第6章　地質および材料

6.1　概要および結論 …… 6−1

6.1.1　調査の目的および内容 …… 6−1

6.1.2　既往調査 …… 6−1

6.1.3　結　論 …… 6−2

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 …… 6−4

6.2.3　地質構造 …… 6−8

6.2.4　地　震 …… 6−8

6.3　主要計画 …… 6−10

6.3.1　流域および貯水池 …… 6−10

6.3.2　Julumito ダムおよびダイク …… 6−11

6.3.3　導水路トンネル …… 6−16

6.3.4　調圧水槽，水圧管路および発電所 …… 6−16

6.4　集水計画 …… 6−17

6.4.1　Rio Cauca 計画 …… 6−17

6.4.2　Rio Palace' 計画 …… 6−18

6.5　材　料 …… 6−20

6.5.1　土質材料 …… 6−20

6.5.2　ロックおよびフィルタ材料 …… 6−22

6.5.3　コンクリート骨材 …… 6−23

参考資料

FIGURE LIST

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

TABLE LIST

Table 6-1 Summary of Geological Investigation Works carried out by CEDELCA

Table 6-2 Generalized Geologic Chronology in the Julumito Project Area

Table 6-3 Outline of Stratigraphic Sequence and Rock Type of Foundation Rock in Civil Structure on Julumito Project

Table 6-4 Classification of Seismic Intensity in Colombia

Table 6-5 Earthquake around the Julumito Project Area

Table 6-6 Pedological Profile of Weathering Process in Volcanic Ash

DRAWING LIST

DWG. NO. 3 GEOLOGY; GENERAL MAP

DWG. NO. 4 GEOLOGY; DAM SITE PLAN

DWG. NO. 5 GEOLOGY; DAM SITE SECTION

DWG. NO. 6 GEOLOGY; DIKE NO. 1 SITE

DWG. NO. 7 GEOLOGY; WATERWAY AND POWER HOUSE SITE

DWG. NO. 8 GEOLOGY; RIO CAUCA DIVERSION DAM DITE

第6章 地質および材料

6.1 概要および結論

6.1.1 地質調査の目的および内容

この調査の目的は，Julumito計画を促進するに当って，地質学的な観点から，土木構造物の安全性および技術的・経済的なフィジビリティを念頭におき，最も適切な地点の選定とその地点の地質学的解析を行なうことであった。従って，調査は選定された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，導水路，調圧水槽，鉄管路など－ならびに二つの集水計画－Rio CaucaおよびRio Palacé－の地質学的可能性の吟味をすると共に，計画する土木構造物の築造材料についての調査・試験を行なった。

この報告書では，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し，地質調査や築造材料の試験に関する勧告はAppendix Iに，地質調査工事，基礎の透水試験および築造材料の試験の資料はAppendix IVに収めた。

地質調査の範囲は計画区域全域に及んでおり，この調査結果は計画の検討や土木構造物の配置の決定に充分反映させてある。

6.1.2 既往調査

この計画に関する調査は1969年Centrales Electricas del Cauca S.A.(CEDELCA)によって開始された。翌1970年コロンビャ政府の要請により日本政府は，地質技師1名を含む調査団を海外技術協力事業団より派遣した。調査団はInstituto Colombiana de Energia Electrica (ICEL)およびCEDELCAの技術陣の協力を得て予備調査報告書Iを作成した。

調査団は下記の多くの案を立案し，それぞれの案について概略的な調査を行ない比較検討した。

(1) Plan A；№2ダムおよび№4発電所(地下式，ダム左岸)

(2) Plan B；№2ダムおよび№2発電所(№3発電所の上流直距約1.2 km)

(3) Plan C；№2ダムおよび№3発電所(現案)

(4) №1ダム(№2ダムの上流直距約1.2km)および№3ダム(№2ダムの下流直距約0.5km)

この多くの案のうち，ダム地点に関して比較すると，№1地点は厚い火山灰層に被われており，堅硬な安山岩溶岩の露頭は極めて狭いので，ここに設けるダムの基礎は№2地点に比べてかなり深くなる。№3ダム地点の地質は№2地点と類似している。しかし，№3地点の右岸の尾根は非常にやせており，この尾根の中腹以上は火山灰層が占めているので，この地点は地形・地質的に難点がある。従って，№2ダム地点は他の地点に比べて優れている。

一方，発電所に関しては，二つの地上式(Plan BおよびC)と地下式(Plan A)とが立案されたが，このうちPlan AとPlan Cは検討すべき価値があるとの評価が下された。

そのため，CEDELCAは主として№2ダム地点を含むPlan AとPlan Cについて日本政府派遣調査団の勧告を参酌し，ボーリング，テストピット，調査横坑を含む調査工事，現地透水試験および室内土質試験を実施した。これらの調査や試験の結果は今回の調査でとりまとめAppendix Ⅳに集録した。

主な地質調査工事の数量はTable 6－1に示した。

6.1.3　結　論

今回の調査によって得られた地質上の結論は次の通りである。

(1) ダム地点に関しては前回の予備調査において選定された№1，№2，№3地点について，今回の地表踏査ICELおよびCEDELCAが行ったボーリング，横坑，テストピット等の地質調査資料等を合せ考慮の上，地形およびダム基礎の地質および風化状況，構造地質の透水性およびその浸透路長について検討を行った結果№2地点が優れていることを再確認した。

(2) 発電所に関しては，予備調査において，地下発電所案地点（Site№.4）と地上式発電所地点(Site №1.2.3）が立案されて，以後調査が行われた。

地下発電所（Site№4）については，地下発電所の位置する標高は，軟質な凝灰岩となっていることが判明し，地下発電所の掘削が困難であることが予想された。反面，地上式発電所案については，上記3地点の内,最下流部のSite№.3が地形的にも平担面があり，基盤は50～100kg/cm²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の地耐力を持ってことが判った。また発電経済上からもこの地点が最も優れていることからも発電所地点はSite№3が望しいと判断する。

(3) 前記(1)および(2)の理由により，先の予備調査において立案された開発パターンPlan A，Plan B，Plane C，のうちPlan A，およびPlan Cについて検討したが，地質調査の結果からはPlan Cが最も優れていると判断する。

(4) Julumitoダム地点（№2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。地形およびダム基礎の風化状況より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。

(5) Julumitoダムによって造成される貯水池は漏水や堆砂は無視しうる程度と考えられる。しかし，貯水池とRio Caucaの分水嶺では2カ所のサドルダムが必要であり，これらのダイク地点は築造可能な地質条件を具えている。

(6) Julumito貯水池と発電所を結ぶ導水路トンネルは安山岩質溶岩を経路とし，水圧管路は堅硬な安山岩質溶岩よりなる急崖に設けられる。導水路トンネルは溶岩には割れ目が多い個所があるので，この部分は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

Table 6-1 Summary of Geological Investigation Works carried out by CEDELCA

Site	Core boring			Test adit			Test pit			Remarks
	Name	El.(m)*1	L (m)*2	Name	El. (m)	L (m)	Name	El (m)	L (m)	
Julumito damsite	DH-203	1650.37	14.00	A-1	1690.00	50.00	DH-201	1721.00	21.05	
	DH-204	1653.00	14.00	A-2	1650.00	12.85	DH-202	1714.00	15.10	
				A-3	1660.00	28.05	DH-205	1719.80	17.00	
				A-4	1690.00	28.30				
				A-5	1670.00	25.20				
				A-6	1680.00	50.00				
	Total : 2 holes, 28.00 m long.			6 adits, 194.40 m long.			3 pits, 53.15 m long			
Dike sites	DDH-1	1715.12	20.00							Dike No. 1 site
	DDH-2	1716.48	23.00							Dike No. 2 site
Power-house sites	DH-1	1728.60	160.00							Underground Power-house site
	DH-4	1568.66	20.00							Proposed site
Headrace tunnel	DH-2	1733.97	43.00							
	DH-3	1708.08	35.00							
Quarry site	DH-5	1745.16	60.00							
Borrow area	DH-6		55.00				TP 101 - 104,	3m deep each.		
	DH-7		31.00				TP 201 - 204,	3m deep each.		

* 1 Elevation of top of hole or potal of adit in meter.

* 2 Length in meter.

して充分な準備が必要であろう。水圧管路の固定台は充分な支持力をもつ岩盤に設けうる筈である。

(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。

集水路は一部にトンネルが設けられるが，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，通常の状態では地滑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，坑口付近は充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基礎の不等沈下や水路側方の地山の滑動を防止するためコンクリート打設は入念に行なわねばならない。

(8) 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，この土層は特殊土の類である。従って，別記の如き設計を行っ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，これに基いた詳細設計および施工を行なわなくてはならない。

ロック材料，フィルタ材料およびコンクリート骨材は主として発電所対岸の山体から採取する予定であるが，水圧管路付設や導水路トンネルの掘削ズリもこれらの材料の一部に充当し得よう。これらの材料は堅硬な安山岩，熔岩であり，岩石試験の結果適性を有していると判断される。

なお，コンクリート骨材は Popayan 市郊外で建設中の Florida 発電所で採取している河床砂礫も考慮しうるが，この河床砂礫については堆積量の調査が必要である。

(9) 今後，詳細設計を行なうためには，Appendix I に記した勧告に基づいて地質調査を進めるべきである。

6.2 計画地域の一般地質

6.2.1 地形・地質の概要

A. 地　形（Fig 6－1参照）

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，エクアドルの径ゞ中央部を経てコロンビアに及んでいる。

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。

(1) 東部山脈　(Cordillera Oriental)

(2) 中央山脈　(Cordillera Central)

(3) 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 に近い高度をもち，かつ海抜5,500 m を越える山が数案あり，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 をこえるRio Caucaが南より北へ流れ，その流域は幅60〜80km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 Magdarenaが北流し，Rio Caucaとコロンビアの北部で合流しCaribbean Sea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，Llanos 平原と呼ばれる広大な草原と森林地帯をなしている。Julumito計画地域はRio Cauca の上流部，Popayan市の北西約10kmを中心とし，Rio Caucaが中央山脈西縁部のなだらかな裾野から卓状の丘陵地へ流れ出る所に位置している。Popayan周辺は標高1,750 m前後の平坦面を持つ丘陵地で，その面は西へゆるく傾斜しており，解析はあまり進んでいない。この付近の水系はRio Sate Rio Palace' 等の支流が東より西へ向って流れる特徴ある平行流路のパターンを示している。

Rio Cauca はPopayan市周辺において広い氾濫原を形成し，ゆるく蛇行しており西岸には4段の河岸段丘を伴っている。Rio Cauca は Popayan 市の北西部を通り，その郊外まではゆるやかな河川勾配であるが，その下流は河川勾配が急になり河床幅50〜80 m 高さ100m前後の峡谷が連続する。

B. 地　　質（Fig 6 − 1 および DWG −1参照）

Colombiaの地形は，東半分のRio Amazon およびRio Orinoco の源泉をなすLlanos平原と西半分の三つの山脈よりなるAndes山系とに大別される。前者のLianos 平原はコロンビアよりブラジルへ続くGuayana楯状地の西北縁にあたり，比較的単純な地質構造を示している。後者のAndes山系はデボン紀から第三紀までの堆積岩および火成岩，変成岩よりなっている。この山系は第三紀のAndes造山運動による褶曲山脈であって，Guayana楯状地の西縁にほゞ平行し，概ねNNE−SSW方向で連なっている。計画区域はAndes山系の西部Popayan市周辺にある。

Popayan市周辺を構成する地質は大部分Popayan層およびRio Cauca層と呼ばれる火山噴出物である。同地域の基盤をなす地質は，中生層といわれている変成岩類および塩基性の火成岩類である。これらの中生層は新期の火山噴出物が厚く（およそ300m以上）被っているため，Rio Caucaやその他の河川がPopayan層を深く刻食している箇所にのみ散見できる。その例として，Rio Cauca の支流であるRio Vinagure において現在建設中であるFlorida Ⅱ発電計画の発電所地点および同計画の取水ダム地点付近が挙げられる。前者は緑色片岩よりなる変成岩であり，後者は輝緑凝灰岩および輝緑岩よりなる塩基性火成岩類である。これらの地層の地質年代は，入手し得た資料によりTable 6 − 2のように推定した。

この計画の土木構造物はすべてPopayan Formation とRio Cauca Formation に設けられることになる。土木構造物の基礎と岩石・地層との関係は概ねTable 6 − 3の通りである。

6.2.2　層位および岩種（Stratigraphy and Rock type）

Julumito 計画区域を構成する岩石の層位と種類の概要をTable 6 − 3に示した。

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

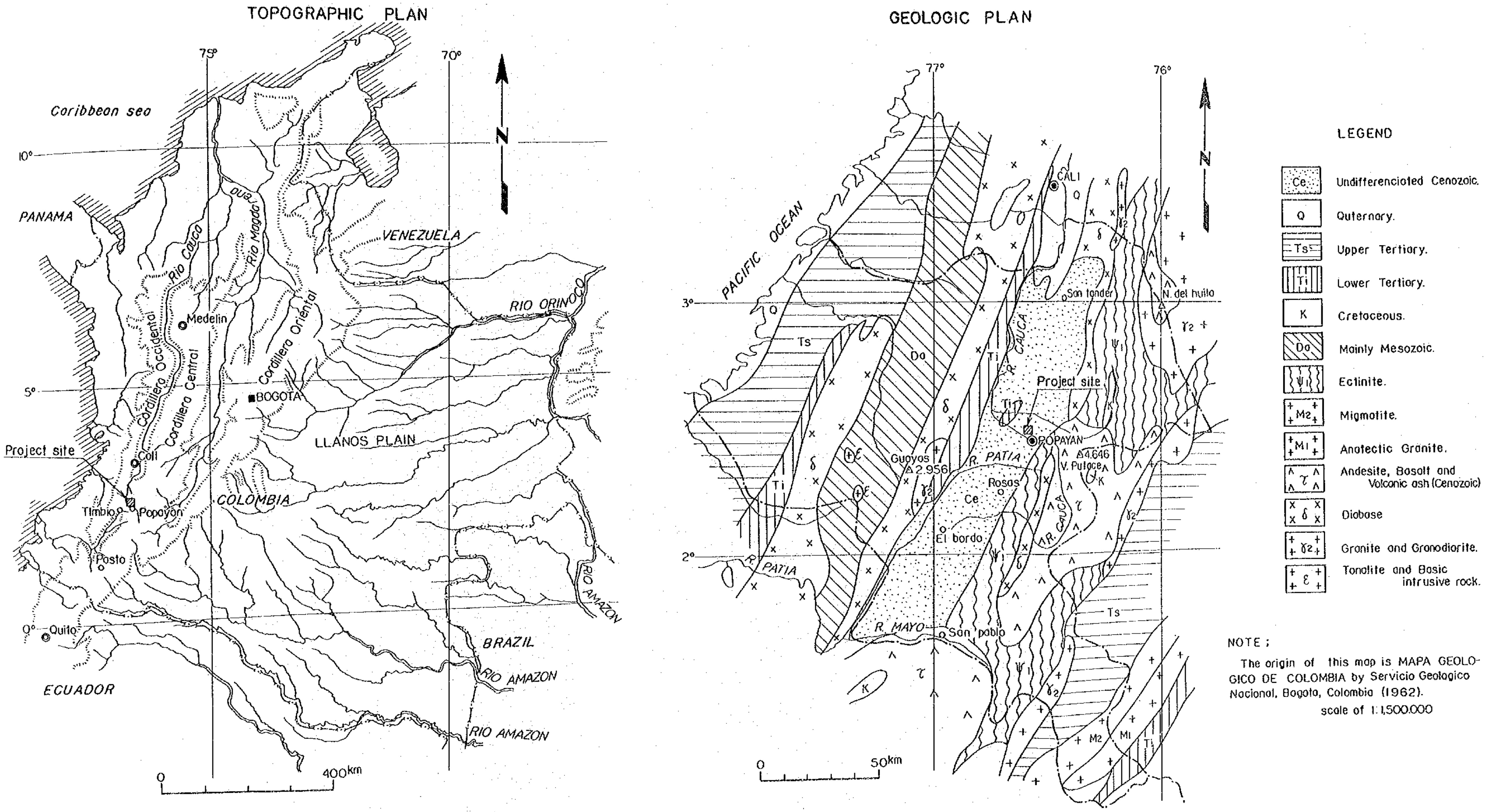


Table 6-2 Generalized Geologic Chronology in the Julumito Project Area

Period or era	Stage	Formation	Rock
Quaternary	Pleistocene	Popayan formation	Volcanic ash.
			Unconfomity*1
Neogene to Quaternary	Plio-pleistocene		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.

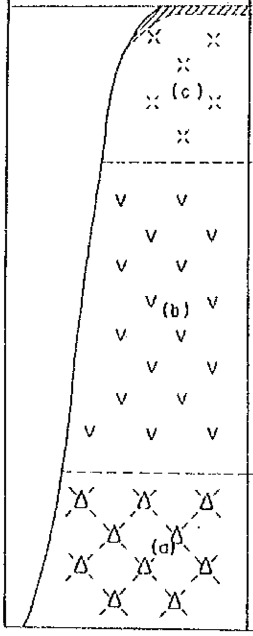
各岩種の特徴と基礎岩盤および材料としての評価は次の通りである。

(a) 凝灰角礫岩 (Tuff Breccia)

Julumito 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 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

Table 6-3 Outline of Stratigraphic Sequence and Rock Type of Foundation Rock in Civil Structure on Julumito Project

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

*1 : data originated from boring DH-1 on the left bank of the Julumito damsite.

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160m)によれば, 深度143.0m(標高1585.6m)の箇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1585m付近にあり, ほゞ水平と推定される。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3～5cm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。一軸圧縮強度は50～100kg/cm²であり，発電所構造物の基礎としては充分の強度を持っている。

(b) 安山岩，熔岩層

Popayan市周辺において広くかつ厚く分布する地層でJulumito 発電計画においてはダム・導水路トンネル・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両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（あるいは柱状節理）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120m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ゝ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3～4m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の岩石学的な記載および物理的性質については6.3.2A－2(f)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，導水路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1703.2m，1696.8m，1702.0m，1704.3mとほゞ1700mの点で確認された。しかしながら，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 SateやRio Palace′等の支流では標高1700mよりはるかに低い両岸の斜面部に火山灰層が一様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は侵食が行なわれ，現在の地形に非常に似た地形を作り上げたことを示している。

この地質現象は6.3.2および6.5.2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，およびロック材料採取地点の選定に際して重要な意味を持っている。

(c) 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 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ほゞ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ゞ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，うろこ状の黒雲母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 A地形で述べたようにコロンビヤ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しうる。

(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。

(2)　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。計画区域は安山岩，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ようである。調査の結果，計画区域には断層はほとんど認められなかった。勿論計画の可能性をおびやかすような大規模な断層，あるいは活断層は存在しないものとみなされる。

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(Lianos) 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 IV−7−1 および2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 Table6 − 4 のように分類されている。

Table − 6 − 4　Classification of seismic intensity in Columbia

Intensity	Degree	Correlation with scale of Rossi − Forel	Accelleration − Part of gravity
I	Slight	I II III IV	0〜0.03g(0〜10gal)
II	Strong	V VI VII	0,03〜0.05g (10〜80gal)
III	Destructive	VIII IX X	0.05g〜 (80gal 〜)

Julumito 計画地域は，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 150Km〜200Km以上はなれ，Andes山系においては地震の少ない地域と言える。

過去の記録による計画地域周辺の地震の発生を Table − 6 − 5 に掲げた。

Table − 6 − 5　Earthquake around the Julumito project area

Epicenter	Intensity	Frequency	Occured year
Within 50Km *1	II	2	1751 and 1878
	III	2	1735 and 1736
Within 100Km *2	I	2	1566 and 1946 (tow 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 Ⅳ－7－1に示したように，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1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計画区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。

勿論，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言える。1560年より現在に至るまで Julumito計画地域より50 Km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100Km以内の地域では Intensity Ⅲの地震は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

6.3.1 流域および貯水池

A. 地　形

Julumito 湛水地域はゆるやかに波曲した地形を展げており，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，熔岩まで侵食している。

火山灰堆積以前の原地形は，起伏が少なく現在の地形に似ているようである。この原地形に一様に降下火山灰が30～40 mの厚さで堆積した後，Rio Sate が再びほゞ同じ位置を侵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の両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区域は次の二つの地域に大別することが出来る。

(1) 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侵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狭く，水の侵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ゞ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，隣りの沢と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侵食が進むであろうが集中的な豪雨に見舞れる地域でないので，Julumito 貯水池に対する堆砂の問題は取り上げるほどのものとは考えられない。

(2) 中流およびダム地点周辺

この地域は原地形（古 Rio Sate）の谷部にあたり，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，熔岩まで達しており，谷底には比較的硬い岩盤が露出している。流路は側方侵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ため侵食は安山岩，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，貯水池の西の部分に計画満水位より低い部分が２カ所ある事である。その位置は Julumito 部落の南西で，Rio Sate と Rio Cauca との間の山体をそれぞれの支流が侵食している。この地形に対してはサドルダムの構築が必要であり詳細については 6.3.2 において述べる。上記ダイク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流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。

B. 地　　質

貯水池地域の大部分はほゞ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，溶岩が分布している。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^{-5} 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。（Appendix Ⅱ－２参照）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の漏水のおそれはないと思われる。

計画満水面（標高 1715 m）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 50cm～１mの表土に被れており，かん木および雑草が繁茂している。このような地形，地質であるので湛水による大規模な地亡りの発生は考えられない。

6.3.2 Julumitoダムおよびダイク

A. Julumitoダム地点

A－1 地　形

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～ 10 mの高さ３～５ mの溝状をなし，これに続く両岸は標高 1,700 m付近まで 35°～ 40°の比較的急な斜面をなし，背の高い濶葉樹が生い茂っている。標高 1,700 m付近より上は，斜面はゆるやか

となり，標高 1,730～1,750 m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 1,690 m付近まで深く侵食している。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より，左岸の山腹は侵食を受けており，山体は小さくなっている。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。

A－2　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う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うけ特異な風化断面を形成している。

(a) 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。

(b) 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ないし3 mの厚さを有し，未固結であるので掘削除去すべきである。

(c) 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として見ることが出来る。直径 20 ないし 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締まっている。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 5 mの厚さであり，その境界の標高は 1,637.40 m である。しかしながら，流心および右岸部の河床堆積物の厚さも上，下流方向への厚さの変化も不明である。

この堆積物はコア部の基礎としては，その透水性が大きいので掘削除去すべきである。また，この堆積物の表層部は幾分ダムの支持力に対して不安な個所があるのでダムの鉛直荷重の大きさに応じた掘削除去する配慮が必要であろう。

(d) 河岸段丘堆積物

この層は，ダム上流端付近の両岸，ダム軸左岸，ダム下流端右岸に於いて幅 10 m 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ないし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砂礫層であり，厚さも極めて薄い（1ないし2m）のでダムの基礎では掘削除去すべき層である。

(e) 火山灰層

火山灰層はこのダム地点では標高1,670m以高に分布しており，標高が高まるにつれて厚くなっている。両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1,700m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両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，圧密試験，せん断試験，支持力試験，透水試験等によってこれを確めるべきであると考える。

火山灰層についてはCEDELCA は Vniversidad del Cauca に依頼して土質試験を行った。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 計画区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.A−2(f) 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時間経過後ほゞ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。

しかし，Unit (II)および(III)は，ダムに対する支持力の点からは必ずしも満足できないように判断されるので，これらの層は掘削除去し，ダム基礎はUnit (IV)ないし(VI) とすべきであろう。Unit (IV)，(V)および(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。

(f) 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。

i 未風化な安山岩熔岩

ii 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。）

iii 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。表層はボーキサイト質粘土が形成されている。）

〔 *1 Instituto Nacional de Investigacions Geologico Mineras 〕

i 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以深のコアで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，やゝ石英粗面岩質であり，その顕微鏡的所見はAppendix Ⅳ－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，安山岩と呼んでもさしつかないものである。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。

ii 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100kg/cm²（Appendix Ⅳ－6－2および3 Specimen №16，17参照）以上である。この岩盤は80 m級のフィルダムの基礎としては十分の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。また，ダム右岸調査横坑A－4に於てもA－3と同様な鉛直な開隙亀裂が認められる。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。従って，ダム地点の岩盤についてかなりの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って岩盤の透水性を調査すべきである。

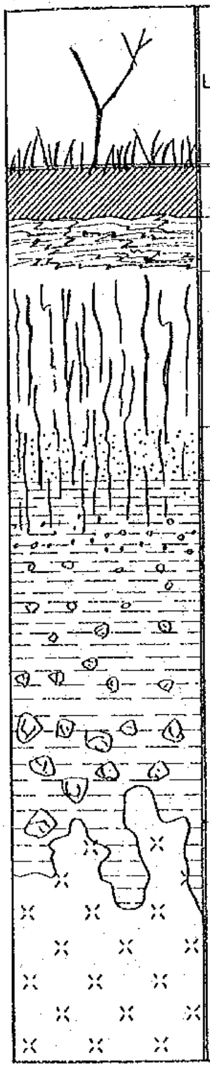
iii 安山岩起源の残留土

この層の下層部は灰白色ないし乳白色を呈し粗粒でやゝ締まっているが，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3 mないし5 m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考える。

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地載荷試験，CBR試験の他，不かく乱試料による直接せん断や，3軸せん断試験等を行ないこれらの資料を検討し施工に反映させる必要がある。特にCBR試験は手軽に行ないうるので有効だと思われる。

B. ダイク地点

Table 6-6 Pedological profile of weathering process in volcanic ash



Layer	Explanation	Soil Classification ※5	Technical Judgment: Degree of Compaction	Technical Judgment: Permeability	Remarks
(I)	Blackish brown humus 1m	O			
(II)	Brown leached layer ※1	A_1	loose ↑	more ↑	
(III)	High content of gibbsite ※2 1.5m Yellowish white to grayish white Bauxitic clay layer ※3 2m	A_2			Cf. Appendix IV−6
(IV)	accumulated zone of colloidal material high content of silica. 0.5m Yellowish white				
(V)	Altered chiefly kaolinite and halloysite ※4 ±7m	B_1 to B_2			
(VI)	Non−weathered volcanic ash.	C_1	↓ compact	↓ less	

※ 1. Leaching of sillica (SiO_2)

※ 2. Gibbsite ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) confirmed by X−ray diffraction and differential thermal curve analysis.

※ 3. Silica − Alumina ratio (SiO_2 / Al_2O_3) = 1

chemical analysis of clay of Unit (III)

Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	P_2O_5	Others	Total
43.00	31.66	10.00	0.64	1.12	0.92	0.09	11.40	98.83%

※ 4. Silica − Alumina ratio = 2

※ 5. U.S. Department of Agriculture (1951) ; Soil survey manual.

Julumito 貯水池には，6.3.1流域および貯水池で述べた理由により二つのダイクが設けられる。

B－1　ダイクNo.1地点

この地点はRio Sate の支流の源頭とRio Caucaの支沢の源頭が接している所に位置する。この地点での河床標高は1,694.5 mで，両岸はなだらかな斜面で標高 1,725 m前後の丘陵へ続いている。谷底近くの両岸には標高 1,708 mの平坦地があり，この平坦面の幅は右岸では45m 左岸では 10m である。河床部は幅10 m程の溝状をなしている。

本地点を構成している地質は大部分が火山灰層である。このダムサイトで行なったボーリングDDH－1（標高 1,715.116）によれば深度16.00 m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16 m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。恐らく，この層は標高 1,708 m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る必要がある。

ダムの基礎として，地耐力に関する問題は主ダム地点における火山灰層に対する考え方と全く同様である。（ 6.3.2の(e)参照）

今後，ダム基礎に対しては載荷試験，圧密試験，三軸試験により降伏荷重を明らかにし，段丘堆積物（ここに於ては砂層が主である。）の透水試験を合せ行ない，設計の資料とすべきである。

なお，貯水の浸透によるパイピングの問題については，いままで他の地点で行なった透水試験の傾向からパイピングはないものと思われるが，次のような試験により確認すべきである。この配慮はダイクNo.2地点についても全て同様である。

(i) 不擾乱試料によって設計圧力に見合った三軸拘束状態で透水試験を行ない，経過時間に対する透水係数の値の変化を測定する。

(ii) 現場において，ボーリング孔を利用し，貯水圧の1.5倍程度の圧力による注入法による透水試験を行ない，単位時間に注入される注入量の変化を見る。この試験は1試験区間に於て少なくとも6時間以上継続することが必要である。

これらの試験の結果により，ダム下流側にパイピング防止の処理や水抜工の必要性を検討すべきであると考える。

B－2　ダイクNo.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。ダム中央部に於けるボーリングDDH －2の資料によれば，厚さ1 mの表土の下は火山灰層となっており，深さ23 m以上に及んでいる。このダイクは盛立高さ（ 3.0　m ）も小さいためダムの基礎とし

ての問題は軽減される。

6.3.3　導水路トンネル

導水路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つように思われる。

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ゝ粗粒な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ロック材料の項参照）。これらの安山岩，熔岩の分布と性質は導水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の両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，熔岩に比較してやゝ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存在しないようで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存在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

A.　調圧水槽および鉄管路

調圧水槽は，その底部の基礎は安山岩，熔岩よりなるが，標高1,690 m以高の部分は火山灰層となっており，掘削時における捨巻あるいは逆巻等の工法の検討が必要と思われる。

水圧管路はRio Caucaの右岸部に位置し，山腹は40°ないし60°の急峻な斜面をなし，新鮮な安山岩，熔岩が広く露出している。この新鮮な岩盤の掘削ズリの大部分はダム盛立材料として使用する計画であり，鉄管路のアンカーブロックは十分な支持力を持つ堅硬な安山岩，熔岩に容易に設けうる見込みである。これらの安山岩，熔岩は四つの層のそれぞれ噴出時期の異なった四つの層状の安山岩よりなっており，それぞれの層は別個の冷却節理系を持っている。特に標高1,600 m～1,650 m間では柱状節理が顕著であり，節理面で分離しやすいので切取り作業中の斜面の崩壊や切取り後の斜面の安定に注意を払う必要がある。

B.　発電所地点

B－1　地　　形

発電所地点はRio Caucaが西へ大きく蛇行している所に位置する。発電所は幅 25 m程の河岸段丘にあり，その背後は水圧管路の位置する40°ないし60°のけわしい崖となっている。崖のすそには小規模な崖錐堆積物が存在する。

B－2　地　　質

発電所地点で削孔されたボーリングDH－4（標高1,568.66 m）によれば厚さ9.5 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ないし100kg/cm²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る。

6.4 集水計画

集水計画はRio Cauca 集水計画とRio Palace′集水計画とから構成されている。Rio Cauca集水計画はRio Cauca取水ダムと，それからJulumito貯水池にそゝぐQuebrada La Paz に至る集水路からなっている。Rio Palace′ 集水計画は，Rio Palace′取水ダムとそれからRio Bl--anco 取水ダムに至る集水路－Rio Palace′ №1集水路－とRio Blanco 取水ダムとそれからJulumito 貯水池にそゝぐQuebrada Morindaに至る集水路－Rio Palace′ №2集水路－を包括している。

6.4.1 Rio Cauca集水計画

A. Rio Cauca取水ダム地点

この地点に計画されているダムはDWG. №16および17に示したような溢流式コンクリート重力ダム（ダム高10.0m，ダム頂長69.5m）である。この地点はPopayan市街の北東約4km, Caliに至る旧街道がRio Cauca を渡る橋の500 m上流に位置する。

この地点は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出る出口に当っている。

左岸は，標高1,770 m，幅60 m の河岸段丘を経て，東方の丘陵地へ続いている。河岸段丘と丘陵地の間には孤立した小高い丘が存在する。河床部は幅約40 m程で，左岸部には狭い浅瀬があり河床礫がみられる。右岸は西部の丘陵地へ続く傾斜15°前後のなだらかな斜面をなし，その裾には幅のせまい標高1,765 mの段丘が数mの低い崖をなしてRio Caucaに臨んでいる。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。また，段丘堆積物は径5～20cm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。河床堆積物は径10～50cm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。

この地点に設けられるダムおよび付属構造物の規模は小さいが，それらの基礎はいずれも未固結な堆積物である。これらの堆積物のうち，河床堆積物はかなりの深さまでルーズであろうが，段丘堆積物や火山灰層は深部は非常によく締っていることが期待される。しかし，ダムの安全性を考えて適切な基礎処理が行なわれるべきであり，そのため充分な地質調査が必要である。地質調査は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コアボーリング，ボーリング孔を利用した透水試験が必要となろう。

B. Rio Cauca 集水路

この集水路はDWG №20 に示すように設計されている。その容量は40m³/sec，延長2,400mで，大部分開渠であるが，経路のほゞ終端に延長220mのトンネルが設けられることになる。

経路の大部分は河成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（Quebrada Lopaz）側の一部は火山灰層が分布している。段丘堆積物は径10cm～30cm 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，充分に締っている。

火山灰層はやゝ粗粒であるが，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。火山灰層は深部は充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，開渠掘削には爆破作業の必要はなく，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な地形であるので，水路の両側の地山は滑動を起さないであろう。また，開削によって著しく高い斜面が形成されることもないので，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のノリ肩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，水路と斜面のノリ肩の間に適当な広さの犬走りを設けたり，ノリ肩の部分は余り急傾斜な斜面は避けるべきである。

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ように判断されるが，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ゝなろう。従って，全区間に支保工はかなりの区間必要であり，当然のことながら全区間コンクリート巻立がなされる。トンネル施工に当っては，充分な土被りが必要であるので，坑口は掘削量が大きくなり，掘削斜面の高さも低くない。この広い掘削面に対するノリ面安定の配慮が必要である。また，水路トンネルからの漏水に関しては，開渠と同様な現象が起こりうるし，その修理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

A. Rio Palace' 取水ダム

この地点に計画されているダムはDWG. №18 に示したような小さな溢流式コンクリート重力ダム（ダム高7.7m，ダム長22.0m）である。

この地点の両岸には氾濫原に続いて低い河成段丘が存在する。段丘の幅は左岸では約40 m であるが，右岸は狭い。この氾濫原と段丘の中を，平水位では幅約10 mのRio Palace' が右岸に偏って流れている。左岸は約15°を示す一様な勾配の段丘が続き，右岸は約30°の斜面が河床近くまでせまっている。地点を構成する地質は，やや粗粒な火山灰層を基盤とし，河床部から左岸にかけてはこの火山灰層を被って河成段丘堆積物（river terrace deposit）が分布し，河道部および氾濫原には河床礫が堆積している。これらの河床および段丘堆積物の厚さは合せて10m 以上と推定される。段丘堆積物と火山灰層の深部は比較的よく締っているので，地表付近のルーズな部分を掘削除去すれば，この低いダムに相応な基礎を求めることが出来よう。しかし，いずれの地層も未固結であるので，基礎の支持力の補強，基礎を通じての漏水防止，ダム下流部分の地盤の洗掘に対する対策を行なわなくてはならない。

従って，ダム基礎掘削に対する調査のみならず，上記の対策を念頭において調査を実施すべきであり，6.4.1のA. Rio Blanco 取水ダムで述べた方法を準用すべきである。

B. Rio Palace' № 1 集水路

この集水路はDWG. № 21 に示すような開渠（容量12m³/sec）であり，Rio Palace'取水ダムとRio Blanco 取水ダムを結んでいる。その延長は4,000 mで，経路はDWG. № 2に示すようにほゞ1,800 mの等高線に沿って計画されている。

水路はその経路で数多くの小さな沢を横切っているが，いずれの沢も最上流部に近いため谷は浅く，水路橋を設ける必要はない。また，経路の山腹斜面は傾斜もゆるやかであるので，掘削量が著しく増大することもなく，掘削ノリ面の安定性に関しても好ましい条件を具えている。

水路の経路の地質は火山灰層であり，前述のRio Cauce 集水路（6.4.1.B）のそれと性質は同様と考えられる。設計，施工に関する配慮もほぼ同様に考えてもよい。

C. Rio Blanco取水ダム

計画されているダムはDWG.№ 19 に示されているような小さな溢流式コンクリート重力ダム（ダム高約5.5 m，ダム長約21 m）である。この地点はRio Blanco とその支流Quebrada C-larete との合流点のすぐ下流に位置し，両岸には非常に平坦で広い河成段丘が拡がっている。この河成段丘の表面は，現河床より4 m～5 m高い。この段丘および河床の堆積物は，径10cm～70cm の堅硬な安山岩礫を主体とし，堆積物の深部は充分に締っているようである。

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，ダム下流の洗掘に関しては，Rio Cauca およびRio Palace' 取水ダムと同様な配慮が調査や設計ないしは施工に必要である。

D. Rio Palace' № 2 集水路

この集水路はDWG. № 22 に示すように設計されており，ほとんどが開渠（容量13.8m³/sec）であるが，その中間に3坑のトンネルがある。集水路はDWG № 3 に示すようにRio Blanco 取

水ダムとQuebrada Morinda の放水口を結んでおり，その長さは3,660 mである。集水路の中間にある3坑のトンネルの長さは取水口に近いものからそれぞれ約310m，280 mおよび180 mであり，合計すると770 mである。

この水路の経路を構成する地質は火山灰層である。Rio Blanco の支流をはじめQuebrada Chamiral，Quebrada Pambazo Bajoなど多くの谷をよぎる。

経路の地質は軟質な未固結な地層であるので，トンネル掘削後コンクリートの巻立が必要である。経路の地質の特質は前記Rio Cauca およびRio Palace′ №1集水路と同じであるので，同様な土木地質学的，土木学的な配慮を払わなければならない。

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40m 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としてJulumito ダム地点の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，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われている(Appendix Ⅳ－5－1)。土質試験および地表踏査の結果，採取地№1および№2地域の間には特に著しい優劣はない。強いて言えば，材料の存在量の豊富さ(必要量；120,000 m^3)および運搬距離等の点を勘案すると採取地№2の方が優れている。

この試験はCEDELCAがPopayan市にあるCauca大学の土木工学科に依頼して行なったものであるが，この試験のうち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Appendix Ⅳ－5－5 に集録した。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) しゃ水壁材料としての不透水性に関しては，その粒度曲線(Appendix Ⅳ－5－3)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。また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は透水係数は 10^{-5} cm/secないし 10^{-7} cm/secのオーダを示しているので，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，深さ10m以上のテストピットを掘削し，深度1m毎に採取した試料について各種試験を実施するのが望ましい。

なお，各採取地でのテストピットならびにボーリング（DH−6およびDH−7）を利用して行なわれた，現地透水試験の結果はAppendix Ⅳ−2に示す通りである。これらの試験においても透水係数は10^{-4}ないし10^{-5}cm/secのオーダを示している。

(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土および施工機械のトラフィカビリティーについてである。

(2)−1 粒度試験によれば＃200(＝φ0.074mm)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。

(2)−2 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，その結果をAppendix Ⅳ−5−2にとりまとめた。これらの結果では内部摩擦角(φ)は異常に大きな値（35°ないし55°）を，粘着力(c)は小さな値を示している。これらの"φ""C"の値は粘性土である火山灰とは非常に異なった値を示しているように思われる。また，三軸試験時の軸圧($\overline{\sigma_1}$)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以下の粒度分析結果より，次の式で与えられる。

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

(2)−3 Popayan市郊外，フロリダ第二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，各含水比で締固っ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。また，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よる締固め度（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しいように思われる。

6.5.2　ロック材料およびフィルタ材料

A.　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山で削孔されたボーリングDH－5の結果はAppendix Ⅳ－1に示す通りである。その概要は地表より深度39mで火山灰層から安山岩に変るが，新鮮な岩石は深度51m以深であり，この上層の火山灰層を掘削除去することは経済的に不可能である。また，Rio Sateの右岸の比較ロック山についても地質状態は同様である。

今回の調査においても，ロック山の選定のためRio Sateの上下流を再び踏査したが，"湛水池の地質"（6.3.1）で詳述したように風化が深くまで及んでおり，ロック山に適した個所は皆無である。また，Rio SateとRio Caucaとを境する丘陵地も"導水路の地質"（6.3.3）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山には不適当である。これらの火山灰層が侵食により除去されているのはRio Cauca発電所地点とその周辺に限られている（6.3.4参照）。水圧管路が予定されている尾根は原石山として良好な地点であるが，発電所の代替地がないのでこの尾根をロック山とすることは出来ない。従って，ロック山はDWG No.7に示す発電所対岸の尾根を選定すると共に，ロック材料の一部は水圧管路の掘削ズリも充てることにした。

このロック山は厚い安山岩熔岩よりなり，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。この岩石の顕微鏡学的記載はAppendix Ⅳ－3に示す通りである。また，ボーリングDH－1，DH－2，DH－3，DH－5およびDH－204におけるコアを試料とし，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 Appendix Ⅳ－6－2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の条件を備えているものと見なされる。

選定された地点の岩石は材質的には良好であるが，地形が非常に急峻である上に原石山の裾部まで約100mの標高差の運搬道路を必要とするのが欠点である。しかしながら，ダム地点の周辺ではこの地点より条件の良い地点は探し得ないと思われる。

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線解析を行なった。回折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。この他，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。このX線解析の結果は，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。

B. フィルタ材料

この材料は80,000 m³を必要としている。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。しかしながら，ロック材料と同一の採取地から人工的に生産し得ると思われる。安山岩熔岩の各層，および各部分で亀裂の密度や，入り方が異なっておりロック採取場において，切羽を選ぶことによりフィルタの粒度を満足させる材料を得ることが出来る見込みである。

6.5.3 コンクリート骨材

Julumito 計画では約80,000m³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，主として発電所地点対岸の原石山および水圧管路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ないし5％一軸圧縮強度が500kg/cm²ないし700kg/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が可能と思われる。また，細骨材についても粗骨材の約半分の量必要であるが，安山岩より製造可能と思われる。

一方，Florida №2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。詳細設計に当っては，これらの堆積物の量的把握が必要である。

References

1/ Overseas Technical Cooperation Agency, Government of Japan, (1970), Report of preliminary studies on Julumito hydro-electric Project. – prepared for Centrales Electricas Del Cauca S.A., Republic of Clombia.

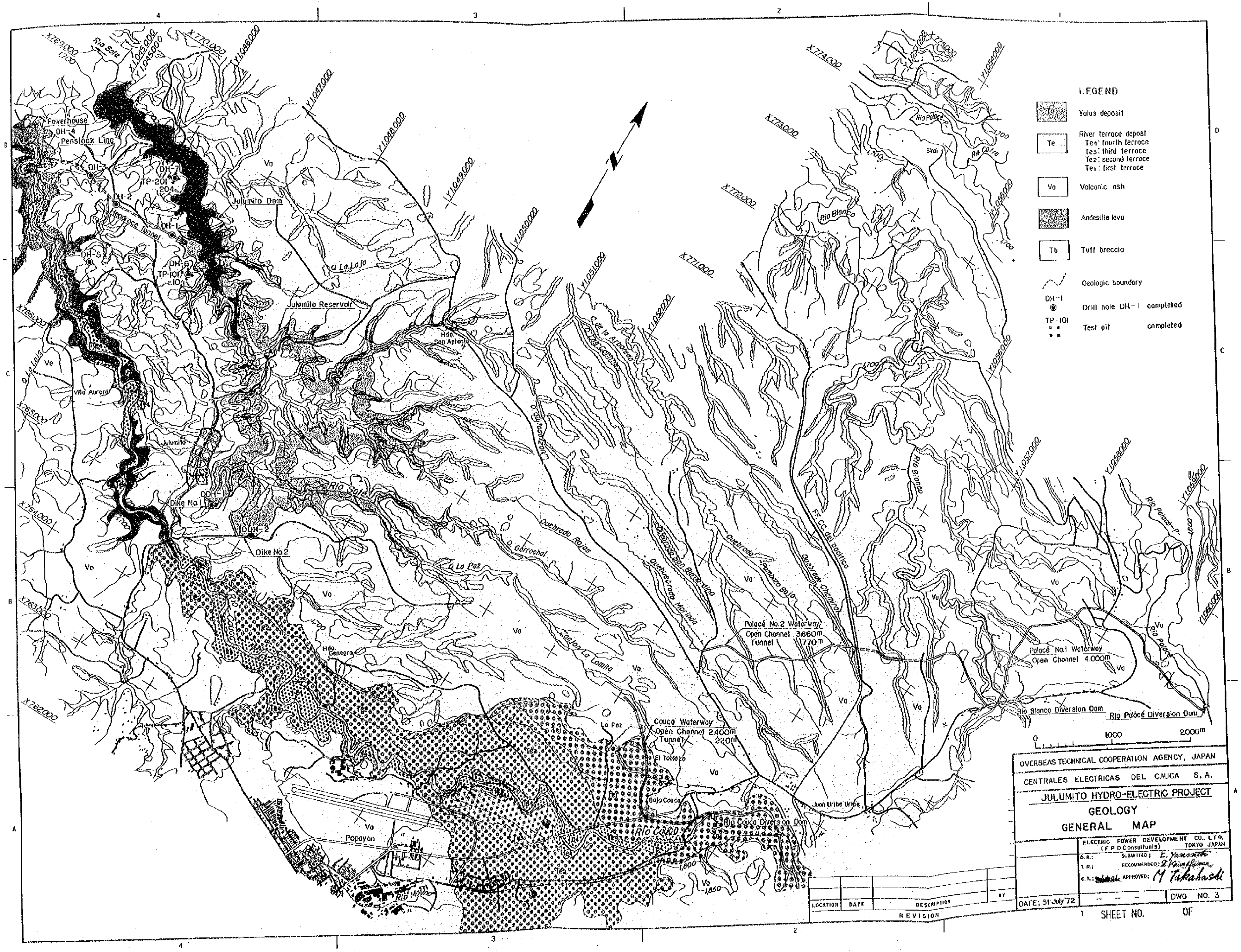
2/ *Servicio Geologico Nacional*, Bogota, Colombia (1962), Mapa Geologico de Colombia, scale of 1:1,500,000.

3/ Benjamin Alvarado B. and Enrique HUBACH (1932), Estudios Geologicos Alnededon de Popayan; Ministerio de Minas y Petroleos – Servicio Nal.

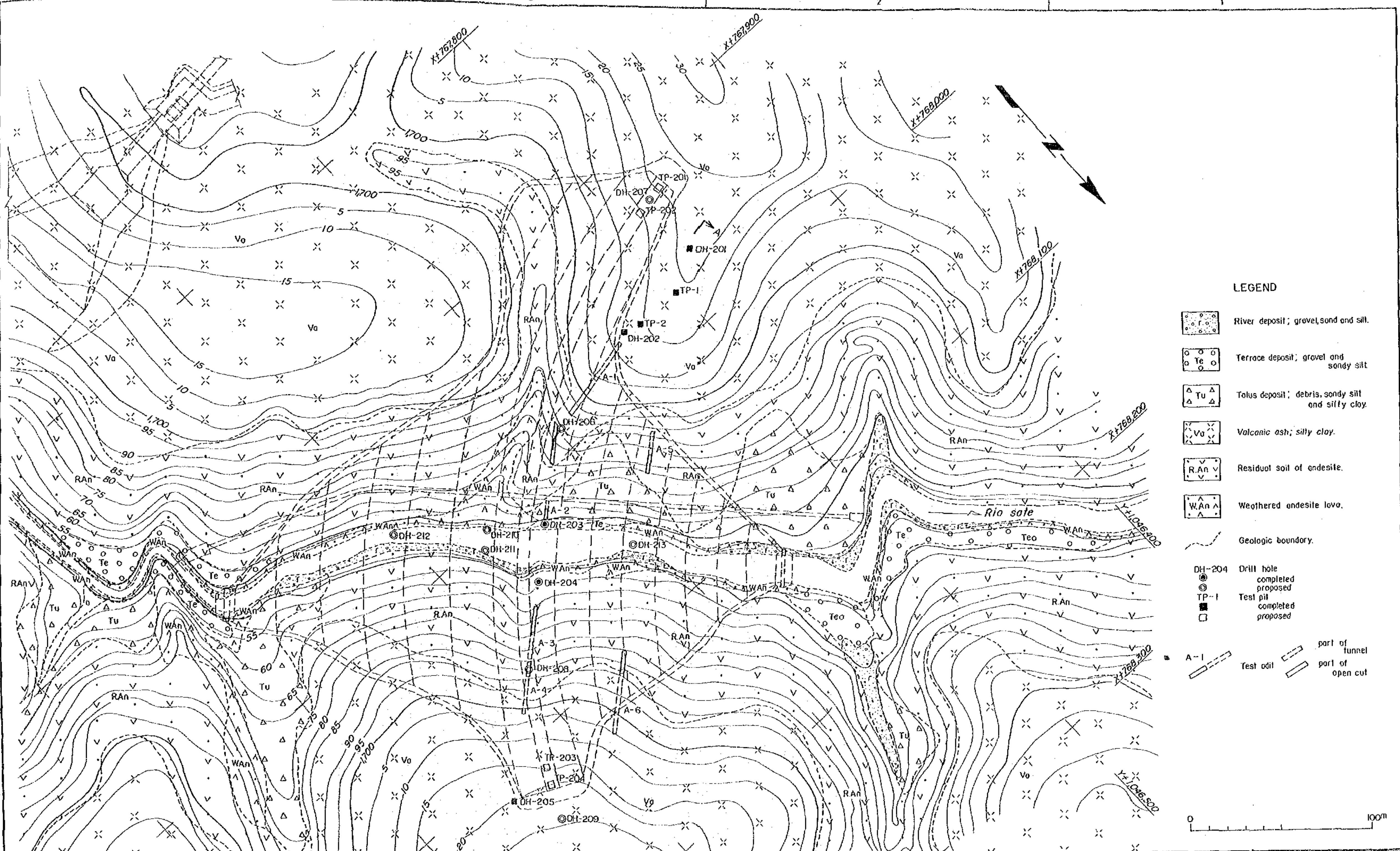
4/ E. Hubach and B. Alvarado (1932), Estudio Geologico en la Ruta Popayan – Bogota; Depto. *de Minas y Petróleos, Ministerio de Indastrias.*

5/ Humberto Rosas Carcia (1971), Observacions Sobre Suetos Bauxiticos, como Contribución al Estudio de Materiales para la Presa de Tierra del Proyecto Hidro-electrico "JULUMITO"; Instituto Nacional de Investigacion Geologico Mineras (INGEOMINAS), Ministerio de Minas y Petroleos.

6/ *Instituto Geofisico de los Andes Colombianos (1957), El Mapa Sismico y Tectonico de* Colombia; Sene "A" Sismoglogia (Segunda Epoca) Publicacion No. ...



LEGEND
Talus deposit
Te River terrace deposit
Te4: fourth terrace
Te3: third terrace
Te2: second terrace
Te1: first terrace
Va Volcanic ash
Andesitic lava
Tb Tuff breccia
Geologic boundary
DH-1 Drill hole DH-1 completed
TP-101 Test pit completed
Powerhouse
DH-4
Penstock Line
DH-3
DH-7
TP-201 ~204
DH-2
Headrace tunnel
DH-1
DH-5
DH-6
TP-101 ~104
Julumito Dam
Julumito Reservoir
Q. La Laja
Rio Sale
Villa Aurora
Julumito
Dike No.1
DDH-1
DDH-2
Dike No.2
Hda. San Antonio
Q. de la Arboleda
Quebrada Rojas
Q. Garrochal
Q. La Paz
Quebrada San Bernardino
Quebrada Morinda
Quebrada Pambazo Bajo
Quebrada Chamizal
FF. CC. del Pacifico
Zanjon La Lomita
Hda. Genagra
Rio Cauca
Popayan
Rio Molino
La Paz
El Tablazo
Baja Cauca
Juan Uribe Uribe
Cauca Waterway
Open Channel 2,400m
Tunnel 220m
Rio Cauca Diversion Dam
Palacé No.2 Waterway
Open Channel 3,660m
Tunnel 770m
Palacé No.1 Waterway
Open Channel 4,000m
Rio Blanco Diversion Dam
Rio Palacé Diversion Dam
Rio Blanco
Rio Palacé
Rio Cofre
Sinai
0 1000 2,000m
OVERSEAS TECHNICAL COOPERATION AGENCY, JAPAN
CENTRALES ELECTRICAS DEL CAUCA S. A.
JULUMITO HYDRO-ELECTRIC PROJECT
GEOLOGY
GENERAL MAP
ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD. (E P D Consultants) TOKYO JAPAN
SUBMITTED: E. Yamamoto
RECOMMENDED: Z. Kawashima
APPROVED: M Takahashi
DATE: 31 July '72
DWG NO. 3
SHEET NO. OF
LOCATION DATE DESCRIPTION BY
REVISION



OVERSEAS TECHNICAL COOPERATION AGENCY, JAPAN

CENTRALES ELECTRICAS DEL CAUCA S. A.

JULUMITO HYDRO-ELECTRIC PROJECT

GEOLOGY

DAM SITE. PLAN

ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD. (E P D Consultants) TOKYO JAPAN

D. R.: SUBMITTED: K. Yamamoto

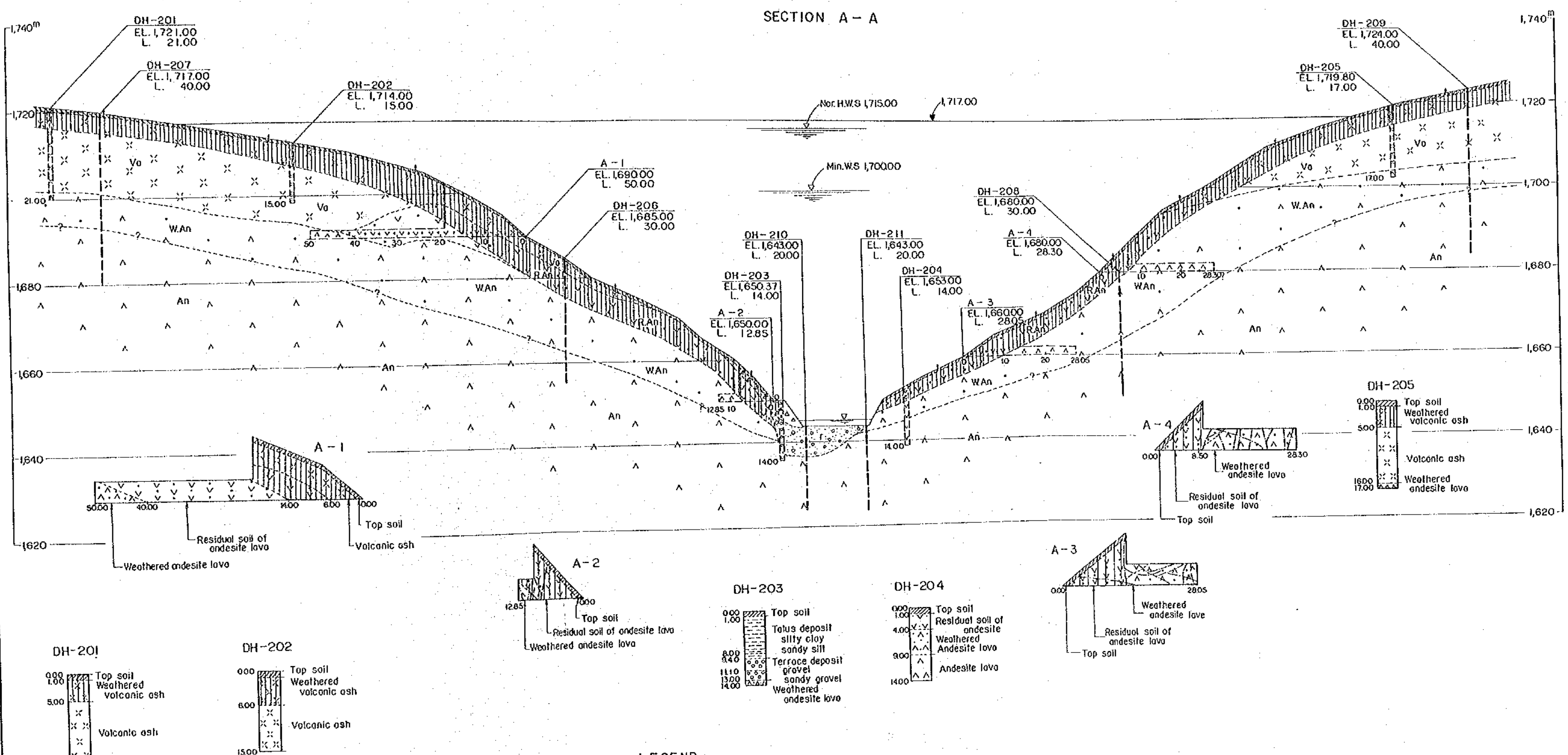
T. R.: RECOMMENDED: T. Kamishima

C. K.: APPROVED: M. Takahashi

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
REVISION			

DATE; 31 July '72 — — — DWG NO. 4

SHEET NO. OF



LEGEND

Top soil.	Andesite lava.
River deposit; gravel, sand and sandy silt.	Geologic boundary.
Talus deposit; debris, sandy silt and silty clay.	Remarkable weathered part.
Volcanic ash; clayey silty and silty clay.	DH-203 Drill hole; completed. (DH-201, 202, 205 were excavated as test pit)
Residual soil of andesite lava.	DH 205 Drill hole; proposed.
Weathered andesite lava.	A-3 Test adit, tunnel, open cut

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
		REVISION	

OVERSEAS TECHNICAL COOPERATION AGENCY, JAPAN

CENTRALES ELECTRICAS DEL CAUCA S.A.

JULUMITO HYDRO ELECTRIC PROJECT

GEOLOGY
DAM SITE SECTION

ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD. (E P D Consultants) TOKYO JAPAN

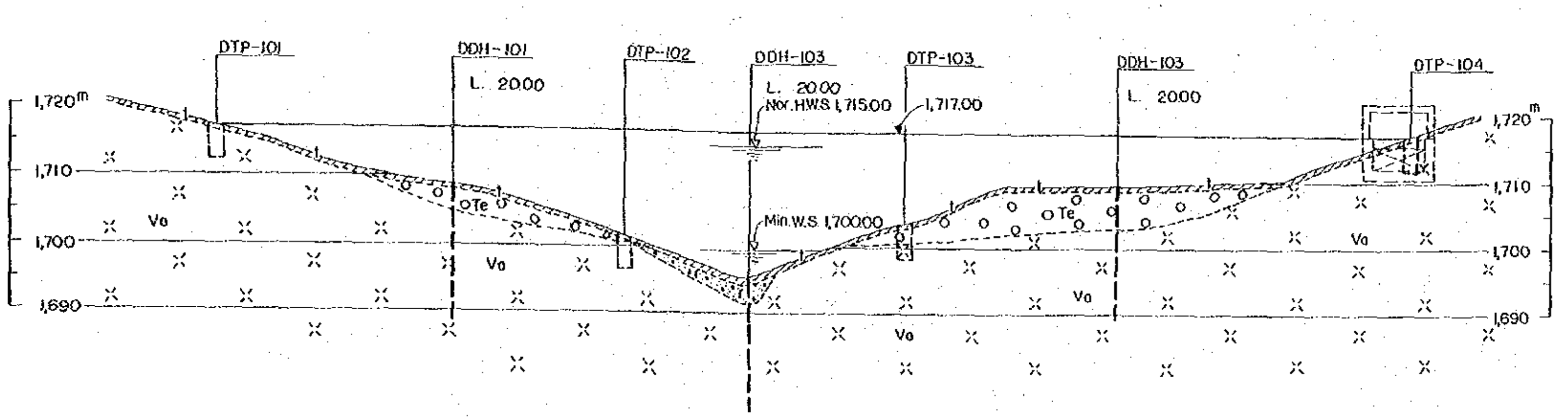
SUBMITTED: K. Yamamoto
RECOMMENDED: T. Kawashima
APPROVED: M. Takahashi

DATE; 31 July '72

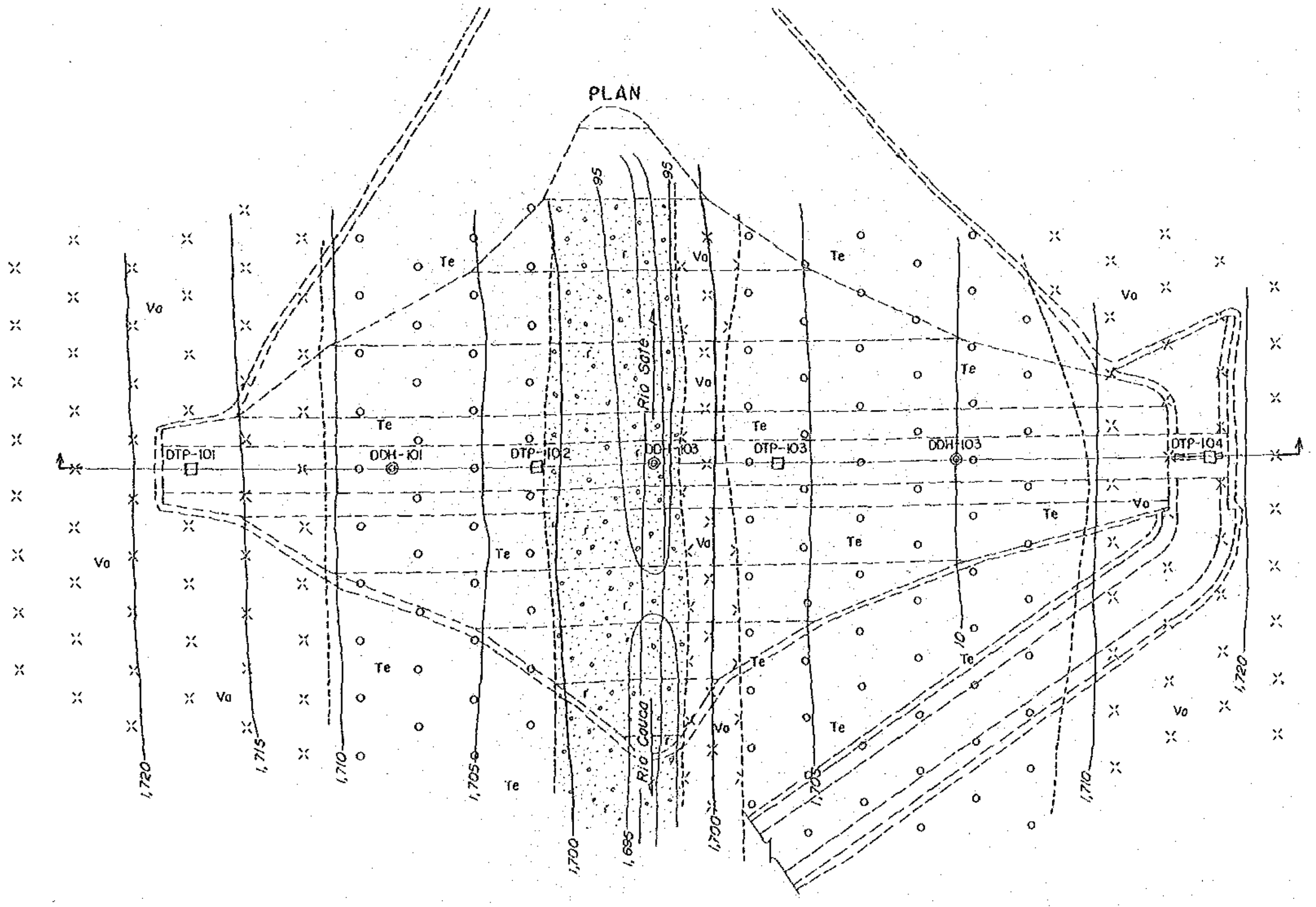
DWG. NO 5

SHEET NO. OF

SECTION



PLAN



LEGEND

- Top soil
- River deposit; sandy silt and silty clay.
- Terrace deposit; sand, silty sand and gravel
- Volcanic ash; clayey silt.
- Geologic boundary.
- DDH-101 Drill hole. proposed
- DTP-101 Test pit. proposed

0 — 50m

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY

REVISION

OVERSEAS TECHNICAL COOPERATION AGENCY, JAPAN

CENTRALES ELECTRICAS DEL CAUCA S. A,

JULUMITO HYDRO-ELECTRIC PROJECT

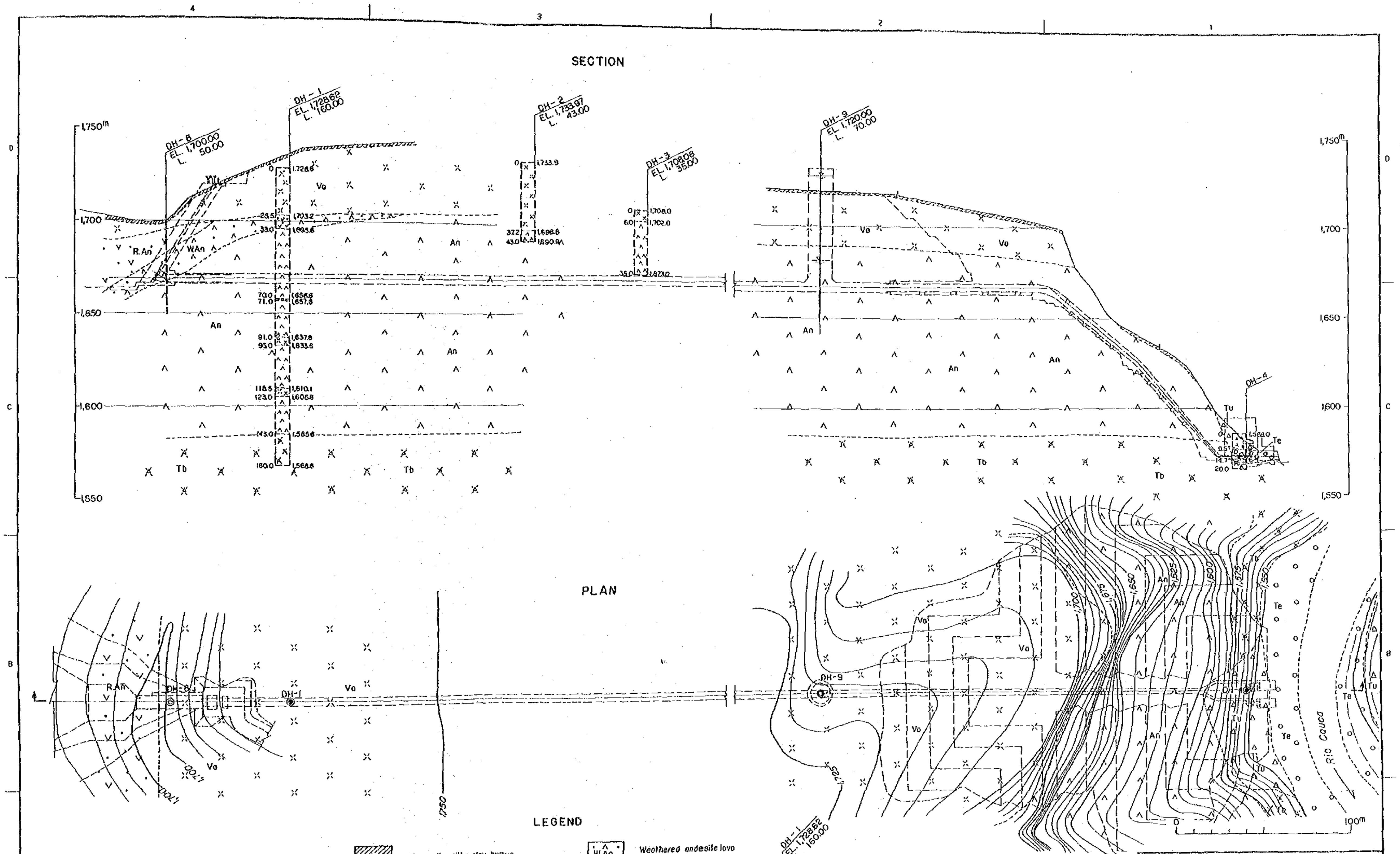
GEOLOGY
DIKE NO.1 SITE

ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD.
(E P D Consultants) TOKYO JAPAN

D. R.: SUBMITTED: K. Yamamoto
T. R.: RECOMMENDED: Y. Kawashima
C. K.: APPROVED: M. Takahashi

DATE; 31 July '72 — — — DWG NO. 6

SHEET NO. OF



OVERSEAS TECHNICAL COOPERATION AGENCY, JAPAN

CENTRALES ELECTRICAS DEL CAUCA S. A.

JULUMITO HYDRO-ELECTRIC PROJECT

GEOLOGY
WATERWAY AND POWERHOUSE SITE

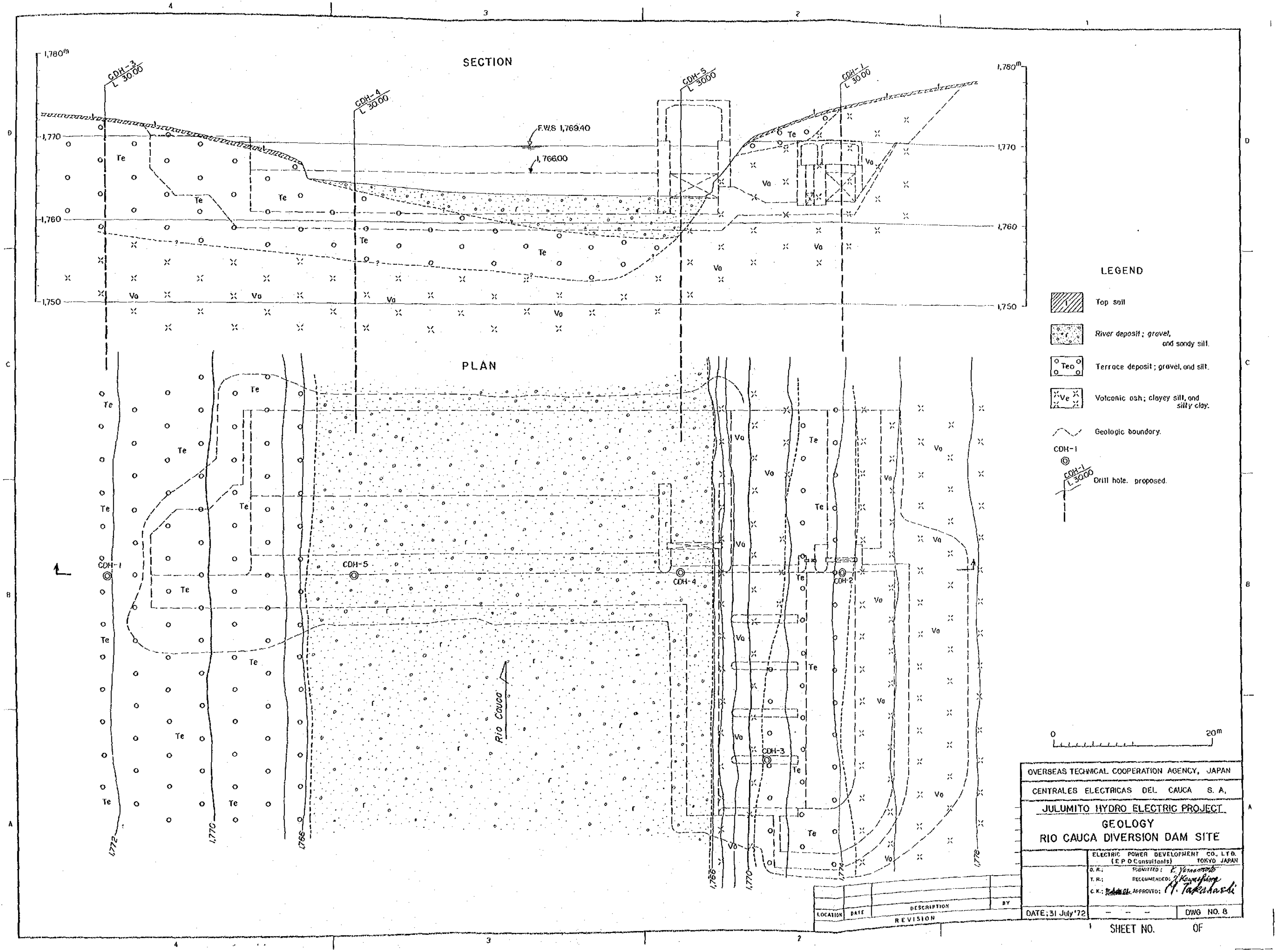
ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO. LTD. (E P D Consultants) TOKYO JAPAN

D. R.: SUBMITTED: F. Yamamoto
T. R.: RECOMMENDED: T. Kawashima
C. K.: APPROVED: M. Takahashi

DATE; 31 July '72

DWG NO. 7

SHEET NO. OF


SECTION
PLAN
CDH-1 L 30.00
CDH-3 L 30.00
CDH-4 L 30.00
CDH-5 L 30.00
CDH-1
CDH-2
CDH-3
CDH-4
CDH-5
F.W.S 1,769.40
1,766.00
1,780m
1,770
1,760
1,750
1,772
1,770
1,768
1,774
1,776
Rio Cauca
Te
Vo
LEGEND
Top soil
River deposit; gravel, and sandy silt.
Terrace deposit; gravel, and silt.
Volcanic ash; clayey silt, and silty clay.
Geologic boundary.
Drill hole. proposed.
0
20m
OVERSEAS TECHNICAL COOPERATION AGENCY, JAPAN
CENTRALES ELECTRICAS DEL CAUCA S. A.
JULUMITO HYDRO ELECTRIC PROJECT
GEOLOGY
RIO CAUCA DIVERSION DAM SITE
ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD.
(E P D Consultants) TOKYO JAPAN
D. R.: SUBMITTED: K. Yamamoto
T. R.: RECOMMENDED: T. Kawashima
C. K.: APPROVED: M. Takahashi
LOCATION
DATE
DESCRIPTION
BY
REVISION
DATE; 31 July '72
DWG NO. 8
SHEET NO. OF

第7章　発　生　電　力

7.1　集水路容量の検討……………………………………………………… 7－ 1
7.2　貯水池規模の検討……………………………………………………… 7－ 2
7.3　貯水池の運用操作……………………………………………………… 7－ 3
7.4　保証水量………………………………………………………………… 7－ 4
7.5　最大使用水量…………………………………………………………… 7－ 4
7.6　保証尖頭使用水量……………………………………………………… 7－ 5
7.7　設備出力および保証尖頭出力………………………………………… 7－ 5
7.8　主機器の台数…………………………………………………………… 7－ 6
7.9　可能発生電力量………………………………………………………… 7－ 7

FIGURE LIST

Fig. 7-1 Result of Study on Optimum Capacity of Cauca and Palacé Diversion Waterway (Cost of Energy)

Fig. 7-2 Result of Study on Optimum Capacity of Cauca and Palacé Diversion Waterway (Benefit-Cost Ratio)

Fig. 7-3 Mass Curve of Julumito Reservoir

Fig. 7-4 Results of Study on Optimum Water Surface and Effective Storage Capacity of Reservoir

Fig. 7-5 Operation Rule of Reservoir

Fig. 7-6 Reservoir Operation (1962 to 1971)

Fig. 7-7 Result of Study on Optimum Max. Discharge and Installed Capacity

Fig. 7-8 Energy Production

TABLE LIST

Table 7-1 Study on Optimum Capacity of Cauca and Palacé Diversion Waterway (1), (2)

Table 7-2 Study on Optimum High Water Surface and Effective Storage Capacity

Table 7-3 Study on Optimum Maximum Discharge and Installed Capacity

Table 7-4 Calculation of Output

Table 7-5 Energy Production

第7章　発　生　電　力

7.1　集水路容量の検討

Julumito 水力発電計画の基本的開発パターンは，次の通りである。即ちRio Cauca本流およびその支流Rio Palace′, Rio Blancoの水を取水し，これを集水路（Cauca 集水路，およびPalace′集水路と称する）により同じく支流のRio Sateに於けるJulumito貯水池へ集水する。貯水池へ導入した水は，貯水池において効果的に調節した後，導水路トンネルを経てJulumito発電所へ導水し発電を行うものである。

したがって，Rio Cauca，Rio Palace′からの取水量如何が本計画の開発規模および経済性に大きな影響を与えることゝなる。本項においては，上記2河川からの最適取水量（集水路の最大通水容量）について下記の方法により検討を行うことゝする。即ち，Rio Cauca, Rio Palace′およびRio Blancoの各取水ダム地点からの取水量を次の如くとる。

Rio Cauca取水ダム地点最大取水量（Cauca集水路最大通水容量）

30.0 m^3/sec，35.0 m^3/sec，40.0 m^3/sec，45.0 m^3/sec

Rio Palace′取水ダム地点最大取水量（Palace′№1集水路最大通水容量）

8.0 m^3/sec，10.0 m^3/sec，12.0 m^3/sec，14.0 m^3/sec

Rio Blanco取水ダム地点最大取水量（Palace′№2集水路最大通水容量）

1.4 m^3/sec，1.6 m^3/sec，1.8 m^3/sec，2.0 m^3/sec

上記各最大取水量の組合せにより，各々のケースの電力コストおよび便益，年間経費比等を検討し，最も経済的な取水量（集水路の最大通水容量）を決めることゝする。

計算は下記の条件により行う。

(1)　Julumito貯水池の満水位は1,715.00m，有効貯水容量は50×10^6 m^3とする。

(2)　貯水池の運用は7－3に述べる操作ルールにより行うものとし，流量並びに年間発生電力量の計算は1962年から1971年までの10ケ年間について行う。

(3)　設備出力は上記貯水池運用により保証水量を求め，発電所設備利用率を50％ 貯水池取水位を基準取水位にとり決める。

(4)　便益は10.3.2に述べる代替火力発電所のkWおよびkWh当り年経費を尺度にして算定する（10.3.2参照）

(5)　経費は工事費に年経費率を乗じて算出する。主要構造物の工事費は予備設計を行って求める。

以上により検討を行った結果をTable 7－1およびFig.7－1，7－2に示す。この図表からも明らかな如く，Rio Cauca取水ダムからの取水量は40.0 m^3/sec，またRio Palace′取水ダムからの取水量は12.0 m^3/secにとった場合が最も経済的な規模である。

よって各集水路の最大通水容量は次の如くとする。

Cauca 集水路			40.0 m³/sec
Palace′ 集水路	No. 1		12.0 m³/sec
	No. 2	※	13.8 m³/sec

※Rio Blanco ダムからの最適取水量を同様に検討した結果 1.8 m³/sec とする。

7.2 貯水池規模の検討

Rio Cauca, Rio Palace′ および Rio Blanco の流量はそれぞれの取水ダム地点において取水され，集水路により Julumito 貯水池へ集水される。貯水池流入量の季節的変動および経年的変動は Fig. 7－3 の Mass Curve に示される如くである。この Mass Curve は，第 5 章「水文」で述べた 1962年から 1971年迄の 10 ヶ年間の流量資料に基いて，各取水地点での毎日の取水可能量を計算して月別に集計作成したものである。

この Mass Curve からみると，季節的には一般に年間の前半は流入量が少なく，後半はやゝ多い傾向を示している。即ち，10 ヶ年の平均年間総流入量は 951×10^6 m³ (30.2 m³/sec)であり，この内 1 月～6 月の流入量は 448×10^6 m³(28.7 m³/sec)，7 月～ 12 月 503×10^6 m³(31.7 m³/sec) であり，後半年の流入量は前半年のそれの約 1.1 倍である。

また最近 10 ヶ年の各年流入量を経年的に見ると可成り大きい変動がある。即ち，1962年～1971年の 10 ヶ年の内当初の 3 ヶ年は比較的渇水が続くが，最後の 3 ヶ年は豊水年である。10 ヶ年中の最渇水年は 1966年でこの年の貯水池流入量は 857×10^6 m³(27.2 m³/sec)であり，豊水年は 1970年で流入量は $1{,}072\times10^6$ m³(34.0 m³/sec) に達する。

かゝる季節的および経年の流入量の変動を調整し，水資源を最も有効的且つ経済的に開発するためには，貯水池への流入量を効果的に調整し，渇水期および渇水年に補給し発電所出力の長期に亘る安定化を図ることが可能な貯水池容量を確保することが必要である。また貯水池満水位については上記の貯水容量の確保が可能であり，且つ発電経済上最も有利な規模でなければならない。

本項においては，上記の観点から Julumito 貯水池の満水位について現地調査の結果から判断して技術的に可能と考えられる標高 1,710 m から 1,718 m までの間の 3 点，即ち標高 1,712 m，1,715 m および 1,718 m について比較検討を試みることゝする。

また，貯水池の有効容量については，上記の各満水位について 20.0×10^6 m³～60.0×10^6 m³の範囲で下記のケースをえらび，その各々について電力コスト，便益年間経費比を計算して比較検討を行うことゝする。

Table 7-1 Study on Optimum Capacity of Cauca and Palacé Diversion Waterway (1)

(Unit: m^3/sec-day)

Case	Mark	Capacity of Waterway		Rio Cauca				Rio Palacé				Rio Blanco				Rio Sate	Reservoir Inflow
		Cauca (m^3/sec)	Palacé (m^3/s)	Run-off	Intake-flow	Over-flow	Intake Ratio (%)	Run-off	Intake-flow	Over-flow	Intake-Ratio (%)	Run-off	Intake-flow	Over-flow	Intake Ratio (%)		
1	30- 8	30.0	8.0 (9.4)	8,424.3	7,533.4	890.9	89.4	3,133.0	2,044.6	1,088.4	65.3	385.0	341.8	43.2	88.8	305.8	10,225.6
2	30-10		10.0 (11.4)						2,230.0	903.0	71.2						10,411.0
3	30-12		12.0 (13.4)						2,389.2	743.8	76.3						10,570.2
4	30-14		14.0 (15.4)						2,516.1	616.9	80.3						10,697.1
5	35- 8	35.0	8.0 (9.6)	8,424.3	7,797.0	627.3	92.6	3,133.0	2,044.6	1,088.4	65.3	385.0	354.7	30.3	92.1	305.8	10,502.1
6	35-10		10.0 (11.6)						2,230.0	903.0	71.2						10,687.5
7	35-12		12.0 (13.6)						2,389.2	743.8	76.3						10,846.7
8	35-14		14.0 (15.6)						2,516.1	616.9	80.3						10,973.6
9	40- 8	40.0	8.0 (9.8)	8,424.3	7,965.8	458.5	94.6	3,133.0	2,044.6	1,088.4	65.3	385.0	362.5	22.5	94.2	305.8	10,678.7
10	40-10		10.0 (11.8)						2,230.0	903.0	71.2						10,864.1
11	40-12		12.0 (13.8)						2,389.2	743.8	76.3						11,023.3
12	40-14		14.0 (15.8)						2,516.1	616.9	80.3						11,150.2
13	45- 8	45.0	8.0 (10.0)	8,424.3	8,003.1	421.2	95.0	3,133.0	2,044.6	1,088.4	65.3	385.0	365.8	19.2	95.0	305.8	10,719.3
14	45-10		10.0 (12.0)						2,230.0	903.0	71.2						10,904.7
15	45-12		12.0 (14.0)						2,389.2	743.8	76.3						11,063.9
16	45-14		14.0 (16.0)						2,516.1	616.9	80.3						11,190.8

Note: ( ) Shows the capacity of Palacé No. 2 waterway

Table 7-1 Study on Optimum Capacity of Cauca and Palacé Diversion Waterway (2)

Case	Mark	Firm discharge (m^3/sec)	Installed Capacity (MW)	Annual Energy Production (10^6 kWh)	Construction Cost (10^6 \$)	Annual Cost (10^6 \$)	Cost of Energy (¢/kWh)	Surplus Benefit (10^6 \$)	B/C
1	30- 8	25.0	53.0	262.2	347.1	36.55	13.94	24.89	1.631
2	30-10			266.9	349.5	36.80	13.79	25.19	1.635
3	30-12			271.0	351.9	37.06	13.68	25.40	1.636
4	30-14			274.3	356.8	37.57	13.70	25.25	1.623
5	35- 8	25.0	53.0	269.3	347.9	36.63	13.60	25.66	1.649
6	35-10			274.0	350.4	36.90	13.47	25.93	1.651
7	35-12			278.1	352.7	37.14	13.35	26.16	1.653
8	35-14			281.4	357.6	37.66	13.38	26.01	1.640
9	40- 8	25.0	53.0	273.8	348.8	36.73	13.41	26.10	1.659
10	40-10			278.6	351.2	36.98	13.27	26.39	1.661
11	40-12			282.6	353.6	37.23	13.17	26.60	1.662
12	40-14			285.9	358.5	37.75	13.20	26.44	1.649
13	45- 8	25.0	53.0	274.8	351.5	37.01	13.47	25.91	1.650
14	45-10			279.6	353.9	37.27	13.33	26.21	1.652
15	45-12			283.7	356.3	37.52	13.23	26.42	1.654
16	45-14			286.9	361.2	38.03	13.26	26.26	1.641

Note: (   ) Shows the capacity of Palacé No. 2 Waterway

Fig. 7-1 Result of Study on Optimum Capacity of Cauca and PaLace Diversion Waterway (Cost of Energy)

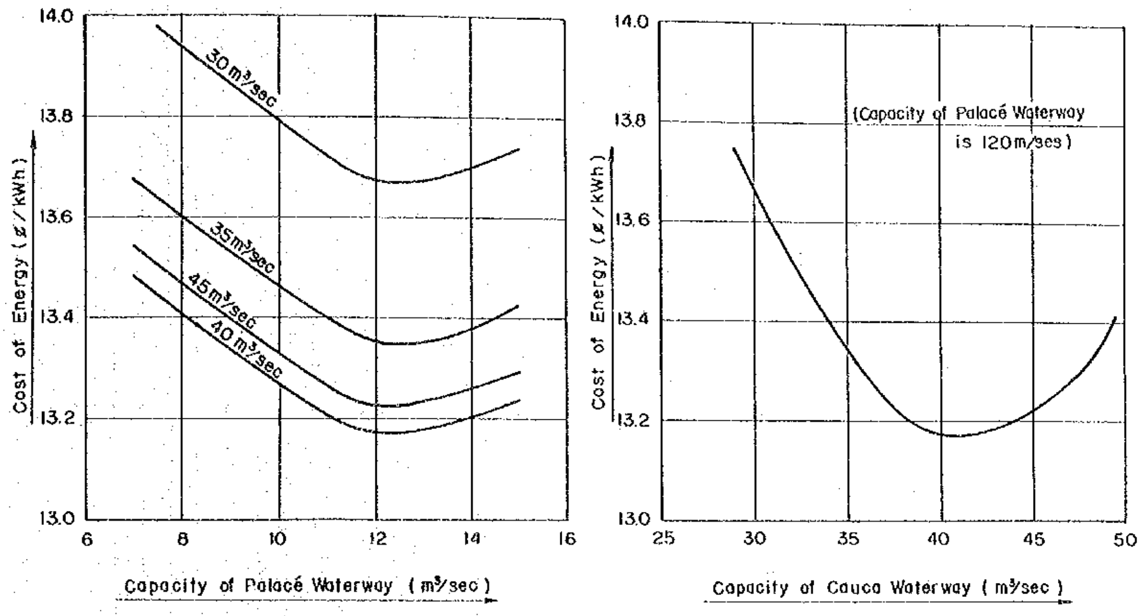


Fig. 7-2 Result of Study on Optimum Capacity of Cauca and PaLace Diversion Waterway (Benefit-Cost Ratio)

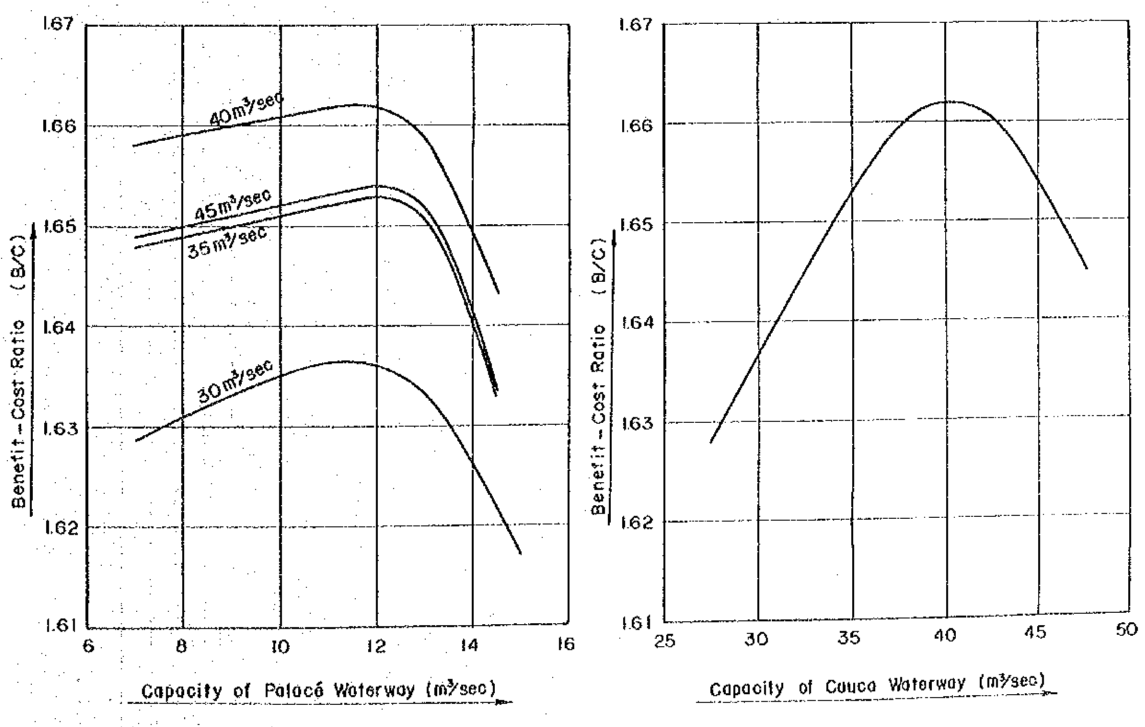
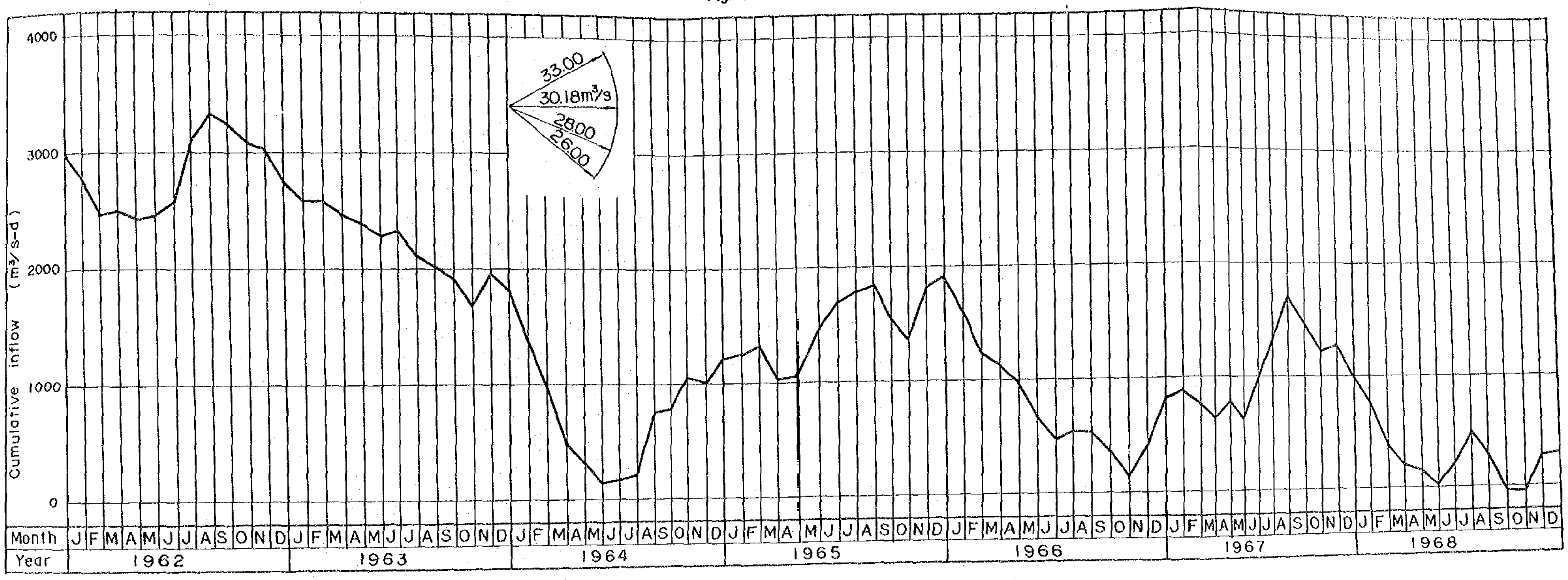
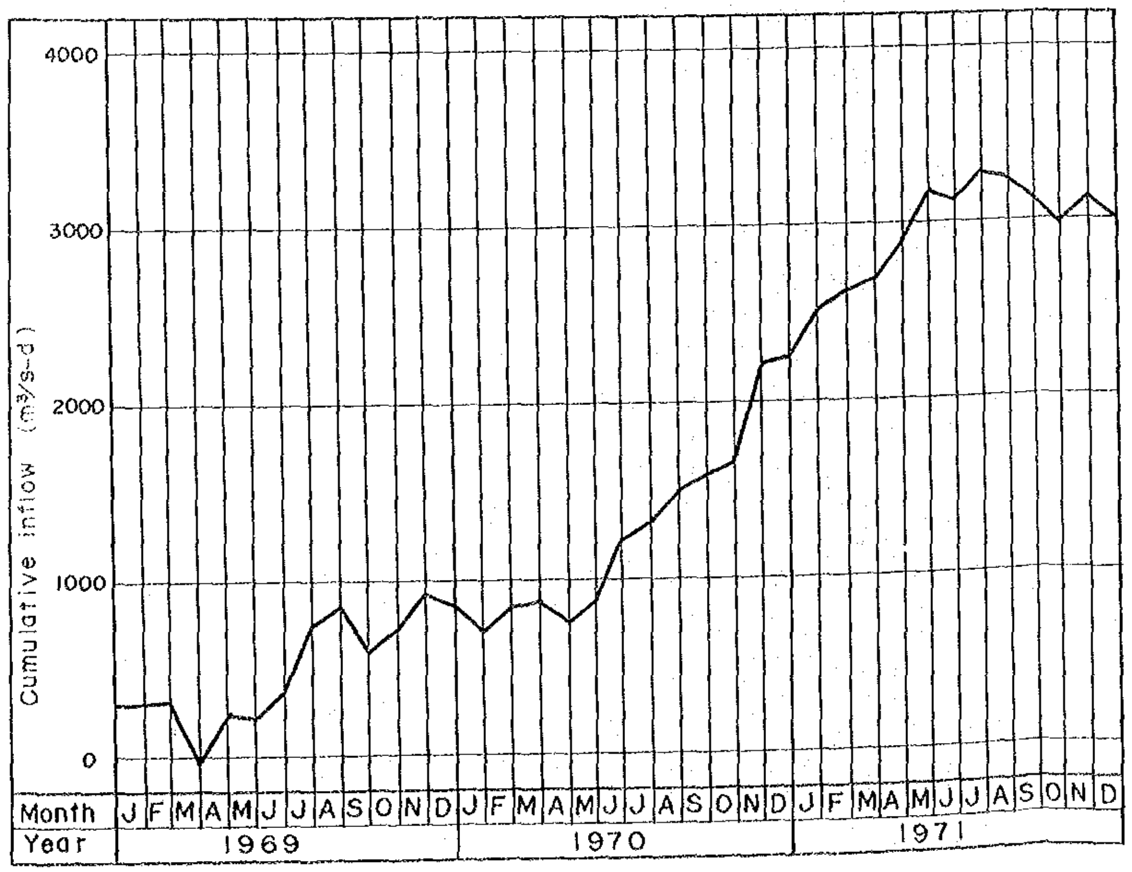


Fig. 7-3 Mass Curve of Julumito Reservoir





	満水位標高（m）	有効貯水容量（10^6m^3）		
Case 1	1,712	20.	30.	40.
Case 2	1,715	40.	50.	55.
Case 3	1,718	40.	50.	60.

また計算の条件は次の通りである。

(1) Cauca, Palace' 集水路の最大通水容量は，それぞれ 40.0 m^3/sec 12.0 m^3/sec（Palace' No.2 集水路は 13.8 m^3/sec）とする。

(2) 貯水池の運用は 7 − 3 に述べる操作ルールにより行うものとし，流量並びに年間発生電力量の計算は 1962年から 1971年までの 10 ケ年間について行う。

(3) 保証水量は，各 Case ともそれぞれ 7 − 3 に述べる貯水池操作に基づき，ほゞ 10 ケ年を通じて保証し得る水量をとる。

(4) 設備出力は基準落差のもとで発電所の設備利用率を 50 ％として決める。

(5) 便益は 10. 3. 2 に述べる代替火力発電所の kW および kWh 当り年経費を尺度にして算定する（10. 3. 2 参照）。

(6) 経費は工事費に年経費率を乗じて算出する。主要構造物の工事費は予備設計を行って求める。

上記により検討した結果は Table 7 − 2 および Fig. 7 − 4 に示す。この検討結果からみると，貯水池の満水位標高は 1,715.0 m，また貯水池有効容量は 50 × 10^6m^3 の場合が最も経済性が高く，最適規模と云える。

よって本計画の貯水池は満水位標高 1,715.0 m，利用水深 15.0 m とし，有効貯水容量を 50.0 × 10^6m^3 と決定する。

7.3 貯水池の運用操作

Julumito 貯水池の運用操作ルールは次の諸点を考慮して設定する。

(1) 1年の内では豊水期の流水を貯水し，これを渇水期に放流する所謂渇水補給を行うこと。

(2) 豊水年の出水を貯留し渇水年に補給し保証水量を出来るだけ大きく確保するよう運用する。

(3) 貯水池の無効溢水を出来るだけ小さくなるよう運用する。

(4) 長期にわたり安定した出力を確保出来，かつ発生電力量が大きくなるよう運用する。

Fig. 7 − 5 は上記により定めた Julumito 貯水池の運用操作ルールである。この操作ルールは Julumito 発電計画の検討のために仮りに設定したものであり，Julumito 発電所が完成し，実際の運用を行う時期には更に精密な運用操作ルールを設定して運転されなければならない。

Fig. 7 − 5 に示された貯水池操作ルールに基づいて 1962年から 1971年までの 10 ケ年間について Julumito 貯水池を運用した場合の使用水量，貯水および補給，貯水池水位等は Fig. 7 − 6 に示す通りである。

また上記貯水池運用による Julumito 発電所の発生電力量は Table 7 − 5 Fig. 7 − 8 に示す。

7.4 保証水量

前節に述べた貯水池操作ルールにより，Julumito 貯水池の運用を行った結果は Fig. 7 − 6 に示すが，これによれば 1962年より 71 年までの 10 ヶ年間の内渇水年である 1964年の 1 月から 4 月までの 4 ヶ月間のみが 25.0 m^3/sec を若干下廻る使用水量となるが，この期間を除く 9 年 8 ヶ月間は 25.0 m^3/sec 以上の使用水量が保証される。Fig. 7 − 3 の Mass Curve からも明らかな如く，1964年の前半 1 月から 5 月までの間は異常なる渇水であり，極めて稀な現象と考えられる。

今，もしこのような稀な場合にも保証し得る 22.0 m^3/sec を保証水量にとることは水資源を最大限迄利用することが出来ず，したがって計画の経済性を低下させるおそれがあり。設備計画上適当でない。むしろ保証水量を 22.0 m^3/sec より若干大きな値とし，このような稀な場合に生ずる電力の不足は，この電力系統の予備力，または融通電力によって補うと考えた方が合理的である。

以上述べたことから Julumito 発電所の保証水量は 25.0 m^3/sec とする。

7.5 最大使用水量

Julumito 発電所の最大使用水量，および最大設備出力は CEDELCA および CEDENAR の供給区域の電力供給力不足を最も経済的に満たすように決定されなければならない。既に第 3 章「需要想定」において検討された如く，Julumito 発電所は他の調整池を有する発電所とともに需要のピーク部分を受持つべきものと考えられる。

即ち，1982年以降の日負荷曲線について，既設および現在建設中の発電所による供給力を除いた差引負荷は次の如くとなる。

年	差引ピーク (kW)	差引電力量 (mWh)	負荷率 (%)
1982	−	−	−
1985	66.7	1,139	71
1990	133.8	2,121	66
1995	237.1	3,633	64

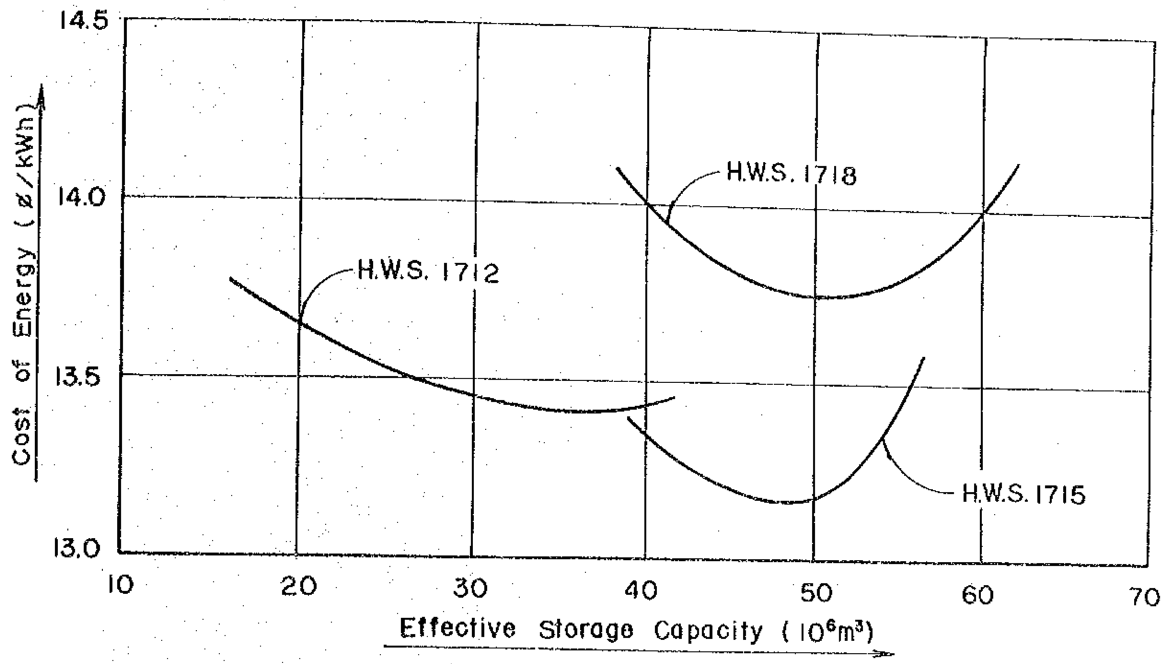
この差引負荷を新規の電源の開発（Julumito 発電所等）その他の方法（連けい送電線等）により供給することゝなる。

上記の差引負荷から判るように，1982年から約 20 ヶ年間の当面の差引負荷率はほゞ 70 〜 60 % 程度と推定される。

Table 7-2 Study on Optimum High Water Surface and Effective Storage Capacity

Case	H. W. S. (m)	Storage Capacity (10^6 m^3)		Firm Discharge (m^3/sec)	Max. Discharge (m^3/sec)	Effective Head (m)	Installed Capacity (MW)	Annual Energy Production (10^6 KWh)	Construction Cost (10^6 \$)	Annual Cost (10^6 \$)	Cost of Energy (¢/kwh)	B/C
		Gross	Effective									
1			20	23.1	46.2	125.8	49.2	263.6	341.7	35.98	13.65	1.600
2	1,712	47.6	30	23.7	47.4	124.7	50.1	267.7	342.0	36.01	13.45	1.626
3			40	24.4	48.8	123.0	50.8	271.1	345.8	36.41	13.43	1.630
4			40	24.4	48.8	127.1	52.5	279.1	353.8	37.26	13.35	1.643
5	1,715	60.8	50	25.0	50.0	125.5	53.0	282.6	353.6	37.23	13.17	1.665
6			55	25.3	50.6	124.4	53.3	281.1	358.9	37.79	13.44	1.638
7			40	24.4	48.8	130.7	54.0	286.3	380.5	40.07	14.00	1.570
8	1,718	77.5	50	25.0	50.0	129.8	55.0	291.1	380.1	40.02	13.75	1.599
9			60	25.7	51.4	128.6	56.0	289.5	385.5	40.59	13.02	1.586

Fig. 7-4 Results of Study on Optimum Water Surface and Effective Storage Capacity of Reservoir



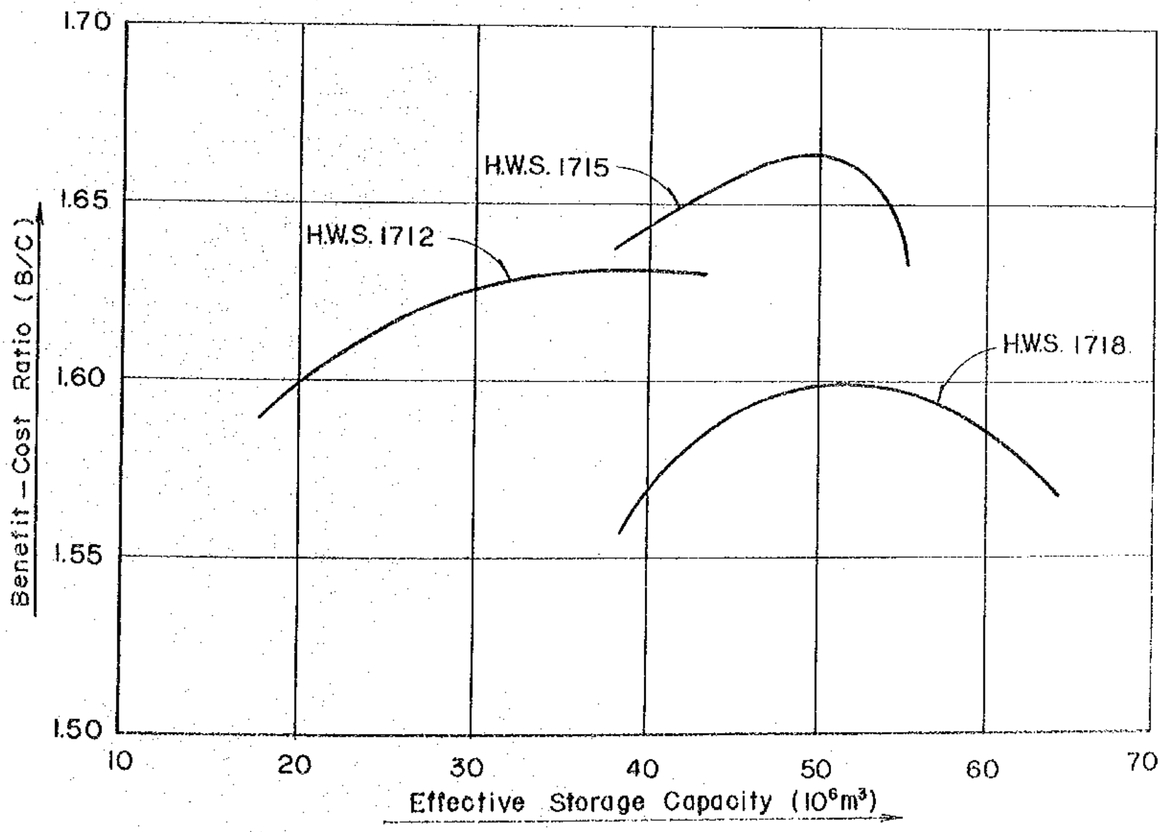
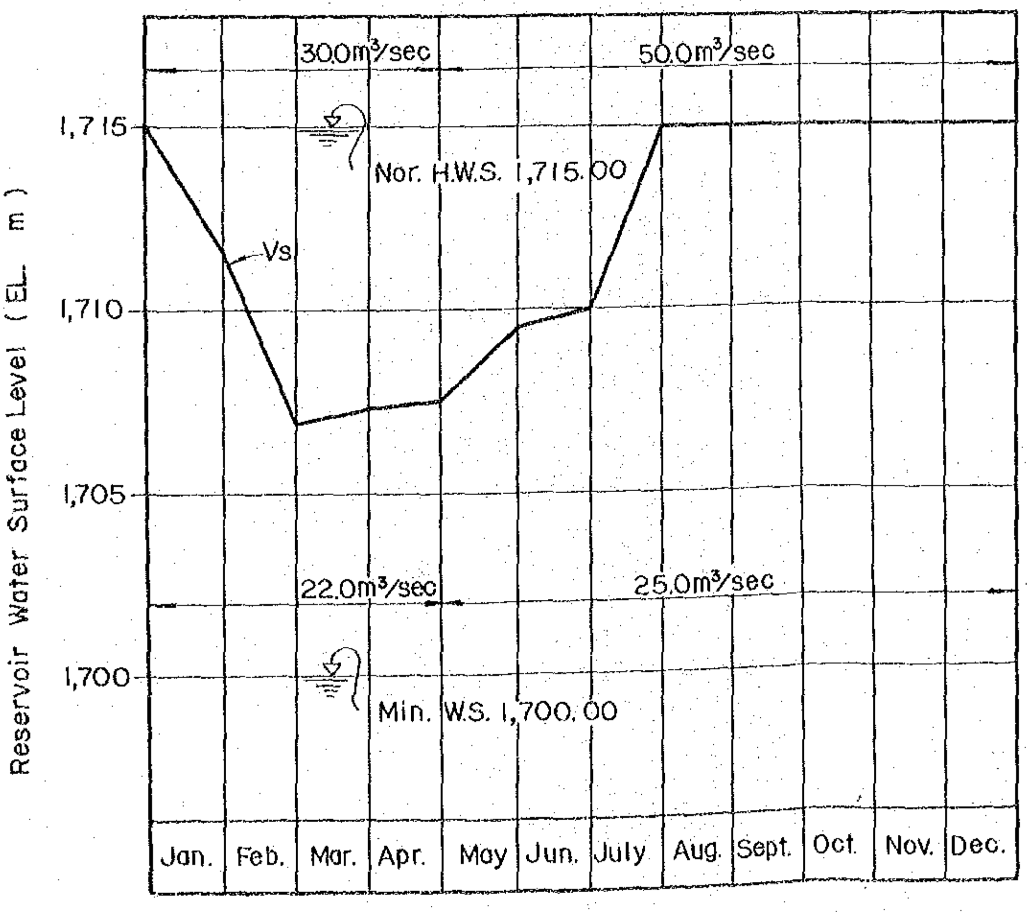


Fig. 7-5 Operation Rule of Reservoir

Month	Vs		
	m	$10^6 m^3$	m^3/sec-day
Jan.	1, 711. 7	34.00	393.5
Feb.	1, 707. 0	17.48	202.3
Mar.	1, 707. 3	18.47	213.8
Apr.	1, 707. 5	19.15	221.6
May	1, 709. 5	26.30	304.4
Jun.	1, 710. 0	28.26	327.1
Jul.	1, 715.0	50.00	578.7
Aug.	1, 715.0	50.00	578.7
Sept.	1, 715.0	50.00	578.7
Oct.	1, 715.0	50.00	578.7
Nov.	1, 715.0	50.00	578.7
Dec.	1, 715.0	50.00	578.7



Symbols (Unit ; m^3/sec-month)

V_{n-1}	:	Storage at the end of previous month
V_n	:	Storage at the end of current month
V_s	:	Standard middle limit of storage
V_{max}	:	Maximum storage
V_{min}	:	Minimum storage
f_n	:	Overflow in current month
Q_u	:	Standard upper limit of discharge for power
Q_L	:	Standard lower limit of discharge for power
q_n	:	Inflow in current month
Q_n	:	Discharge for power in current month

Constants (Unit ; m^3/sec-month)

Q_u = 30.0 m^3/sec Jan. to Apr.
50.0 m^3/sec May to Dec.

Q_L = 22.0 m^3/sec Jan. to Apr.
25.0 m^3/sec May to Dec.

Basic Formulas

$V_{max} \geqq V_{n-1} + q_n - Q_n$ ——— $V_n = V_{n-1} + q_n - Q_n$

$V_{max} < V_{n-1} + q_n - Q_n$ ——— $\begin{cases} V_n = V_{n-1} + q_n - Q_n - f_n \\ f_n = V_{n-1} + q_n - Q_n - V_{max} \end{cases}$

Operation rule

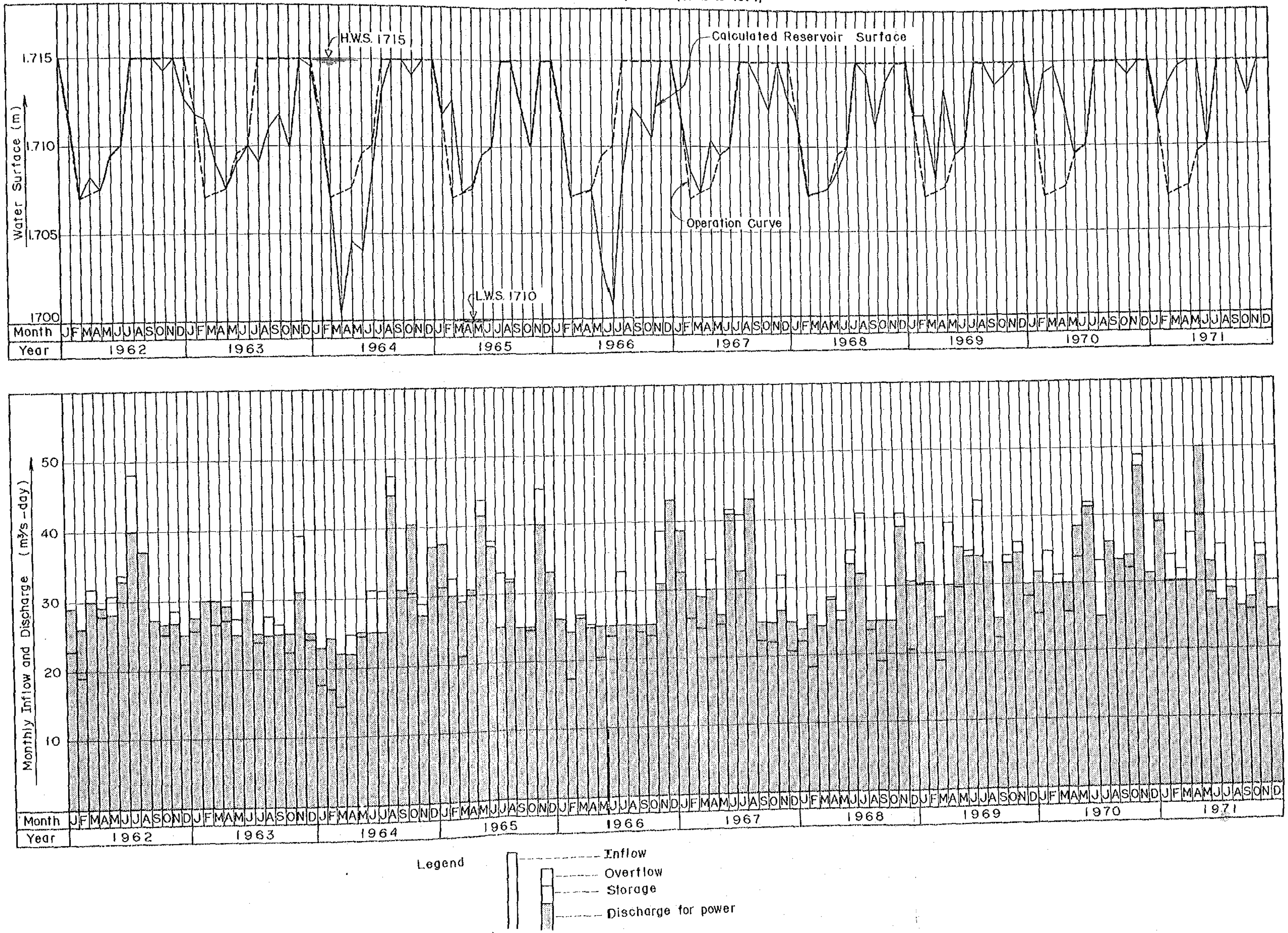
1. $V_{n-1} + q_n > V_s$

   (1) $Q_u \leqq V_{n-1} + q_n - V_s$ ——— $Q_n = Q_u$
   (2) $Q_u > V_{n-1} + q_n - V_s$ ——— $Q_n = V_{n-1} + q_n - V_s$

2. $V_{n-1} + q_n < V_s$

   (1) $Q_L \leqq V_{n-1} + q_n - V_{min}$ ——— $Q_n = Q_L$
   (2) $Q_L > V_{n-1} + q_n - V_{min}$ ——— $Q_n = V_{n-1} + q_n - V_{min}$

Fig. 7-6 Reservoir Operation (1962 to 1971)



Julumito 発電所設備が顕在化する1985年以降においては，Julumito 発電所はこの差引負荷のピーク部を分担しベース部は当面連けい送電線により受持たれるべきものと考える。

一方，Julumito 発電所は 50×10^6 m^3 の有効貯水容量を有し，季節間，経年間の調整可能な貯水池式発電計画である。然しながら，導水路トンネルの延長も 1,800 m と比較的長く，かつ約 11,000 m におよぶ集水路を有する。したがってピーク用発電所としての経済性にもおのずと限界がある。即ち設備利用率を余り低くとると経済性が急速に悪化する地点特性を有することが考えられる。

設備利用率を如何にとるかは，上記地点特性についても充分検討して決める必要がある。各設備利用率に応ずる Julumito 発電所の経済性を①設備出力 1 kW 当りの建設費 ②1 kW 当りの電力コスト ③代替火力発電所のコストを尺度としての評価(B/C)等により検討した結果を Table 7 − 3，Fig. 7 − 7 に示す。これによると，Julumito 発電計画は，次の地点特性を有することが判る。

1. 設備利用率を 50% 程度より低くとると，kW 当り建設費は安くなるが，kWh当りの電力コストは可成り高くなる傾向にある。
2. 設備利用率を 50%程度より高くとっても 1kWh 当りの電力コストはそれ程低くならない。
3. この傾向はB/C にもはっきりと示されている。

また，Julumito 発電計画は第 10 章の「経済評価」における検討に示される如く，代替火力発電所の建設，また連けい送電線によるＣＶＣ系統からの輸入等に比較し，可成りの経済性を有する計画であるが，Popayan変電所地点でのコストは上記変電所以下の関連諸経費を考えた場合 kWh当り13CVS程度以下とするのが望ましいものと考えられる。

よって Julumito 発電所の設備利用率は渇水年 50％，平水年 56%，最大使用水量 50.0 m^3/sec として計画する。また，将来においては必要に応じ一部発電設備の増設によって更にピーク化することも可能である。

7.6 保証尖頭使用水量

Julumito 発電所の保証尖頭出力を算出するための保証尖頭使用水量は，貯水池が最低水位の時にこの発電所の水車が呑みこむことの出来る最大使用水量であり 48.1 m^3/sec とする。

7.7 設備出力および保証尖頭出力

設備出力，保証尖頭出力およびそれらの計算は Table 7 − 4 に示してある。取水位は設備出力に対しては貯水池の基準水位，保証尖頭出力に対しては貯水池の最低水位とする。放水位は最大使用水量時の発電所放水口における推定水位とする。

Table 7-4　Calculation of Output

Unit		Installed Capacity	Firm Peak Output (Dependable Capability)
Available Discharge	(m^3/sec)	50.0	48.1
Intake Water Surface	(m)	1,710.0	1,700.0
Tailrace Water Surface	(m)	1,577.0	1,577.0
Effective Head	(m)	125.5	116.1
Output	(kW)	53,000	47,300

7.8　主機器の台数

Julumito発電所の主機台数には1台案と2台案が考えられる。

一般に主機台数を少なくし容量を大きくすれば，

(1)　機械装置費が安くなる。

(2)　線路充電容量が大となる。

(3)　据付工期が短縮される。

等の利点がある反面

(4)　事故停止時の系統に与える影響が大きい。

(5)　定期点検などのための停止が系統運用上むずかしくなる。

(6)　停止時の無効放流量が増す。

(7)　部分負荷での効率が悪くなる。

(8)　建設時の運搬が困難となる。

(9)　クレーン容量が大となる。

(10)　予備品が高くなる。

等の欠点がある。

更に台数，即ちUnit Capacityの決定には自系統間の既設設備の最大Unit Capacity系統の予備力並びにProjectの経済性を考慮しなければならない。既設設備の最大Unit Capacityについては Julumito 発電所が運転開始となる時点では Florida II 発電所が運転されており，こゝの12,000kWが最大Unit Capacityとなる。従って Julumito 発電所のUnit Capacityも事故時を想定すれば，これを大幅に上回ることは好ましくないがCEDELCA系統は中央系統に連系されるこ

とゝなるので先述の通り，この連系送電線を予備力と考えるなら，この面からの制約は緩和される。一方経済性についてはUnit Capacityを大きくし，台数を少くする方が経済的になるが，上に述べた(4)〜(10)の各項並びにJulumito発電所が系統上極めて重要な位置を占め，これが停止することは連系送電線があるとはいえ影響が大きいと考えられるので，大きい容量の水車発電機を1台とすることは系統運用上避けるべきものと思慮し，本計画では2台とする。

7.9 可能発生電力量

7.3項で設定したJulumito貯水池操作ルールに基づいて算出した可能使用水量と貯水池水位を用いて1962年から1971年迄の10ヶ年間の月別可能発生電力量を計算する。その結果はTable 7－5およびFig.7－8に示す通りで，上記10ヶ年間の平均発生電力量は次のようになる。

1次電力量	237.7 × 10^6 kWh		
2次 〃	47.7 × 10^6 kWh	合　計	285.4 × 10^6 kWh

なお，2次電力量は基準保証出力（基準取水位において保証水量使用の場合の出力27,500kW）を上廻った分の電力量とする。

Table 7-3 Study on Optimum Maximum Discharge and Installed Capacity

Case	H. W. S. (m)	E. Storage Capacity (10^6 m^3)	Drawdown (m)	Firm Discharge (m^3/sec)	Plant Factor (%)	Max. Discharge (m^3/sec)	Installed Capacity (MW)	Annual Energy Production (10^6 kWh)	Construction Cost Total (10^6 $)	Construction Cost ($/kW)	Annual Cost (10^6 $)	Cost of Energy (¢/kWh)	B/C
1					75	32.5	33.9	249.0	298.6	8,810	31.44	12.63	1.501
2	1,712	40.0	13.4	24.4	50	48.8	50.8	271.1	344.7	6,790	36.30	13.39	1.635
3					35	69.7	72.6	271.1	424.2	5,840	44.67	16.48	1.609
4					75	33.3	35.4	260.0	306.1	8,650	32.23	12.40	1.529
5	1,715	50.0	15.0	25.0	50	50.0	53.0	282.6	353.6	6,660	37.23	13.17	1.665
6					35	71.4	75.9	282.6	436.3	5,750	45.94	16.26	1.634
7					75	33.3	36.6	270.7	328.9	8,990	34.63	12.79	1.477
8	1,718	50.0	11.1	25.0	50	50.0	55.0	291.1	376.6	6,850	39.66	13.62	1.614
9					35	71.4	78.5	291.1	459.6	5,850	48.40	16.63	1.601

Fig. 7-7 Result of Study on Optimum Max. Discharge and Installed Capacity

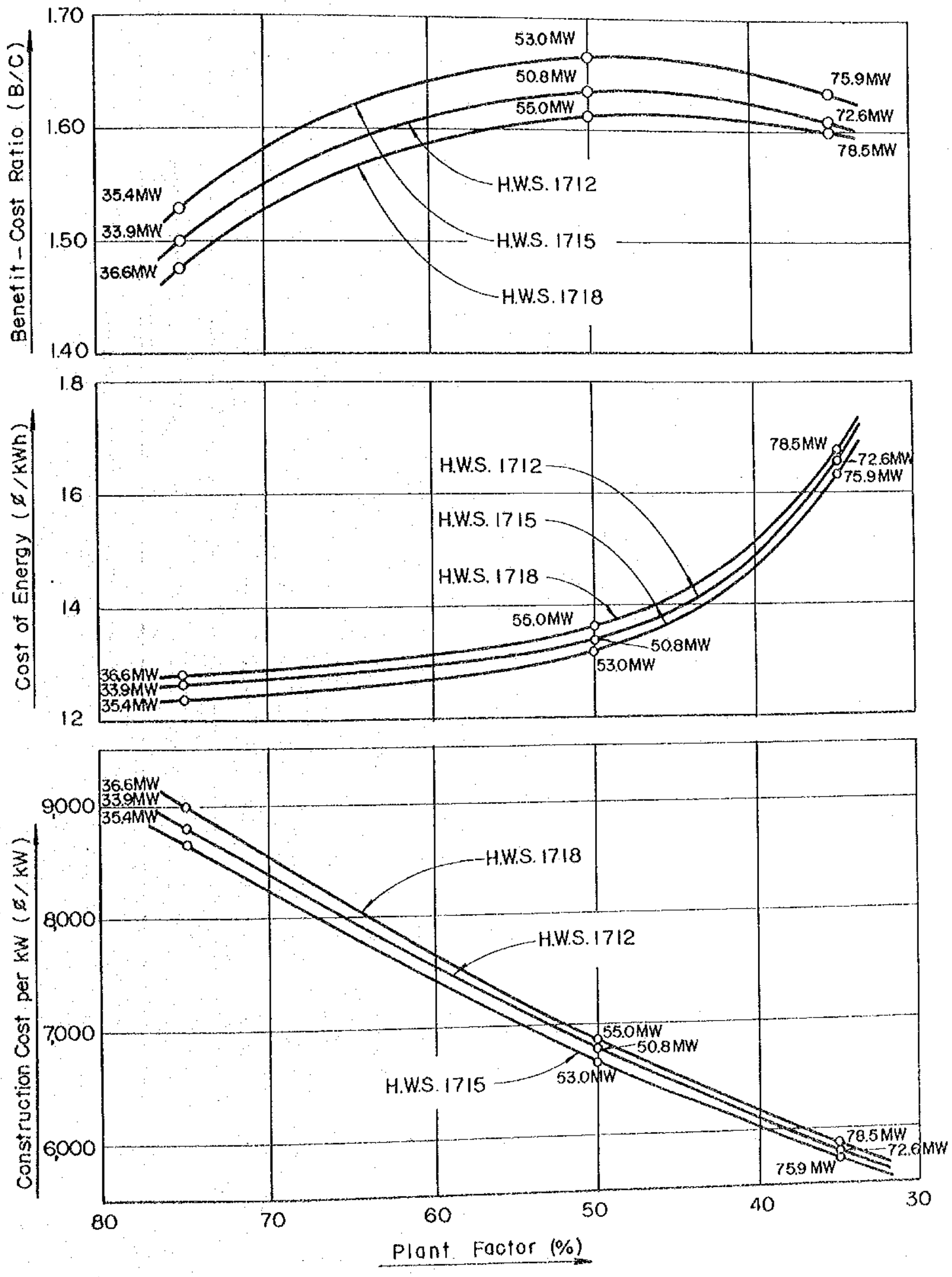
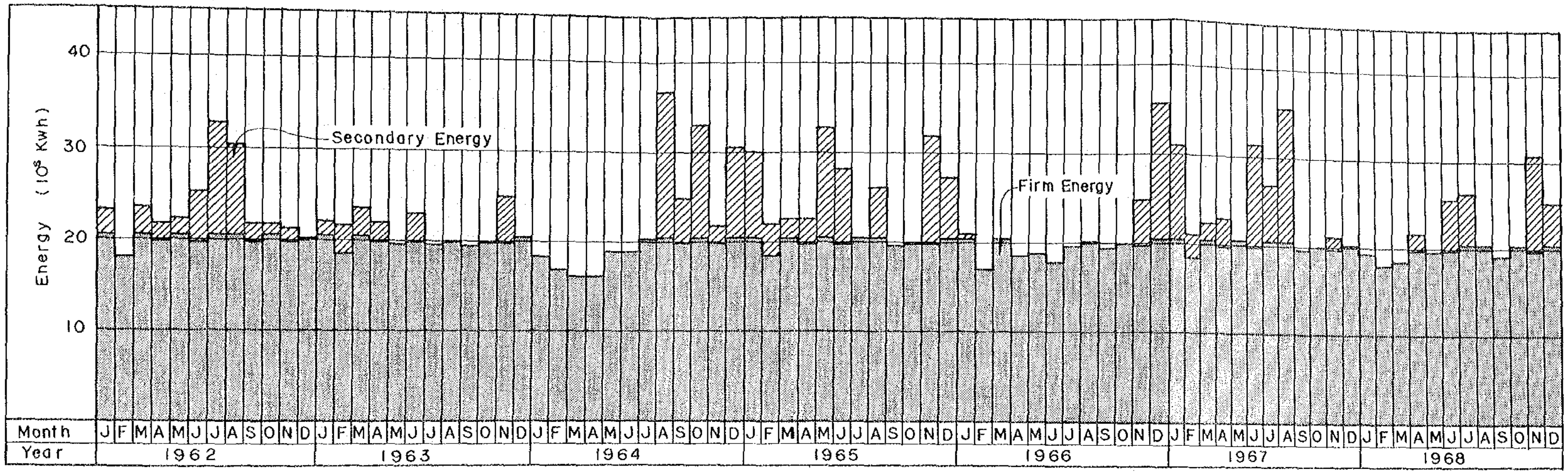


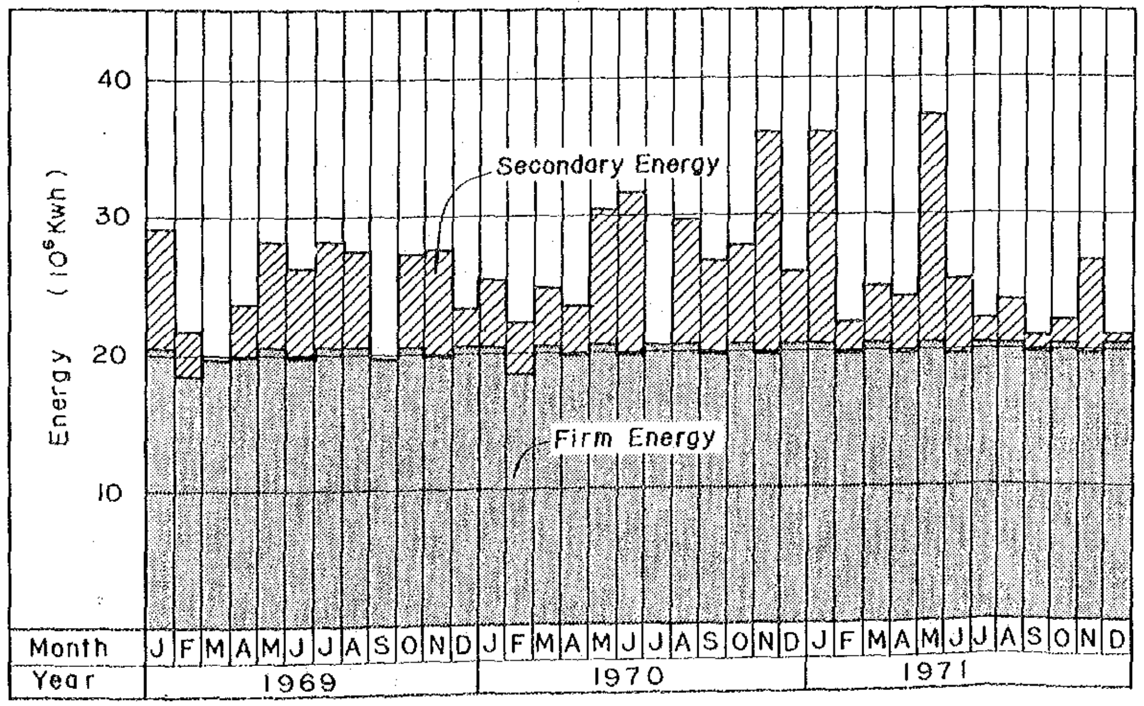
Table 7-5 Energy Production

(Unit : 10^6 kWh)

Year \ Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	July.	Aug.	Sept	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
1,962	23.1	18.1	23.4	21.7	22.2	25.1	32.7	30.4	21.7	21.7	21.2	20.2	281.5
1,963	22.0	21.7	23.5	21.9	19.6	23.0	19.6	19.9	9.4	19.8	24.8	20.5	255.7
1,964	18.3	17.0	16.2	16.1	18.8	18.9	20.3	36.7	24.8	33.0	21.7	30.5	272.3
1,965	29.9	21.9	22.5	22.5	32.7	28.2	20.5	26.0	19.5	19.8	31.8	27.2	302.5
1,966	20.9	16.9	20.4	18.6	18.7	17.8	19.6	20.1	19.4	19.9	24.7	35.6	252.6
1,967	31.0	21.2	22.4	23.0	20.6	31.4	26.8	35.6	19.7	20.1	21.2	20.2	293.2
1,968	19.3	18.1	18.5	21.2	19.6	25.6	26.3	20.5	19.2	20.4	30.7	25.2	264.6
1,969	29.1	21.7	19.6	23.6	28.1	26.3	28.2	27.5	19.7	27.2	27.5	23.2	301.7
1,970	25.4	22.2	24.6	23.4	30.4	31.6	20.5	29.6	26.6	27.7	36.0	25.8	323.8
1,971	36.0	22.0	24.6	23.9	37.2	25.1	22.3	23.7	21.0	22.2	26.6	21.1	305.7
Average	25.5	20.1	21.6	21.6	24.8	25.3	23.7	27.0	21.1	23.2	26.6	25.0	258.4

Fig. 7-8 Energy Production





(10^6 kWh)

Year \ Item	Firm Energy	Secondary Energy	Total
1962	240. 5	41. 0	281.5
1963	237. 7	18. 0	255.7
1964	226. 7	45. 6	272.3
1965	240. 2	62. 3	302.5
1966	232. 2	20. 4	252.6
1967	240. 4	52. 8	293.2
1968	236. 0	28. 6	264.6
1969	240. 2	61. 5	301.7
1970	241. 2	82. 6	323.8
1971	241. 2	64. 5	305.7
Average	237. 7	47. 7	285.4

Note ;

Based on Reservoir Operation Rule in Fig. 7-5