX	O	
	DH-211	20				NX	O	
	DH-212	20	1647,249	1,046,694,303	767,986,028	NX	O	
	DH-213	20	1646,584	1,046,616,730	768,051,461	NX	O	
	DH-214	50				NX	O	
	Dike	DDH-101	25	1715,173			NX	-
		DDH-201	25	1714,995			NX	-
		DDH-202	25	1712,161			NX	-
	Intake	DH-8	50	1698,674	1,046,666,876	767,750,214	NX	-
	Surgetank	DH-9	70	1718,399			NX	-
Cauca Diversion Dam	CDH-1	30	1764,286			NX	-	
	CDH-2	30	1763,787			NX	-	
	CDH-3	10	1756,253			NX	-	
	CDH-4	30	1756,817			NX	-	
	CDH-5	30	1755,880			NX	-	
Borrow Area	BDH-1	40	1738,059	1,046,099,641	767,350,251	NX	-	
Quarry Site	QDH-1	100	1730,197			BX	-	
Total		745m	21 holes					

Test Pit						
Location	Test Pit Name	Depth(m)	Elevation	Coordinates		Size of Pit
				X	Y	
Borrow Area	BTP-102	5	1738,241	1,046,126,919	768,395,539	1.5 x 1.5m
	BTP-102	5	1735,965	1,046,111,559	768,375,152	1.5 x 1.5m
	BTP-103	5	1735,754	1,046,138,073	768,350,429	1.5 x 1.5m
	BTP-104	5	1713,441	1,046,196,636	768,374,800	1.5 x 1.5m
Total		20m	4 Test Pits			

6.6.2 ダム地点調査工事結果

ダムサイトにおいては兩岸の満水位付近、中腹部、河床部兩岸にそれぞれボーリングを実施した。また河床部のダム軸より上下流にも1本づつボーリングを行い、それぞれのボーリング孔において透水試験を行った。

(1) 岩質および風化の程度

満水位付近で行ったボーリングDH-214, DH-207, DH-209によると、火山灰層は約20~22mの厚さを有しており、左岸では標高1,690mから1,700mにその境界がある。右岸においては、標高1,700m付近にその境界がある。これらの境界は兩岸においてほぼ対称であり、標高1,690mから1,700mにかけて多少の凹凸を伴いながらほぼ水平に存在しているものと思われる。その下には火山灰噴出以前、地表として風化をうけた安山岩熔岩の強風化層が存在する。風化残留土層が左岸で5m前後、右岸で10m前後の厚さで分布している。また、Rio Sateに面した斜面は火山灰分布後も風化を受けており、河床近辺を除き約5mの厚さで風化残留土となっている。

この層の下は風化した安山岩となっており、うまく採取したコアは棒状を呈し、岩盤をなすが軟岩である。垂直な節理が存在するが、褐鉄鉱等の沈積により閉そくされていることが多い。

この風化安山岩の層は岩盤としては軟質であるが、このダムの基礎としては十分な支持力およびせん断強度を有していると思われる。この層は漸移的に新鮮な安山岩に移行しており、兩岸の満水位付近で深度約35m、中腹部で20m前後、河床部では直接新鮮な安山岩が露出することが判明した。

河床で行ったボーリングDH-210, DH-211, DH-212, DH-213の結果によると、河床部においては新鮮な安山岩がRio SateのDeepeningによりU字状に掘られ、小さな峡谷をなした後に砂礫層に埋没されており、その深さは現河床の標高より14~15mである。

(2) 透水試験の結果

NXサイズのボーリング孔を利用して2m区間毎の透水試験を実施した。バッカーの装着、ポンプの送水能力等の制限を受けたがほぼ満足出来る状態で完了した。

これらの結果はAPPENDIX-VIIに示す通りである。概略を記すると次のようになる。

新鮮な安山岩および風化安山岩の部分は、所々に垂直の冷却節理を持っているにもかかわらず、10kg/cm²の加圧に対しても1~3ルジオンを示しており、不透水性の良好な岩盤といえる。河床部においてはこの部分で若干透水量の大きな部分があるがいずれも容易に通常のグラウト工法で注入可能であり問題はない。

風化残留土の部分においては、平均25ルジオン程度を示し5~7kg/cm²の加圧に耐えられる。所々に50ルジオン前後を示す部分もあるが、この層は、ゾーングラウトにより、5~7列のセットグラウトにより処理可能と思われる。

次に火山灰層であるが、表層の5~7mは、1~3kg/cm²の圧力に対し60~110ルジオンと大きな透水量を示している。また、それ以深もあきらかに限界圧力が存在しており、ある圧力を越えると土の組織を破壊してしまい、圧力をさけても元の透水量にはもどらない状態となっている。この限界圧力は、深度によっても異なり明確には出来ないが、3kg/cm²の圧力に対しては破壊は起らず、5kg/cm²の圧力に加圧する時に破壊が起ることが多い。

標高1,720m付近で深さ約20~25m間はこの火山灰で占めており、その境界はほぼ水平に近く、且つ、山側につづいている。

ダムのコア部は出来るだけ長く山側に入れて浸透路長を長くすることと同時にこの火山灰層に対し、低圧によるゾーングラウトの施工が必要となるだろうと思われる。

詳細設計の実施段階において、具体的なグラウト工法の立案と現地でのグラウト試験が必要である。

6.6.3 ダイク地点における調査工事結果

№1, №2ダイク地点に対し、DDH-101, DDH-102, DDH-201の3本のボーリングを行った。いずれも深度25mであり、火山灰層を確認して終わっている。地表より1.5~2.0m間は非常に土壌化し軟質となっている。ダイクは出来るだけ低くするのが望しく、基礎の掘削を大きくすればそれだけダムは高くなる。掘削は3m程度にし、その基礎のせん断強度に応じ、ダム上下流におさえ盛土を施工し、ダムの安定を計るべきであろう。

詳細設計の段階においては、5~8mのテストピットを施工し、不かく乱試料による三軸および一面せん断等の強度試験が必要となる。

なお、地表から約1.7m間には、うすい旧表土が火山灰中に埋没している。これはダイ

クサイトだけにかぎらず、Popayan周辺で広く見られる現象で、おそらく火山の噴火後、地表を植物が被い安定した後、ふたたび噴火があり、火山灰が被い、さらに植物が被った繰返しであり、おそらく2,000年～3,000年の周期で3～4回の激しく火山灰を降らす噴火があったものと思われる。

これらの部分は、特に軟質であるので最低2mは他の土質材料で置き換えることが必要である。

6.6.4 取水口付近の調査工事結果

取水口地点においては、ボーリングDH-8(長さ50m)を実施した。これは、谷間において掘削したが、7.5mまでは2mの腐食土と5.5mの火山灰層であるが、それ以下は新鮮な安山岩熔岩となっており、取水口の基礎および圧力トンネルの通過部分は問題がないことが判明した。

6.6.5 調圧水槽調査工事結果

ボーリングDH-9によると、深さ32.7m(標高1,685m)まで火山灰層であり、深さ42.7mまで風化安山岩層、以下新鮮な安山岩層となっている。調圧水槽のライザー部は、標高約1,670mであり、十分な堅岩の中にある。しかしながら上部の33mは火山灰層の部分となるので施工にあたっては上部からの捨巻を行うことが必要となると思われる。

なお、DH-9はかなりRio Caucaの急崖に近い所に位置しているにもかかわらず、地表から70mを掘削する間、地下水位は孔口より22～27mに安定していた。このことは、この山が水で満たされており、排出される所がないのかまたは透水係数が小さく、動水勾配が大きいためかのどちらからであるが、このボーリング孔に近いRio Cauca右岸の急崖の地質状況から見るとかなりよく柱状節理が発達しており、かなりのクリープ現象もあるにもかかわらず、地下水位が上述の如く高い所で安定していることは奇異に感じられる。前者の場合には掘削時にかなりの湧水が予想され、その可能性も強いと思われる。

6.6.6 Rio Cauca 取水ダム地点調査工事結果

Rio Caucaは、山岳部よりPopayan周辺の平野へ流出し、4段の河岸段丘を伴ない、さらに深くDeepeningし峡谷をなして、発電所計画地点付近を流下している。

Rio Cauca取水ダム地点は、Rio Caucaが平野へ流出し、その流域を広げ始める所に位置しており、兩岸に第一段丘を伴い、さらに河床付近では第四段丘の一部も存在する。

今回の調査においては、ダム軸に5本のボーリングを行った。兩岸の第一段丘上にCDH-1およびCDH-2を配した。左岸のCDH-1は、地表から3.4mの氾濫堆積物であ

る細粒層であり、その下に12.4 mまで砂礫層を確認し、以下火山灰層となり、18 m以下では風化した安山岩に属すると考えられる淡紫灰色の残留土に達している。右岸は、砂礫層が深く、CDH-2は30 mまでボーリングしたが、まだ砂礫層が続いている。

CDH-3、CDH-4およびCDH-5は、現在の河床をはさみ左右岸に実施したが、CDH-5で9.0 m、CDH-4で19.5 mで砂礫層を掘り抜いて、基盤である火山灰層および風化安山岩層に達している。但し、CDH-5は9 mで火砕流と思われる多孔質な火山礫層に達した後、15 mでふたたび礫層となっている。この性状については、不明な点が多い。すなわち、上部の火山礫層が現在河床の堆積物ではないとすると、この下部の礫層は、古い時代の旧河床礫層と考えられる。

Rio Cauca 沿いには、このようなどことも連続しない山砂利的な礫層が認められている。いずれにせよ、ダムは高さの低いフローティング型式となり、これらのすべての透水層を完全に処理する必要はないが、次の詳細設計の段階ではこのCDH-5の左右に、更にボーリングを追加することが望まれる。CDH-3、CDH-4等のボーリング結果を見ても、砂礫層は、よくかみあっており、かなり締まっているものと考えられる。すなわち、ダイヤモンドビットで掘削している間、礫は移動することなく採取されており、相互の礫がかみ合い、間に砂層等を含むものと思われる。低いダムの基礎としては特に問題ないと考えられる。

6.6.7 土取場調査工事結果

土取場計画地点はRio Sate 左岸のダム地点下流600 mに位置し、地表に近い火山灰層がさくはくされており、その下部の安山岩の風化残留土および風化安山岩の部分を同時に採取出来る位置を選定した。

調査工事は、長さ40 mのボーリング1本と、深さ5 mのテストピットを4ヶ所掘削した。テストピット3本は、火山灰層中に掘削し、1本は安山岩の風化残留土部を掘削した。いずれのピットからも土質試料を採取し、土質試験を行ったその結果は次の6、7項に詳述する通りである。

ボーリングの結果では、火山灰層の厚さは26.5 mまであり、以下34.0 mまで風化残留土、以下風化安山岩となっている。

このボーリングにおいて見る限り、風化残留土は非常に細粒であり、火山灰層と混合して使いコア材料としては適当でないように思える。従って、混合する材料は他に求めた方がよいと思われる。

6.6.8 原石山調査工事結果

原石山地点はRio Cauca 右岸発電所予定地点下流約500 mに位置する。この地点においては、長さ100 mのボーリングを地表から0～75 m間は、NXの口径で、以下はBXで

掘削した。

火山灰層は 26.8 m と比較的浅いが、その下の安山岩が強く風化を受けている。コア採取率が極端に悪くなっている。深度 54 m より棒状のコアが採取され堅岩となつている。以下良好な岩盤が続くが、ボーリング口径を 75 mm より B X に変えた所より、岩質が同一にもかかわらず極端にコア採取率が悪くなっている。これは、給圧の過大さ、孔壁から岩片の脱落等種々の原因があると思われるが、コア採取率が悪く構成している岩質すら不明である。

この原石山地点は、火山灰層は 26 m と比較的浅いが約 54 m まで風化しており、原石山としては、良好とは言えない。今回の調査結果より発電所対岸の比較地点についても、ボーリングを行い、かつ、採取工法等について検討することも有意義であると思われる。

6.7 土質材料試験結果

土質試験は、6.6.1 項で述べている 4 つのテストピットから採取した材料についておこなわれた。各種試験結果は APPENDIX - VIII に示す。これらの試験結果から次のことが考察される。

材料の自然含水比は 40 ~ 60 % であり、塑性限界と同じかそれより若干小さな値となり、飽和度は 80 % 以上である。但し、BTP-103 の材料は自然含水比が 100 ~ 200 % と異常に大きく、液性限界、塑性限界も極端に大きい。土粒子比重は 2.7 ~ 2.9 であるが、自然間ゲキ比が約 1.9 と大きく、従って単位体積重量も 1.1 ~ 1.6 g/cm³ と小さな値をとる。

粒度試験は、フルイ分法と沈殿法によって行なった、これによると、ほとんどの試料について粒径 74 μ 以下の粒子の重量百分率が実に 90 % 以上あり、また 2 μ 以下の粒子は 50 % 程度である。BTP-103 の材料は粒径 20 μ 付近にギャップ・グレーディングがあり、2 μ 以下の粒子は 30 % 程度と、粘土分含有率が小さい。粒度分布から見る限り、この材料は十分な不透水性を持つものと思われる。

締固め試験は代表試料について、乾燥法、非乾燥法の 2 つの方法によって行なった。(乾燥法とは準備段階で試料を乾燥させる方法を、非乾燥法とは乾燥させず、自然含水状態からおこなう方法をいう。)このように細粒な火山灰土の締固め試験においては、一般に、試料準備にあたって乾燥処理を進めるほど、つまり W_0 を低めるほど同じ締固め仕事量においても、最大乾燥密度 γ_{dmax} は高くなり、最適含水比 W_{opt} は低くなる。この材料の試験結果によるならば、乾燥処理をした方が若干 γ_d が高く、 W_{opt} が低くなる程度で、それ程大きな差異を示していないのは不可解である。このことは、土中の水分のうち抱束水の占める割合が小さく、この材料が砂質土的な性質を持っているものとも考えられるが、さらに実験を行い、検討を加える必要がある。

コンシステンシー試験によれば、液性限界は 60 ~ 80 %、塑性限界は 45 ~ 60 %、塑性指数は 15 ~ 20 % 程度であり、統一土質分類法によれば MH に属する。前回の試験結果に比べ液性

限界、塑性指数共大きく、粒度分布から考えて妥当な値を示している。但し、前述したように BTP-103 の材料については、液性限界、塑性指数共異常に大きな値を示す。

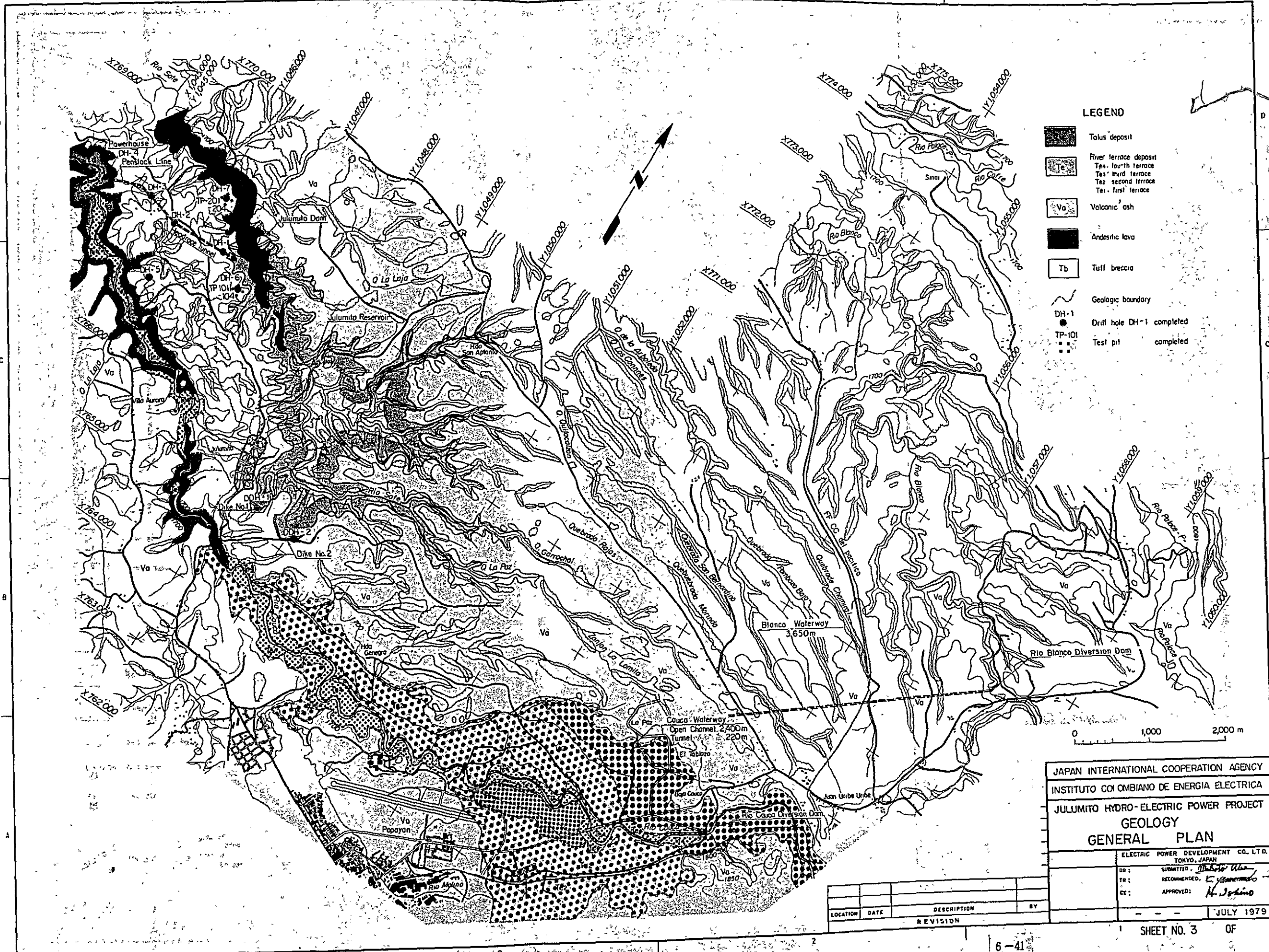
三軸試験は CU 試験、CD 試験、UU 試験を行なった。CU 試験による ϕ は約 35° で CD 試験による ϕ CD ($31^\circ \sim 34^\circ$) より若干大きく、 C' は約 0.3 kg/cm^2 で CD 試験による CCD (約 0.6 kg/cm^2) より若干小さい。UU 試験による ϕ U は 11° 、 C_u は 0.8 kg/cm^2 である。この結果を見る限りでは、#200 フレイ以下の粒子が 90 % 以上もある粘性土でありながら、大きな ϕ と小さな C を示している。これは、粘性土としては不活性を示しているためと思われる。この試料の活性度を調べると、

$$\text{粘土の活性度} = \frac{\text{塑性指数}(\%)}{2\mu\text{以下の土粒子}(\%)} \div \frac{20}{50} = 0.4$$

となり、活性度は小さい。

この材料をコア材料として使用する場合、次の 2 つの方法があると思われる。

- (1) 本材料を単独でコア材料として使用する場合、この材料は自然含水比が高く、かつ、間ゲキ比が大きいため、盛立中の高い間隙水圧の発生及び圧密による沈下の発生が考えられる。このため、コアの厚さを薄くし、施工速度を制限することにより、間ゲキ圧の消散を促進し、圧密による完成後の沈下をおさえる必要がある。また、この材料の粘性が比較的小さく、かつ、コアの厚さが薄いので、パイピングに対しては特に慎重に対処する必要がある。この場合、このコア材の粒度が非常に小さいため、一層のフィルターでは不十分と思われる。二層以上のフィルターを厳重な品質管理の下に設ける必要があると思われる。
- (2) 本材料と他の粗粒材料を混合して使用する場合、本材料と他の粗粒材料を混合することにより、材質の改善を行う。混合する割合を調整することにより、適当な粒度、密度、不透水性、強度をもち、間隙圧の発生が少なく施工性の良い材料をつくり出す。このためには、適当な粗粒材料を見出し、混合した材料について新たに試験を行う必要がある。



LEGEND

- Talus deposit
- River terrace deposit
Te4 - fourth terrace
Te3 - third terrace
Te2 - second terrace
Te1 - first terrace
- Volcanic ash
- Andesitic lava
- Tuff breccia
- Geologic boundary
- DH-1
● Drill hole DH-1 completed
- TP-101
■ Test pit completed

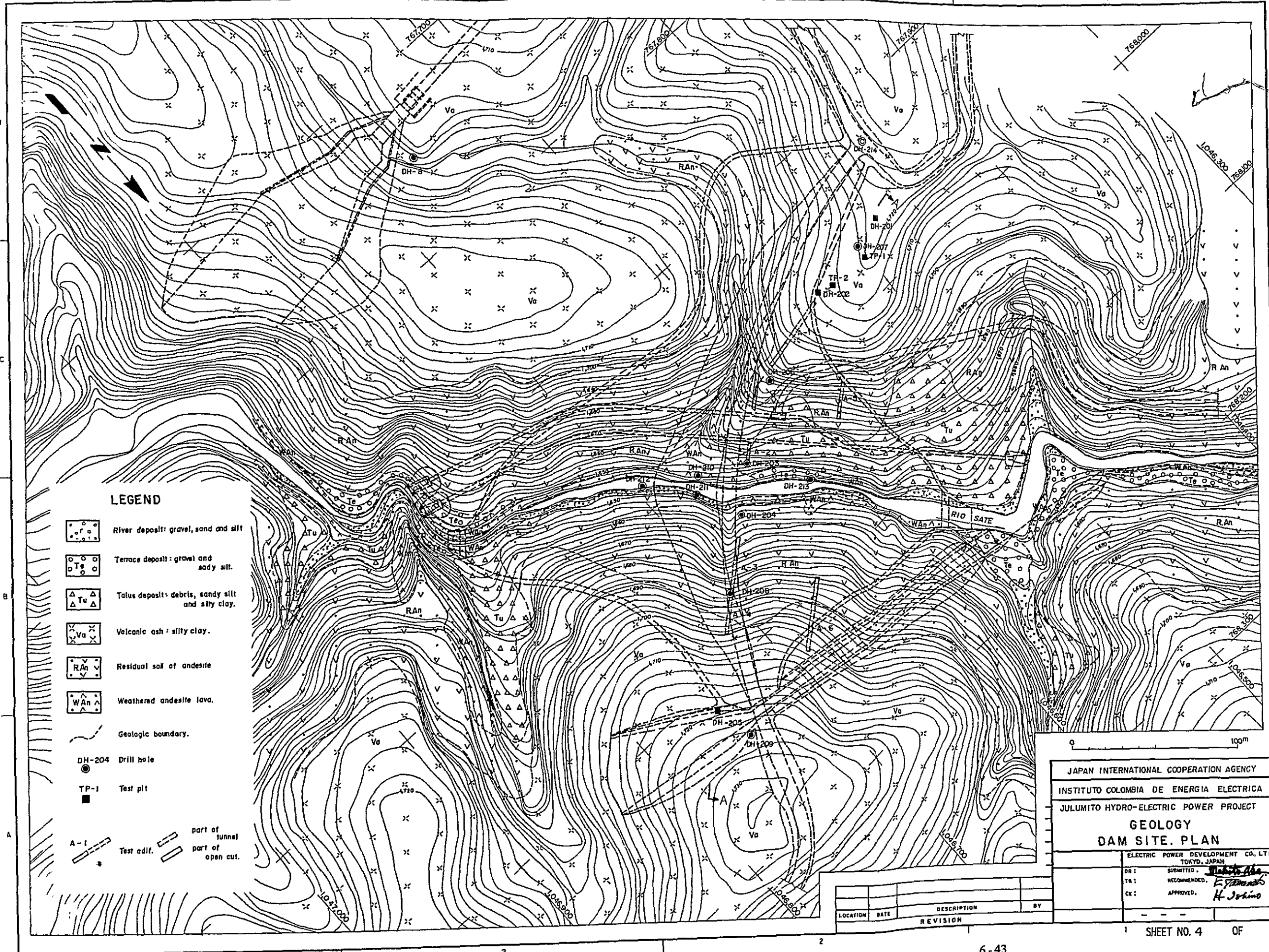
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 JULUMITO HYDRO-ELECTRIC POWER PROJECT
GEOLOGY
GENERAL PLAN

ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO. LTD.
 TOKYO, JAPAN











DR: SUBMITTED: *Shiro Ueda*
 TR: RECOMMENDED: *E. Guerrero*
 CR: APPROVED: *H. Sotomoto*

JULY 1979

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
		REVISION	



LEGEND

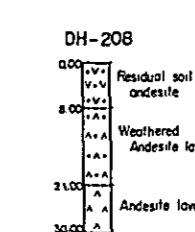
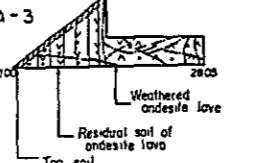
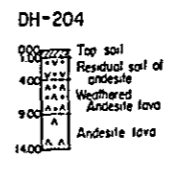
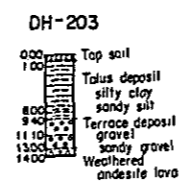
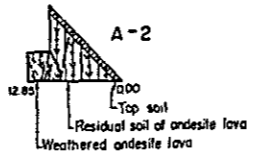
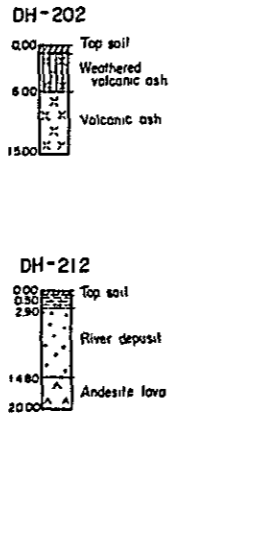
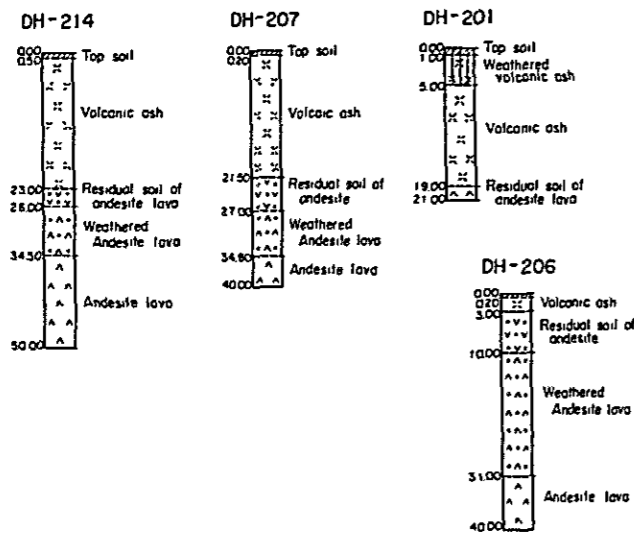
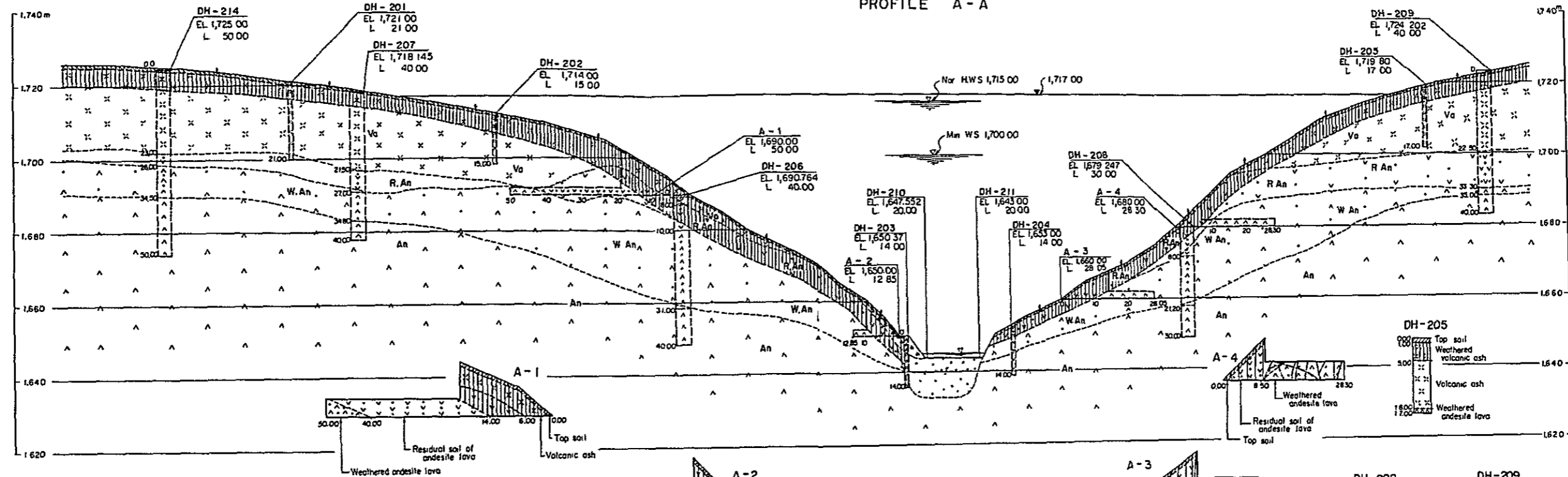
-  River deposit: gravel, sand and silt.
-  Terrace deposit: gravel and sandy silt.
-  Talus deposit: debris, sandy silt and silty clay.
-  Volcanic ash: silty clay.
-  Residual soil of andesite.
-  Weathered andesite lava.
-  Geologic boundary.
-  DH-204 Drill hole
-  TP-1 Test pit
-  A-1 Test adif. part of tunnel part of open cut.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 INSTITUTO COLOMBIA DE ENERGIA ELECTRICA
 JULUMITO HYDRO-ELECTRIC POWER PROJECT
GEOLOGY
DAM SITE. PLAN

ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO. LTD.
 TOKYO, JAPAN
 DR: SUBMITTED, *Roberto Aba*
 TR: RECOMMENDED, *F. S. ...*
 CR: APPROVED, *H. Soriano*

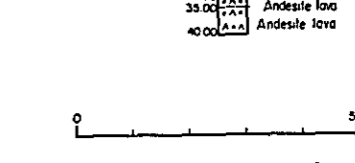
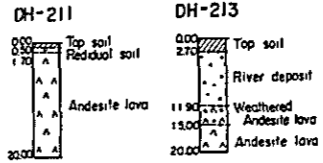
LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
		REVISION	

PROFILE A-A



LEGEND

- Top soil
- River deposit gravel, sand and sandy silt
- Talus deposit debris, sandy silt and silty clay
- Volcanic ash clayey silty and silty clay
- Residual soil of andesite lava
- Weathered andesite lava
- Andesite lava
- Geologic boundary
- Remarkable weathered part
- Drill hole (DH 201, 202, 205 were excavated as test pit)
- Test pit
- Tunnel
- open cut

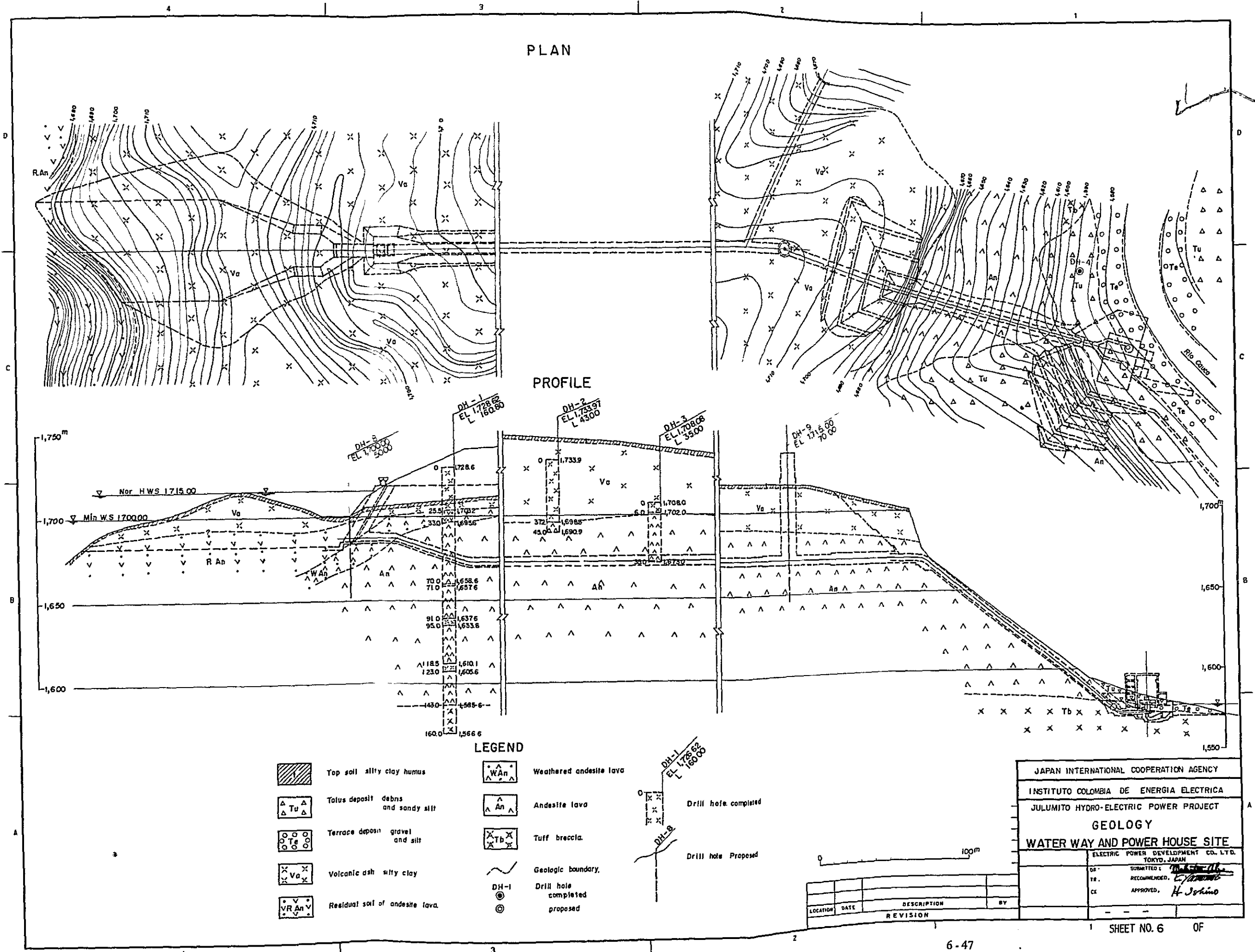


JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 JULLUMITO HYDRO ELECTRIC POWER PROJECT
 GEOLOGY
 DAM SITE PROFILE

ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD.
 (J.P.O. COMPANY) TOKYO, JAPAN

S.R. SUBMITTED: *[Signature]*
 S.R. RECOMMENDED: *[Signature]*
 S.R. APPROVED: *[Signature]*

REVISION	DATE	DESCRIPTION	BY



PLAN

PROFILE

LEGEND

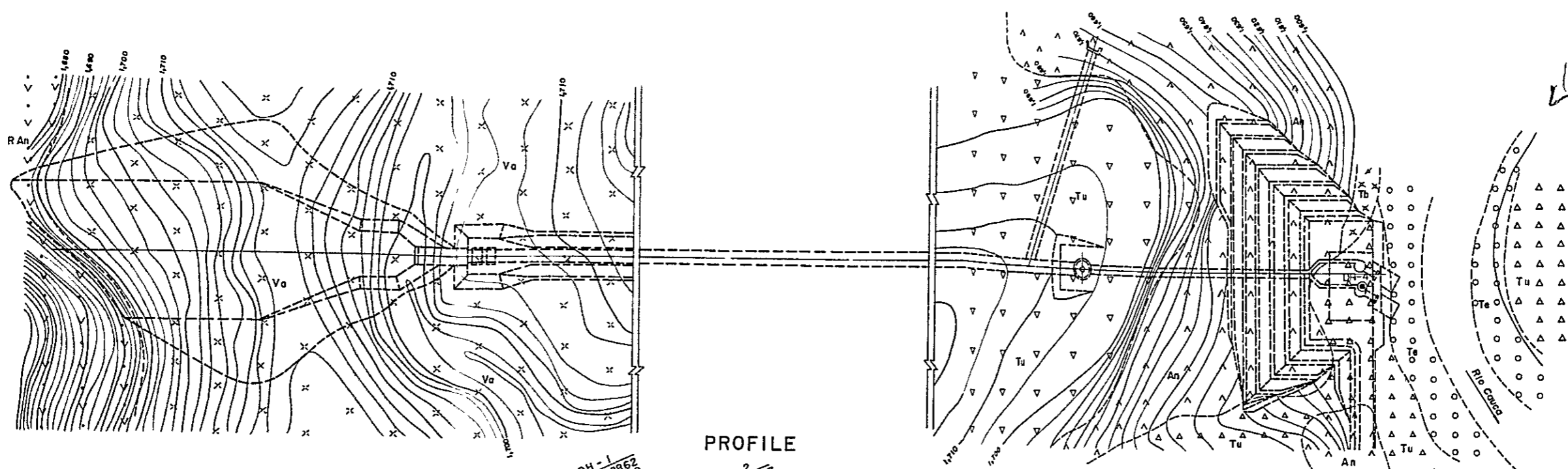
- Top soil silty clay humus
- Talus deposit debris and sandy silt
- Terrace deposit gravel and silt
- Volcanic ash silty clay
- Residual soil of andesite lava
- Weathered andesite lava
- Andesite lava
- Tuff breccia
- Geologic boundary
- Drill hole completed
- Drill hole proposed

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 INSTITUTO COLOMBIA DE ENERGIA ELECTRICA
 JULUMITO HYDRO-ELECTRIC POWER PROJECT
GEOLOGY
WATER WAY AND POWER HOUSE SITE
 ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO. LTD. TOKYO, JAPAN

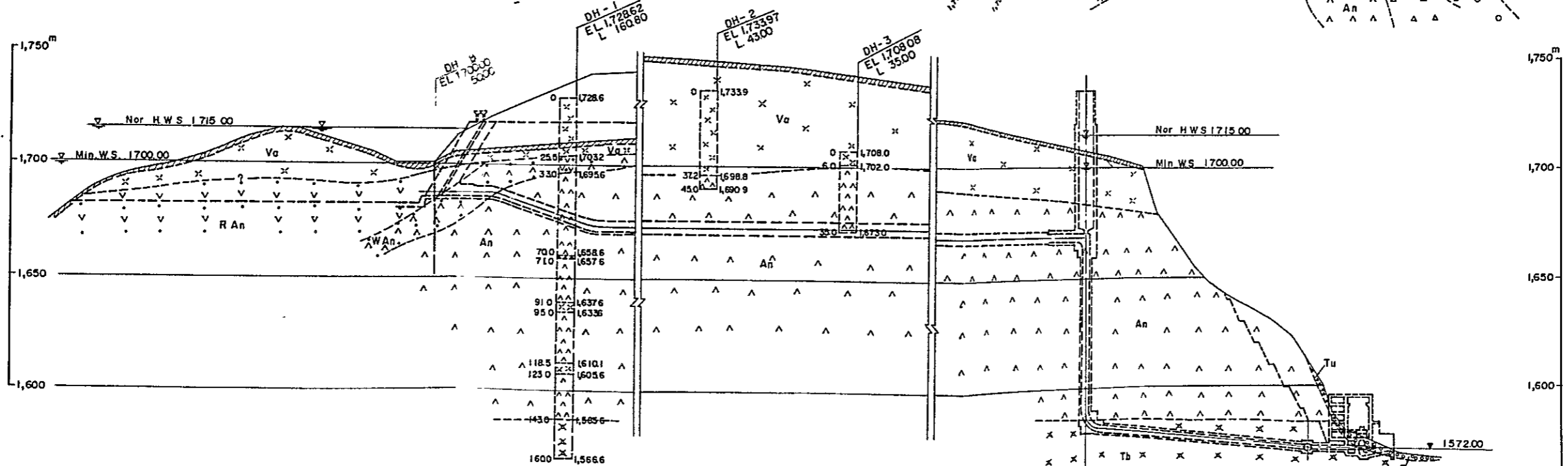
DR.	SUBMITTED	<i>[Signature]</i>
TR.	RECOMMENDED	<i>[Signature]</i>
CE	APPROVED	<i>H. Ichino</i>

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
REVISION			

PLAN

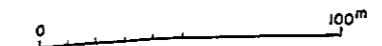
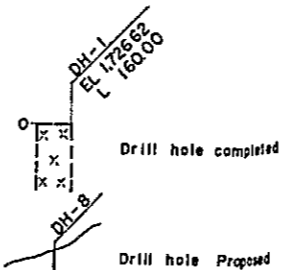


PROFILE



LEGEND

- Top soil: silty clay humus
- Talus deposit: debris and sandy silt
- Terrace deposit: gravel and silt
- Volcanic ash: silty clay
- Residual soil of andesite lava
- Weathered andesite lava
- Andesite lava
- Tuff breccia
- Geologic boundary
- Drill hole completed
- Drill hole proposed

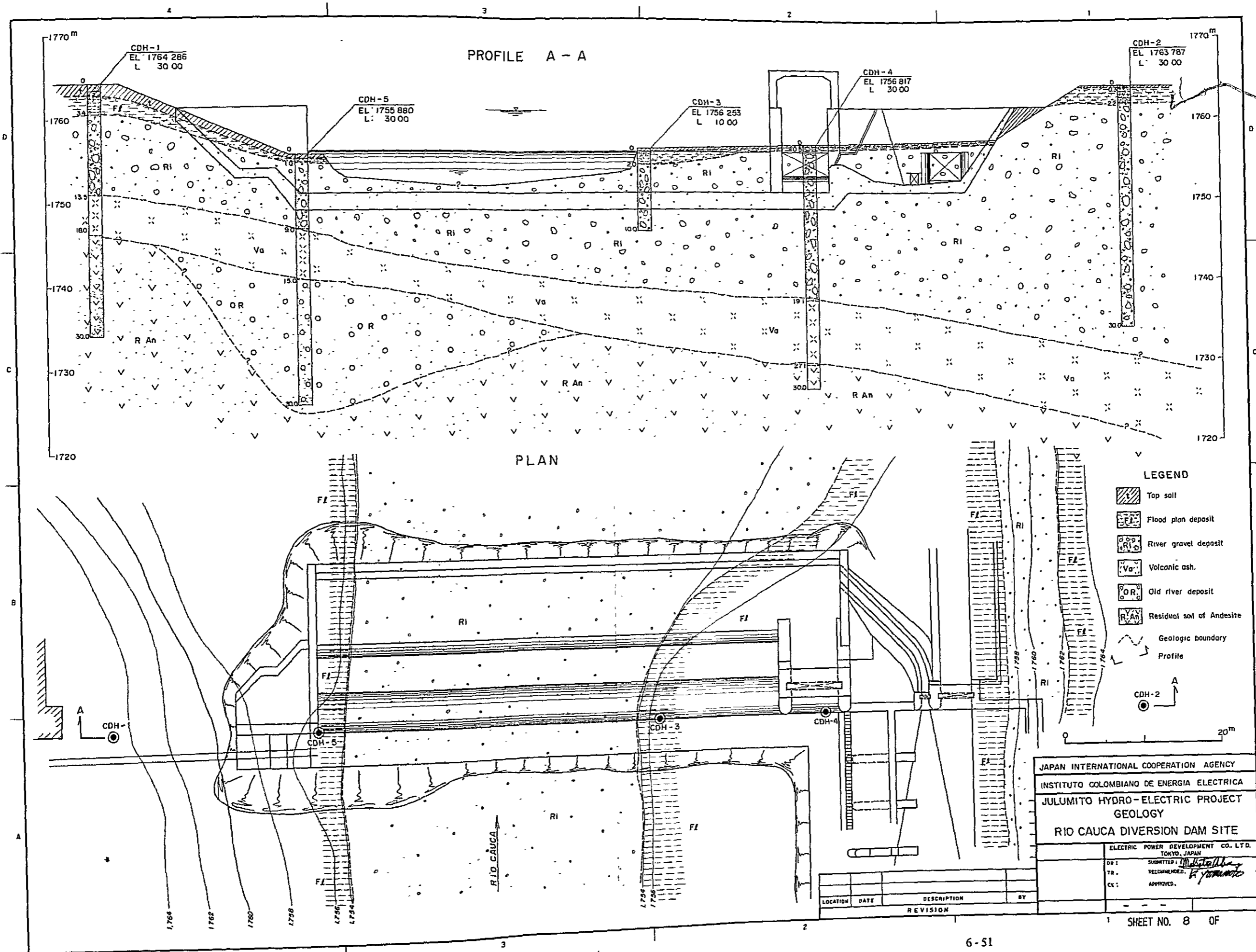


LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
REVISION			

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 INSTITUTO COLOMBIA DE ENERGIA ELECTRICA
 JULUMITO HYDRO-ELECTRIC POWER PROJECT
GEOLOGY
WATER WAY AND POWER HOUSE SITE
(ALTERNATIVE)

ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO. LTD
 TOKYO, JAPAN

DR. SUBMITTED BY: *M. S. ...*
 TR. RECOMMENDED BY: *K. Yamamoto*
 CK. APPROVED BY: *H. Sakino*



PROFILE A - A

PLAN

LEGEND

- Top soil
- Flood plain deposit
- River gravel deposit
- Volcanic ash
- Old river deposit
- Residual soil of Andesite
- Geologic boundary
- Profile

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 JULUMITO HYDRO-ELECTRIC PROJECT
 GEOLOGY
 RIO CAUCA DIVERSION DAM SITE

ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO. LTD.
 TOKYO, JAPAN
 DR: SUBMITTED: *M. Kito*
 TR: RECOMMENDED: *K. Yamamoto*
 CK: APPROVED: *K. Yamamoto*

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
		REVISION	

