

## 第 6 章 地 質

### 6.1 調査工事の経緯

ピラヤ計画に関する地質調査工事は、" Pilaya 川水力発電計画第一次調査報告書 (1980年3月, 国際協力事業団) の勧告に従い、ENDEにより1980年6月から1980年12月の間に、Table 6-1に示す調査工事が実施された。

Table 6-1 List of Geological Exploratory Works

Site		No.	Elevation (m)	Length (m)	Direction
Dam	Drill hole	R - 1	1782.01	36.12	S 60°W, 50°
		R - 2	1776.24	37.20	S 30°W, 70°
		R - 3	1776.23	56.60	Vertical
		R - 4	1775.50	33.50	S 60°W, 70°
		R - 5	1772.78	46.25	Vertical
		R - 7	1775.38	47.50	"
		L - 3	1773.10	36.50	N 30°E, 70°
		L - 5	1772.95	40.10	Vertical
		L - 6	1773.09	45.00	"
			Adit	RA-1	1785.90
RA-2	1785.22			25.00	"
LA-1	1796.47			30.00	N 64°E
LA-2	1777.97			"	N 60°E
LA-3	1787.99			25.00	"
Surge-tank Penstock	Drill hole	PH-1	1389.82	40.00	Vertical
		PH-2	1370.29	"	"
		PH-3	1375.05	44.50	"
		PH-5	1380.85	43.10	"
Powerhouse	Adit	S - 1	1788.97	50.00	S 85°W
		P - 1	1390.61	4.50	N 85°W
		P - 2	1598.13	20.00	N 89°W

これらの調査結果は、計画地点の地表地質踏査結果の所見とともに、ENDEの地質技師による下記の報告書に収録されている。

“ Proyecto Hidroeléctrico Pilaya, Geología y Geotecnia  
Estudio de Factibilidad ; Pebrero 1981 ”

今回の調査団は、この報告書を参考にすると共に、1/1,000実測図による計画関連地域の地質踏査、Table 6-1に示した横坑やボーリングコアの観察を現地で行った。その他調査団がサンプリングした岩石の物性試験、顕微鏡観察ならびに温泉水の化学分析などを日本において実施した。これらの資料の検討結果を以下に報告する。

## 6.2 結 論

ピラヤ計画地域の地質は、土木地質の見地から下記のように要約される。

### (1) 調整池

調整池地域は非常に急峻な地形を呈し、各所に崩壊地が見られる。Pilaya川およびその支川によって供給される土砂は著しい量にのぼることが予想される。

### (2) ダム

基礎をなすオールドビス系の珪岩、砂岩は、緻密・堅硬で透水性も低く、計画ダムの基礎岩石として良好である。しかしながら左岸斜面は層理面とほぼ平行で岩盤のゆるみが生じやすく、尾根部では地表から10m前後の深さまで、幅2cmから50cmのオープンクラックが数多く存在する。また河床部には透水性の高い河床堆積物が最大40mの層厚で分布している。この河床堆積物の除去とともに、左岸の斜面安定に対して十分な注意が必要と考えられる。

### (3) 導水路トンネル

トンネル延長は10.4kmである。中間点付近での地表までの傾りは最大2,000mに達する。導水路トンネル経過地の地質は、緻密・堅硬なオールドビス系の珪岩、砂岩および頁岩などの碎屑岩から構成されると予想される。露岩の地質条件から判断すると、トンネルの基礎岩石は極めて堅硬である。

しかし、今回の調査により発電所下流約7km地点に、温泉が発見された。温泉の分布如何によっては、本導水路トンネルがいわゆる“高温トンネル”になる可能性もあるので、

6.4.3項に述べるように今後調査が必要と考えられる。

### (4) 調整水槽、水圧管路、発電所

各構造物の位置する斜面は、部分的にSlope washにおおわれるものの大部分緻密・堅硬なオールドビス系の珪岩・砂岩が露出する。この斜面は層理面とほぼ平行で、地表近くでは岩盤にクリーブ性の緩みが生じる恐れがある。工事の際、斜面の崩壊に対して十分な注意が必要と考えられる。

また発電所位置は、Agua Caliente 川沿いに流下する土砂流がPilaya川を塞ぎ止めた場合のPilaya 川洪水位を避け得る位置に選定されるべきであろう。

#### (5) 建設材料

本計画地域周辺に分布する河床堆積物・扇状地堆積物などの表層堆積物は、新鮮・堅硬な礫を大量に含んでおり、これらはふるい分けと破砕によって、コンクリート骨材として十分利用でき、また量的にも十分確保されると判断される。

また河床堆積物および Slope washには含有量は少ないものの粘土を含んでおり、これは仮橋切ダムの不透水性材料として質的には使用可能である。しかしながら経済的な採取の可能性およびその量については、今後調査・検討が必要である。

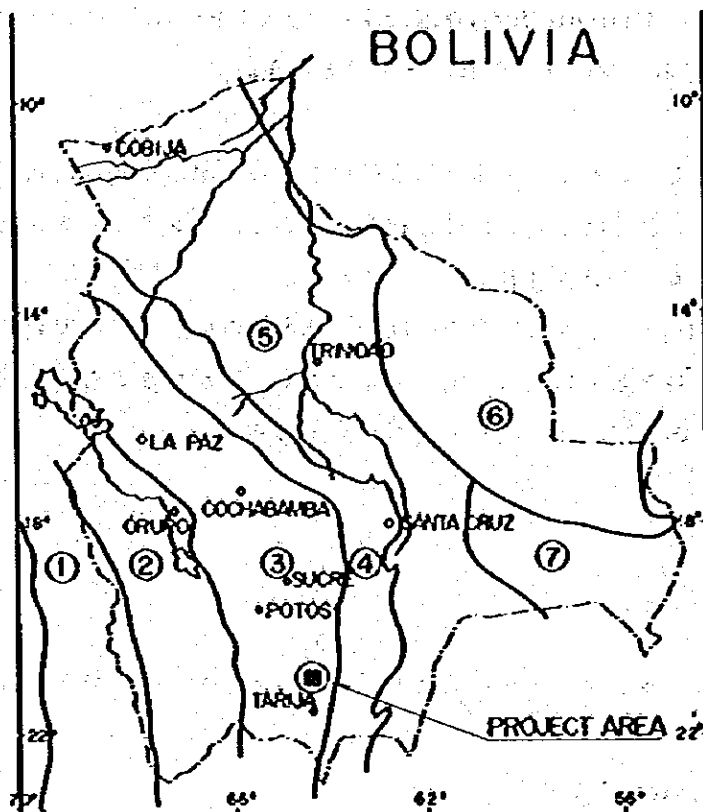
### 6.3 地域の地形・地質

#### 6.3.1 一般地質

南米大陸中央部を占めるボリヴィアは、地形的にみて下図の如く①～⑦に分帯される。それぞれの地帯は西側から

- ① 西部山岳地帯 (Western Andean Range)
- ② 高原地帯 (Altiplano)
- ③ 東部山岳地帯 (Eastern Range)
- ④ 亜アンデス地帯 (Sub Andean Belt)
- ⑤ 中央平原地帯 (Chaco Beniain Plains)
- ⑥ ブラジル盾状地帯 (Brazilian Shield)
- ⑦ 東部山地 (Oriental Mountains)

と呼ばれ、それぞれ地質条件を反映している。これらの概要を述べると下記の通りである。



The source of this map is EONAS MORFO-ESTRUCTURALES DE BOLIVIA by ENDE

- |                                   |                             |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| (1)- CORDILLERA OCCIDENTAL ANDINA | (5)- LLANURA CHACO-BENIENSE |
| (2)- ALTIPLANO                    | (6)- ESCUDO BABILERO        |
| (3)- CORDILLERA ORIENTAL          | (7)- SERRANIAS ORIENTALES   |
| (4)- FAJA SUBANDINA               |                             |

① 西部山岳地帯……………ボリビア国の西縁部に位置し、標高5,000m以上の山岳が連なる。一般に火山帯に属し、地熱、貧黄鉄床が賦存する。

② 高原地帯……………東西のアンデス山脈に挟まれた標高3,600mから4,100mの高原地帯で、中生代から現世にかけての非海成水成岩が厚さ10,000m以上も堆積している。水面の標高3,800mのTiticaca湖やPoopo湖はこの地帯に属する。

③ 東部山岳地帯……………標高4,000mから6,000mの高峻な山々が連なる山岳地帯で、層厚6,000mにおよぶオルドビス系、シルル系、デボン系の堆積岩類が幅広く分布する。この地帯の北半部の脊梁部には、中生代初期とみられる酸性火成活動が見られる。また南半部では、上述の古生代堆積岩類を不整合におおひ上部白亜系の堆積岩類が分布する他、鮮新世から更新世の安山岩質ないしは石英安山岩質の熔岩および碎屑岩が局所的に分布している。ピラヤ水力発電計画地域は本地帯に位置する。

以上の3帯により、いわゆるアンデス地帯が構成されている。

④ 亜アンデス地帯……………アンデス地帯の東側に幅狭く帯状に分布する標高1,000mから2,500mの山脈地帯である。一般に古生層と上部第三系陸成層から成り、

石油・天然ガス地帯となっている。

⑤ 中央平原地帯……………アンデス山脈の東部に沿って、北は Pando 県から南はパラグアイ国境に至る平原地帯で、第四紀の堆積層から成る。Beni 川、Mamore 川、Pitcomayo 川などの河川が流れ、広大な原始林地帯となっている。

⑥ ブラジル播状地帯……………ボリヴィア国北東部のゆるい丘陵地帯で、一般に標高 700m 以下で、先カンブリア紀の変成岩からなる。アルカリ花崗岩の貫入も見られる。

⑦ 東部山地……………Santa Cruz から Corumba にかけて北西-南東方向にのびる山脈地帯で、古生代堆積岩類から成る。

以上が各区分における地形・地質概要である。

また、地史的にみたボリヴィア国の大きな特徴としては、次のような事柄が挙げられよう。すなわち、石炭紀以降海成層の堆積がなく、二疊紀からジュラ紀にかけて陸化し、この間は陸成層の堆積もほとんど無いこと、後期三疊紀には主要な酸化作用と関連する火成活動があったこと、また白亜紀から現世まで陸成層のみ堆積しており、第三紀末期頃から大規模な隆起運動が始まりアンデス地帯の尾根的存在であるボリヴィアの高地が形成されたことなどである。

### 6.3.2 計画地域の地形・地質

#### (1) 地 形

Pilaya 川は、前項 6.3.1 で述べたボリヴィア国の地形区分の“②高原地帯”に源を発する河川を集め、“③東部山岳地帯”を西から東に横切り、Tartagalito 付近で南流する Pitcomayo 川に合流する。

地形的には“③東部山岳地帯”に位置する本計画地域においては、Pilaya 川は小さな蛇行を繰り返しながらも計画ダム地点で南東、その後東方、さらには発電所地点に向けて北北東に流路を取る大きな円弧を描いている。円弧の内側には北方に尾根を伸ばす急峻な山体があり、その最高峰 Cerro Sipi は標高 4,400m に達する。Pilaya 川の南方では標高 3,000m から 3,700m の山々が連なり、主な支川はほぼ南北にその流路を取っている。これらの支川は Pilaya 川合流点付近では河川勾配が急で険しい V 字谷を形成している。

Pilaya 川の両山腹斜面は 45° 前後の急峻な斜面を成し、いたる所に崖が形成されている。斜面の比高差はほぼ 1,500m から 2,500m にも達し、各所に Slope wash や崩壊地形が認められる。これに対し支川の上流部や山体の高標高部には幼年期の地形を示すゆるやかな地形が認められる。

計画地域における植生は薄く、いたる所で地肌がみられ、主としてサボテン科に属する植物などがわずかに散在するにすぎない。

## (2) 地 質

### 1) Pilaya川流域

Pilaya川流域に分布する岩石は、大別して、計画地域を含めてそれより上流側に広く分布するオルドビス系の堆積岩と、計画地域より下流に分布するシルル系およびデボン系の堆積岩に分けられる。オルドビス系の堆積岩は、主として珪岩、砂岩および頁岩などの碎屑岩から構成され、ほぼ南北方向にのびる多数の褶曲軸を有して褶曲を繰り返している。計画地域の北方および南方では、これらの褶曲軸のうち背斜軸沿いの一部にはカンブリア系の堆積岩が綿長く露出している。一方計画地域上流のTumusla川とSan Juan del Oro川の合流点付近などの向斜軸沿いには白亜系および第三系の堆積岩が分布している。このほか、Tarija市やPotosi市のある山間盆地には沖積層の分布が見られる。(Fig 6-1 参照)

### 2) 計画地点

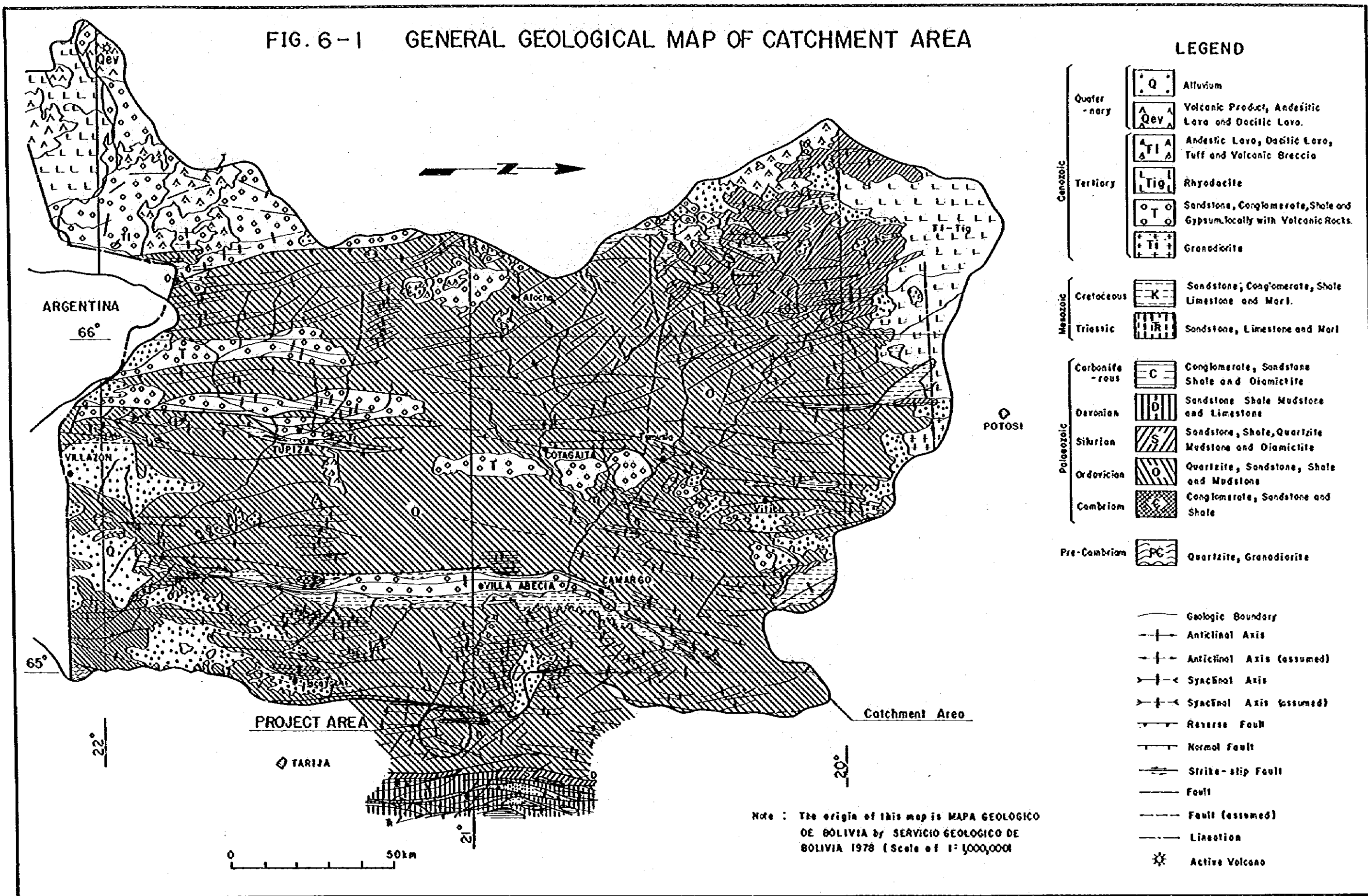
計画地点は、オルドビス系の珪岩、砂岩および頁岩などの碎屑岩が基盤をなしている。これらの岩石は、互層を示す範囲や塊状な分布を示す範囲があり、いずれも局所的に低度変成作用を抜っている。このため各岩石は非常に緻密で堅硬である。ダム地点および発電所地点のボーリングコアを使用して、調査団が日本に帰国後実施した岩石試験結果は6.4.2項のTable 6-5に示す通りである。主な計画構造物の基礎岩石は大部分Table 6-5に示したような強度を有するであろう。

基礎岩盤をおおむね表層堆積物としては、Slope wash、河床堆積物および扇状地堆積物が分布する。Slope washは、山腹や河岸の斜面の数多くの地点にその分布が認められる。Pilaya川河床に分布する河床堆積物は一般的に言って、ダム地点の上流側ではその分布が狭く巨礫を多く含んでいるのに対して、発電所が位置する下流側ではその分布が広く上流側に比較して粒径が小さい。河床堆積物の厚さはダム地点で最大40mに達する。また扇状地堆積物は、Lluskha川やAgua Caliente川などの支川とPilaya川との合流点に分布している。これらは各支川から崩壊などにより押し出されてきた岩塊を主とした堆積物で、発電所の位置するAgua Caliente川とPilaya川との合流点では、Agua Caliente川から押し出されてきた土石があまりに多量だったため、Pilaya川を数回にわたって塞ぎ止めた痕跡が認められる。

また計画地域には、トンネルルートのはほぼ中間点を通り、南北方向で南に傾斜する褶曲軸を持つ大きな背斜構造が存在する。褶曲軸の西方にのびる脚は、ダム地点上流のLluskha川付近で小さな向斜および背斜構造を示し、さらに西方に向ってPaichu川沿いにのびる大きな向斜構造へと連続している。一方トンネルルートのはほぼ中間点を通る大きな背斜構造の東側にのびる脚は、発電所地点付近で小さな向斜・背斜構造を繰り返している。これらの褶曲軸はいずれも南北方向にのびている。



FIG. 6-1 GENERAL GEOLOGICAL MAP OF CATCHMENT AREA



LEGEND

- |              |  |   |
|--------------|--|---|
| Quaternary   |  | Alluvium  |
|              |  | Volcanic Product, Andesitic Lava and Dacitic Lava.                      |
|              |  | Andesitic Lava, Dacitic Lava, Tuff and Volcanic Breccia                 |
|              |  | Rhyodacite  |
|              |  | Sandstone, Conglomerate, Shale and Gypsum, locally with Volcanic Rocks. |
| Cenozoic     |  | Sandstone, Conglomerate, Shale Limestone and Marl.                      |
|              |  | Sandstone, Limestone and Marl   |
| Paleozoic    |  | Conglomerate, Sandstone Shale and Diamictite                            |
|              |  | Sandstone Shale Mudstone and Limestone                                  |
|              |  | Sandstone, Shale, Quartzite Mudstone and Diamictite                     |
|              |  | Quartzite, Sandstone, Shale and Mudstone                                |
|              |  | Conglomerate, Sandstone and Shale                                       |
| Pre-Cambrian |  | Quartzite, Granodiorite   |
- 
- |  |                           |
|--|---------------------------|
|  | Geologic Boundary         |
|  | Anticlinal Axis           |
|  | Anticlinal Axis (assumed) |
|  | Synclinal Axis            |
|  | Synclinal Axis (assumed)  |
|  | Reverse Fault             |
|  | Normal Fault              |
|  | Strike-slip Fault         |
|  | Fault                     |
|  | Fault (assumed)           |
|  | Liaction                  |
|  | Active Volcano            |

Note: The origin of this map is MAPA GEOLOGICO DE BOLIVIA by SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA 1978 (Scale of 1:1,000,000)





航空写真判読によって認められる断層の方向は、概ねN 50°~60°W, N 50°~60°EおよびN-S方向の3種類に分けられる。N 50°~60°Wの走向を有する断層が当地域で最も卓越し、長い距離にわたって連続性がある。これらのうち一部には左ずれ断層の形態を示すものも認められる。N 50°~60°E方向の断層は、計画地域の北方に多く見られるが、N 50°~60°W方向の断層に比べて分布頻度、連続性とも小さい。N-S方向の断層はPilaya川の南方に多く認められ、左ずれ断層を示すものが卓越する。

航空写真上で認められる小さな線構造には、上述3種類の断層方向とほぼ一致するものがあり、これらはそれら断層と関連する小さな断層の可能性がある。またこの他にE-W方向の小さな線構造が認められる。これらは現地踏査によって、節理であることが判明した。E-W方向の節理はダム地点、発電所地点において非常に多く認められる。( Fig 6-2および Fig 6-3 参照)

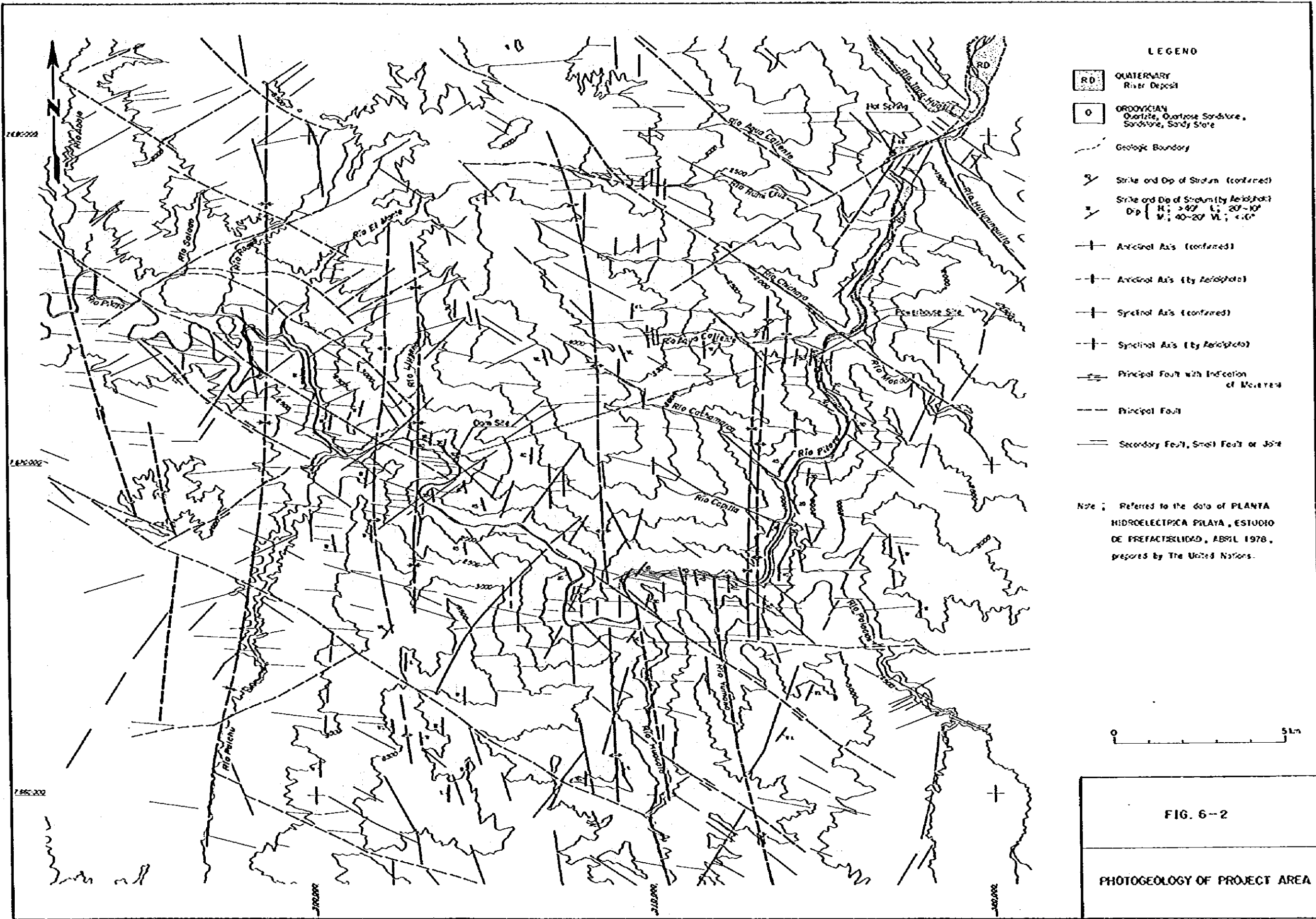
### 6.3.3 地 震

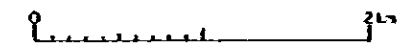
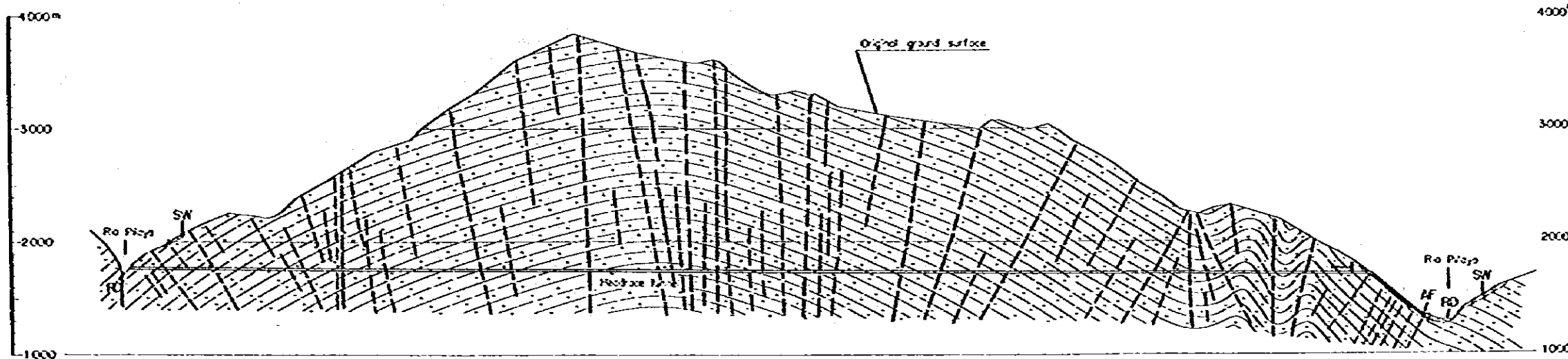
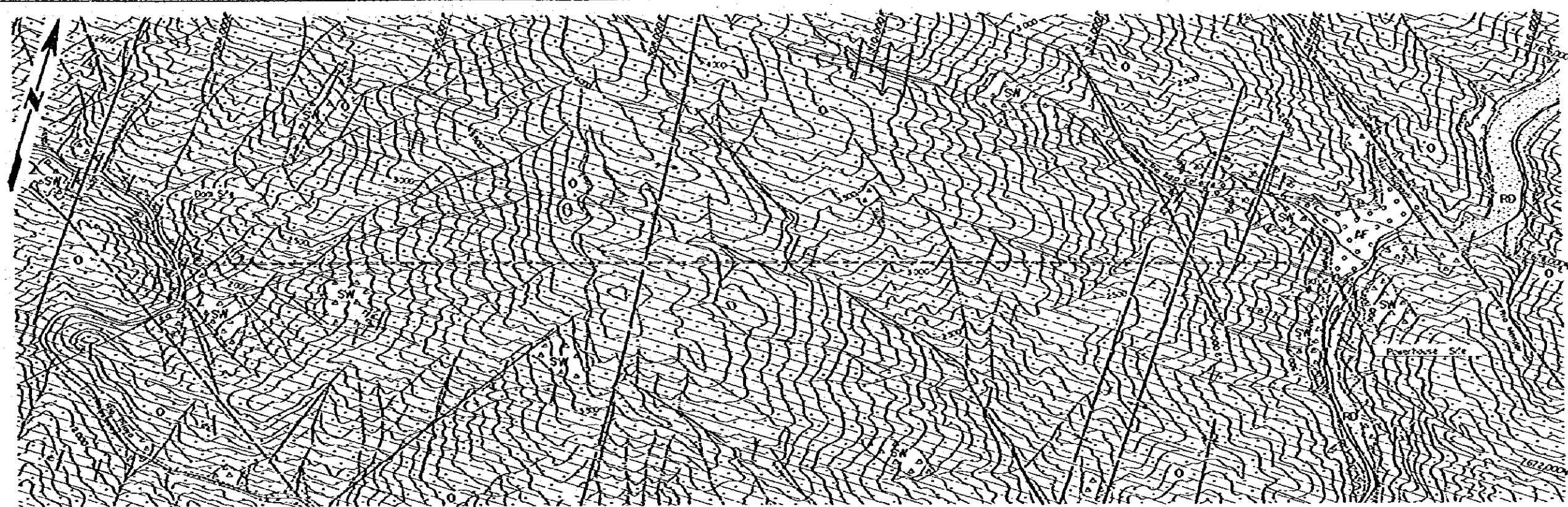
ボリヴィア国は環太平洋地震帯の一部に位置しており、活発な地震活動が認められる。しかしながらこれらの地震活動は、ボリヴィア国西縁のチリとの国境付近、すなわち“西部山岳地帯”と“高原地帯”に集中しており、いずれも本計画地域から約150 km以上離れている。従って本計画地域の属する“東部山岳地帯”では地震頻度、規模とも著しく小さくなっている。さらにこの地帯より東部では、地震の発生はきわめて稀である。

Fig 6-4は、1909年から1977年の間にボリヴィア南部で発生した地震の記録を示したものである。これらの記録は、The Earth Physics Division of the Canadian Department of Energy, Mines and Resources, Ottawaを通じて得られたもので、“Feasibility Study, Icla Hydroelectric Project, Bolivia, Technical Report (June 1979)” by The Shawinigan Engineering Company Limitedに掲載された資料を基に、編集・作成したものである。














この記録によれば、計画地域に最も近い地震は1949年に計画地点西方約15 kmで発生している。この他に半径50 km以内の比較的計画地域に近い範囲で発生した地震としては、1961年の計画地域北東約30 kmの地震および1964年の計画地域南方45 kmの地震が挙げられる。これら3つの地震はいずれもマグニチュード5.0以下である。マグニチュード6.0以上の地震は、半径50 km以内では1960年に計画地域西方約40 kmの地点で発生したのみで、これ以外には半径100 kmまで範囲を広げても見あたらない。

1909年から1977年までの69年間に計画地域を中心に半径200 kmの範囲で発生した地震は、Table 6-2に掲げるとおりである。





**LEGEND**

- |            |   |   |   |                                 |   |                                 |   |                                       |   |                           |   |                 |
|------------|---|---|---|---------------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------------------------|---|---------------------------|---|-----------------|
| Quaternary |  | Alluvial Fan Deposit of Tributary Stream              |    | Geologic Boundary               |  | Anticlinal Axis (by topography) |  | Secondary Fault, Small Fault or Joint |   |                           |   |                 |
|            |  | River Deposit   |    | Strike and Dip of Strata        |  | Synclinal Axis (covered)        |    | Strike and Dip of Enclined Joint      |  | Anticlinal Axis (covered) |  | Principal Fault |
|            |  | Slope Wash  |  | Anticlinal Axis (by topography) |   |                                 |   |                                       |   |                           |   |                 |
|            |  | Quartzite, Quartzose Sandstone, Sandstone, Sandy Silt |   |                                 |   |                                 |   |                                       |   |                           |   |                 |

Note: This profile is referred to the data of PROYECTO HIDROELECTRICO PALMA, GEOLOGIA Y GEOTECNIA ESTUDIO DE FACTIBILIDAD, FEBRERO 1981, by ENCE.

Fig. 6 - 3

GEOLOGICAL PLAN OF PROJECT AREA AND PROFILE OF WATER WAY

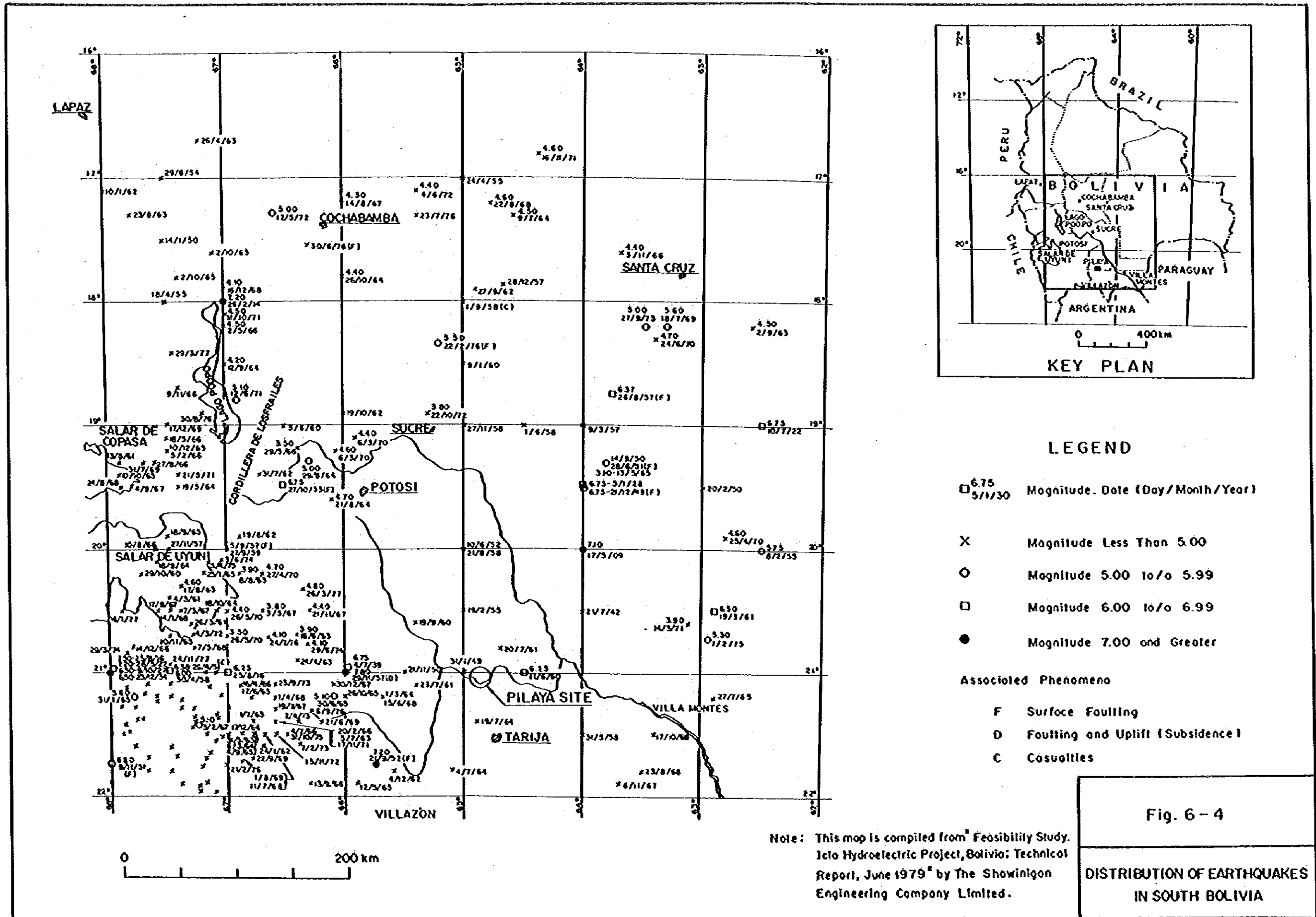




Table 6-2 Earthquakes Around Pilaya Project Area

Epicentral Distance	Magnitude (M)	Date of Occurrence
*1 Within 50 km	M < 5.00	January 31, 1949
	M < 5.00	July 20, 1961
	M < 5.00	July 19, 1964
	M = 6.25	June 11, 1960
*2 Within 100 km	M < 5.00	January 31, 1949
	M < 5.00	July 20, 1961
	M < 5.00	July 19, 1964
	M = 6.25	June 11, 1960
	M < 5.00	July 23, 1961
	M < 5.00	November 21, 1950
	M < 5.00	March 1, 1964
	M < 5.00	June 15, 1968
	M < 5.00	September 19, 1960
	M < 5.00	February 15, 1955
*3 100 - 200 km	M < 5.00	July 4, 1964
	M < 5.00	May 31, 1958
	M = 7.80	November 29, 1957
	M = 7.20	September 21, 1952
	M = 7.10	May 17, 1909

\*1 : Centering around Pilaya dam site.

\*2 : Including \*1.

\*3 : Only earthquakes of magnitude 7.00 and greater.

すなわち1909年から1977年までの69年間では、計画地域から半径100km以内の範囲に限定すれば、マグニチュード6.25の地震が1回、マグニチュード5.00以下の地震が1回発生している。このような過去の地震履歴から考えると、本計画地域には6~7年に1回はマグニチュード5.00以下の地震が、また70年に1回程度はマグニチュード6前後の地震が発生する可能性があると考えられる。

## 6.4 主要計画地点の地質

### 6.4.1 調整池

#### (1) 地形

調整池内でPilaya川に合流する主な支川としては、ダム地点の上流約600mの左岸側から流れ込む支流、およびダム地点の上流約1,600mの同じく左岸側から流れ込む支流Lluskha川の2河川がある。Pilaya川は、上記2つの河川のうち下流側の川の合流点までは流路を東に向かって取り、そこからダム地点にかけては流路を南東に向かって取っている。谷幅は、上流からLluskha川合流点付近まで約50m、ここより下流では50mから100mで、兩岸山腹は急峻な地形となっている。特に右岸斜面は急峻で、至る所に比高差400mから500mにおよぶ急崖が形成されている。

#### (2) 地質

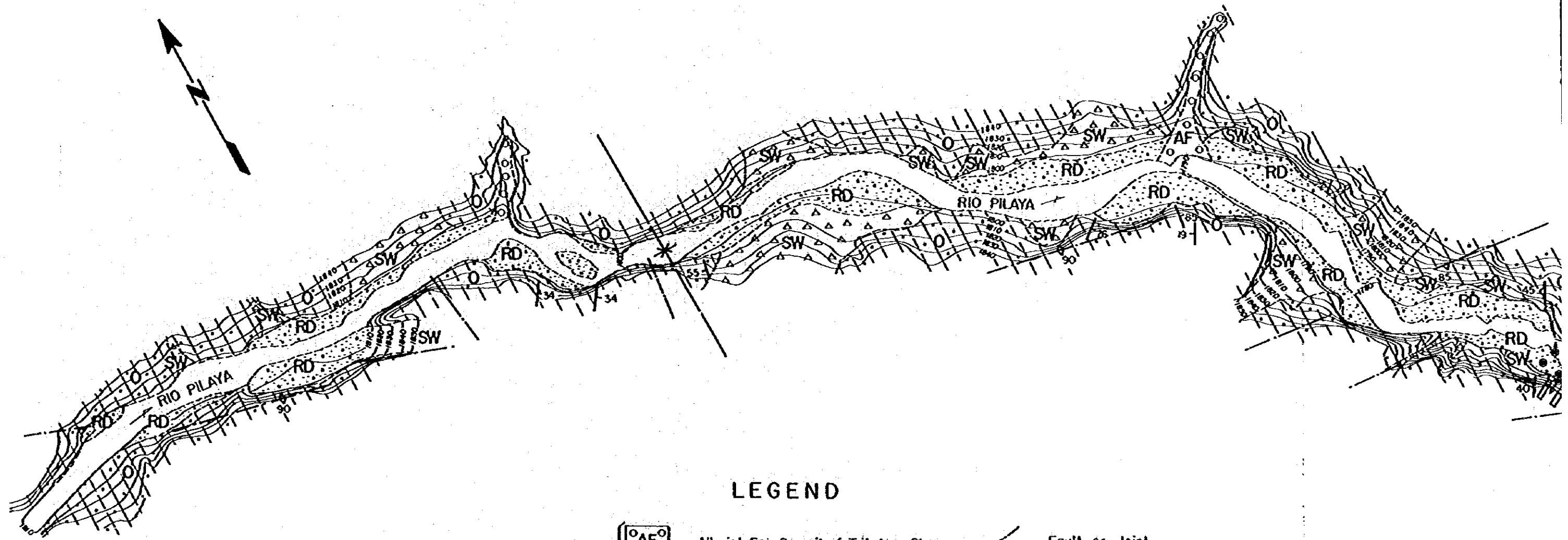
基盤岩石はオールドビス系の珪岩、砂岩などの碎屑岩より成り、その走向はN-SからN30°Eの間を示す。また傾斜は、Lluskha川合流点付近に南北方向にのびる向斜軸が存在するため、一般的にはこの向斜軸より上流側では30°~40°SE、この向斜軸より下流側ではダム地点も含めて40°~55°NWを示す。基盤岩石にはE-W方向の断層もしくは節理が数多く存在しており、それらは地形に明瞭に反映されている。すなわち、断層もしくは節理に沿って深く切れ込んだ谷や垂直に近い崖が各所に存在している。

基盤岩石をおおむね表層堆積物としては、Pilaya川河岸から山腹にかけてSlope washの分布が広く認められる。さらに2つの支川との合流点には、これらの支川から押し出されて堆積した直径数mを越える巨礫を多く含む扇状地堆積物が分布する。Pilaya川河床には、上述のように支川から押し出された巨礫や近傍の崩壊地から流出したと思われる巨礫が多く、小さな礫の分布はわずかしら認められない。Pilaya川の河床堆積物の厚さは、調整池地域全域にわたり30mをいし40mであると推定される。

流域の地形・地質の状態から、Pilaya川による調整池地域への土砂供給は著しい量にのぼることが推定される。(Fig 6-5参照)

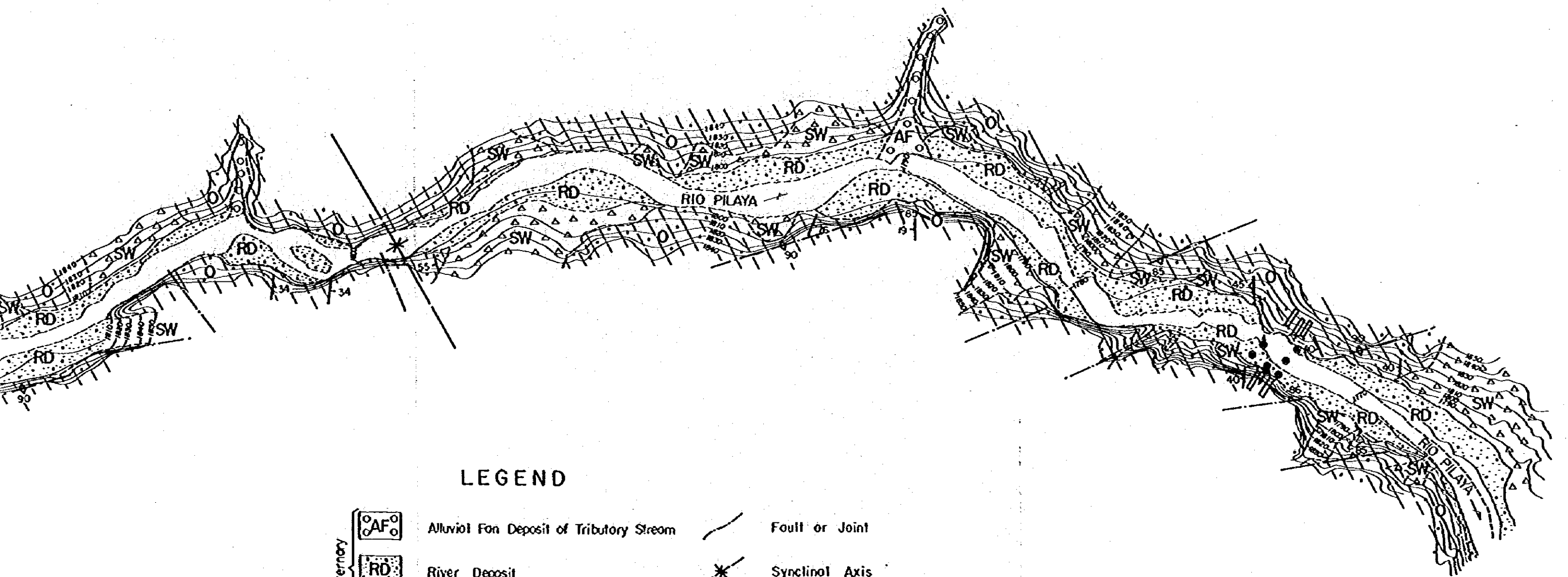






### LEGEND

Quaternary		Alluvial Fan Deposit of Tributary Stream		Fault or Joint
		River Deposit		Synclinal Axis
		Slope Wash		Drill Hole
Ordovician		Quartzite. Quartzose Sandstone. Sandstone. Sandy Slate		Inclined Hole
		Geologic Boundary		Adit
		Strike and Dip of Stratum.		
		Strike and Dip of Joint		



LEGEND

- |            |  |  |  |                |
|------------|--|--|--|----------------|
| Quaternary |  | Alluvial Fan Deposit of Tributary Stream               |  | Fault or Joint |
|            |  | River Deposit  |  | Synclinal Axis |
|            |  | Slope Wash   |  | Drill Hole     |
| Ordovician |  | Quartzite. Quartzose Sandstone. Sandstone. Sandy Slate |  | Inclined Hole  |
|            |  | Geologic Boundary                                      |  | Adit           |
|            |  | Strike and Dip of Stratum                              |  |                |
|            |  | Strike and Dip of Joint                                |  |                |



Fig. 6 - 5  
GEOLOGICAL PLAN OF  
REGULATION RESERVOIR AREA



## 6.4.2 ダム

### (1) 地形

Pitaya川はダム地点で南東に流路を取り、約60mの谷幅を挟んで左岸は約40°、右岸は標高1,860m付近まで約80°の急崖をなす。計画ダム頂標高1,800mでの谷幅は約90mであり、両岸には広範囲に岩盤が露出している。ダム地点にはダム軸と約40°で交わるE-W方向の節理が顕著で、それらに沿って小さいが深く切れ込んだ谷や垂直に近い崖が形成されている。

ダム軸近傍では、ダム軸上流約150mより上流域とダム軸下流約100mより下流域には、川岸のどちらかに Slope wash の分布があり、ダム軸近傍の約200m間は斜面上部からの崩積物を避け得る地形となっている。

### (2) 地質

ダム地点を構成する基盤岩石は、オールドビス系の珪岩および砂岩であり、これらをおおって河床堆積物および Slope wash が分布している。( Fig 6-6 および Fig 6-7 参照)

#### I) 基盤岩石

ダム基礎岩石は、緑灰色を呈する砂岩および青灰色ないし灰白色を呈する珪岩よりなる。その走向・傾斜は概してN 20° E, 40° NWである。すなわち層理面は左岸側斜面とほぼ平行になっている。このため左岸側斜面の露頭では砂岩層のみ見られる。一方右岸側斜面の露頭では、砂岩層と厚さ約5mおよび厚さ約20mの珪岩層との互層が見られる。

これらの岩石は、いずれも低度変成作用を被っており、非常に緻密・堅硬である。

#### II) 地質構造

ダム地点の基礎岩石の節理系は、ほぼE-W, 90°およびN 10°~40° E, 40°~70° S Eの2方向が卓越する。前者は平均20cmから50cm間隔で分布し、連続性があるのに対し、後者は頻度も少なく連続性に乏しい。一般にこれらの節理は密着しているが、比較的地表に近い範囲では、これらの節理および上述の層理面に沿って風化が進行し開口している所もある。特に左岸の横坑LA-1付近の尾根部では、風化にともない岩盤がゆるみ、地表から10m前後の深さまで開隙幅2cmから50cmのオープンクラックが数多く存在する。

既述の通り、左岸側斜面は層理面とほぼ平行であるため岩盤の緩みが生じやすい。工事に際しては、この点に注意する必要がある。

ダム地点両岸山体には断層は認められず、また河床部の岩盤にもこれまでのボーリング結果では断層は発見されていない。

#### III) 基盤岩石の透水性

ダム地点周辺の調査ボーリング孔を用いて実施したルジオンテスト結果を Table 6-

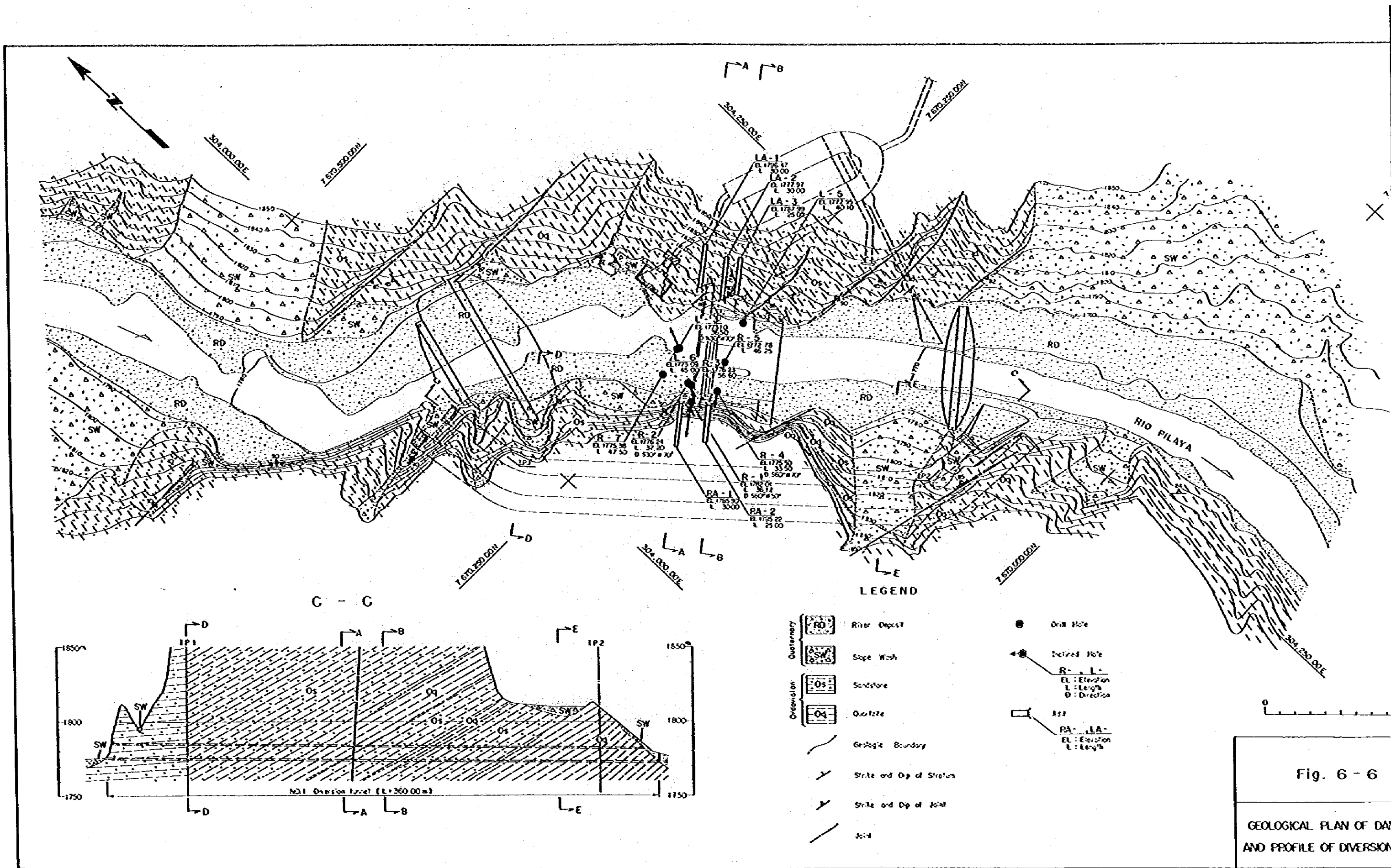
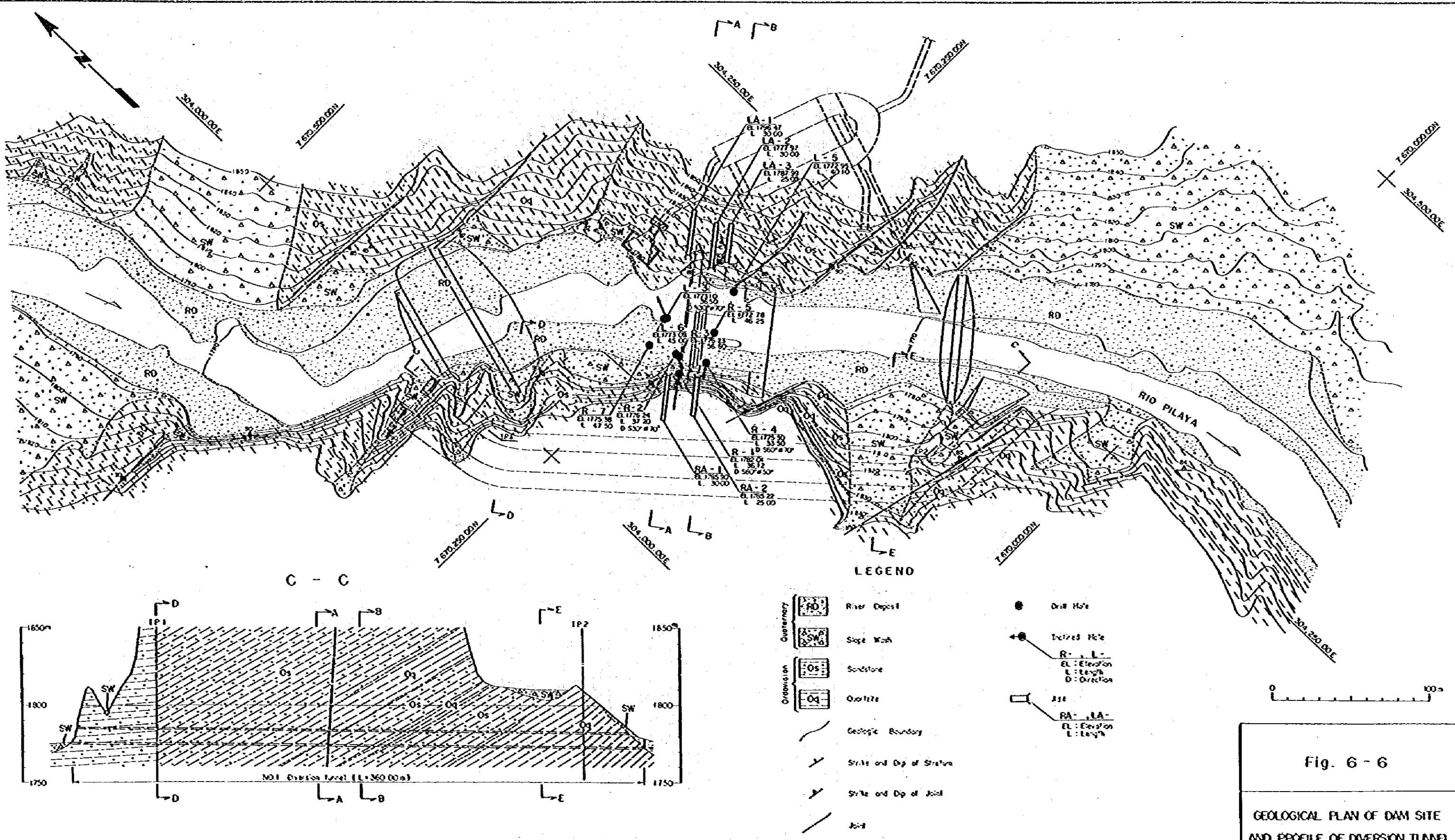


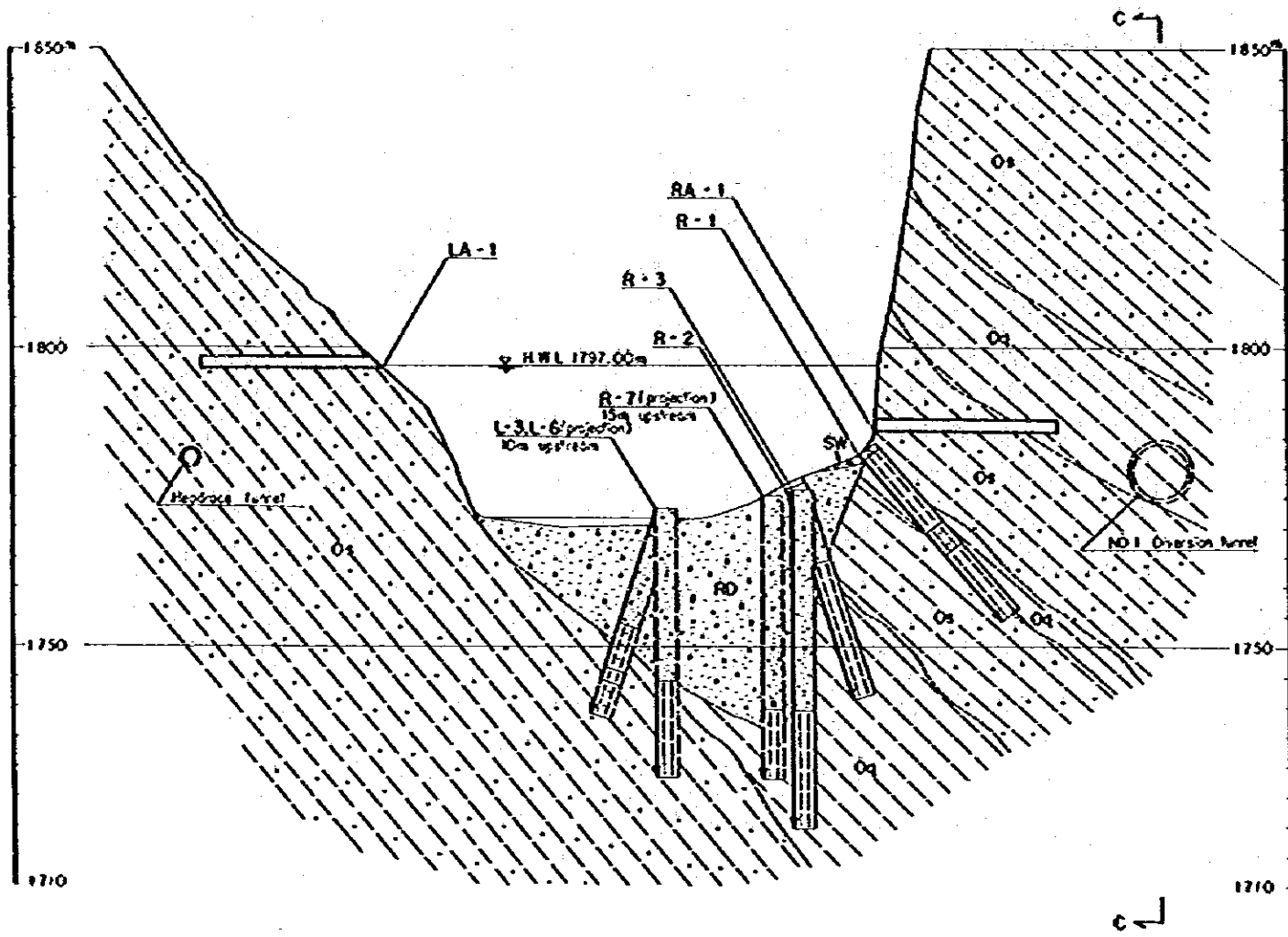
Fig. 6-6

GEOLOGICAL PLAN OF DIVERSION AND PROFILE OF DIVERSION

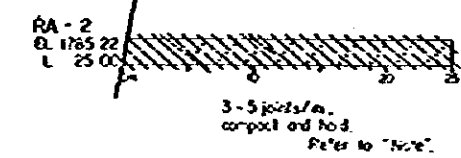
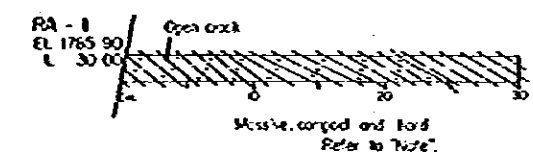
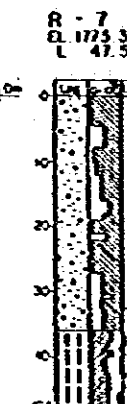
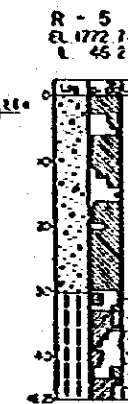
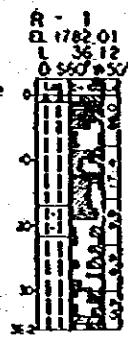
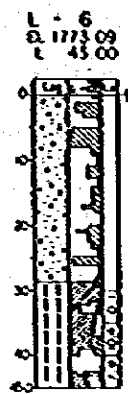
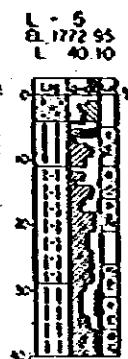
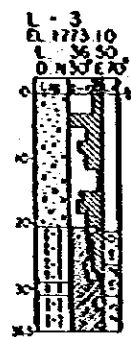
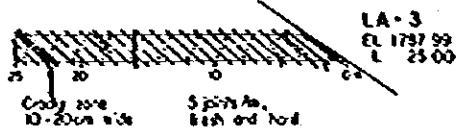
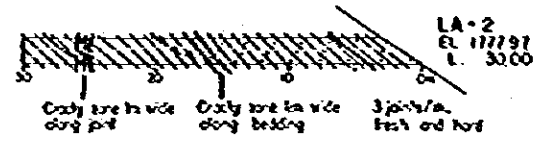
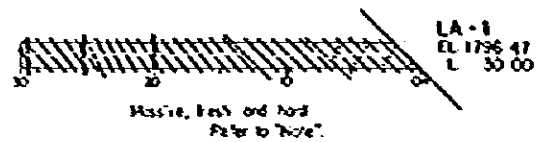
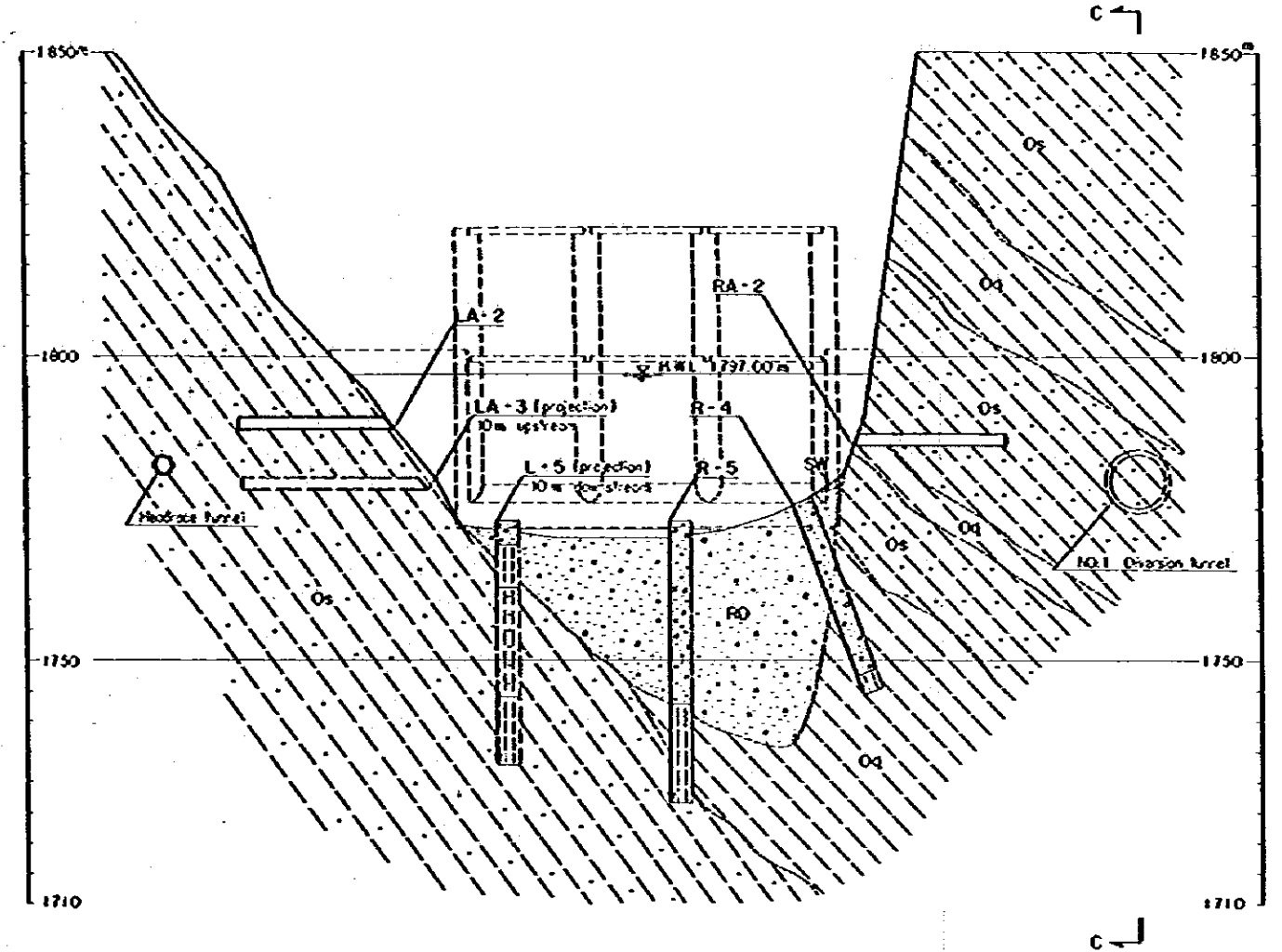


**Fig. 6 - 6**  
**GEOLOGICAL PLAN OF DAM SITE AND PROFILE OF DIVERSION TUNNEL.**

A - A



B - B

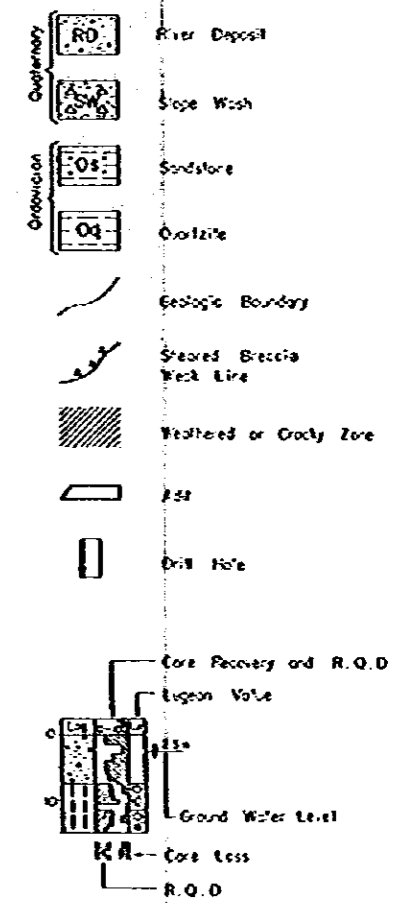
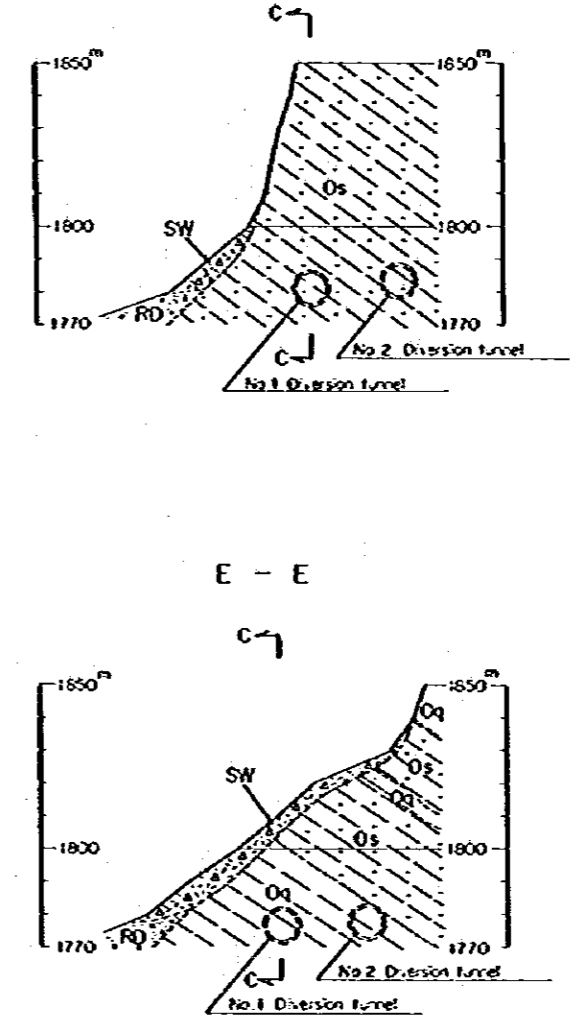
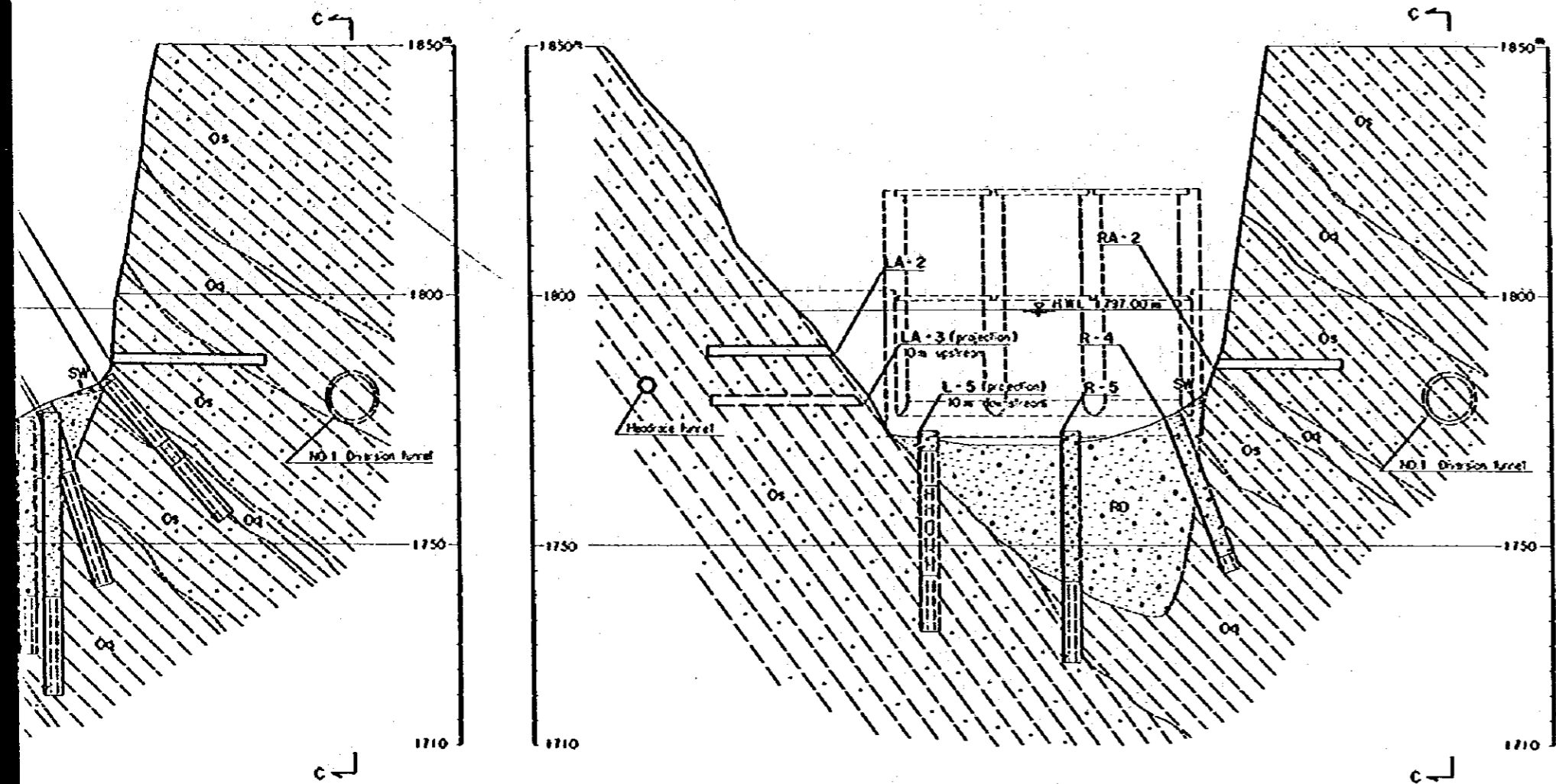




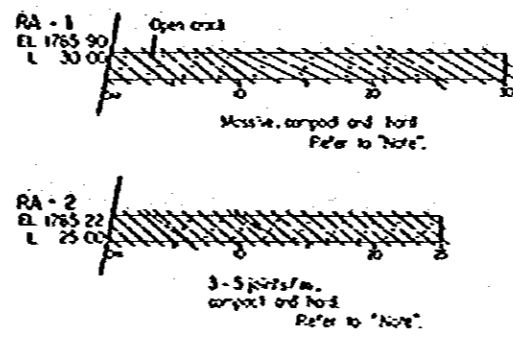
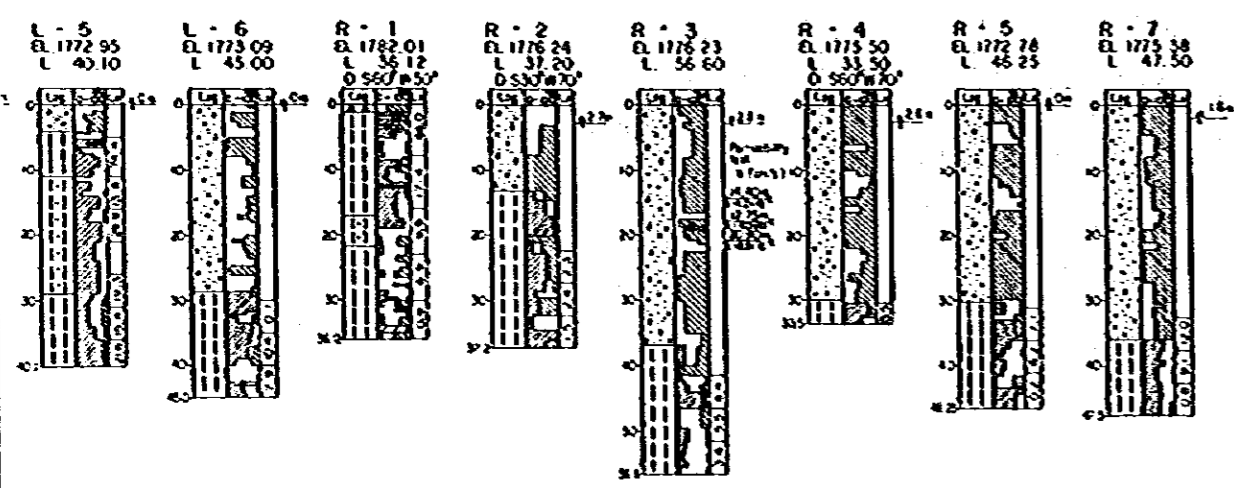
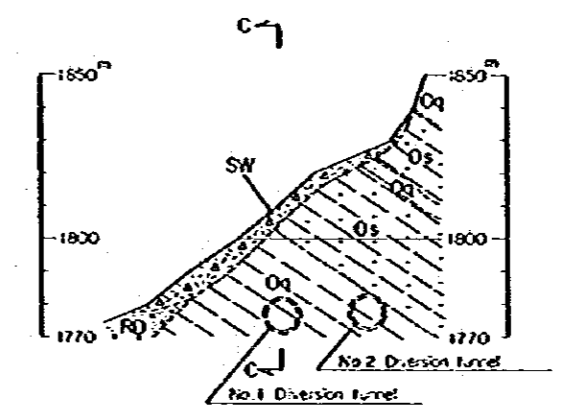
B - B

D - D

LEGEND



E - E



Note: The Sources of logs of LA-1, RA-1 and RA-2 are PROYECTO HIDROELECTRICO PLAYA, GEOLOGIA Y GEOTECNIA ESTUDIO DE FACTIBILIDAD, FEBRERO 1981, by ENDE.

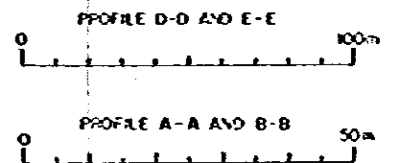


Fig. 6 - 7

GEOLOGICAL PROFILE OF DAM SITE



3に示す。

この結果によれば、ダム地点の岩盤は概ね10ルジオン(Lugeon)以下の低い透水性を示す。左岸斜面に最も近い地点で実施されたL-5ボーリング孔は、各試験区間でいずれも10ルジオン以上を示す。これは上述のように左岸斜面が層理面と平行で、岩盤の緩みに起因するクラックが多いためと判断される。

また各ボーリング孔毎の平均R.Q.D(Rock Quality Designation)は、60%前後を示す孔が多く、Deere et al(1967)の分類によれば“概ね良好”と言えるであろう。Table 6-4に各ボーリング孔毎の平均R.Q.Dを示す。

Table 6-4 R.Q.D. in Average at Dam Site

Hole No.	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-7	L-3	L-5	L-6
R.Q.D.	35.0%	56.7%	29.3%	64.7%	45.3%	60.9%	68.2%	64.9%	57.2%

#### IV) 岩石試験

ダム地点および発電所地点のボーリングコアを使用して実施した岩石試験結果はTable 6-5に示す通りである。

この結果によれば、ダム地点の砂岩は非常に堅硬で、一軸圧縮強度 $2,531 \text{ kg/cm}^2$ 、引張強度 $218 \text{ kg/cm}^2$ を示す。ダム地点に分布する珪岩も、おそらく砂岩の有する強度と同じか、もしくはそれ以上の強度を有していると推定される。

#### V) 表層堆積物

##### a) 河床堆積物

河床堆積物は、主として大礫や巨礫とこれを充填する細粒砂から成る。礫の円磨度はSub angularないしSub roundedで、礫はほとんど堅硬な珪岩や砂岩などから成る。ダム地点での分布は、幅約60mで、ボーリング結果によればその厚さは最大40mに達する。ボーリングおよび地表斜面の傾斜から推定した河床堆積物の最深部は、Fig 6-7に示した通り、やや右岸側寄りに存在する。

なお、河床堆積物内での透水試験は、R-3ボーリング孔を用いて実施されている。それによれば、河床堆積物の透水係数は深度14.40mで $k$ (Coefficient of Permeability)  $= 4.2 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 、深度17.75mで $k = 4.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ および深度20.80mで $k = 8.8 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ と報告されている。

##### b) Slope wash

Slope washは、①右岸ダム軸標高1,780m付近の狭い範囲、②ダム軸上流約250mより上流域の左右岸、③ダム軸下流約100mより下流域の左右岸、の3地点に比較

Table 6-3 Results of Water Pressure Tests of Bedrock

Hole No.	Test Section (m)	Water table (m)	Effective pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Lugeon (L/mfn/m /10kg/cm <sup>2</sup> )	Rock
R - 1	0.00 ~ 7.90	0.00	3.50	—	Slope wash & Quartzite
	7.90 ~ 16.04	"	5.77	17.4	Quartzite
	16.04 ~ 23.14	"	7.93	9.9	Sandstone & Quartzite
	23.14 ~ 30.00	"	9.10	6.9	Quartzite
	25.00 ~ 30.00	"	12.20	5.4	"
	30.00 ~ 36.12	"	12.70	0.9	"
R - 2	22.00 ~ 27.20	2.70	10.51	2.3	Quartzite
	27.20 ~ 32.20	"	10.53	2.4	"
	32.20 ~ 37.20	"	10.46	1.5	"
R - 3	41.50 ~ 46.50	2.40	10.60	6.4	Quartzite
	46.50 ~ 51.50	"	10.54	5.5	"
	51.50 ~ 56.50	"	10.47	3.6	"
R - 4	30.45 ~ 33.50	2.60	10.46	13.5	Quartzite
R - 5	31.00 ~ 36.00	0.00	10.35	7.1	Quartzite
	36.00 ~ 41.00	"	10.32	6.2	"
	41.00 ~ 46.25	"	10.24	0.2	"
R - 7	32.50 ~ 37.50	1.60	10.47	12.0	River Deposit & Quartzite
	37.50 ~ 42.50	"	10.45	9.1	Quartzite
	42.50 ~ 47.50	"	10.47	0.8	"
L - 3	21.20 ~ 26.20	0.00	10.21	14.0	Sandstone
	26.20 ~ 31.30	"	10.16	15.2	Sandstone & Quartzite
	31.00 ~ 36.50	"	10.34	2.3	Sandstone
L - 5	5.00 ~ 11.00	0.00	3.12	—	Quartzite
	11.00 ~ 16.00	"	10.15	13.8	Sandstone
	16.00 ~ 21.00	"	10.35	29.9	"
	26.00 ~ 31.00	"	7.23	19.3	Sandstone & Quartzite
	31.00 ~ 36.00	"	7.23	15.4	Quartzite
	36.00 ~ 40.10	"	7.09	21.6	"
L - 6	30.00 ~ 35.00	0.00	10.36	0.1	Quartzite
	35.00 ~ 40.00	"	10.16	10.4	"
	40.00 ~ 45.00	"	10.35	7.9	"

Table 6-5 Results of Rock Tests

Sample No.	1	2
Name of drill hole	R - 1	PH - 3
Depth	13.0 ~ 13.15 m	43.95 ~ 44.10 m
Rock name	Sandstone	Quartzite
Unconfined compressive strength $\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	2,531 L/D = 9.85/4.72 = 2.09	1,304 (This sample contains a crack)
Tensile strength $\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	218 L/D = 2.46/4.72 = 0.52	210 L/D = 2.52/4.77 = 0.53
Brittleness index	11.6	6.2
Dynamic modulus of elasticity $E_D$ (kg/cm <sup>2</sup> )	648,000	795,000
Static modulus of elasticity $E_S$ (kg/cm <sup>2</sup> )	494,000	587,000
Dynamic Poisson's ratio, $\nu_D$	0.10	0.25
Static Poisson's ratio, $\nu_s$	0.11	0.14
Elastic wave velocity		
S wave, $V_s$ (m/sec)	3,283	3,162
P wave, $V_p$ (m/sec)	4,925	5,477
Shore hardness $H_s$	100 (86 ~ 107)	108 (101 ~ 115)
Specific gravity $\gamma$	2.67	2.65
Absorption (%)	0.24	0.24

的顕著に見られる。Slope washを構成する材料は、主として珪岩や砂岩からなる直径数cmから数十cmの角礫を大量に含み、その間を少量の土砂が充填している。その厚さは分布する広さによって異なり、ダム地点近傍で最も広い分布を見せる上記③地点の左岸では15m以上と推定できるが、他の2地点はこれより薄いものと考えられる。

### 6.4.3 導水路トンネル

#### (1) 地形

長さ10.4km、ほぼN74°E方向を取る導水路トンネルは、その中間点付近で標高約3,800mの山体を横断するため、地表までの被りは最大2,000mに達する。トンネル経過地の地形から判断して、トンネルの途中に作業坑を設けることは困難と考えられる。

#### (2) 地質

トンネル経過地は、緻密・堅硬なオルドビス系の珪岩、砂岩および頁岩などの砕屑岩から構成されると予想される。(Fig 6-3参照)

トンネル中間点付近には、南北方向に長くのびる背斜軸が存在し、また調圧水槽付近にも南北方向にのびる向斜軸・背斜軸が存在する。導水路トンネルは、これらの褶曲軸に対して直角に近い角度で交わる形となる。トンネル経過地に存在する断層については、航空写真判読によれば、5km以上の長い距離にわたり連続性のある線構造は認められない。しかしながらN50°~60°W、E-W、およびN50°~60°Eの3方向の線構造が3km以下の長さで断片的に分布している。

今後の問題として、これら線構造を現地で確認する調査が必要であると共に、トンネル掘削中の湧水問題に関連の深い地下水調査が必要であろう。

#### (3) 地下湧度

発電所地点の下流約7kmのPilaya川沿いで、温度60°C前後の温泉水が毎秒5Lないし10L程度湧出している地点が今回の調査で見つかった。その温泉水は、Pilaya川左岸から流入する支川が形成した扇状地堆積物と、Pilaya川の河床堆積物との境界付近から湧出している。近傍の基盤岩石は、石英・長石の他に若干の絹雲母・緑泥石・リザーダイト・赤鉄鉱などを含む砂岩や砂質粘板岩から成る。

日本において実施したこの温泉水の化学分析結果をTable 6-6に示す。

Table 6-6 Chemical Analysis of Thermal Water

	mg/l	m·ep/l
Na	380.0	16.529
K	21.5	0.550
Ca	69.2	3.453
Mg	35.4	2.913
Cl	210.0	5.923
SO <sub>4</sub>	610.0	12.701
HCO <sub>3</sub>	182.4	2.989
CO <sub>3</sub>	1.9	0.063
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5.7	0.092
SiO <sub>2</sub>	50.0	0.832
pH	7.80	
T.S.M	1566.1 mg/l	

この分析結果を基に、地下深部に存在する熱水系の地下温度を推定するために、Truesdell (1977) が提案したシリカ温度 ( $T_{SiO_2}$ ) およびアルカリ比温度 ( $T_{Na-K-Ca}$ ) を計算により求めた。その値は次の通りである。

$$T_{SiO_2}(\text{adia}) \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1,533.5}{5.768 - \log SiO_2} - 273.15 = 104 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{SiO_2}(\text{cond}) \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1,315}{5.205 - \log SiO_2} - 273.15 = 102 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(SiO<sub>2</sub> in ppm)

$$T_{Na-K-Ca} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1,647}{\log (Na/K) + \beta \log (Ca/Na) + 2.24} - 273.15 = 154 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(Na, K, Ca in moles/liter,  $\beta = 4/3$  or  $1/3$ )

この計算結果は、採取地点の温泉水には地下水が混入していることを示唆している。すなわち、SiO<sub>2</sub> の溶存濃度を用いて計算するシリカ温度 ( $T_{SiO_2}$ ) に比して、溶存成分の比率を用いて計算するアルカリ比温度 ( $T_{Na-K-Ca}$ ) が高い温度を示している。また、地下水の混入は分析結果から作成したヘキサダイアグラムからも推定することができる。

以上のことからこの温泉水はアルカリ比温度からみて、初生的には 150 °C 前後の温度を有して、地表に湧出するまでに地下水による希釈を受けて形成されたものと推定される。

現在のところ、この温泉水と導水路トンネル経過地との関連を言及するにはデータに乏しい。もし温泉の影響があれば本トンネルは部分的に高温地帯を掘削することになる恐れがある。日本においては高温地帯を通過したトンネルの例は多い (最高温度 175 °C)。し

かしいずれのトンネルにおいても換気装置、冷却装置等の十分な設備を整えたいうえで貫通した。

今後導水路トンネル経過地の地下温度推定のために、計測地点を含む広範囲にわたる断裂系の調査、温泉徴候地点の調査の他に、多角的な調査が必要と考えられる。その調査法としては次のような項目が挙げられよう。

- 赤外線熱映像写真を用いた調査
- 放熱量調査
- 地温分布調査
- ボーリング調査

#### 6.4.4 調圧水槽、水圧管路および発電所

##### (1) 地 形

調圧水槽、水圧管路および発電所地点は、Pilaya川とAgua Caliente川との合流点近くのPilaya川左岸斜面に位置する。本地点は下流側をAgua Caliente川に、また上流側をPilaya川に注ぐ小河川によって隔てられた幅約400mの比較的凹凸の少ない斜面となっている。斜面の傾斜は急な所で約60°全般には約45°である。

##### (2) 地 質

本地点を構成する基盤岩石は、オルドビス系の珪岩および砂岩であり、これらをおおってSlope wash、扇状地堆積物および河床堆積物が分布している。(Fig 6-8, Fig 6-9およびFig 6-10参照)

##### 1) 基盤岩石

基盤岩石は緻密・堅硬な、緑灰色を呈する砂岩および青灰色ないし灰色を呈する珪岩よりなる。地層の走向・傾斜は、本地点の斜面とはほぼ平行なN 10°E, 20°~50°SEを示す。節理はPilaya川を横断する方向のN 70°~80°E, 90°が卓越する。

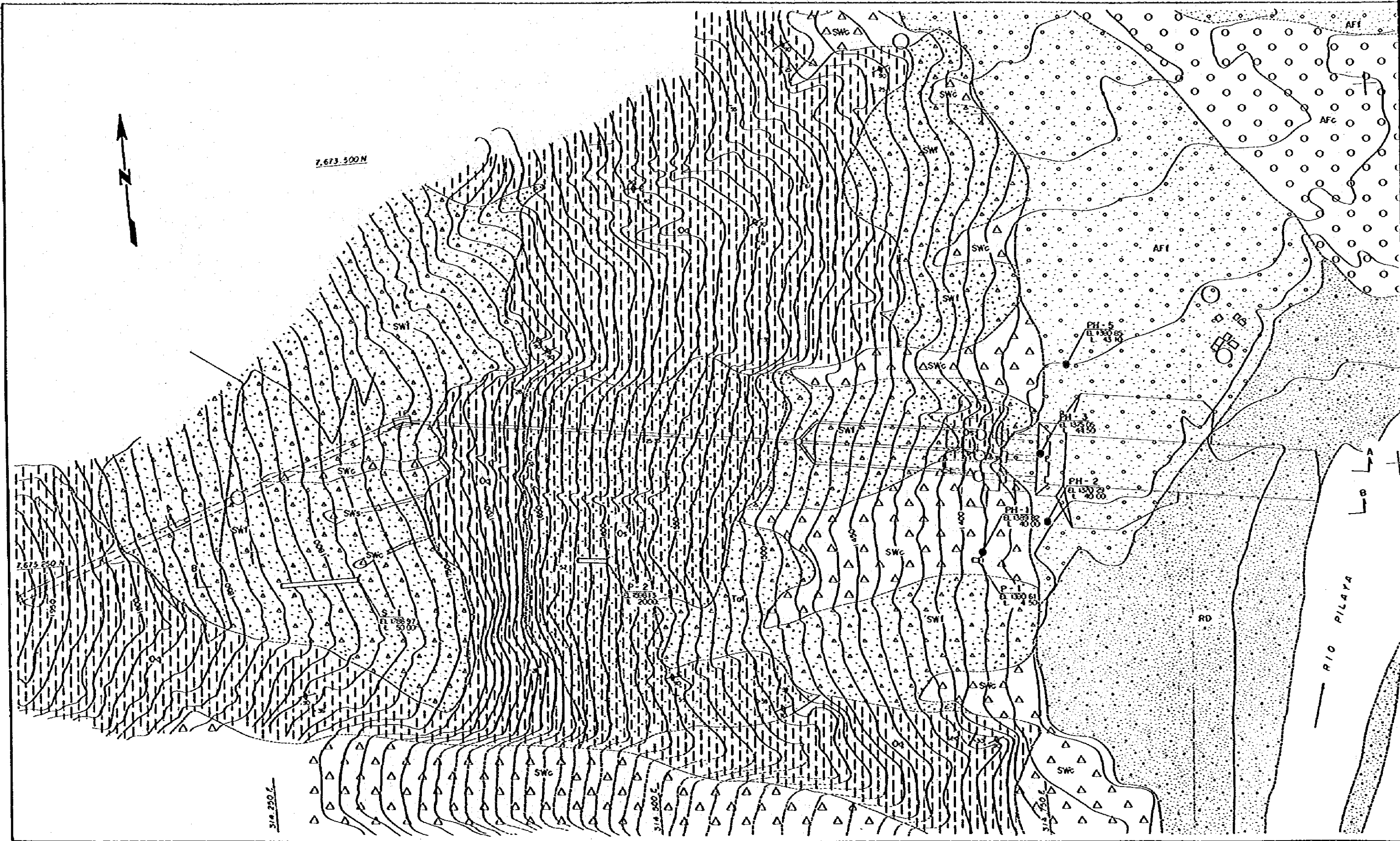
調査横坑P-1, P-2で観察されるように、地表から深さ2mないし3mは風化が進行し亀裂が多いものの、それ以深では、比較的良好な密着した亀裂が所々に存在するのみで、新鮮・堅硬な岩盤が広く分布する。しかしながら標高1,650mから1,750mにかけての傾斜約60°の急傾斜部に露出している岩盤およびこの急斜面部を挟んで下方へのびる2つの尾根に露出している岩盤は、岩盤表面が風化変色し、クリーブ性の緩みを生じてオープンクラックが多い。本地点の位置する斜面は層理面とはほぼ平行であるため、このようなクリーブ性の緩みが生じやすい。このため工事の際の岩盤掘削の場合、斜面の崩壊に対して十分な注意が必要と考えられる。

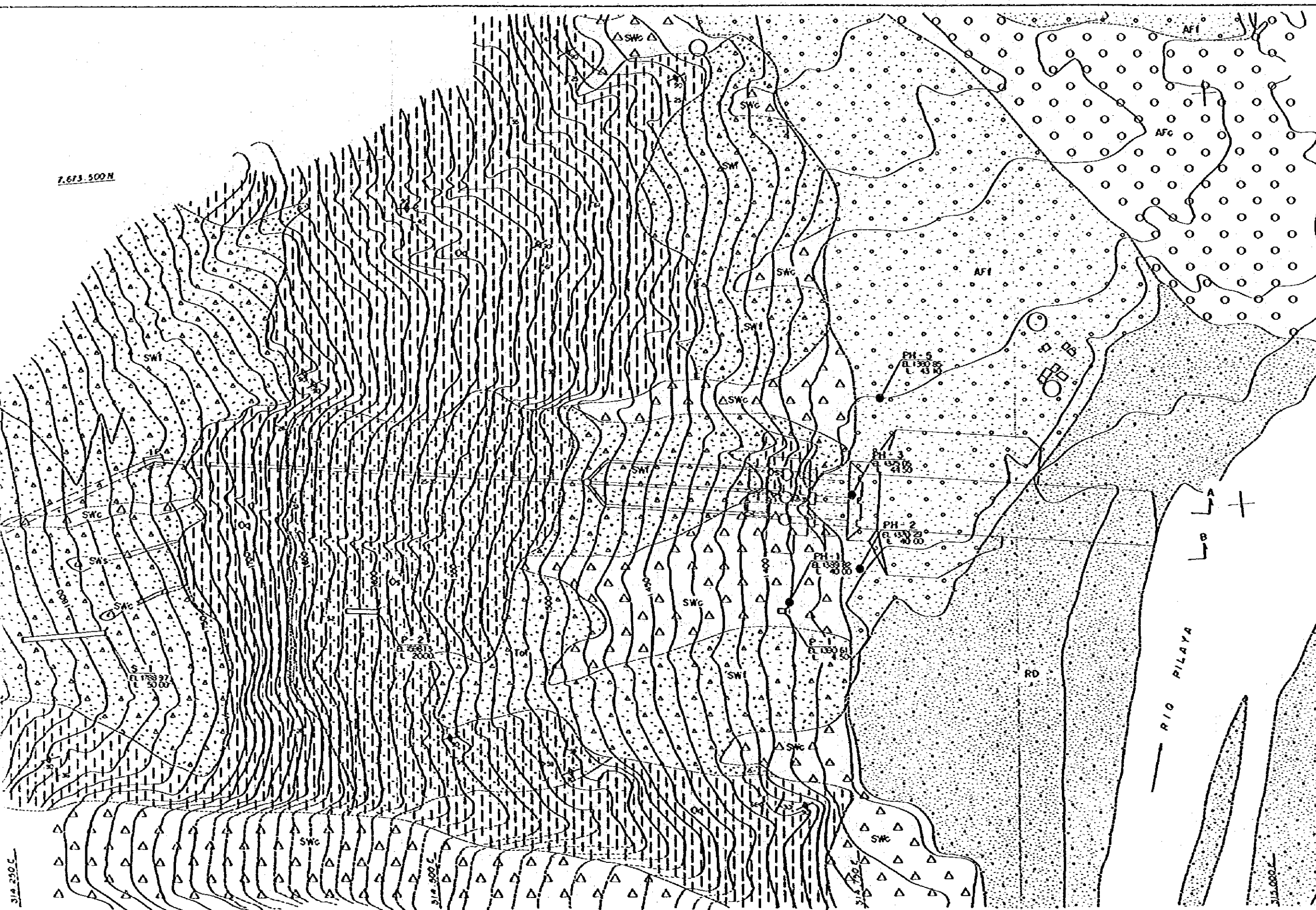
##### 2) Slope wash

Slope washは、斜面の標高約1,750m以上、および標高約1,500m以下に分布する。









**LEGEND**

- |            |  |   |
|------------|--|---|
| Quaternary |  | Alluvial Fan Deposit<br>mainly consists of rock fragments |
|            |  | Alluvial Fan Deposit<br>mainly consists of fine material  |
|            |  | River Deposit   |
|            |  | Slope Wash<br>mainly consists of rock fragments           |
|            |  | Slope Wash<br>mainly consists of fine material            |
| Cretaceous |  | Sandstone   |
|            |  | Quartzite   |
|            |  | Geologic Boundary   |
|            |  | Strike and Dip of Stratum                                 |
|            |  | Strike and Dip of Joint                                   |
|            |  | Drill Hole  |
|            |  | PH-1<br>EL: Elevation<br>L: Length                        |
|            |  | A-1<br>S: S<br>P: P<br>EL: Elevation<br>L: Length         |

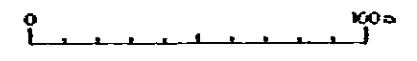
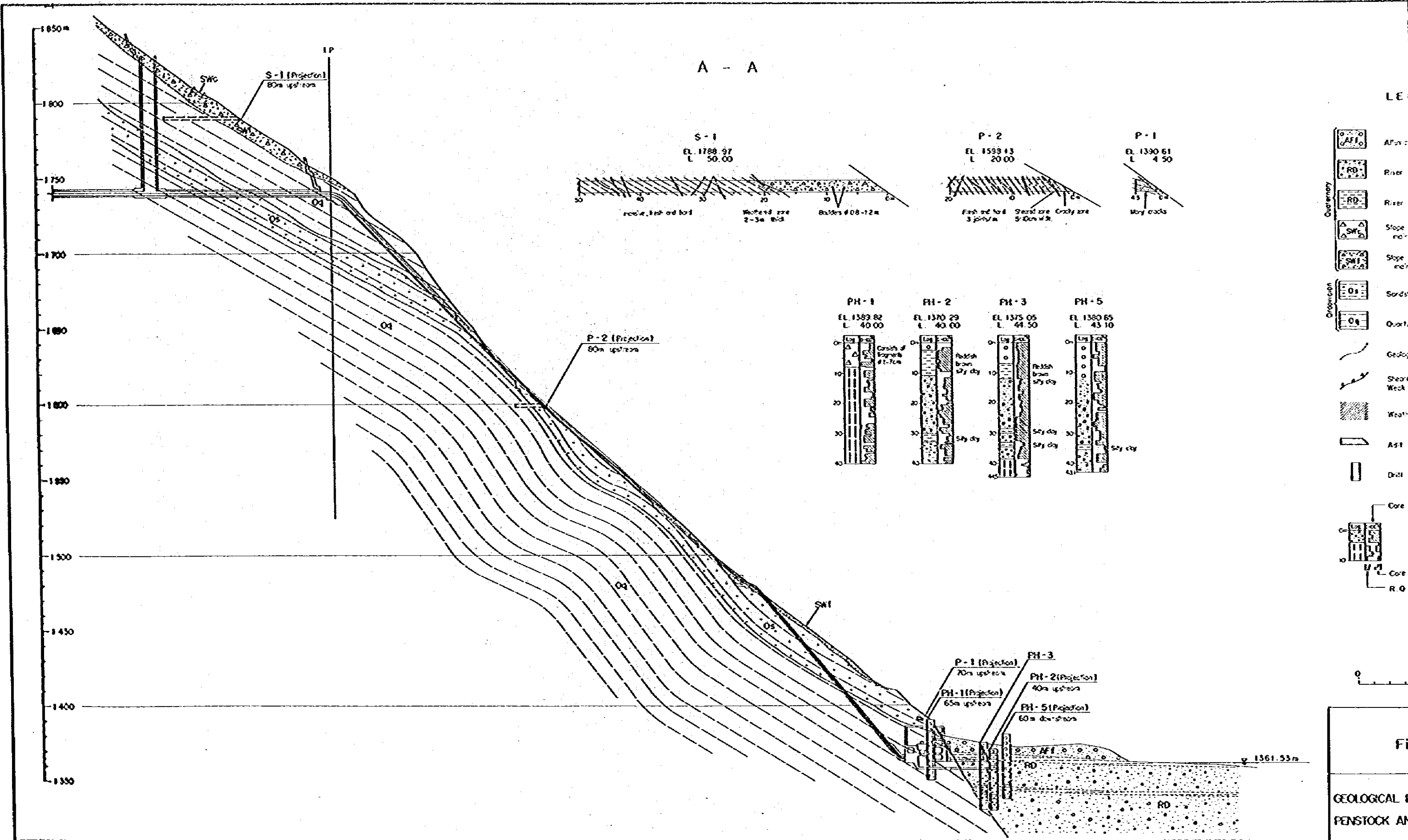


Fig. 6 - 8

GEOLOGICAL PLAN OF SURGE TANK,  
PENSTOCK AND POWERHOUSE SITE



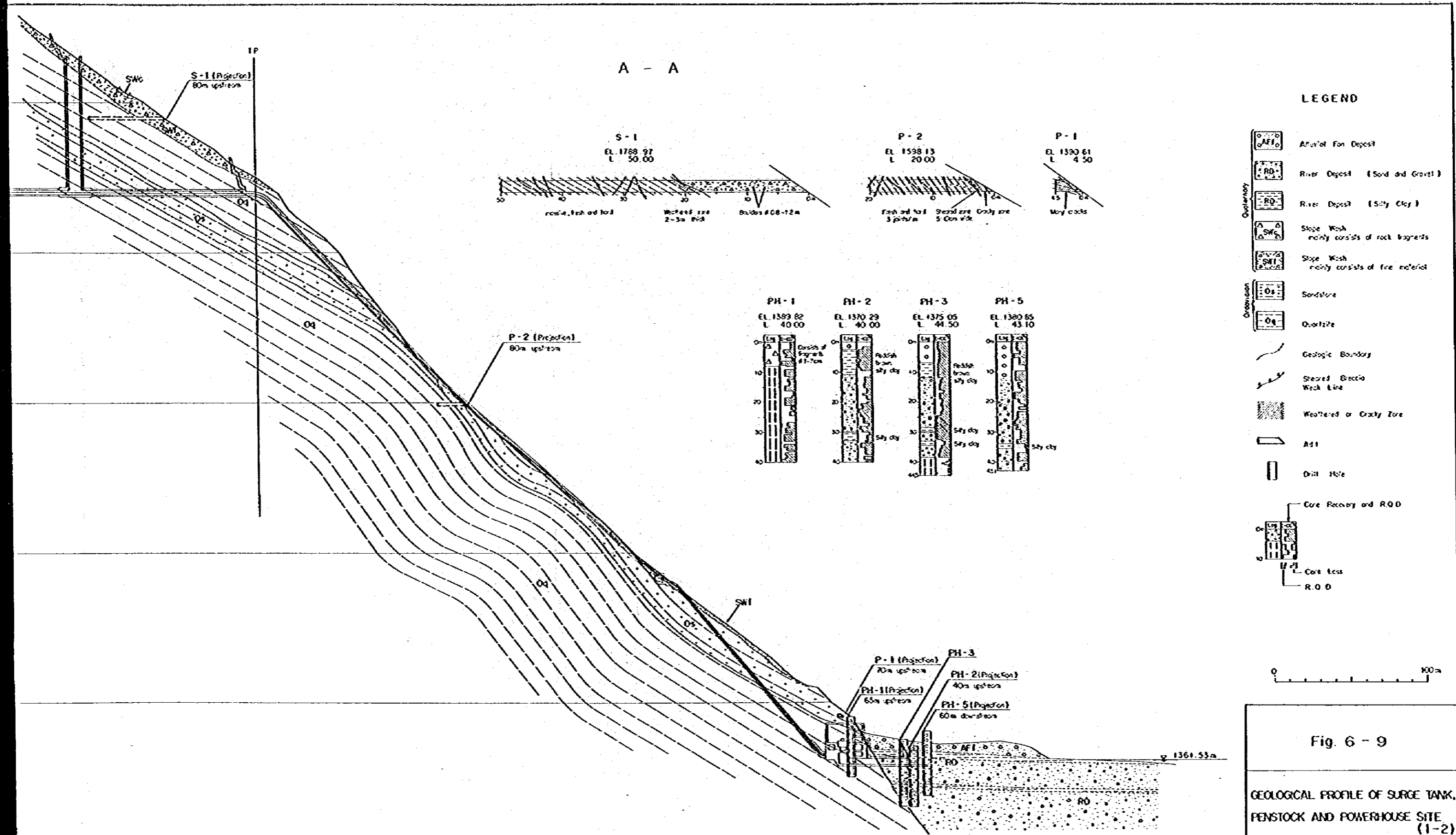
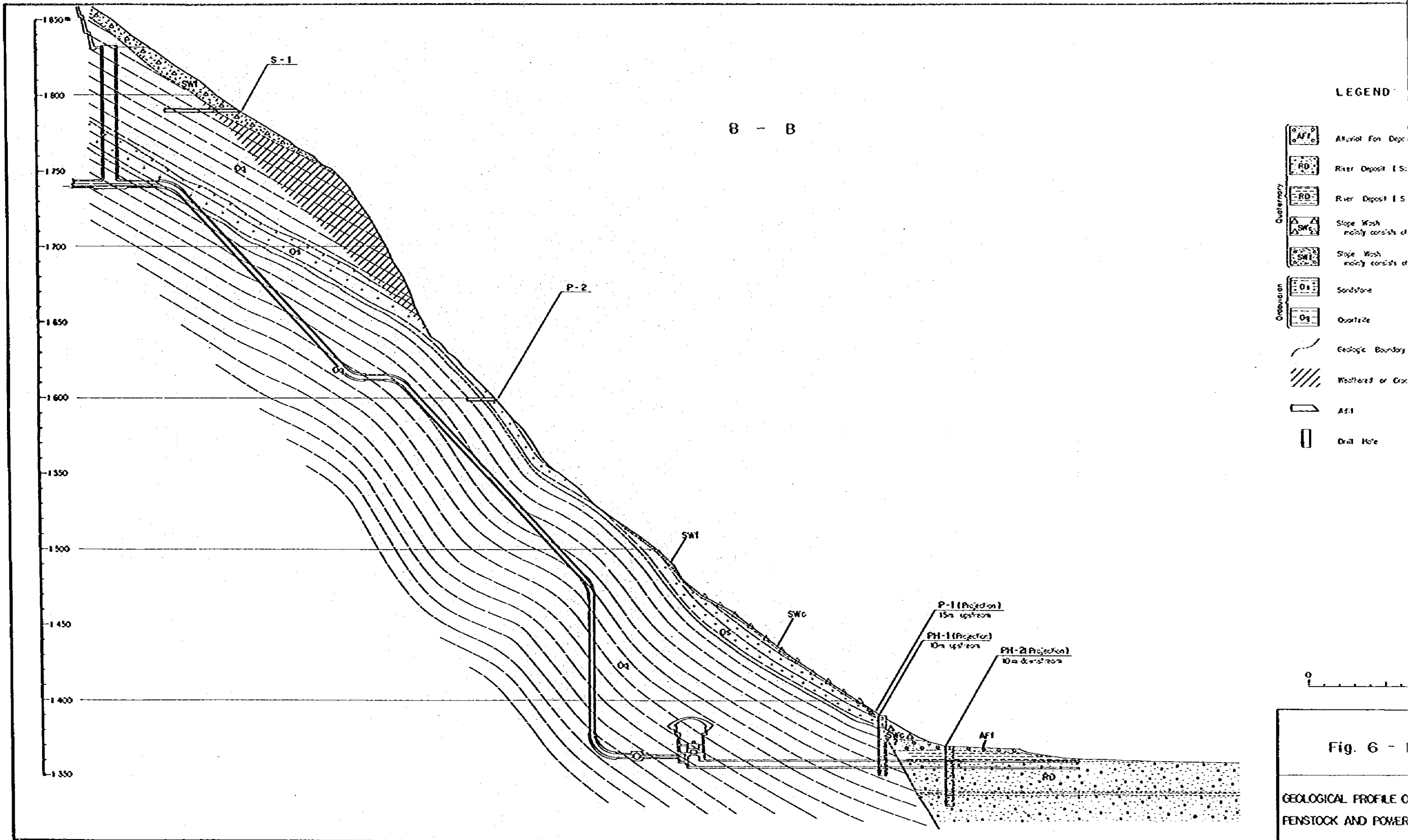
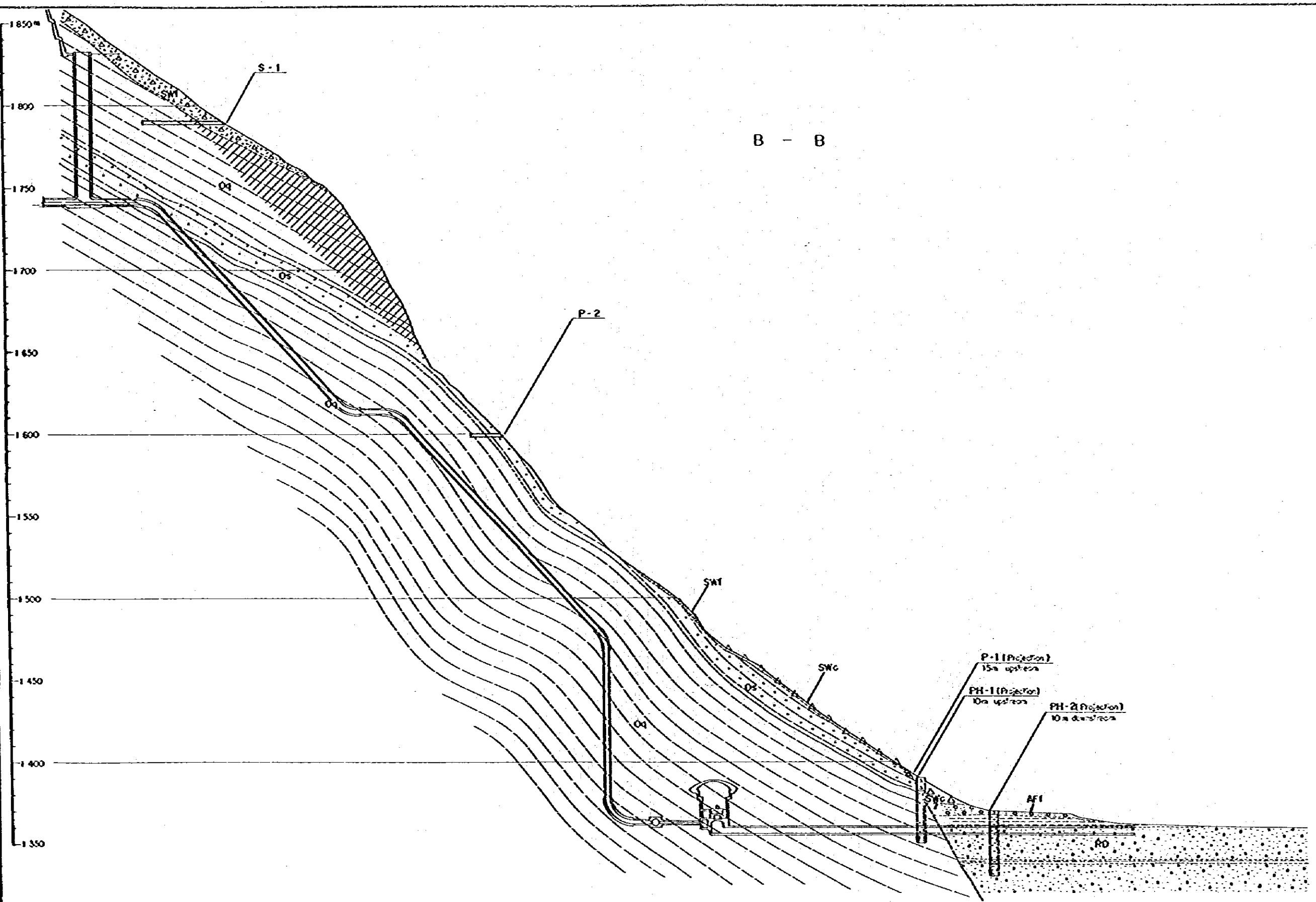


Fig. 6 - 9

GEOLOGICAL PROFILE OF SURGE TANK,  
PENSTOCK AND POWERHOUSE SITE  
(1-2)





**LEGEND**

- Alluvial Fan Deposit
- River Deposit ( Sand and Gravel )
- River Deposit ( Silty Clay )
- Slope Wash  
mainly consists of rock fragments
- Slope Wash  
mainly consists of fine material
- Sandstone
- Quartzite
- Geologic Boundary
- Weathered or Cracky Zone
- Aft
- Drill Hole

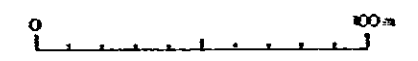


Fig. 6 - 10

GEOLOGICAL PROFILE OF SURGE TANK,  
PENSTOCK AND POWERHOUSE SITE  
(2-2)





含有する細粒物質の量比から、Slope wash は、細粒物質の多い比較的古い時代に堆積したと考えられるものと、細粒物質の少ない比較的新しい時代に堆積したと考えられるもの、に分けられる。

斜面の標高約 1,750m 以上に分布する Slope wash は、調査横坑 S-1 の観察によれば、地表から水平距離にして 17 m の厚さを有する。概して直径 10cm から 20 cm の珪岩や砂岩からなる角礫と細粒物質から成るが、所々に直径 1 m 前後の巨礫を含むこともある。斜面の標高約 1,500m 以下に分布する Slope wash は、末端部の河床堆積物との境界付近では、その層厚は厚いことが考えられるが一般には 1 m 前後と推定される。

#### III) 扇状地堆積物

扇状地堆積物は、Agua Caliente 川から流出した土石が Pilaya 川との合流点で堆積したもので、これも Slope wash と同様、細粒物質の量比から、比較的古い時代に堆積したと考えられるものと比較的新しい時代に堆積したもの、に分けられる。礫は珪岩や砂岩からなり、一般に巨礫が多く、中には直径 7 m から 8 m にもおよぶ巨大な礫も認められる。

この堆積物の供給源は、Agua Caliente 川上流の標高 3,000m 付近にある大規模な崩壊地と考えられる。一時期に集中して多量に流出された土石が Pilaya 川を塞ぎ止めることがしばしばあり、近くは 1977 年 11 月にも発生している。このため Pilaya 川には過去において標高約 1,370m まで水位が上昇したことを示す堆積面が認められる。

#### IV) 河床堆積物

河床堆積物はシルト質粘土、砂および大小様々の礫より成る。ボーリング結果によれば、河床堆積物の中には、標高 1,360m 付近および標高 1,340m 付近に水平的に広がる層厚 1 m から 5 m の赤褐色シルト質粘土が分布している。これは前項 III) で述べたように Agua Caliente 川からの土石流出により Pilaya 川が塞ぎ止められた結果、合流点より上流が湖沼化した際に堆積したものと考えられる。このことから Pilaya 川は少なくとも 2 回は塞ぎ止められたことが確認された。

## 6.5 建設材料

本計画に必要な建設材料としては、ダムトンネルおよび発電所などに必要なコンクリート骨材および仮橋切ダムのための不透水性材料が挙げられる。これらの建設材料の採取地点としては、経済的な観点から、ダム地点・発電所地点周辺およびアクセス道路を Paichu ルートに選定した場合を考慮すれば、ダム地点上流約 3.5 km に流入する Paichu 川沿い、などが挙げられよう。これらの地点での材料調査が ENDE により実施され、PROYECTO HIDROELECTRICO PILAYA, MATERIALES DE CONSTRUCCION, SEPTIEMBRE 1981 \* にその結果が報告されている。(APPENDIX-II 参照)。

上記各地点に分布する河床堆積物・扇状地堆積物などの表層堆積物は、主として珪岩・砂岩などの新鮮・堅硬な礫を大量に含んでおり、これらはふるい分けと破砕によってコンクリート骨材として十分利用でき、また量的にも十分確保されると判断される。

不透水性材料としては、河床堆積物および Slope wash に含まれる粘土分が候補として挙げられよう。しかし BNDI による調査結果によれば最も粘土の含有量の多いダム下流左岸地点の Slope wash でも、粘土含有量は 8% (重量%) しかなく、このため経済的に採取可能か否か、今後調査・検討が必要である。

## 第7章 水力発電計画

## 第7章 水力発電計画

7.1 全体計画	7-1
7.1.1 計画地域の位置	7-1
7.1.2 計画地域の概要	7-1
7.2 開発計画の概要	7-4
7.2.1 計画概要	7-4
7.2.2 土木構造物	7-5
7.2.3 水車・発電機	7-15

## TABLE LIST

Table 7-1 Selection of Pelton Turbine

## FIGURE LIST

Fig.	7-1-(1)	Key and Location Map
	7-1-(2)	General Plan
	7-2	Rating Curve of Spillway
	7-3	Economical Diameter of Headrace Tunnel
	7-4	Surging Curve
	7-5	Economical Diameter of Penstock
	7-6	General Map
	7-7	Reservoir Storage Capacity Curve
	7-8	Dam -- General Plan
	7-9	Dam -- Plan
	7-10	Dam -- Profile and Sections
	7-11	Cofferdam -- Plan, Profile and Sections
	7-12	Diversion Tunnel -- Plan, Profile and Section
	7-13	Intake -- Plan, Profile and Sections
	7-14	Sedimentation Basin -- Plan, Profile and Sections
	7-15	Headrace Tunnel -- Plan, Profile and Sections
	7-16	Surge Tank -- Plan and Sections
	7-17	Penstock Line and Tailrace -- General Plan
	7-18	Penstock -- Profile and Sections
	7-19	Powerhouse -- Plan and Sections
	7-20	Single Line Diagram for Pilaya Power Station
	7-21	Switchyard Arrangement for Pilaya Power Plant



## 第7章 水力発電計画

### 7.1 全体計画

#### 7.1.1 計画地域の位置

ピラヤ水力発電計画は、ボリビア国南部の Chuquisaca 県と Tarija 県の県境を東方に流下する Pilaya 川の中流部に取水ダムを設け、ダム水路式発電で発電する計画である。対象となる流域は、南緯  $19^{\circ}35'$  ~  $22^{\circ}38'$ 、西経  $64^{\circ}32'$  ~  $67^{\circ}06'$  に位置し、ダム地点に於ける流域面積は  $43,640 \text{ km}^2$  におよぶ。取水ダム、発電所等の主要構造物は Tarija 県の県都 Tarija 市の北方約  $55 \text{ km}$  に位置する。

#### 7.1.2 計画地域の概要

Pilaya 川は、Fig 7-1 に示す通り Tumusla 川と San Juan del Oro 川の2つの支流が合流して形成されている。Tumusla 川は、Frailas 山脈の南端および Altiplano の山裾を流下している。この河の源流は Yura 川と呼ばれ標高約  $5,000 \text{ m}$  地帯から発し、流路を南東方向にとり、その後 Palca Grande 付近で南方へと大きく転流し、標高  $2,200 \text{ m}$  の San Juan del Oro 川の合流点まで流下する。San Juan del Oro 川は標高  $5,700 \text{ m}$  の頂きをもつ Chocaya 山脈にその源を発し、流路を北方にとり Tumusla 川との合流点へと続いている。Pilaya 川はこの合流点より約  $200 \text{ km}$  東方へ流下した後、南米大陸第2の大河川である La Plata 川の支流 Pilcomayo 川に合流する。

Pilaya 川上流部の Tumusla 川と San Juan del Oro 川の合流点より Chillcara 測水所間の平均河川勾配は約  $1/390$  と比較的緩やかであるが、兩岸の斜面はかなり急峻である。Chillcara 測水所から計画ダム地点までは平均河川勾配  $1/78$ 、また計画ダム地点より発電所予定地点までの間の平均河川勾配は約  $1/63$  と急流になっており、兩岸もせばまりアプローチの困難な峡谷となっている。発電所予定地点より下流の平均河川勾配は  $1/160$  ないし  $1/200$  と再び緩やかになり川幅も徐々に広がっている。

Pilaya 川流域は、同国南部の Potosi、Chuquisaca および Tarija 県にまたがっており、Pilcomayo 川との合流点までの流域面積は  $47,440 \text{ km}^2$  である。

年降水量は流域により相違しており流域内の西地域では  $200 \text{ mm}$ 、北地域では  $450 \text{ mm}$  であり、流域内の年平均降雨は  $320 \text{ mm}$  程度である。降雨は年降水量の  $87\%$  が12月から4月までの雨期に集中し、残りの  $13\%$  が乾期にあたる5月から11月にかけての降雨である。

計画地点付近の年平均気温は約  $20^{\circ}\text{C}$  であり、年平均湿度は約  $40\%$  である。

本計画地域の地質は集水域をも含め、オールドビス系といわれる珪岩、砂岩および頁岩等の

FIG. 7-1-(1) KEY AND LOCATION MAP

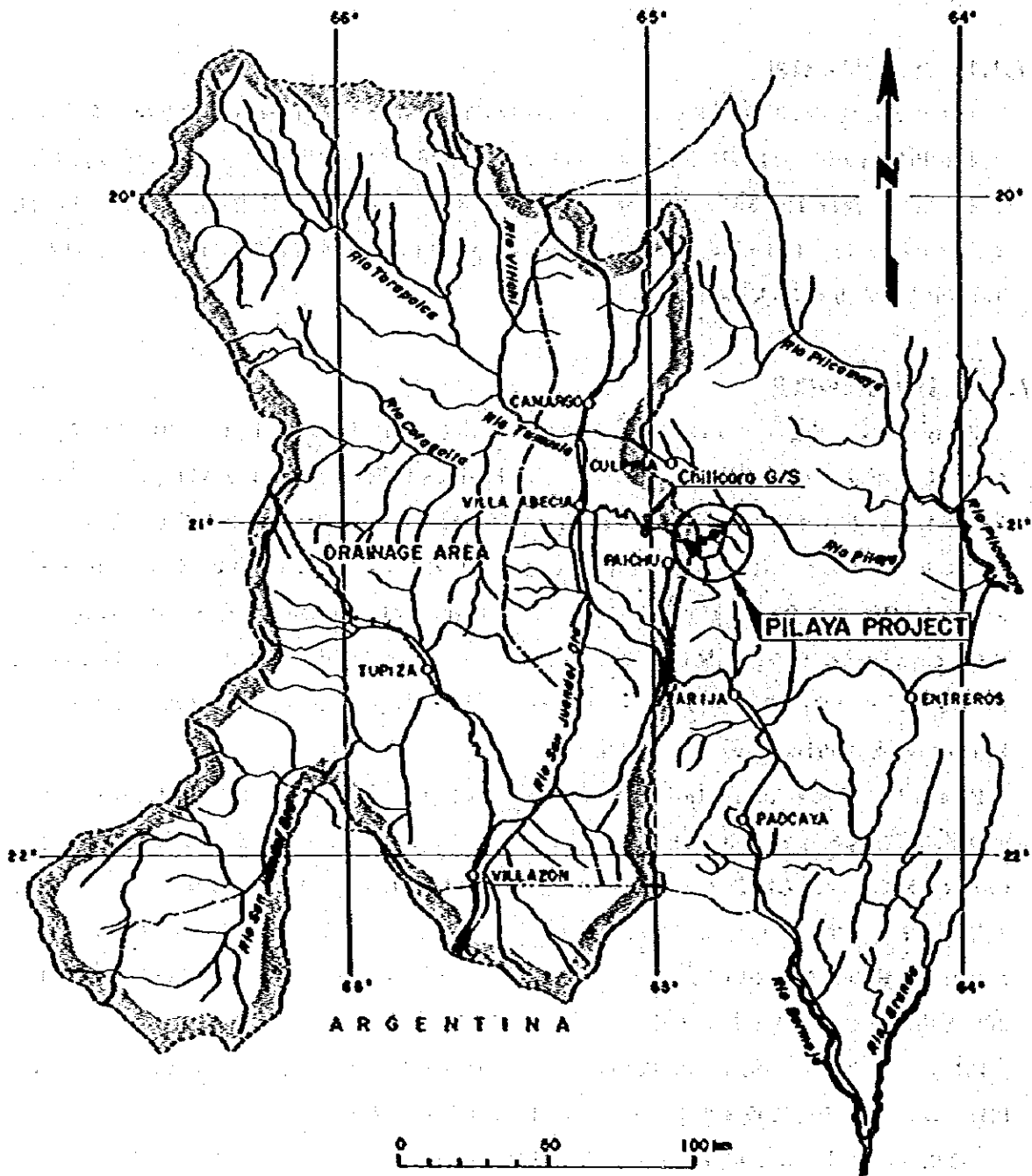
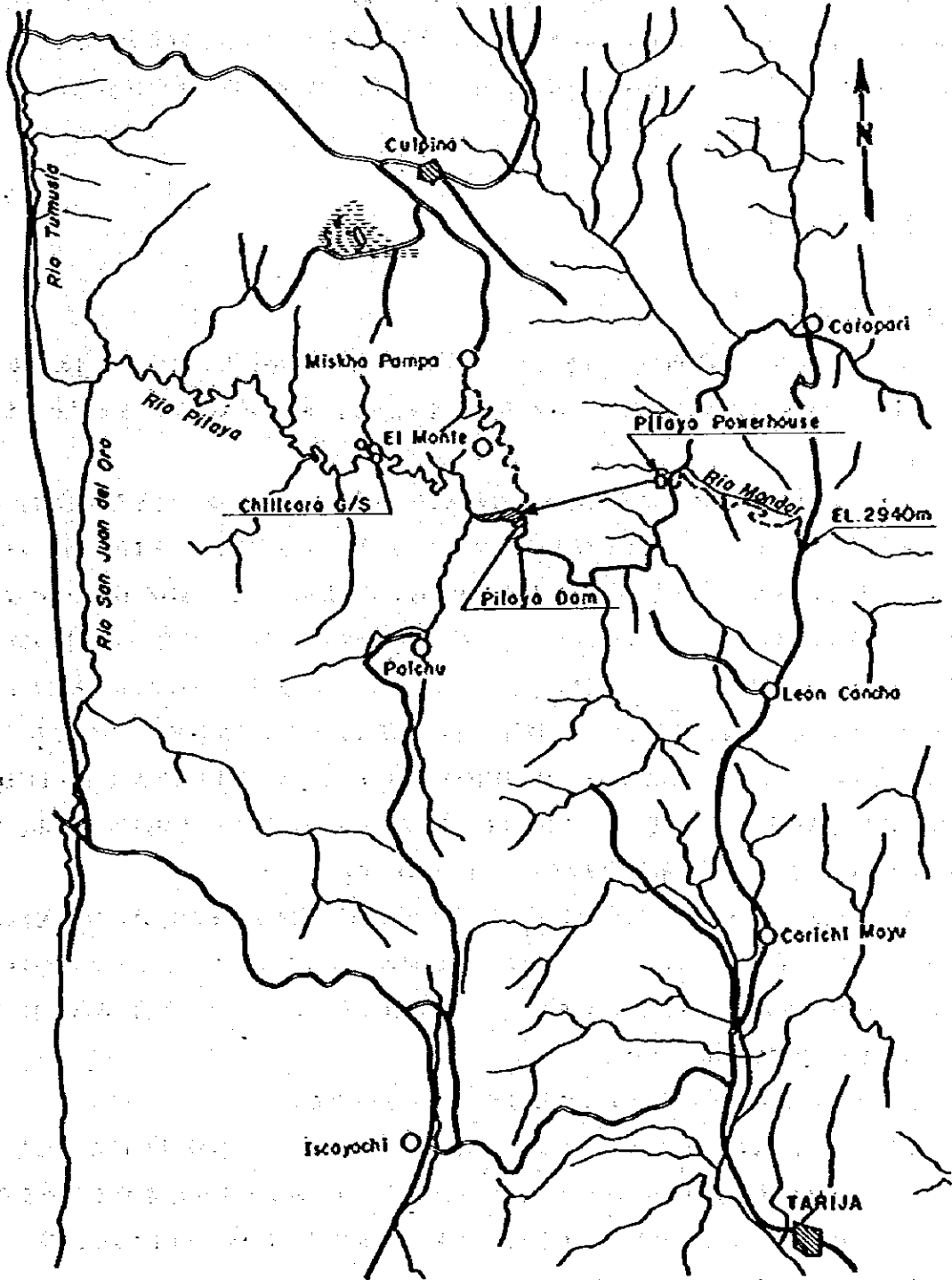




Fig.7-1-(2) GENERAL PLAN



堆積岩が広く基盤を成している。集水域は地勢的には中央山脈(Las Cordilleras Centrales)および東部山脈(Las Cordilleras Orientales)に位置し、地質構造的には南北方向の褶曲軸をもつ褶曲山地となっている。

計画地域は幼年期ないし壮年期の地形を呈し、Pilaya川およびその支流沿いの山腹斜面は急峻であり、崩壊地形やSlope washの分布が多く、浸蝕作用の著しいことを示している。このため発電所予定地点より下流部は河床堆積がすすんでいるため年々河床敷高が上りつつある。

## 7.2 開発計画の概要

### 7.2.1 計画概要

ピラヤ水力発電計画はPilaya川本流の中流部に取水ダムを築造し、流域面積43,640 km<sup>2</sup>の河川流量と急峻な地形によって得られる落差を利用し、87,000 kWの発電を行なうものである。

すなわち、Pilaya川本流に有効貯水容量約600千m<sup>3</sup>を有するピラヤ調整池を設け、河水を日間調整する。この調整池より最大使用水量26.0 m<sup>3</sup>/sを取水し、延長10.4 km、内径3.1 mもしくは3.5 mの圧力トンネルを通じPilaya川左岸のAguá Caliente地点に設ける発電所へ導水、基準有効落差398 mを得て、最大出力87,000 kW、年間発電電力量536百万kWhの発電を行なうものである。発電後、この水は再びPilaya川本流に還元することとなる。

ピラヤダム地点の選定に当たっては、現地調査の結果1978年にENDEおよび国連の共同調査で作成された報告書「PLANTA HIDROELECTRICA PILAYA: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD ABRIL 1978」で選定した地点が妥当である。すなわちChilcaia湖所より下流約22.5 km地点を選定する。

ピラヤ計画ダム地点はその地点の地形、地質、洪水流量の大きさ、また付近の採取可能なダム築造材料の特性等を考慮し、アーチグラビティダムと重力式コンクリートダムについて比較検討を行なった結果、重力式コンクリートダムを採用した。ダムの高さ約73 m、堤頂長89 m、堤体積約125,000 m<sup>3</sup>である。

取水口は、ピラヤダム左岸直上流に設けた塔型取水口である。

沈砂池は地形、地質等を考慮してトンネル式と地上式について比較検討を行なった結果、トンネル式を採用する。沈砂池の大きさは0.3 mm以上の浮遊土砂を沈澱させるという条件で検討した結果、構造物の大きさは1条当り高さ22.8 mから27.0 m、幅13.0 m、長さ50.0 mとなり、排砂を考慮して2条設ける。

圧力トンネルは内径3.1 mもしくは3.5 m、延長10.4 kmの鉄筋コンクリート巻立およびコンクリート吹付構造とし、最大通水容量は26.0 m<sup>3</sup>/sである。トンネルルートは取水口地

点と発電所地点を結ぶ最短距離のルートを選定した。

調圧水槽は、圧力トンネルの終端部に設けるか、構造が簡単で経済的なことから内径 8.0 m、高さ約 90.0 m の単動式調圧水槽とする。

水圧鉄管路は、地形、地質等を考慮しトンネル式と地表式について経済比較を行なった結果、地表式とし、リングガード方式の鉄管 1 条を設置する。鉄管は下部において 3 条に分岐してケーシングに接続する。内径は 3.1 m から 1.2 m、延長は約 638 m である。

ピラヤ水力発電所地点は、Carapari 部落より上流約 19 km の Pilaya 川本流左岸に数ヶ地点の候補地点を選んで、調査・検討を行った結果、地形、地質、水圧管路のルート等の諸条件を含め、最も経済性の高い本地点を選定した。

発電所の型式は、地下式と地上式について経済比較を行った結果、地上式とし、長さ 56.0 m、幅 24.0 m および高さは 28.5 m の鉄筋コンクリート構造とする。

発電所には、ユニット容量 32.400 kVA の発電機 3 台が設置される。

## 7.2.2 土木構造物

### (I) ダム

#### 1) ダム型式の検討

計画ダム地点の特徴としては、川幅が狭く、両岸が急峻であること、河床堆積物が厚く河床から基礎岩盤迄が深いこと、洪水量、河水による運搬土砂量が多いこと等が挙げられる。

ダム型式の比較検討の対象としては地形およびダム地点周辺で採取可能なダム築造材料の特性を考慮し、Fig 7-8 から Fig 7-10 および APPENDIX-III の Fig A-III-1, 2, 3 に示す。

アーチグラビティダムおよび重力式ダムのそれぞれについて比較設計を行い検討をした。なお上述の理由により、洪水吐がかなり大きな構造物になるため、堤体外に洪水吐を設置する必要のあるフィルタイプダムは地形的制約から比較検討の対象外とし、また、アーチダムも洪水吐による切欠き部が大きく、十分なアーチアクションが期待出来ないでこのタイプも対象外とした。

まず、アーチグラビティダムであるが、アーチアクションを期待する為に地形上の制約を受け、また、そのアーチアクションも洪水吐の切欠き部が大きいため十分に作用しないのでコンクリート体積を大幅に減らすことが不可能である。さらに型枠が複雑になること等により経済的な利点はないものと思われる。

一方、重力式コンクリートダムはアーチグラビティダムに比較して地形の制約を受けず、型枠作業も容易である。さらに本ダムサイトでは地形の関係上工事数量も重力式コンクリートダムの方が少ないのでダム型式としては重力式コンクリートダムが適当であると判断した。

## II) ダムの天端標高

ダムの天端標高は次の2ケースの内、高い方によって決定される。

### (a) 常時満水位の場合

$$Hf \geq h_0 + h_w + h_e + h_a + h_i \geq h_0 + 2.00 \text{ m}$$

### (b) 設計洪水位の場合

$$Hf \geq hf + h_w + h_a + h_i \geq hf + 1.00 \text{ m}$$

ここに  $Hf$  = ダム天端標高 (m)

$h_0$  = 常時満水位 (E.L. 1,797.00 m)

$hf$  = 設計洪水位 (E.L. 1,798.00 m)

$h_w$  = 風による波浪高 (m)

$$= 0.00086 V^{1.1} F^{0.45}$$

ここに  $V$  = 10分間の平均風速 = 30 m/s

$F$  = 対岸距離 = 700 m

以上より

$$h_w = 0.691 \text{ m}$$

$h_e$  = 地震による波浪高 (m)

$$= \frac{1}{2} \frac{kr}{\pi} \sqrt{g H_0}$$

ここに  $k$  = 堤体質度 = 0.10

$r$  = 地震周期 = 1.0 sec

$H_0$  = 常時満水位時の貯水池水深 = 70.0 m

以上より

$$h_e = 0.417 \text{ m}$$

$h_a$  = 洪水吐ゲート操作上の不慮の事故による水位上昇を考慮した加算値

$$= 0.5 \text{ m}$$

$h_i$  = 堤体の構造による加算値

$$= 0 \text{ m}$$

以上より、常時満水位に対しては

$$Hf = 1,797.000 + 0.691 + 0.417 + 0.50 + 0.00$$

$$= 1,798.608 < 1,797.00 + 2.00$$

よって

$$Hf = 1,797.00 + 2.00 = 1,799.00 \text{ m}$$

設計洪水位に対しては

$$Hf = 1,798.00 + 0.691 + 0.50 + 0.00$$

$$= 1,799.191 > 1,798.00 + 1.00$$

以上により、ダム天端標高は標高 1,800.00m とした。

#### Ⅲ) 基礎処理

ダムサイトの基礎は深さ約 40m の河床堆積物におおわれている。この河床堆積物は重力式コンクリートダムの基礎として不適当であり、堅硬な基礎岩盤まで除去することとする。

基礎岩盤の処理としては、カーテングラウトとコンソリデーショングラウトを施工するものとする。カーテングラウトは基礎における静水頭目 (m) に対して最大  $0.5H + 20.0$  m の深さまで計画した。

#### Ⅳ) 仮排水路

ダムサイトの地形および河床堆積物の深いことによる施工中の冠水の危険度からみて、河川の転流はトンネルによる転流が妥当と考えられる。仮排水路の流下容量としては工事中にダムが冠水する確率を考慮して 5 年確率洪水量である  $1,800 \text{ m}^3/\text{s}$  を流下できるものとする。

現在は全面巻立として設計しているが、今後の調査で吹付コンクリート案も可能となろう。

第 1 仮排水トンネル延長 = 340 m

内径 9.0 m の標準馬蹄形

第 2 仮排水トンネル延長 = 430 m

内径 9.00 m の標準馬蹄形

#### Ⅴ) 仮締切

上流仮締切は現時点ではゾーン型のフィルタイプダムで設計している。仮締切の基礎となる河床堆積は非常に深く、その基礎処理はカーテングラウトを考慮しているが、現在までに ENDE が材料調査を実施した結果、ゾーン型のフィルタイプダムに使用するコア材料はダム軸下流約 400 m 地点の Pura Loma 沢地区が考えられる。今後、コア材料の調査を行い量的に採取が可能であればカーテングラウトでなく、ブランケットを設ける案が有力となろう。その他には強力なポンプで排水する案等も考えられる。

#### Ⅵ) 洪水吐

ピラヤダムの設計洪水量は 1,000 年確率洪水量で  $5,100 \text{ m}^3/\text{s}$  と非常に大きい。このため、設計洪水量を安全に流下させるためには洪水吐の幅はダム頂長の約 60%、越流水深は利用水深の約 2 倍を必要とする。また、ピラヤ貯水池への流入土砂量は多く、排砂をしない場合には 1 回の洪水期で貯水池としての機能を失ってしまう。このため、大きな土砂吐を設け貯水容量を確保する必要があるが、川幅が狭いので洪水吐と土砂吐を兼用させる設計とした。

これらを考慮して洪水吐のクレストの標高は 1,779.00 m, 幅は 15.00 m × 3 門 = 45.00 m とする。この洪水吐は土砂吐を兼ねているので、土砂の流下による損傷を受け易いのでピア、シュート、バケット等の表面は石張りとする。Fig 7-2 にこの洪水吐のレーティングカーブ (rating curve) を示す。

## (2) 取水口

取水口はダム直上流の左岸に設けられる。取水口の型式は塔型とし、沈砂池および導水路トンネルの保守点検のためにゲートを設置する。呑口の敷高は土砂の流入を防ぐために取水口前面の推定堆砂面より約 2.4 m 高い標高 1,782.00 m とする。本ダムの流域には植生が少ないので、取水口前に除じん機は設けずスクリーンのみとする。

## (3) 沈砂池

Pilaya 川は非洪水期でも浮遊土砂が多く、水車の損傷を避けるために沈砂池を設ける必要がある。一般に沈砂池は地上に設けられる。しかし本計画の設置予定地点の近傍は地形が急峻の上、土砂崩れが予想されることから地下式案についても検討をする。

ダムサイト近傍で地上式の沈砂池を設ける地点としては、比較的勾配の緩いダムより約 200 m 下流左岸に限定される。しかしこの地点はダム地点の地質調査結果より判断し、砂礫層が厚く基礎岩盤が深いと推定され、掘削量が膨大となり、その施工区域はダムの施工区域と重複する。さらにこの地点の山肌は土砂崩れが予想され安全性に問題が残る。

一方、地下式の沈砂池については、工事費のみで比較すれば地上式より若干高いであろう。しかし岩盤が堅硬なので施工が困難ではなく、位置が地形によって左右されることもない。また地上式と比較し導水路が約 150 m 短くなり、さらに施工中および完成後の保守管理面からも安全性に優れている。よって、沈砂池は地下式が適当であると判断した。

なお地表式の沈砂池については APPENDIX-III の Fig A-III-4 に添付した。

沈砂池で沈降させる浮遊土砂の粒径は 0.3 mm 以上として検討した結果、一条当たり幅 13.0 m, 平均高 25.0 m, 長さ 50.0 m の地下式沈砂池を 2 条設けるものとした。

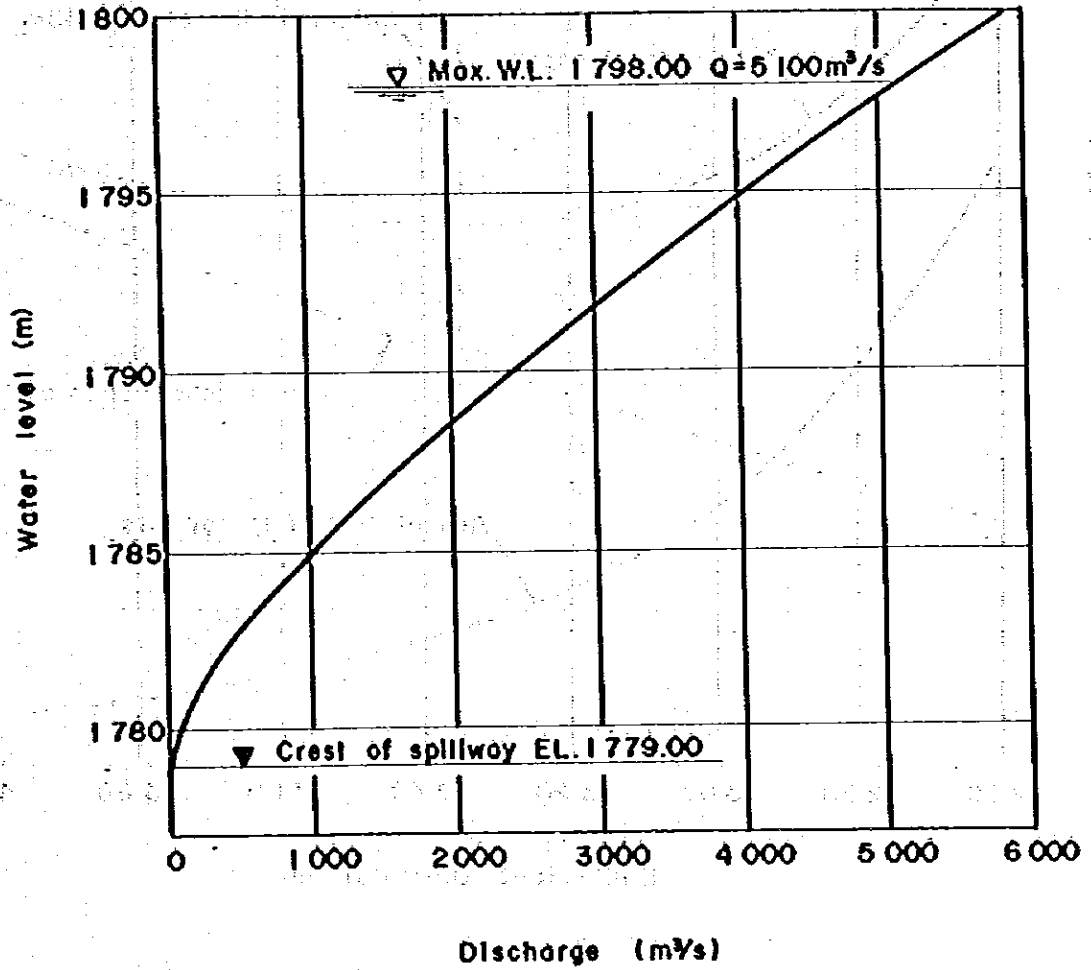
## (4) 導水路

導水路トンネルの断面は円形とし、そのルートは沈砂池と調圧水槽を最短距離で結ぶほぼ直線ルートを選定する。導水路トンネルの延長は 10.4 km と非常に長い。地形上から中間に作業坑を設けることが出来ないため、掘削は沈砂池側と調圧水槽側の 2ヶ所から行う。

沈砂池側からの掘削は在来工法で行うが、調圧水槽側からの掘削は工期の短縮等を考慮し、トンネル・ボーリング・マシン (T・B・M) で行うものとする。在来工法区間は鉄筋コンクリート巻立を行うが、T・B・M による施工区間は掘削断面が円形であり、掘削によって地山を痛める恐れも少ないので原則としてコンクリート吹付によって巻立てるものとする。

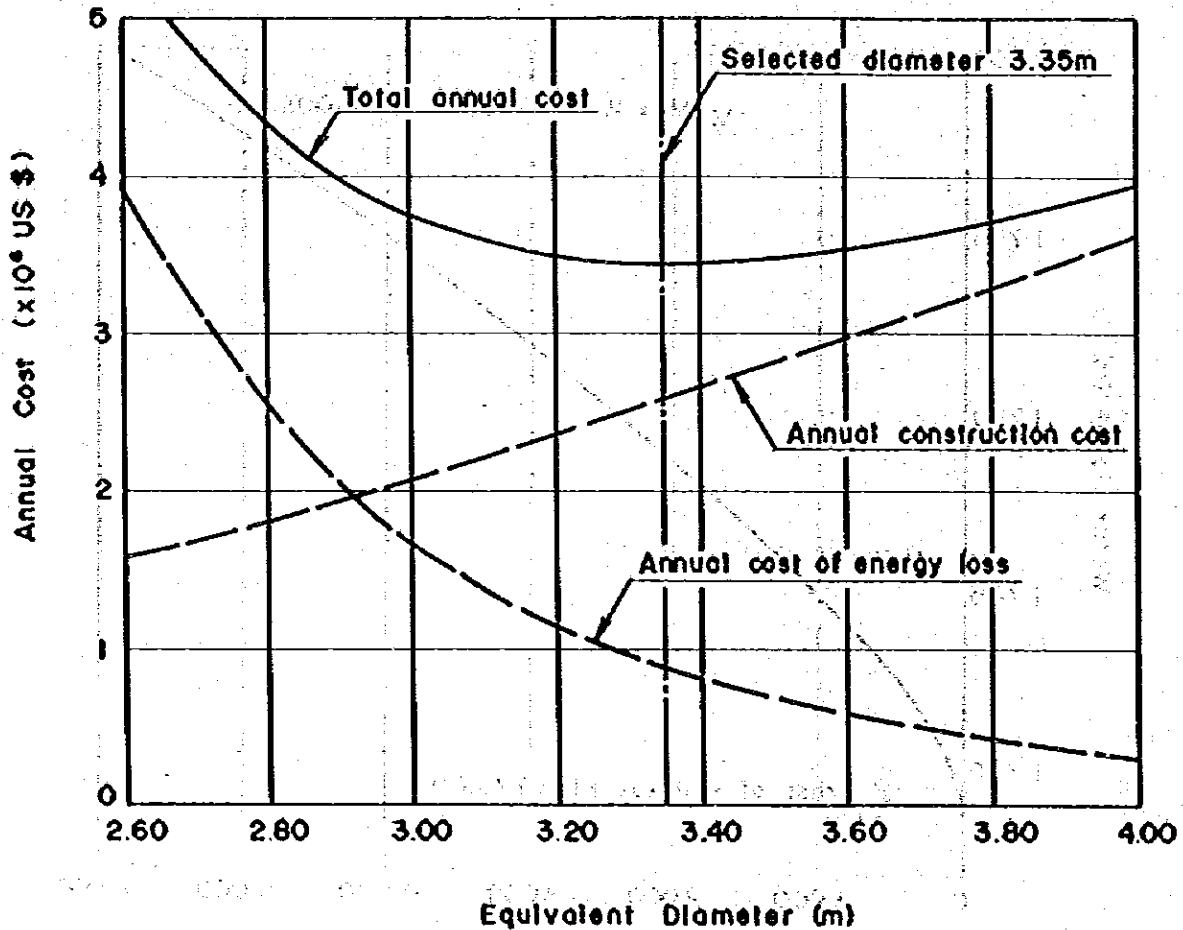
導水路トンネルの内径は、建設費にかゝる年間経費と損失水頭による年間損失便益と

Fig. 7-2. Rating Curve of Spillway



の和が最小になるものを選ぶ。この検討結果は Fig 7-3 に示す通りで最も経済的な内径はコンクリート巻立部は 3.10 m, コンクリート吹付部は 3.50 m となる。

Fig. 7-3 Economical Diameter of Headrace Tunnel



(5) 調圧水槽

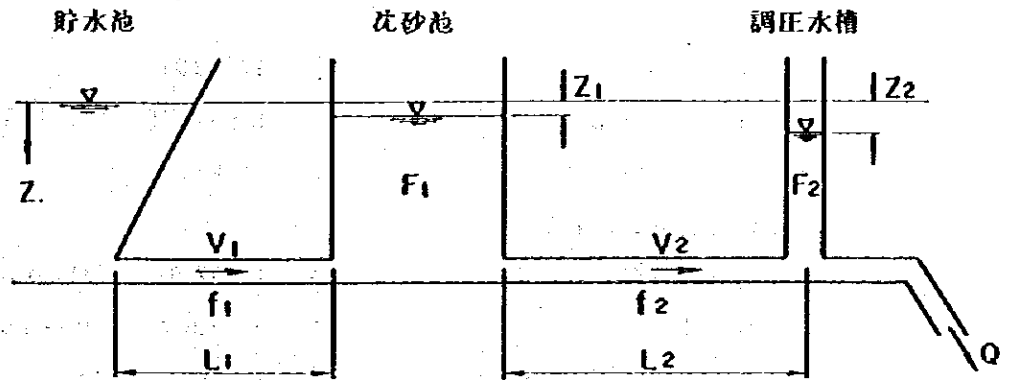
調圧水槽の形式は、水撃圧の吸収が最も確実であり、施工も容易である単動型とする。調圧水槽の内径は水面の安定条件や水位変動について検討を行った結果 8.0 m の円形とする。

調圧水槽の設計に当っては、貯水池満水位において全負荷をしゃ断した場合、および貯水池低水位において 1/2 負荷を急増した場合、それぞれ圧力トンネルおよび水車に悪影響を与えないことを設計条件とした。

1) ヶーシング計算



1) サージング計算



(a) 基本方程式

運動方程式

貯水池—沈砂池間 
$$\frac{dV_1}{dt} = \frac{Z - c_1 |V_1| V_1}{L_1 / g}$$

沈砂池—調圧水槽間 
$$\frac{dV_2}{dt} = \frac{Z_1 - Z_2 - c_2 |V_2| V_2}{L_2 / g}$$

連続方程式

沈砂池において 
$$\frac{dZ_1}{dt} = \frac{f_2 V_2 - f_1 V_1}{F_1}$$

調圧水槽において 
$$\frac{dZ_2}{dt} = \frac{Q - f_2 V_2}{F_2}$$

ここに、 $V_1$  : 貯水池—沈砂池間のトンネル内の流速 (m/s)

$V_2$  : 沈砂池—調圧水槽間 ( " )

$Z_1$  : 貯水池水位を基準とした沈砂池の水位 (下向きを正, m)

$Z_2$  : " " 調圧水槽の水位 ( " )

$c_1$  : 貯水池—沈砂池間のトンネル損失水頭係数 (sec<sup>2</sup>/m)

$c_2$  : 沈砂池—調圧水槽間 ( " ) (sec<sup>2</sup>/m)

$L_1$  : 貯水池—沈砂池間のトンネル長さ (m)

$L_2$  : 沈砂池—調圧水槽間 ( " ) ( " )

$f_1$  : 貯水池—沈砂池間のトンネル断面積 (m<sup>2</sup>)

$f_2$  : 沈砂池—調圧水槽間 ( " ) ( " )

$F_1$  : 沈砂池の断面積 (m<sup>2</sup>)

$F_2$  : 調圧水槽の ( " ) ( " )

$Q$  : 使用水量 (m<sup>3</sup>/s)

$g$  : 重力加速度 (m/sec<sup>2</sup>)

(b) 基本数値

$L_1 = 67 \text{ m}$	$L_2 = 10,400 \text{ m}$
$f_1 = 7.55 \text{ m}^2$	$f_2 = 8.88 \text{ m}^2$ (等価断面積)
$F_1 = 1,430 \text{ m}^3$	$F_2 = 50.27 \text{ m}^3$
全負荷しや断の場合	
貯水池水位	$H_0 = 1,797.00 \text{ m}$ (H.W.L.)
使用水量	$Q = 26.0 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 0 \text{ m}^3/\text{s}$
トンネル損失水頭係数	$c_1 = 7,546 \times 10^{-2}$
	$c_2 = 1.935$
半負荷急増の場合	
貯水池水位	$H_0 = 1,787.00 \text{ m}$ (L.W.L.)
使用水量	$= 13.0 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 26.0 \text{ m}^3/\text{s}$
トンネル損失水頭係数	$c_1 = 8,189 \times 10^{-2}$
	$c_2 = 3.007$

(c) 計算結果

計算結果は Runge - Kutter 法により 0.5 秒刻みで電子計算機を用いて行った。

計算結果は Fig 7-4 に示す。

(6) 水圧鉄管路

水圧鉄管路の設計は、設置場所の地形、特に地表面の傾斜の状況および地質等を考慮の上、地表式案とトンネル式案の両案について検討した結果、地表式案の方がトンネル式案に比べ、建設費が安いこと、施工および維持管理が容易であることから地表式案を採用することとした。比較に用いたトンネル式は APPENDIX-III の Fig A-III-5, 6 に添付した。

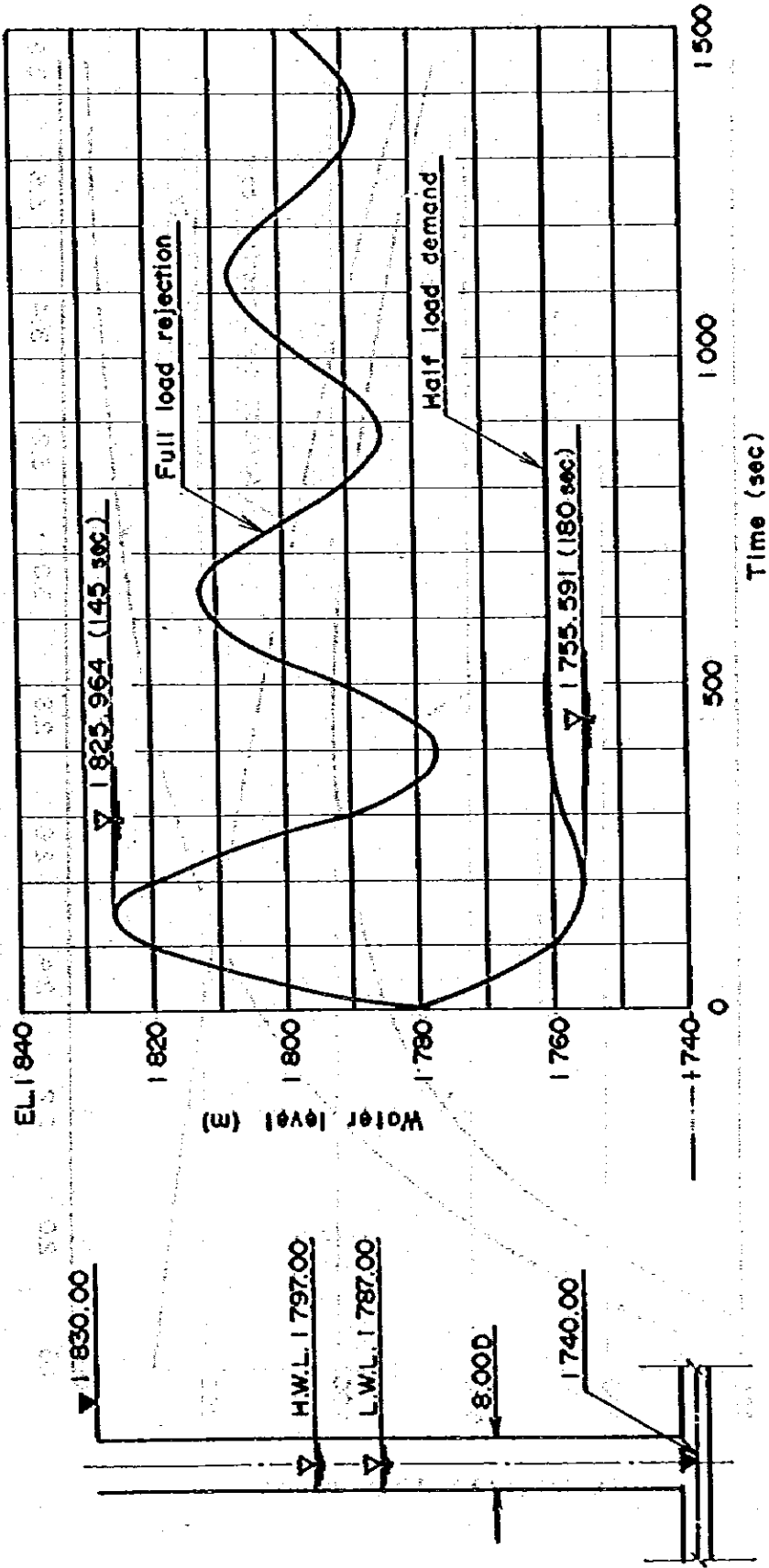
なお、現地調査の結果からも地表式水圧管路が計画されているルートは堅硬な岩盤が露頭しており施工上難しい問題は少ないものと思われる。

水圧鉄管は上部で 1 条、下部で 3 条に分岐する溶接鋼管とする。管胴材料は SM58 (JIS) もしくはこれに相当する材料を用いるものとする。

水圧鉄管の最も経済的な内径は、導水路トンネルの内径の検討と同様、年間経費と、損失水頭による年間損失便益を算出し、その和が最小になるような内径を最適内径とする。

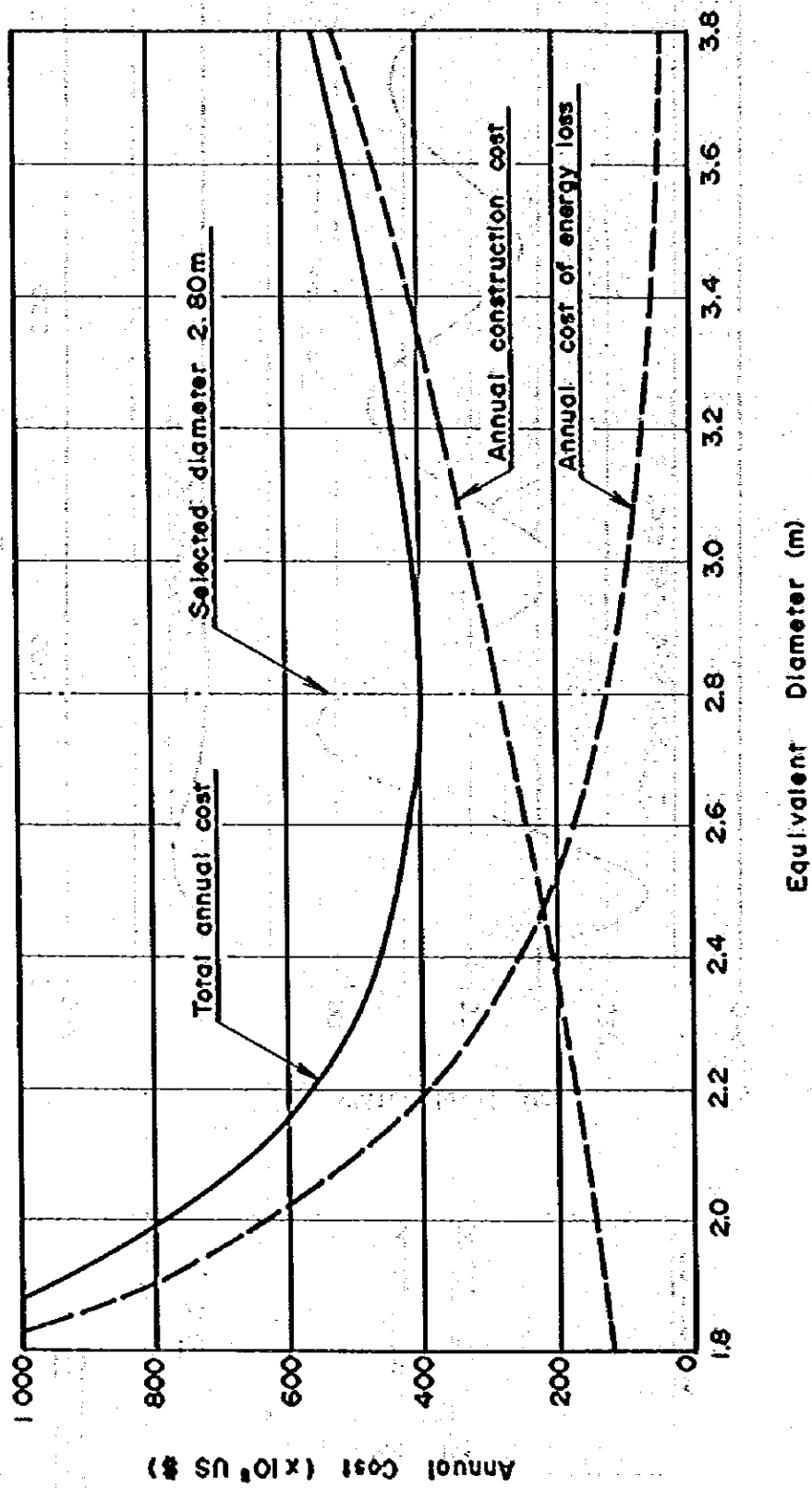
検討結果を Fig 7-5 に示す通りで、平均内径 2.8 m を選ぶこととした。これにより内径を 3.1 m から 1.2 m に変化させることとする。

Fig. 7-4 Surging Curve



In the case of full load rejection : W.L. = 1797.00     $Q = 26.0 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 0 \text{ m}^3/\text{s}$   
 In the case of half load demand : W.L. = 1787.00     $Q = 13.0 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 26.0 \text{ m}^3/\text{s}$

Fig. 7-5 Economical Diameter of Penstock



## (7) 発電所

### I) 発電所

当地点では、地下式発電所および地上式発電所の2案が考えられる。

地下式発電所の場合、岩盤は良好と予想されるので施工そのものに大きな問題はないが、地下式は、鉄管路のトンネル部が長く、工事費、施工期間共地上式案に比べて不利である。今回2案について比較検討を行った結果、地上式案が有利との結論を得た。よって地上式発電所を採用する。比較に用いた地下式案はAPPENDIX-ⅢのFigA-Ⅲ-7に添付した。

### II) 屋外開閉所

屋外開閉所は地形的にみて発電所直下流の左岸に設けるのが最適と思われる。開閉所への進入路はAgua Caliente川の崩壊等を考慮し、発電所の上流側からとした。なおAgua Caliente川の崩壊に備えて砂防ダムを2ヶ所、また屋外開閉所への流入土石を防ぐために、開閉所北側にロックによる防護堤を設置することとした。

## 7.2.3 水車・発電機

### (i) 水車

ピラヤ水力発電計画で選択出来る水車形式はベルトン水車に限定される。しかし横軸か縦軸かの選択は残される。調査団は次のような手順をもとにベルトン水車の諸元を決めるものとする。

#### 1) Specific Speed (Ns) の限界値

経験的に多くの数式で示されているがその代表的なものは次のとおりである。

a) JEC-151-1975  $12 \leq N_s \leq 23$  (m-kW)

b) DAVIS Hand Book  $N_s \leq 17$  (m-kW)

c) MR. T. Fukasu

$$N_s = \frac{25,000}{H + 800} = \frac{25,000}{398 + 800} = 20.87 \text{ (m-kW)}$$

d) MR. Y. Ishii  $N_s \leq 20$  (m-kW)

#### ii) Specific Speed (Ns) と回転数

ピラヤ水力発電計画において選択可能なベルトン水車(Nsと回転数および横軸か縦軸かの相違)はNsの関係からのみ判断すれば次の如くなる。

No. of Nozzle	Unit: m-kW (Ns)				
	300 rpm	333 rpm	375 rpm	429 rpm	500 rpm
2	20.7	23.0	-	-	-
4	14.7	16.3	18.4	21.0	24.5

Where,

$$Ns = N \cdot Pn^2 / H^4$$

Pilaya reservoir N. W. L.: EL 1,793 m

Center line of turbine: EL 1,365 m

Static head: 428 m

Loss head: 30 m

Net head: 398 m

Maximum discharge: 26.0 m<sup>3</sup>/s

Number of unit: 3

Turbine output (Pt)

VP-1R-4N:

$$Pt = 9.8 \times QH \eta_T$$

$$= 9.8 \times 8.66 \times 398 \times 0.89 = 30,060 \text{ kW}$$

HP-1R-4N:

$$Pt' = 9.8 \times 8.66 \times 396 \times 0.89 = 29,900 \text{ kW}$$

以上のことから選択可能な水車は次の如くとなる。

No. of Nozzle	Unit: m-kW (Ns)				
	300 rpm	333 rpm	375 rpm	429 rpm	500 rpm
2	20.7	(23.0)	-	-	-
4	(14.7)	(16.3)	18.4	21.0	(24.5)

すなわちピラヤ水力発電計画において適用可能なペルトン水車は2ノズルの場合回転数は300 rpm, 4ノズルの場合は375 rpm又は429 rpmが妥当である。

水車のNsを大きく選べば直結する発電機の回転数を大きくすることが可能で従って発電機の形状、重量が小さくなって経済的である。よって調査団は2ノズルの採用は除くものとし、さらに4ノズルで縦軸か横軸かの検討を行うものとする。

(a) 横軸機は縦軸機に比較し一般に水車のオーバーホールは容易である。しかし縦軸機に比較し水車センターの標高を約2.0 m上げる必要があり、有効落差が減少する。また理論上、縦軸機の方が水車効率が僅かであるが良い。

Table 7-1に採用可能な水車のNsと回転数を示す。

(b) Table 7-1に示す如く同一の使用水量および有効落差において縦軸機(VP-1R-4N)が最も出力が高い。横軸機は一般に縦軸機に比較し建屋寸法が大きくなるが、ピラヤ水力発電計画の場合、建屋平面積は約200 m<sup>2</sup>程縦軸機に比して大きくなる。

Table 7-1 Selection of Pelton Turbine

		Vertical type		Horizontal type	
Revolving speed:	N (rpm)	375	429	375	429
Turbine output:	Pt (kW)	30,060	29,900	29,900	29,700
Output per nozzle:	Pt' (kW)	7,515	7,475	7,475	7,425
Discharge per nozzle:	Q' (m <sup>3</sup> /s)	2.165	2.165	2.165	2.165
Specific speed:	Ns (m-kW)	18.4	21.0	18.4	21.0

(c) ビラヤ水力発電計画は年間5ヶ月間は全負荷運転が予想されており、429 rpmの縦軸機を採用すれば発電機価格は安くなるが効率が375 rpm機に比し、0.5%劣るので、効率の良い375 rpm機を採用すれば3年以内に機器価格の差をとりもどすことができる。

以上の検討結果より、以下に述べる諸元の縦軸ペルトン水車、4ノズル、375 rpm機を採用するものとした。

#### Turbine

Type:	Vertical Pelton turbine
Output:	30,060 kW
Number of nozzles:	4
Max. discharge:	8.66 m <sup>3</sup> /sec.
Effective normal head:	398 m
Revolving speed:	375 rpm

#### (2) 発電機

ビラヤ水力発電計画においては、発電所建屋は地上式が採用されるので一般的に云って建物の大きさはさほど重要な問題点ではない。既に述べた如く縦軸ペルトンを採用したので水車に直結される発電機は縦軸交流発電機となる。

発電機の容量は次のとおりとする。

$$\begin{aligned} \text{kVA} &= 9.8 \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g \times 1 / \cos\phi \\ &= 9.8 \times 8.66 \times 398 \times 0.89 \times 0.97 \times \frac{1}{0.9} = 32,400 \text{ kVA} \end{aligned}$$

なお発電機力率は電力系統計算の結果からみてビラヤ水力発電所から電力需要家の無効電力需要に対し特別に供給を考慮することは殆んど無いものと思われるので0.9を採用するものとした。

発電機電圧は発電機の容量からみて最適な11,000 Vを採用するものとし、諸元は以下の通りとする。

## Generator

Capacity	: 32,400 kVA
Voltage	: 11,000 Volt
Power factor	: 0.9
Revolving speed	: 375 rpm
No. of units	: 3

### (3) 屋外開閉所

発電所計画地点は標高約 1,370 mにあるため、空気密度の低下により耐電圧能力が低下するので、フラッシュ・オーバー電圧を標高補正し、適切な母線絶縁間隔および屋外機器の絶縁設計を行う必要がある。

一方発電所計画地点は屋外開閉所を建設する上でのスペースは比較的余裕があるので通常型の開閉機器および主変圧器を屋外に設けるものとする。

#### 1) 絶縁設計

- (a) 系統電圧 115 kVにおける避雷器の定格電圧は 108 kV。
- (b) 標準大気圧状態における核保護機器の BIL は 550 kV。
- (c) 標高補正された核保護機器の BIL は 650 kV 相当。
- (d) 母線絶縁間隔

対地間 180 cm

相間 300 cm

#### ii) 主要機器の諸元

##### 主変圧器

容量	: 32,400 kVA
電圧	: 115,000 V/11,000 V
型式	: 3相油入, 風冷式
台数	: 3台

##### しゃ断器

定格電圧	: 120 kV
定格電流	: 800 A
しゃ断容量	: 3,140 MVA
型式	: SF <sub>6</sub> 型

#### iii) 母線構成

ピラヤ水力発電所は National Power System の中で重要な位置を占める。したがって屋外開閉機器の保守点検のために発電機の停止は避けられるよう構成されるべきである。この意味において自由度の高い 2重母線方式を採用するものとした。



Fig 7-20にピラヤ水力発電所の単線結線図を、Fig 7-21に屋外開閉所の機器配置を示す。





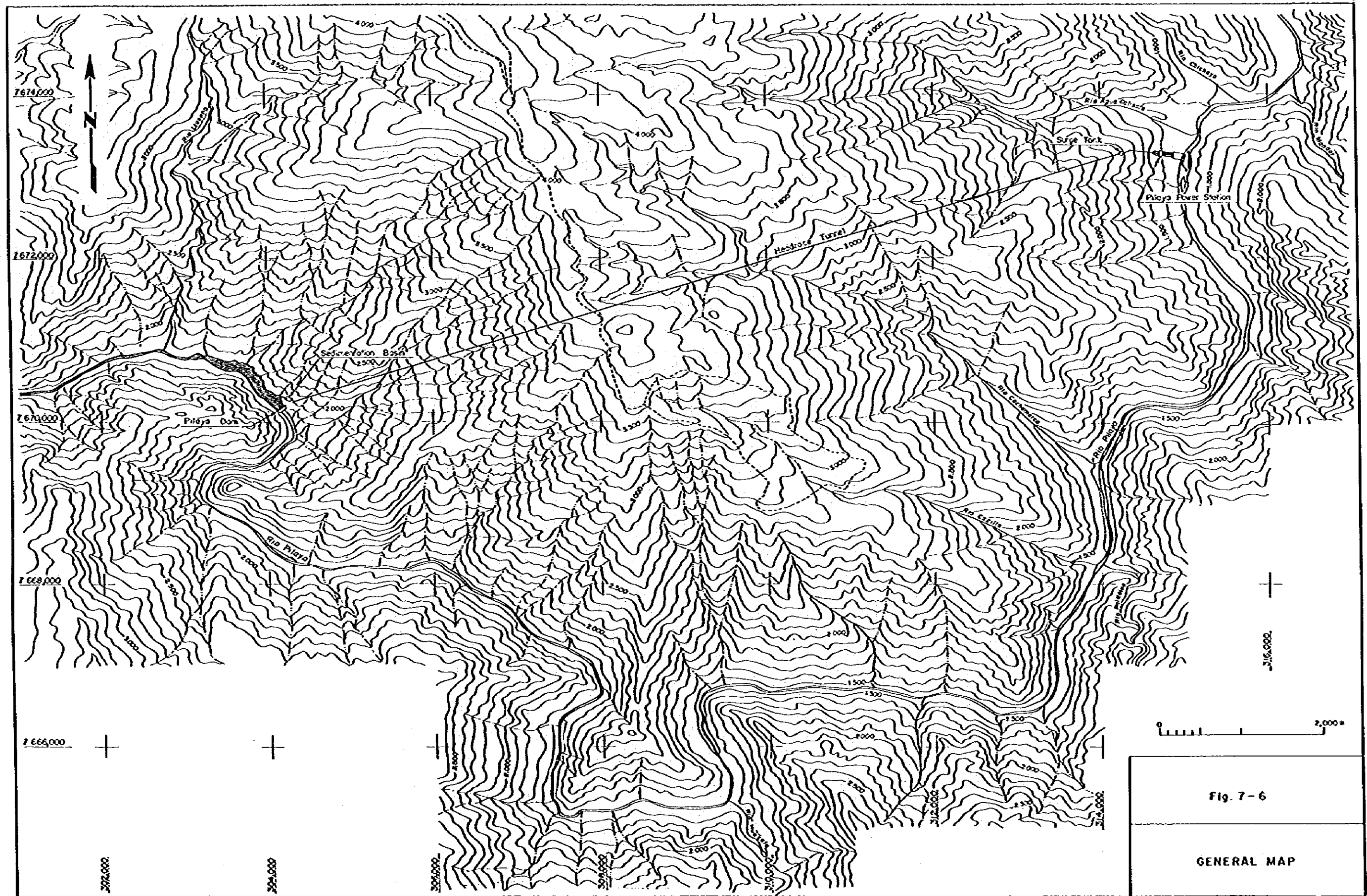
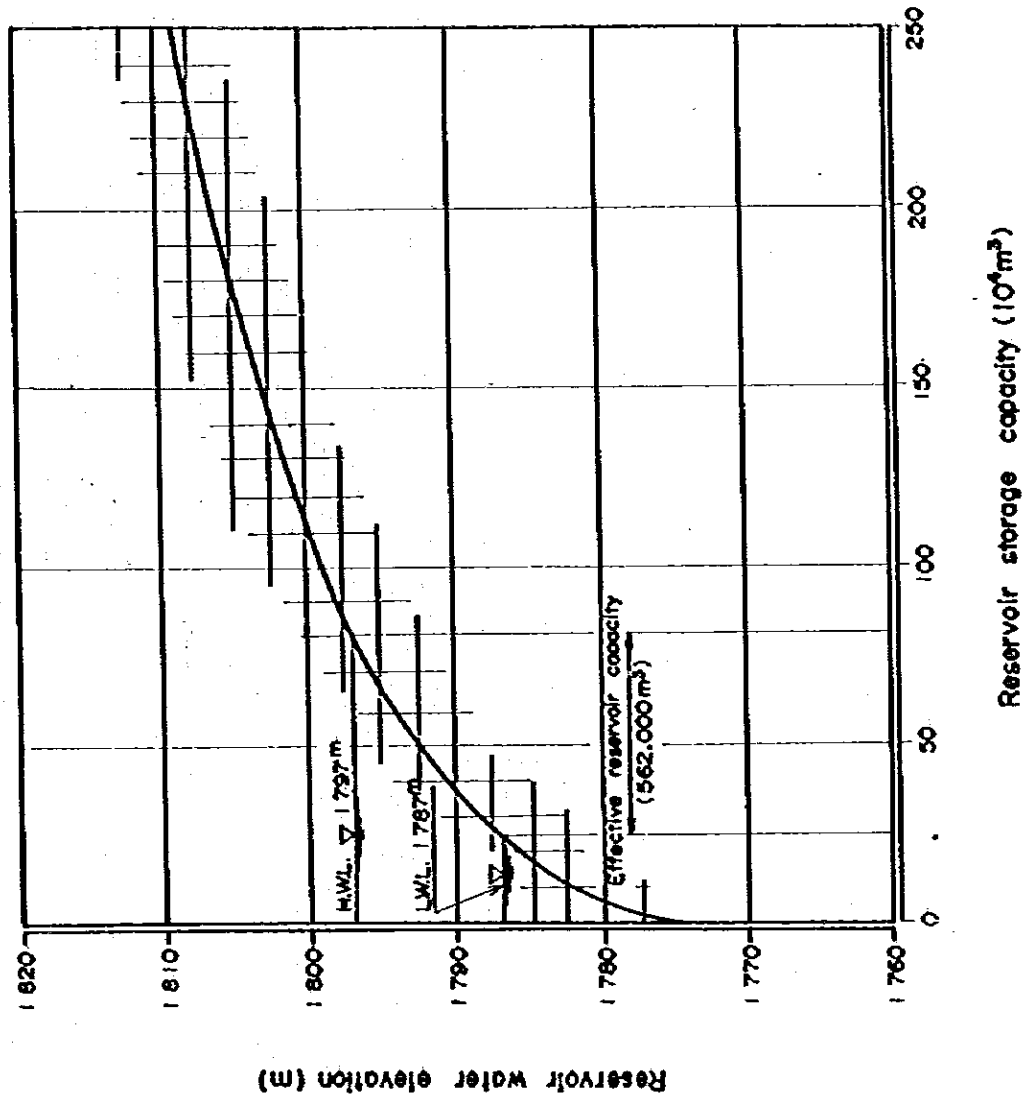


Fig. 7-6

GENERAL MAP



Fig. 7-7 RESERVOIR STORAGE CAPACITY CURVE



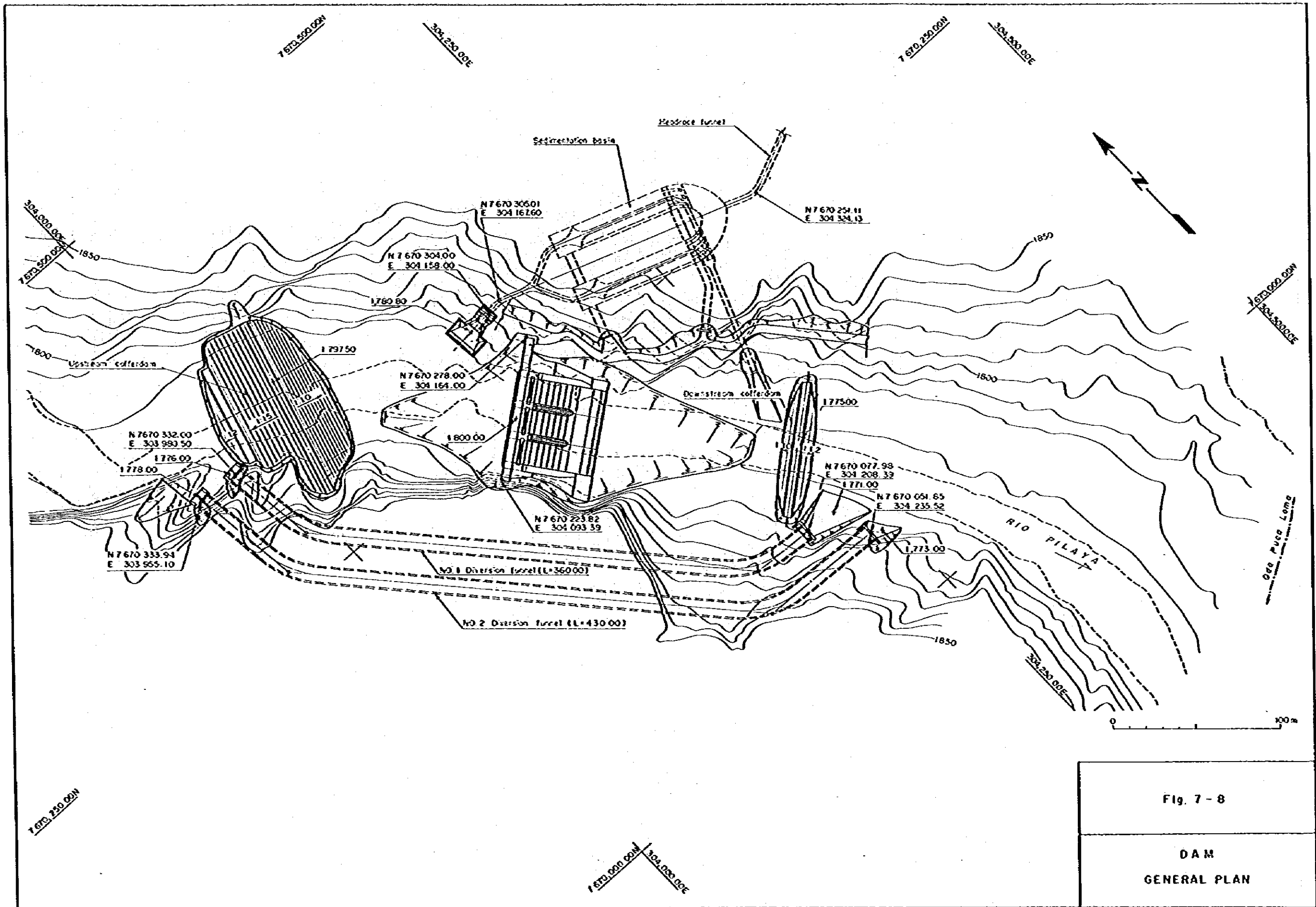


Fig. 7 - 8  
 DAM  
 GENERAL PLAN

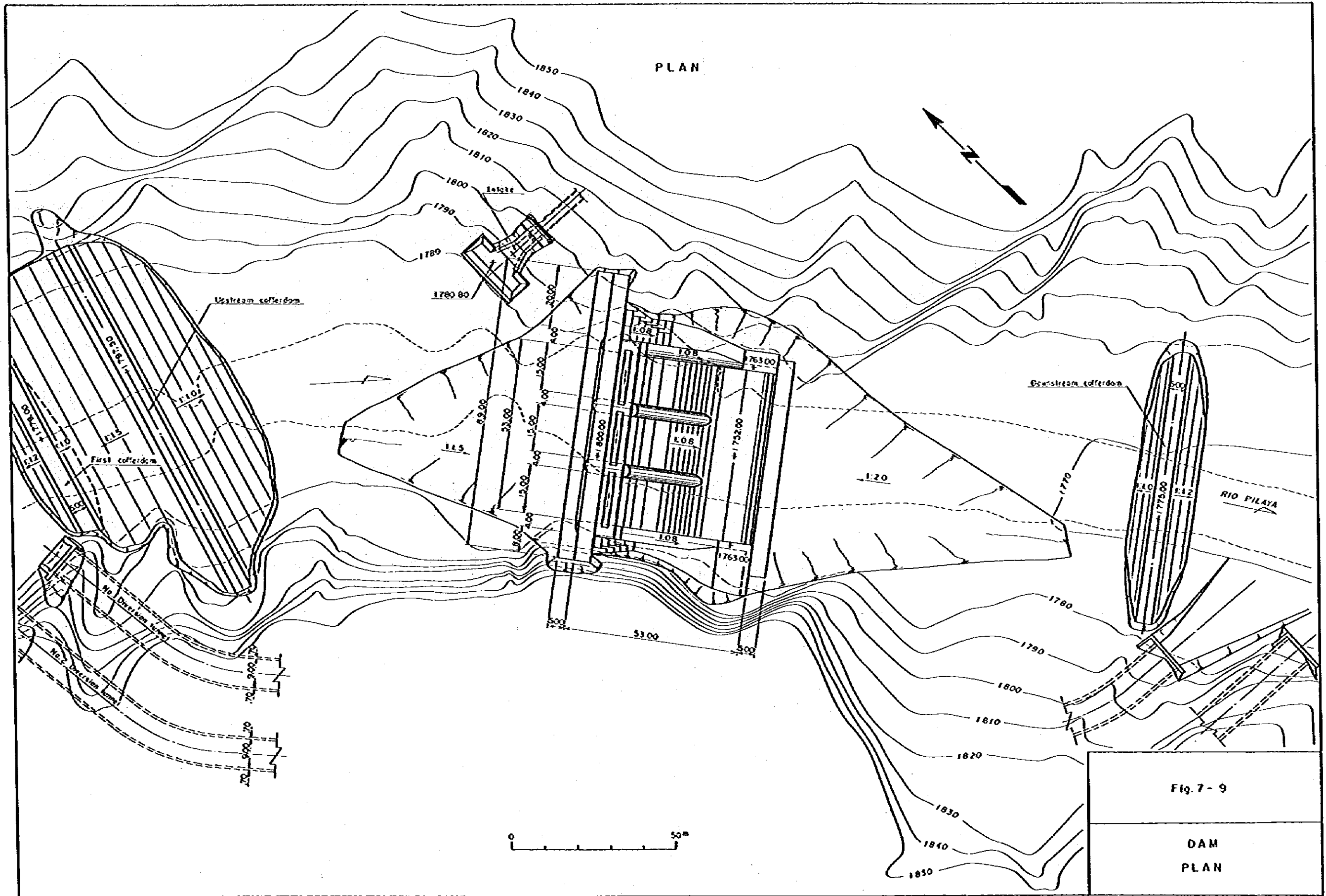


Fig. 7-9

DAM  
PLAN



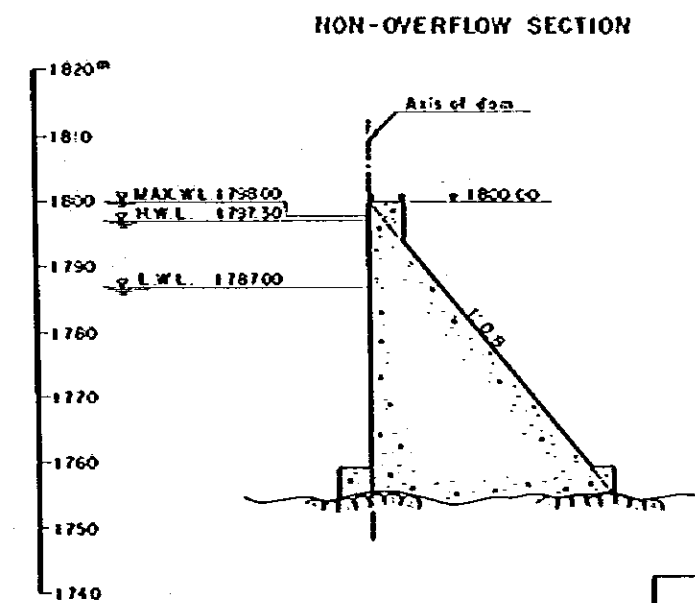
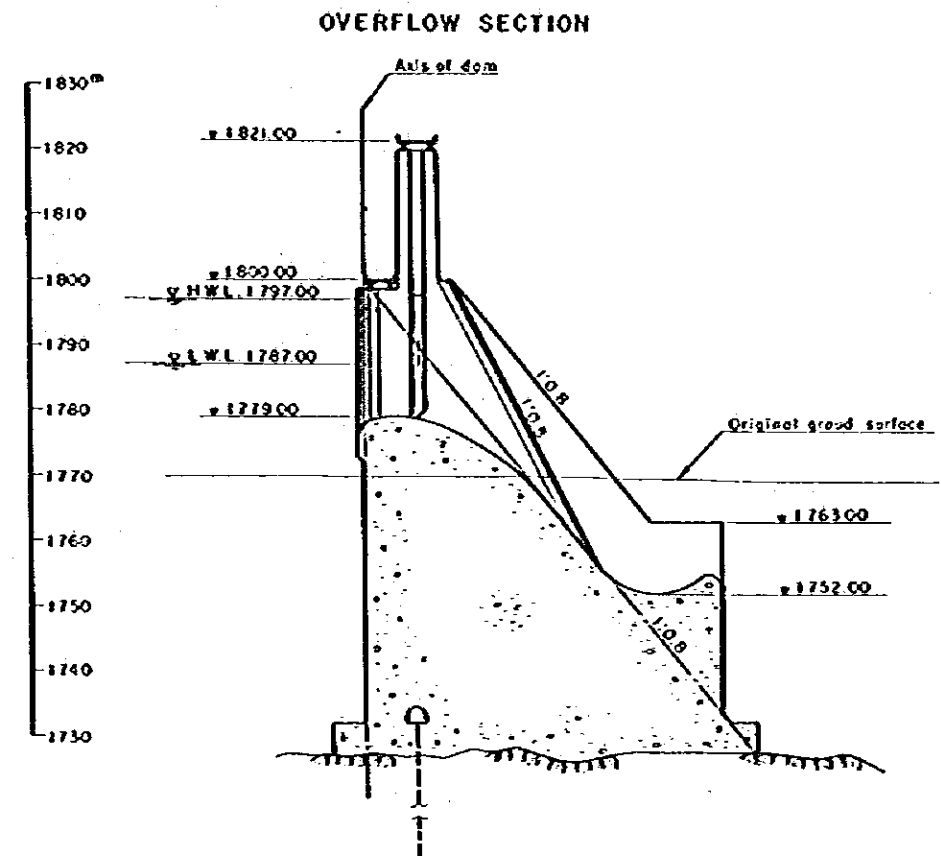
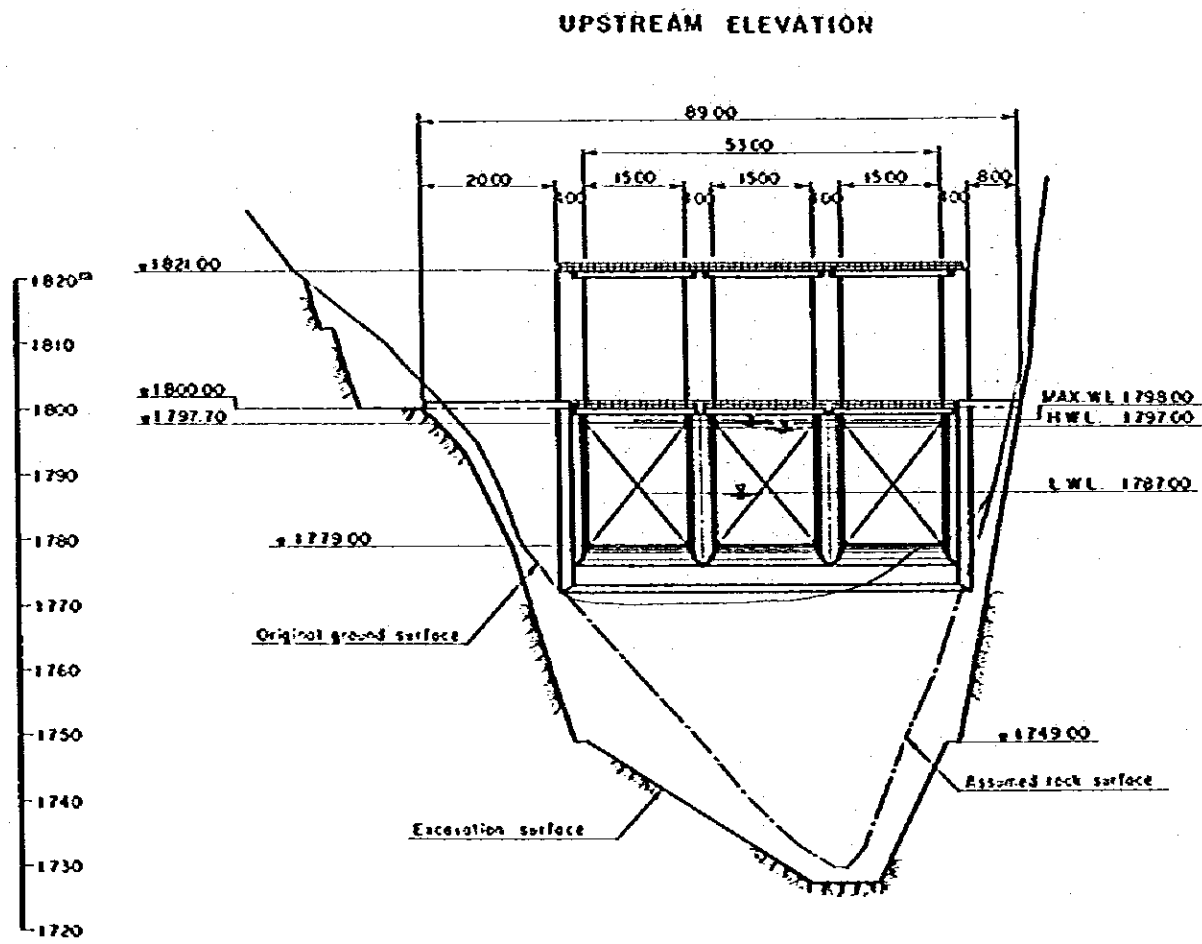
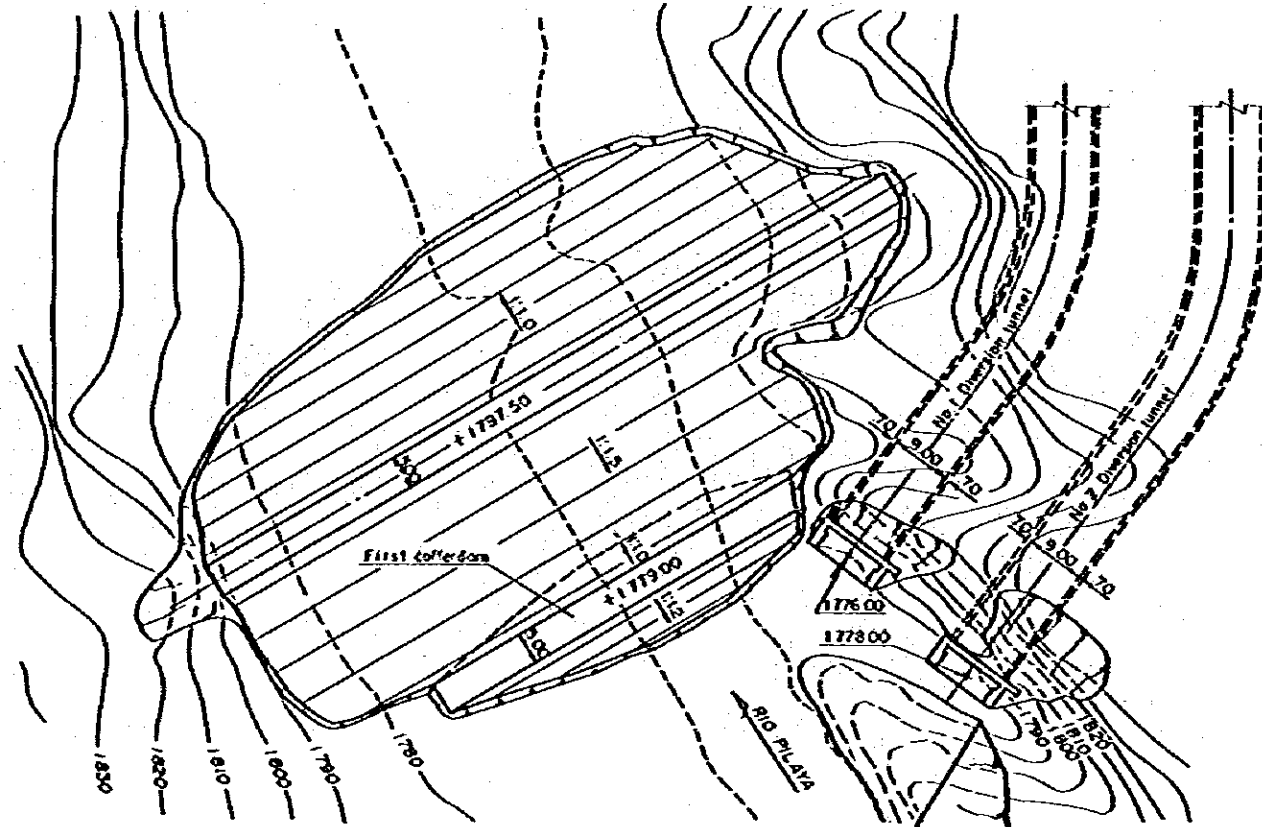


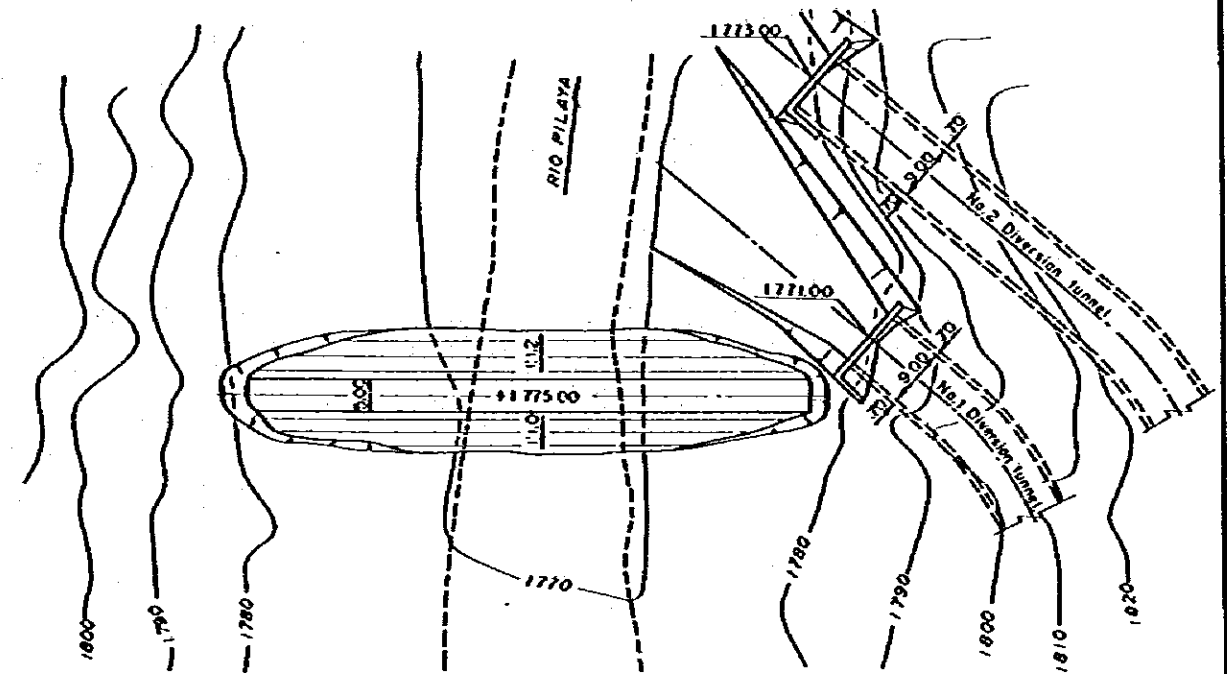
Fig. 7 - 10

DAM  
PROFILE AND SECTIONS

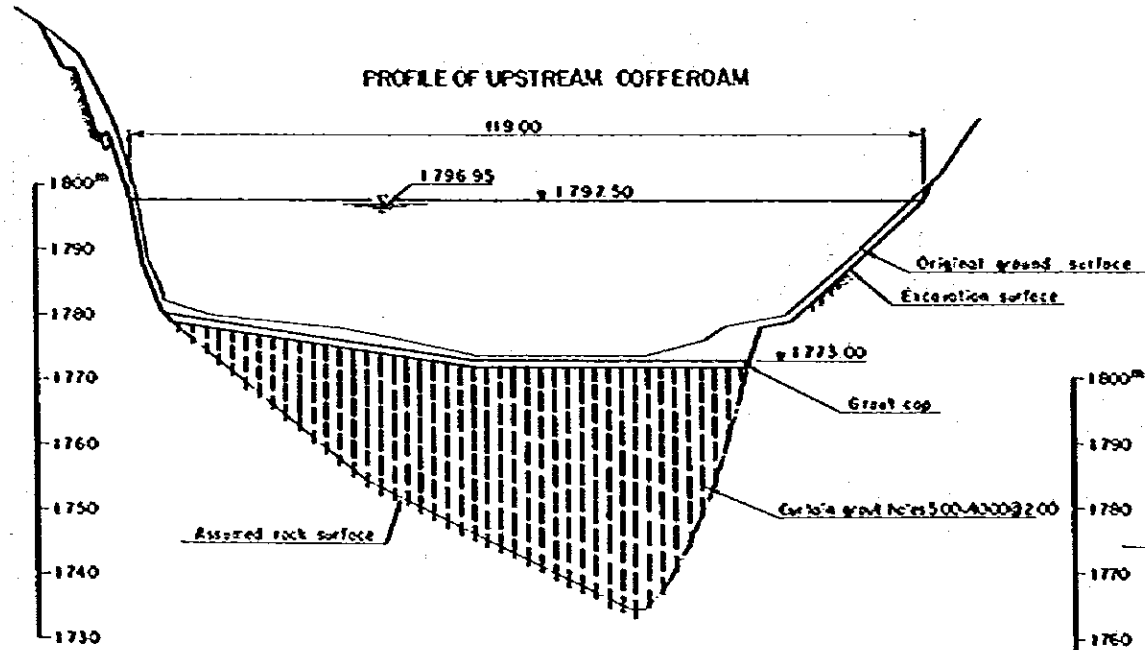
PLAN OF UPSTREAM COFFERDAM



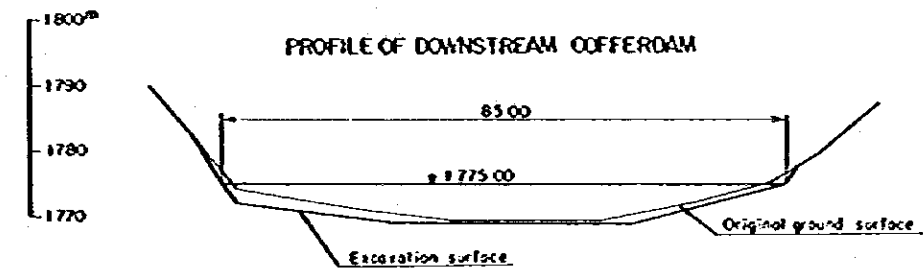
PLAN OF DOWNSTREAM COFFERDAM



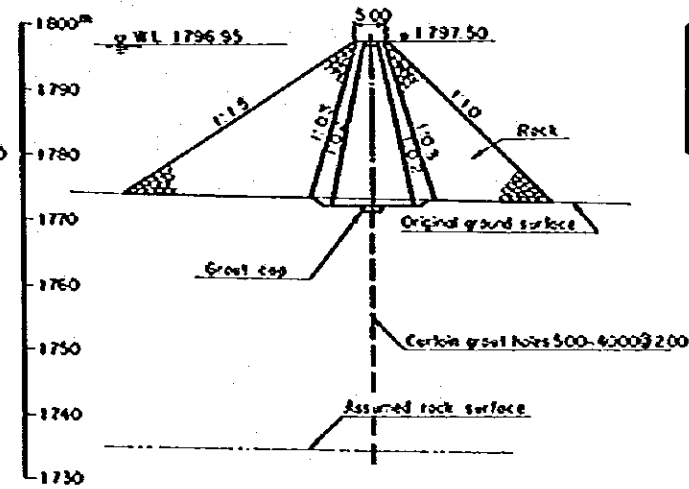
PROFILE OF UPSTREAM COFFERDAM



PROFILE OF DOWNSTREAM COFFERDAM



TYPICAL CROSS SECTION OF UPSTREAM COFFERDAM



TYPICAL CROSS SECTION OF DOWNSTREAM COFFERDAM

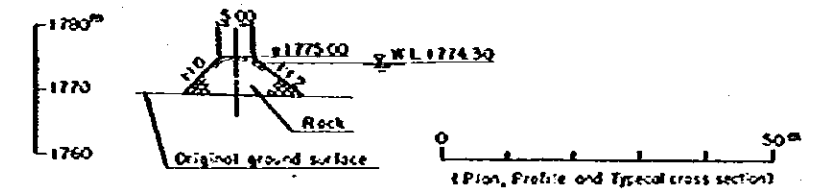
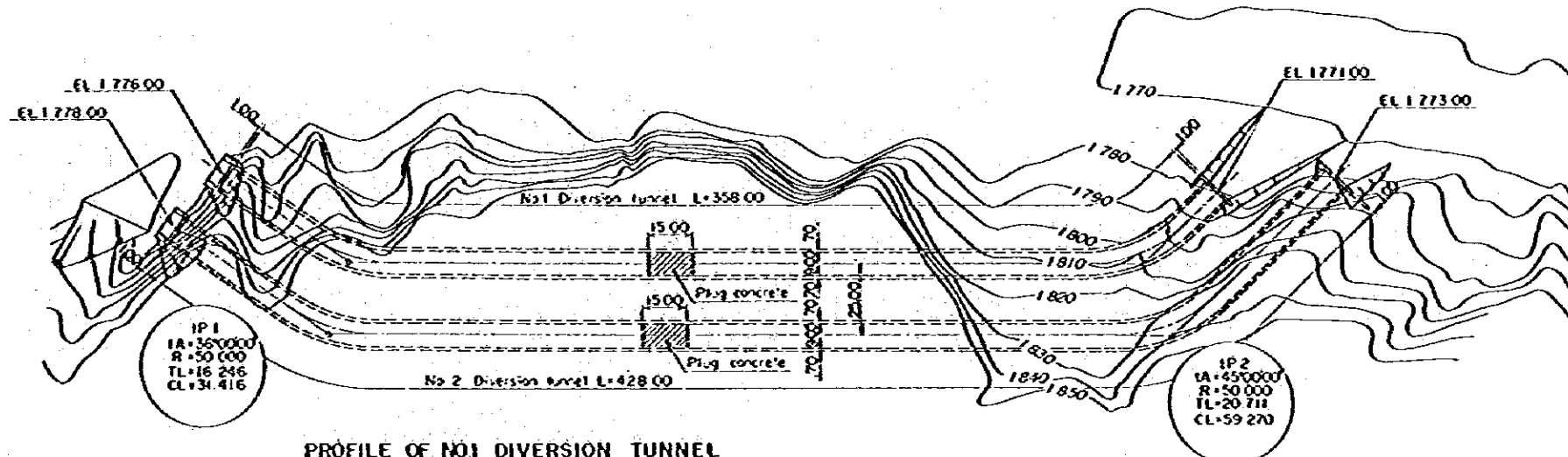


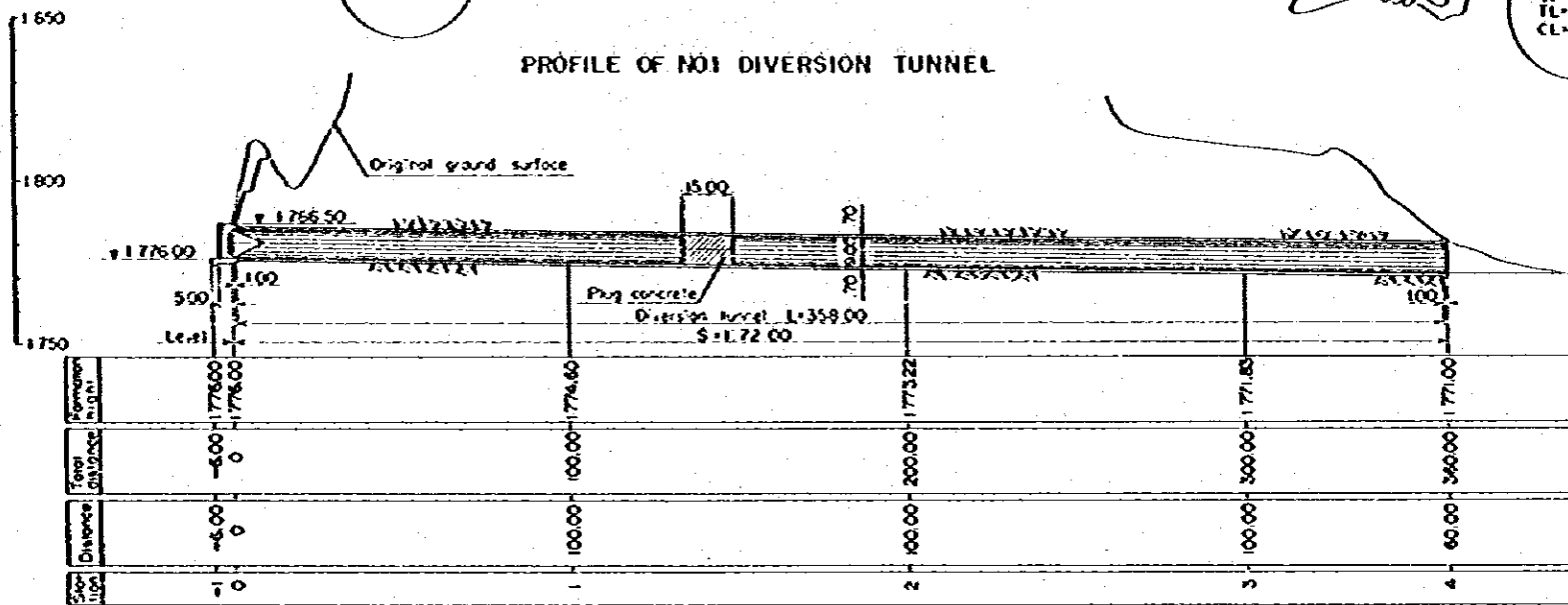
Fig. 7 - 11

COFFERDAM  
PLAN, PROFILE AND SECTIONS

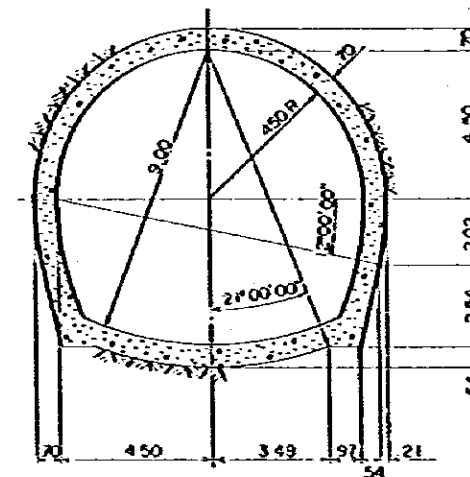
PLAN



PROFILE OF NO1 DIVERSION TUNNEL



TYPICAL CROSS SECTION OF TUNNEL



PROFILE OF NO2 DIVERSION TUNNEL

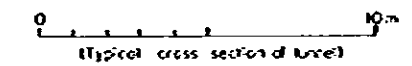
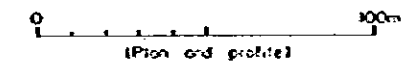
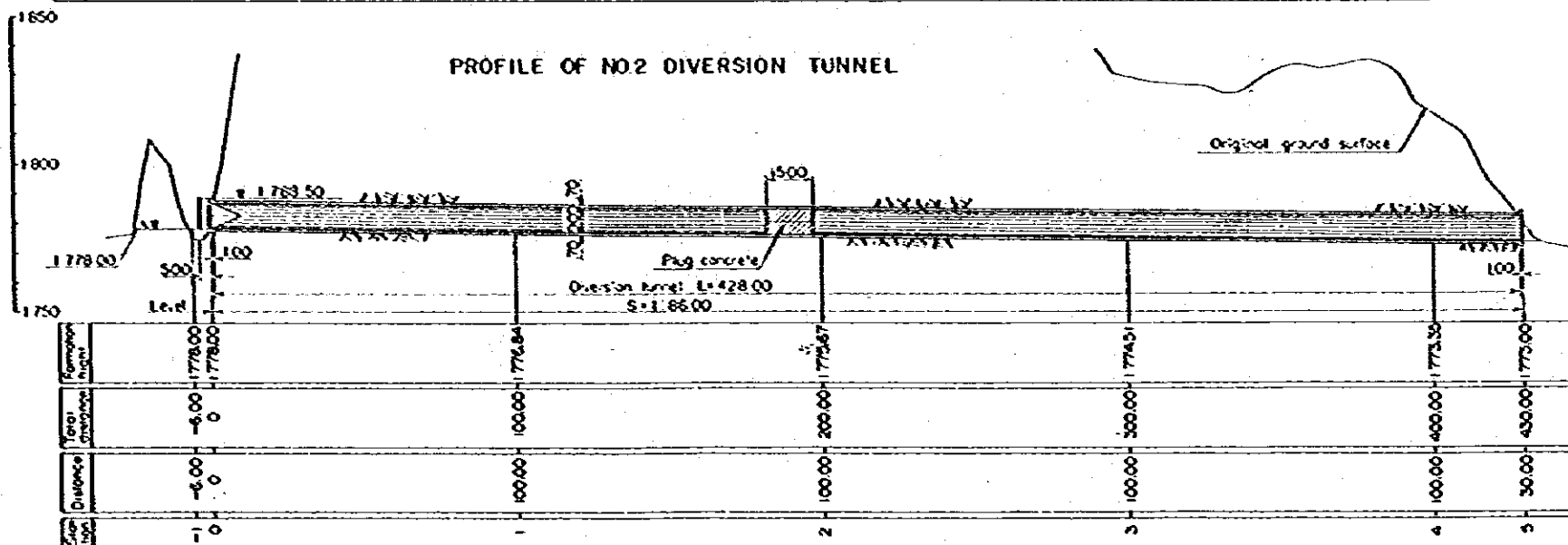
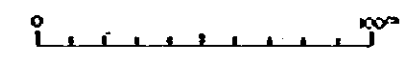
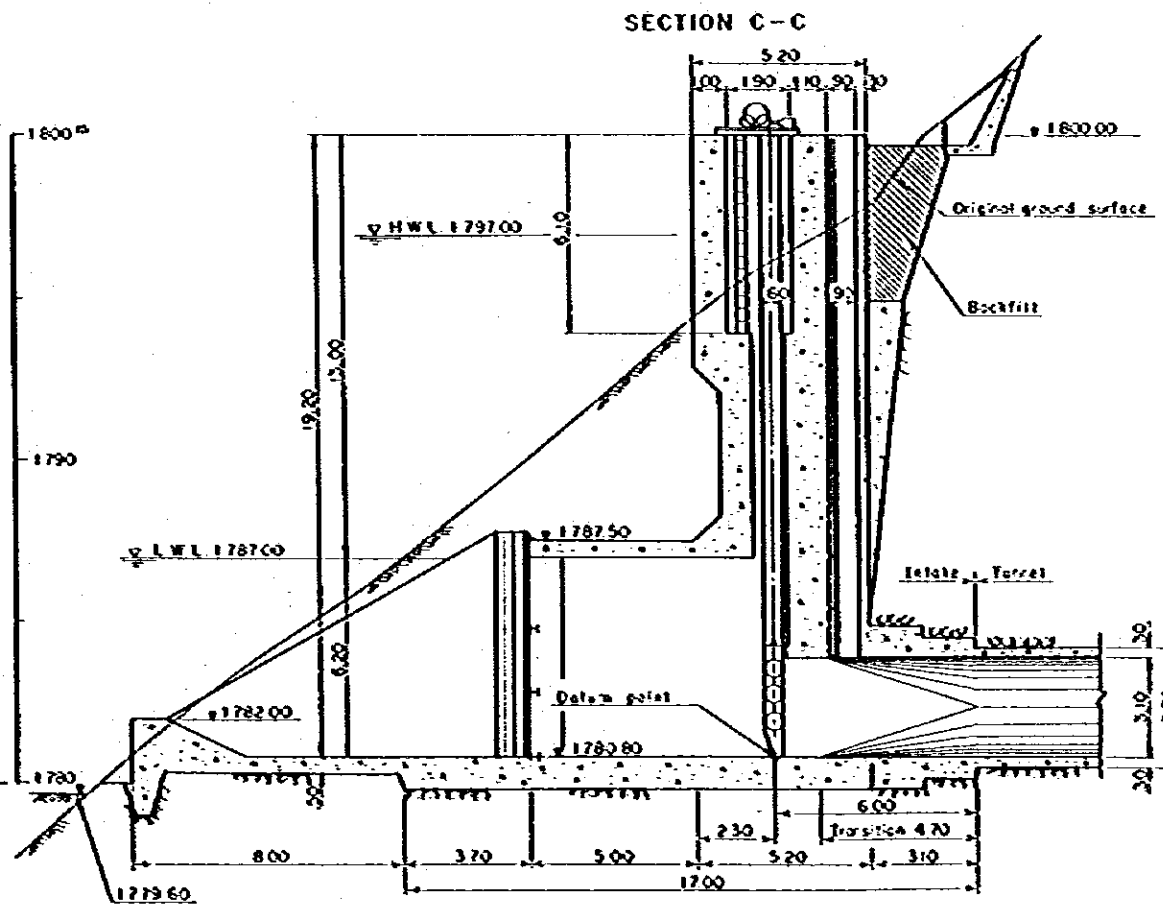
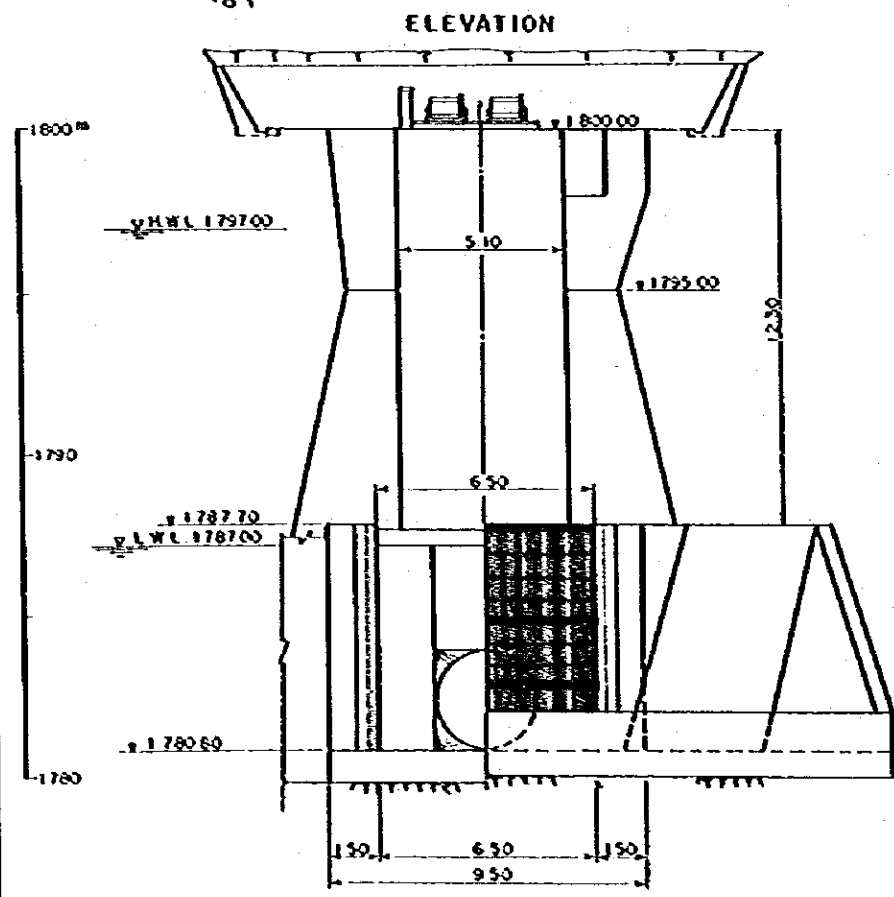
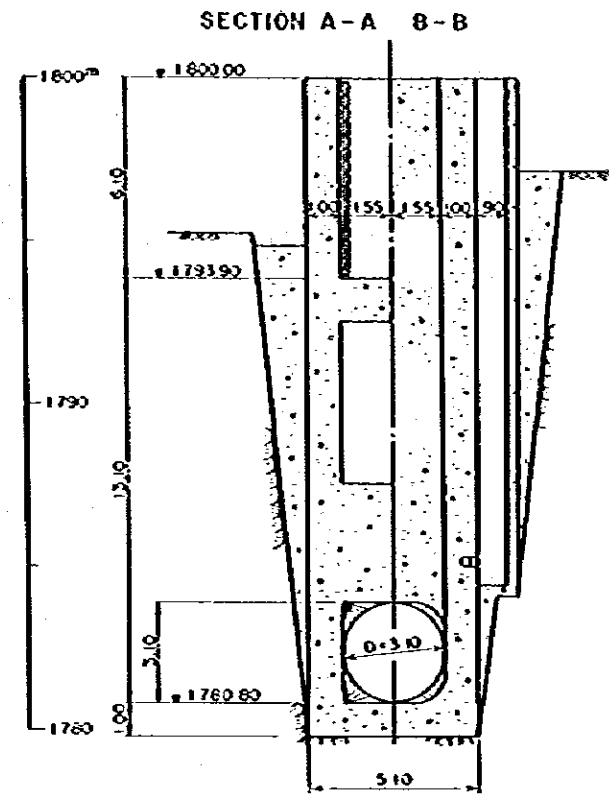
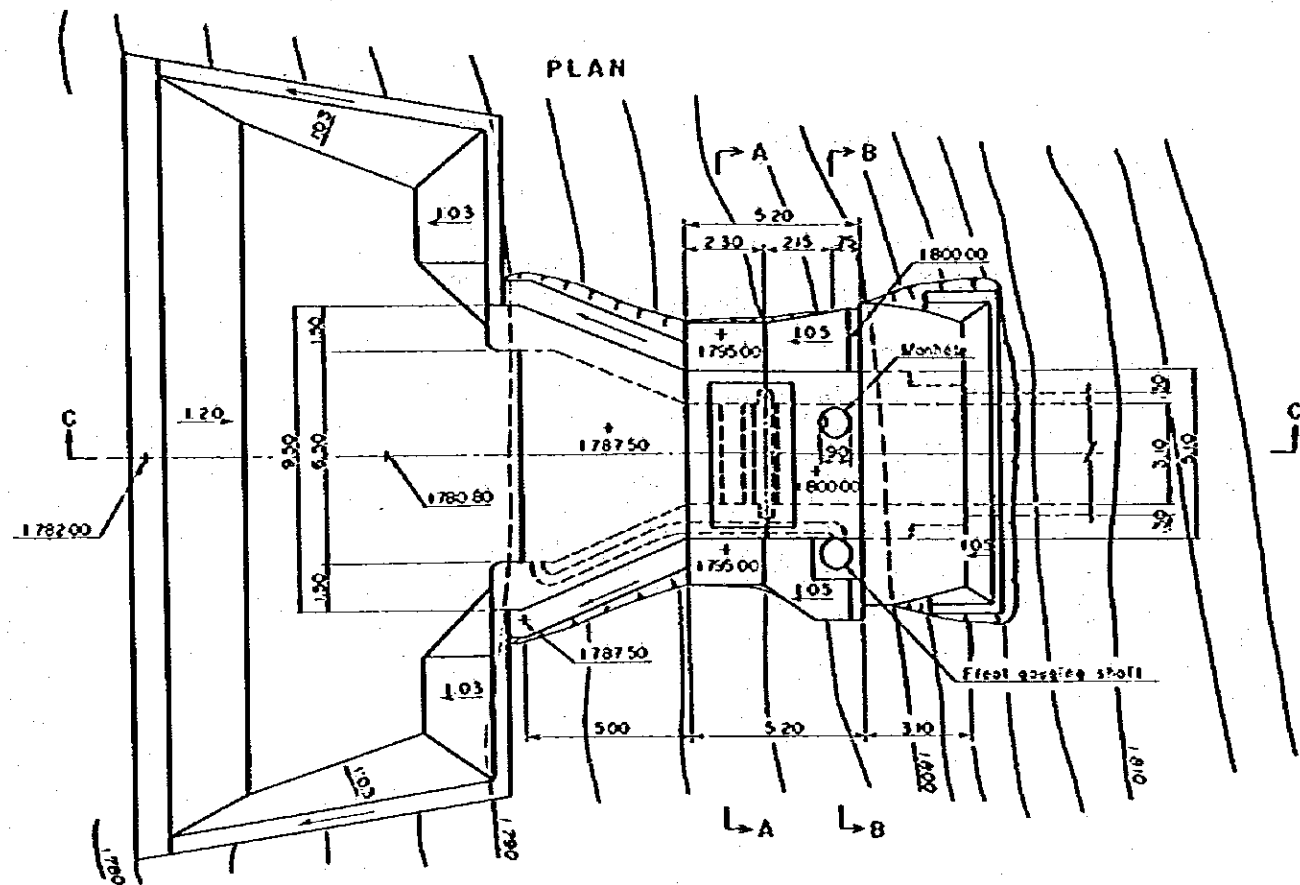


Fig. 7-12

DIVERSION TUNNEL  
PLAN, PROFILE AND SECTION



**Fig. 7-13**  
**INTAKE**  
**PLAN, PROFILE AND SECTIONS**

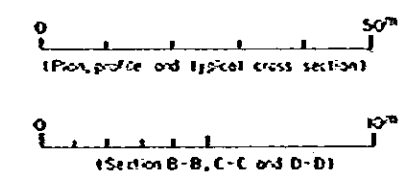
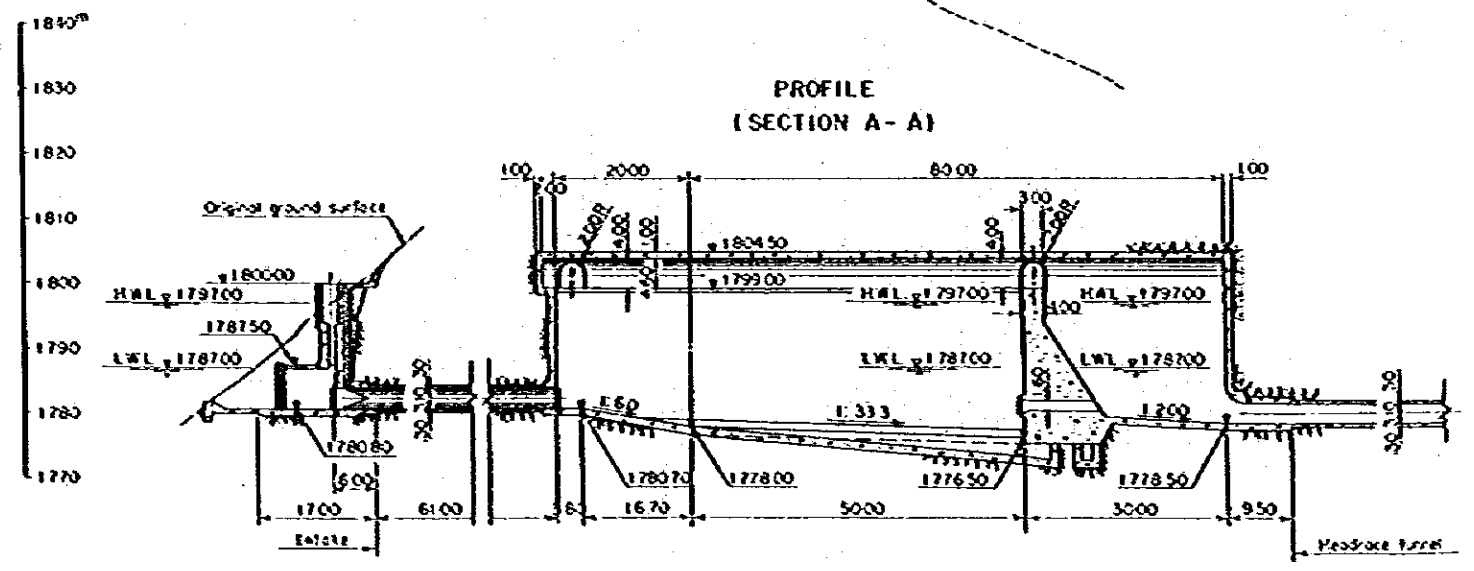
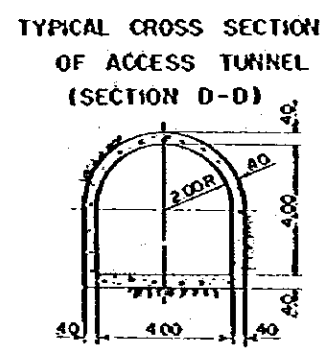
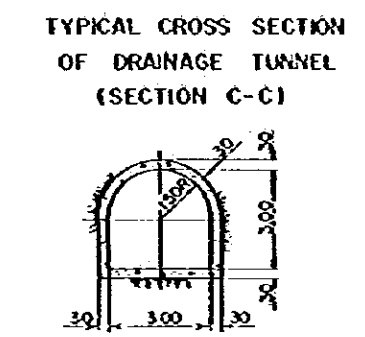
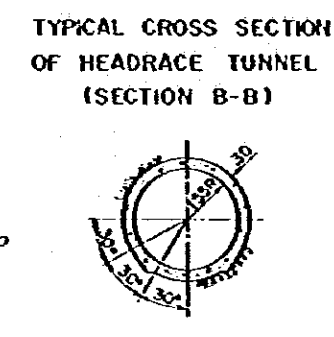
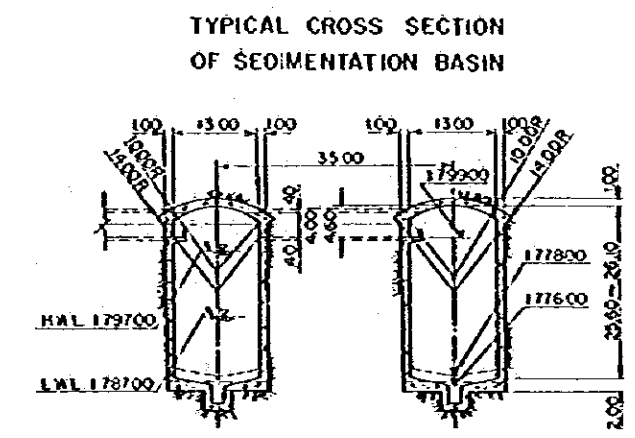
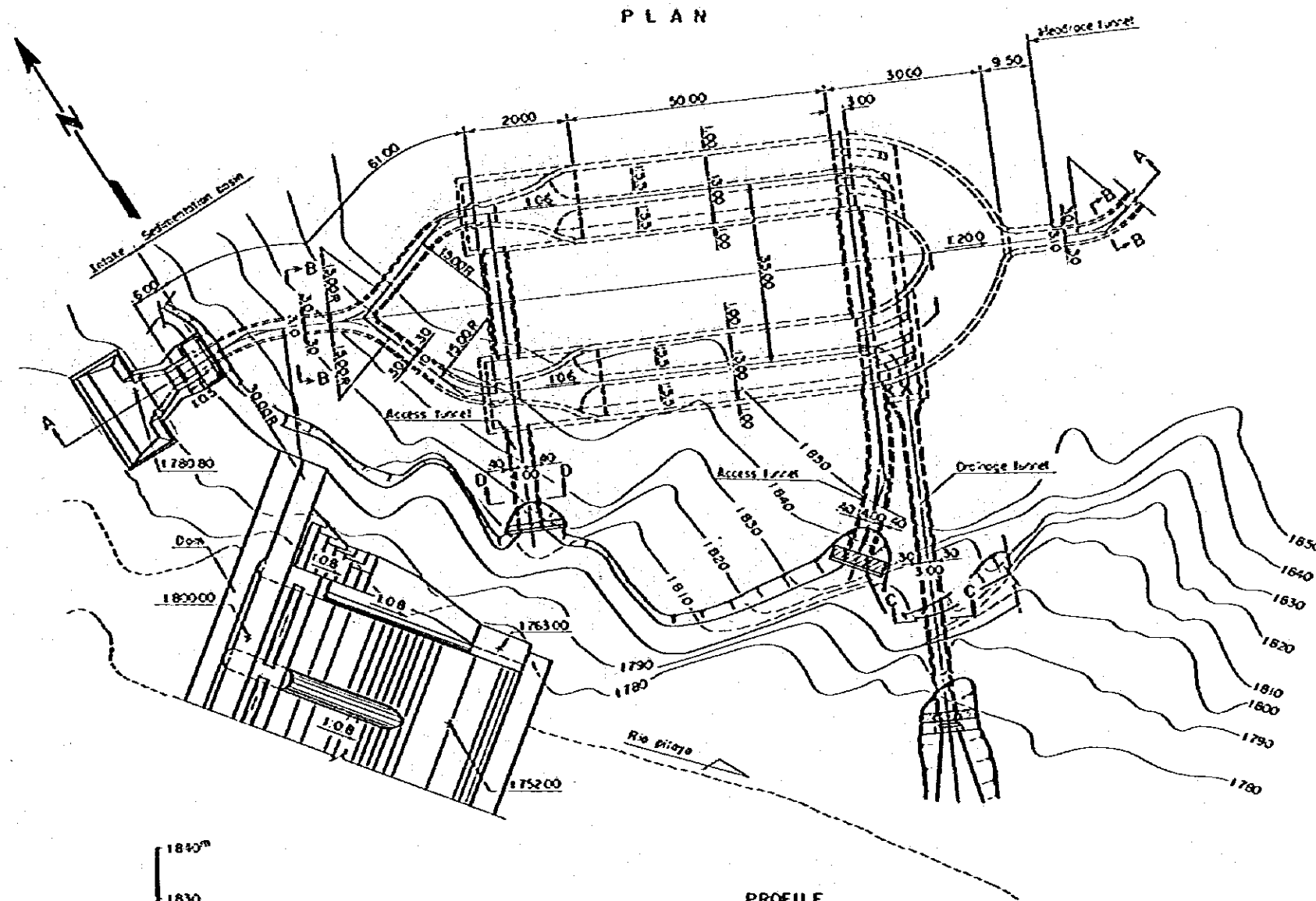
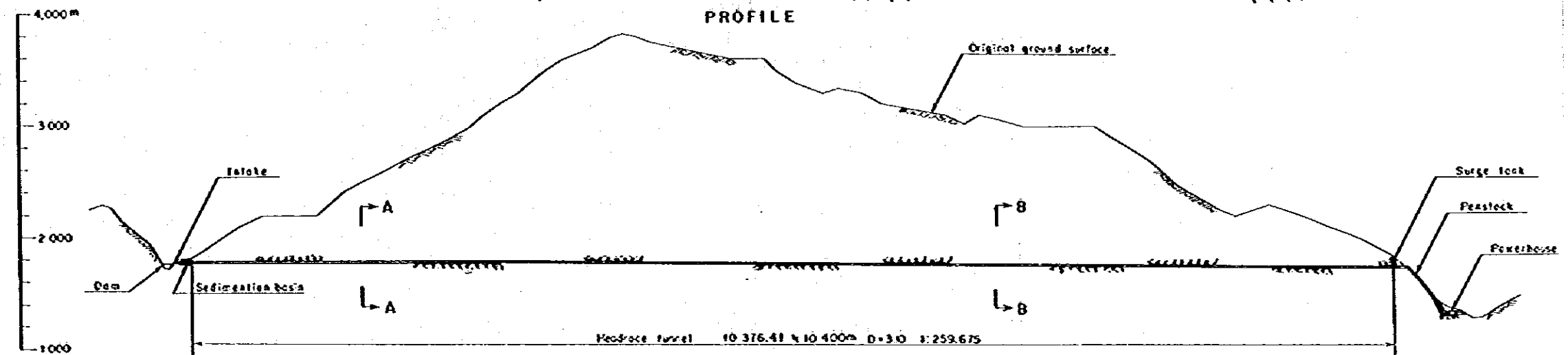
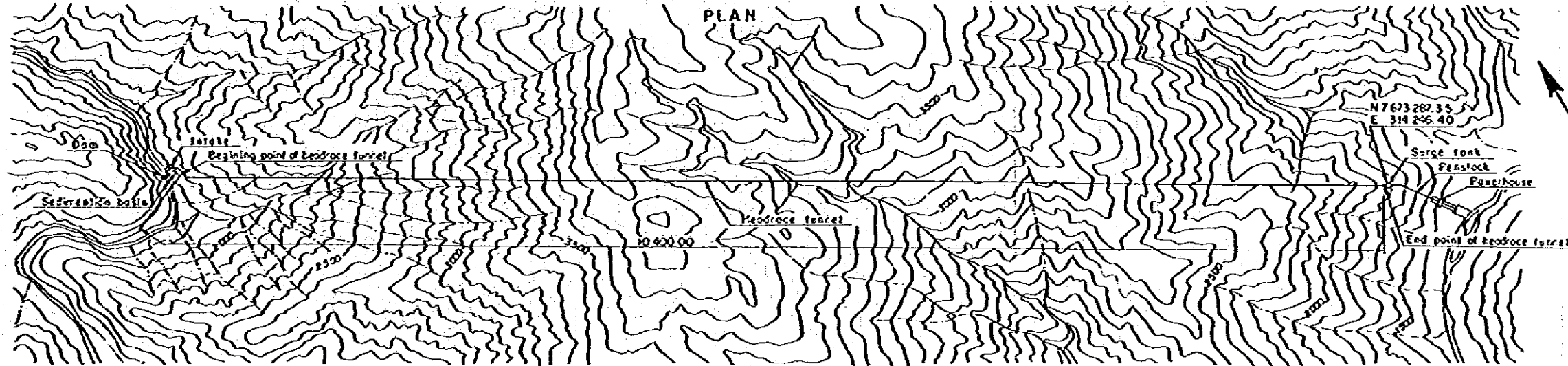


Fig. 7-14  
**SEDIMENTATION BASIN  
 PLAN, PROFILE AND SECTIONS**



Station	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ground height	1776.00	1774.00	1770.00	1765.00	1763.10	1758.25	1753.39	1751.54	1747.89	1743.64	1738.99	1734.45
Total distance	0	1000.0	2000.0	3000.0	4000.0	5000.0	6000.0	7000.0	8000.0	9000.0	10000.0	11000.0
Chasing	0	1000.0	2000.0	3000.0	4000.0	5000.0	6000.0	7000.0	8000.0	9000.0	10000.0	11000.0
Station	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

SECTION A-A

SECTION B-B

CONSOLIDATION GROUT HOLES

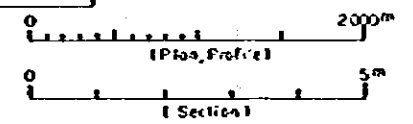
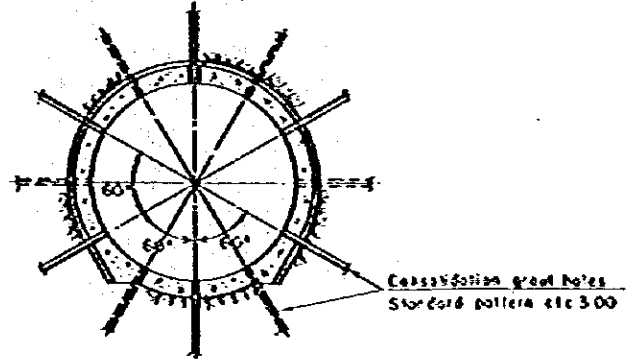
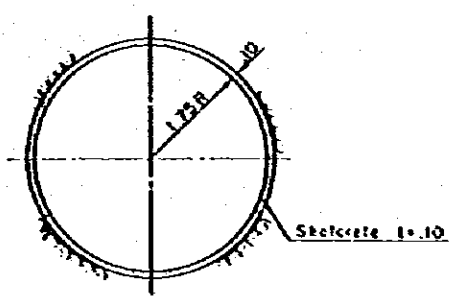
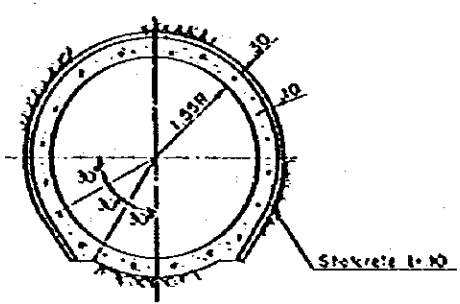
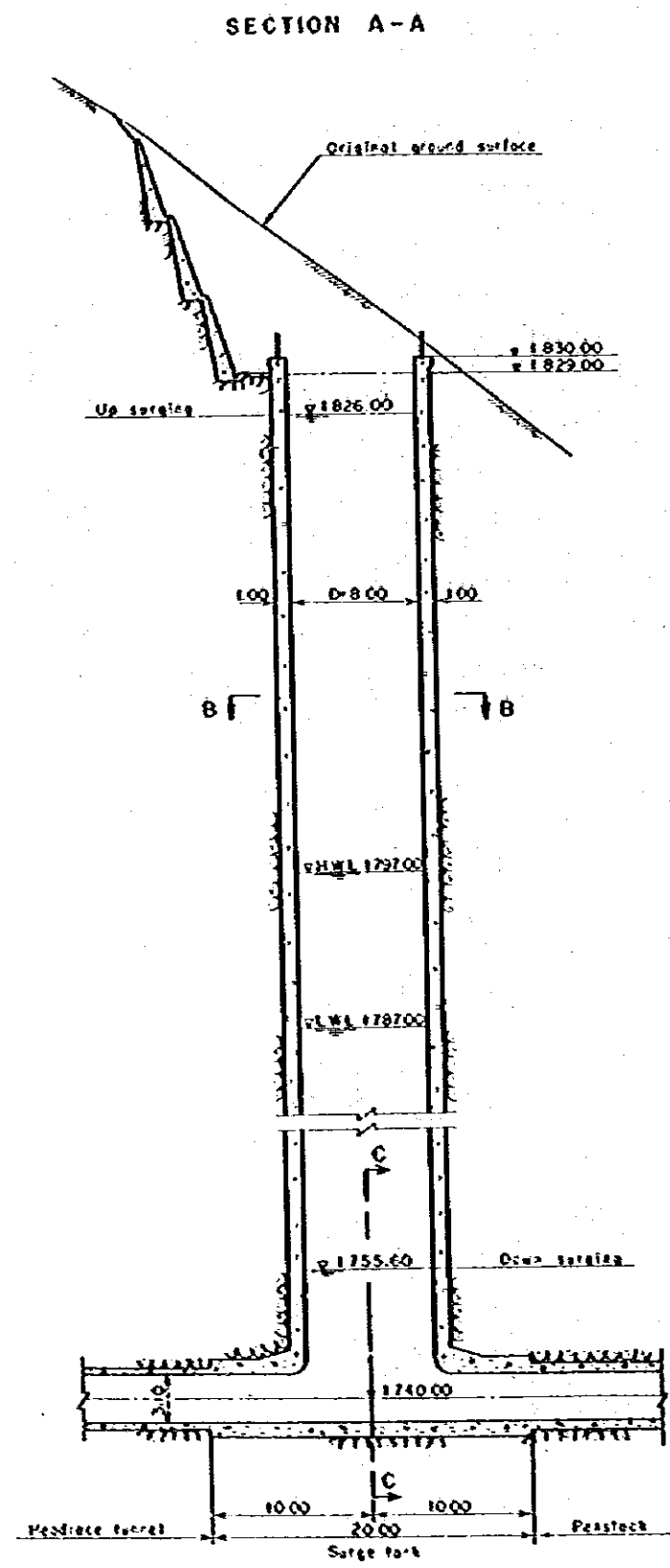
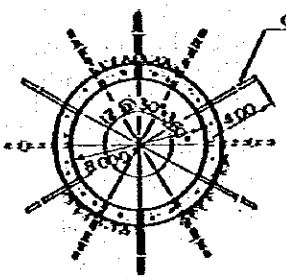


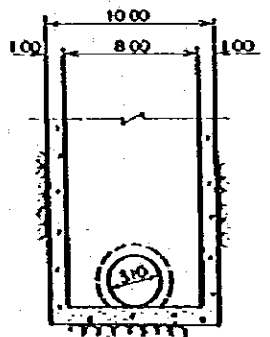
Fig. 7-15  
HEADRACE TUNNEL  
PLAN, PROFILE AND SECTIONS



### SECTION B-B



### SECTION C-C



### PLAN

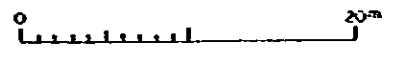
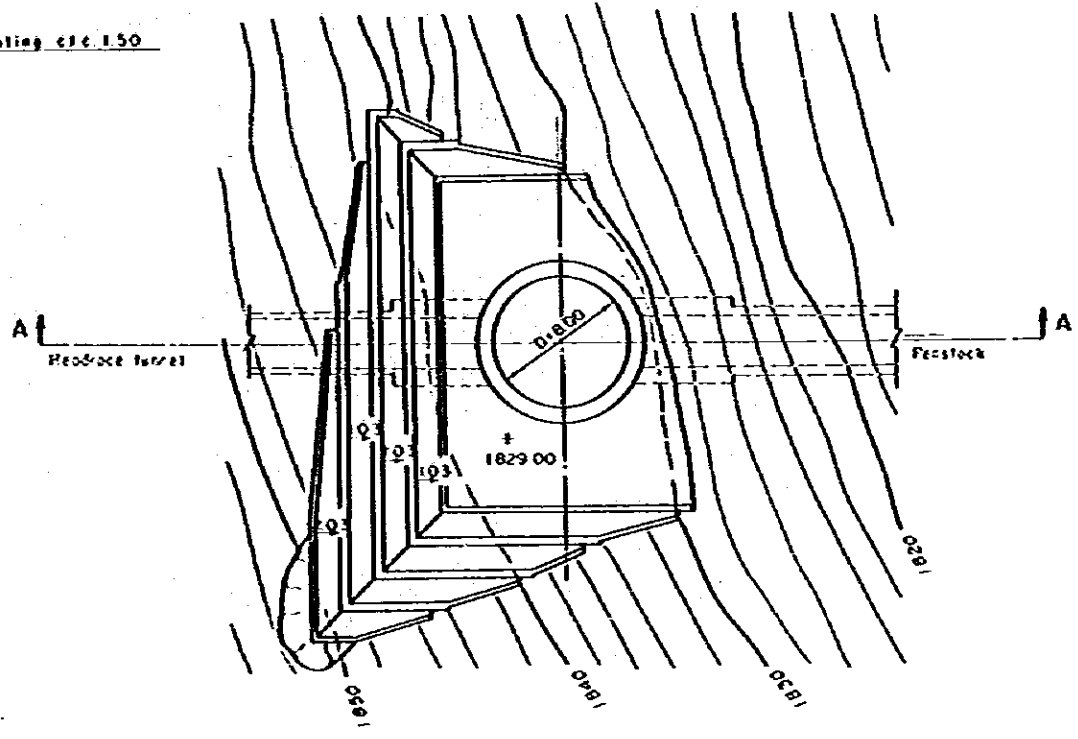
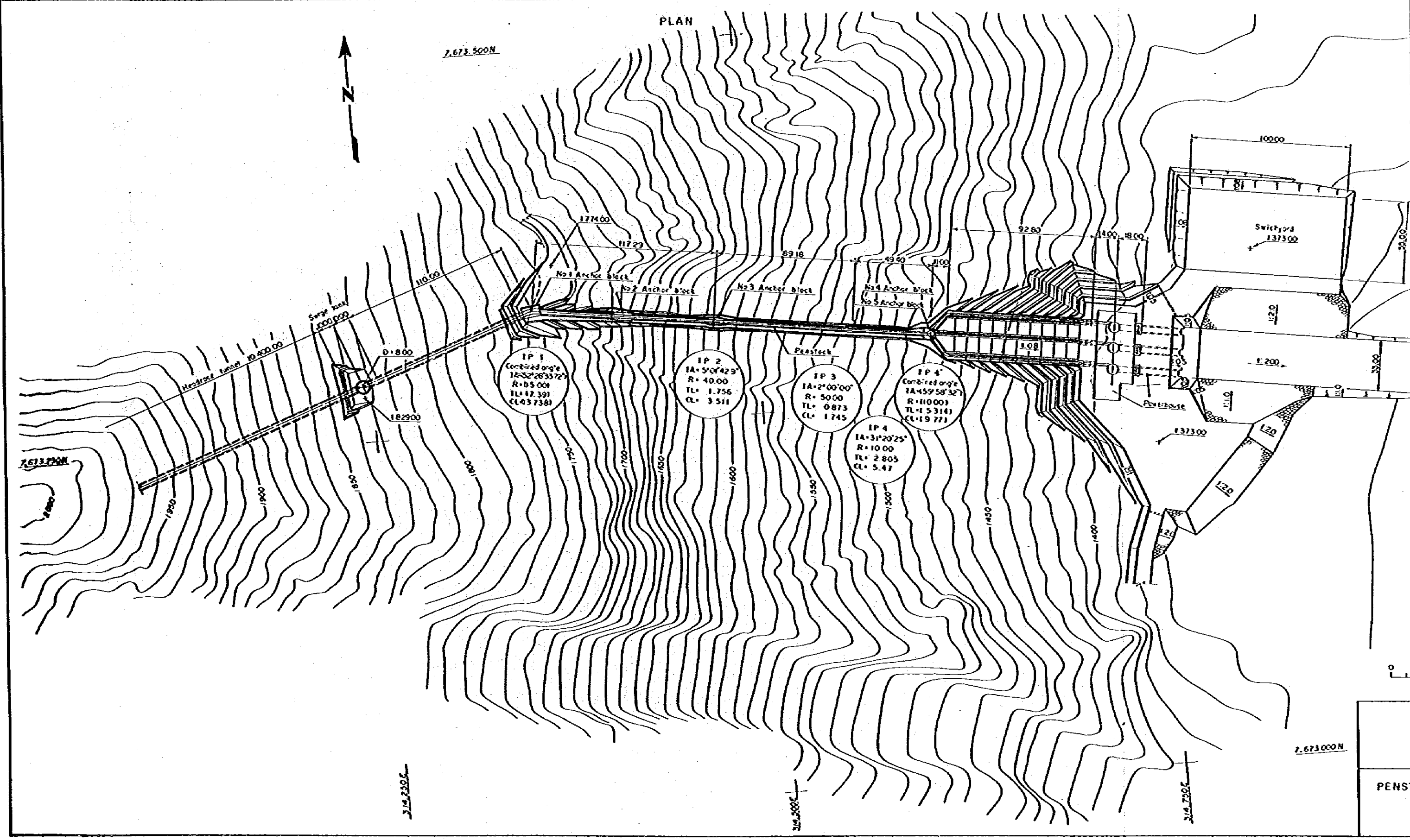


Fig. 7-16

**SURGE TANK**

**PLAN AND SECTIONS**



2.673.000N

PENSI



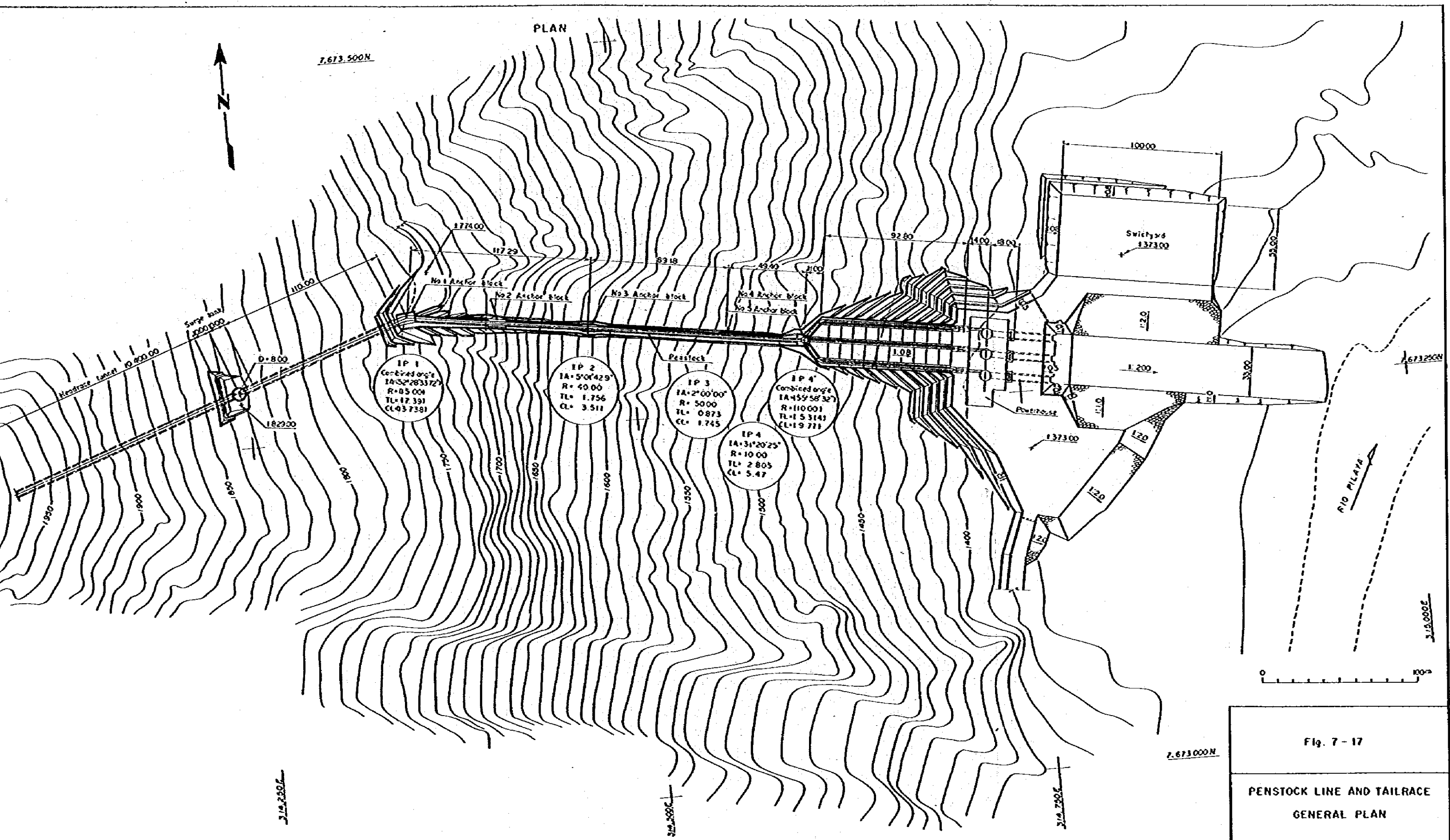
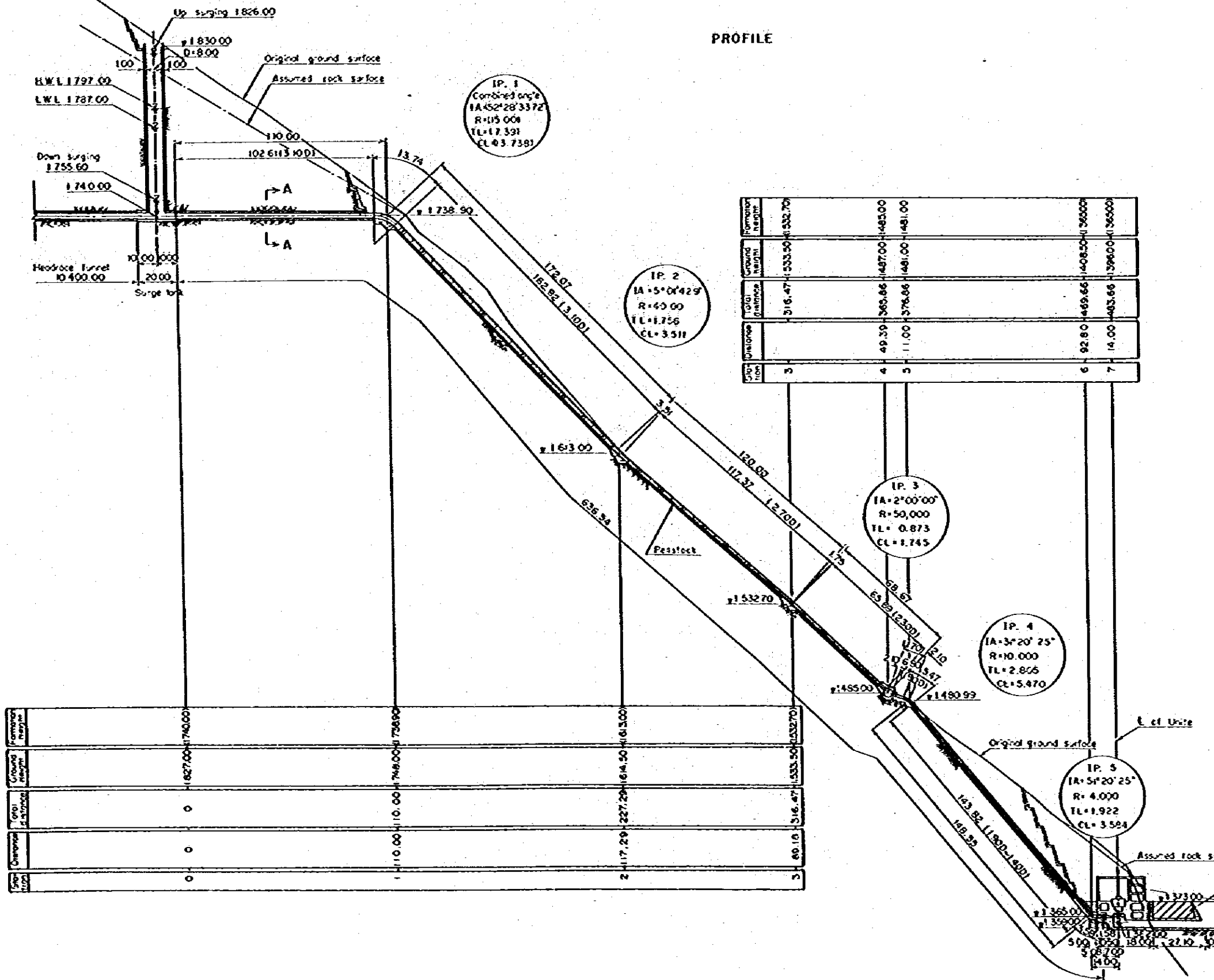


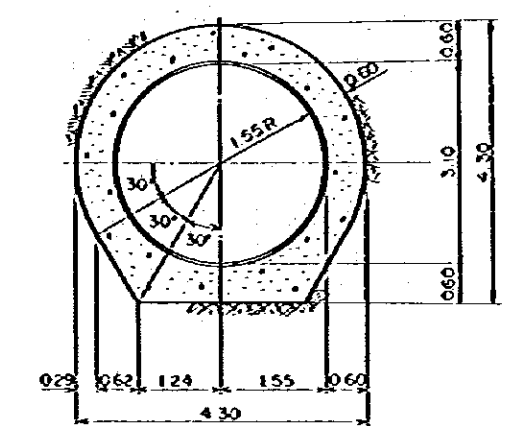
Fig. 7 - 17  
PENSTOCK LINE AND TAILRACE  
GENERAL PLAN

1850 m  
1800  
1750  
1700  
1650  
1600  
1550  
1500  
1450  
1400  
1350

PROFILE



SECTION A - A



ANCHOR BLOCK

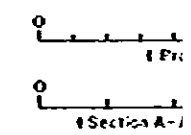
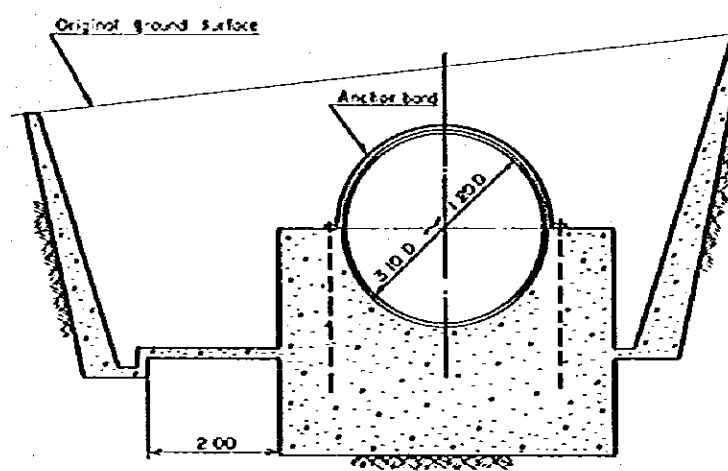
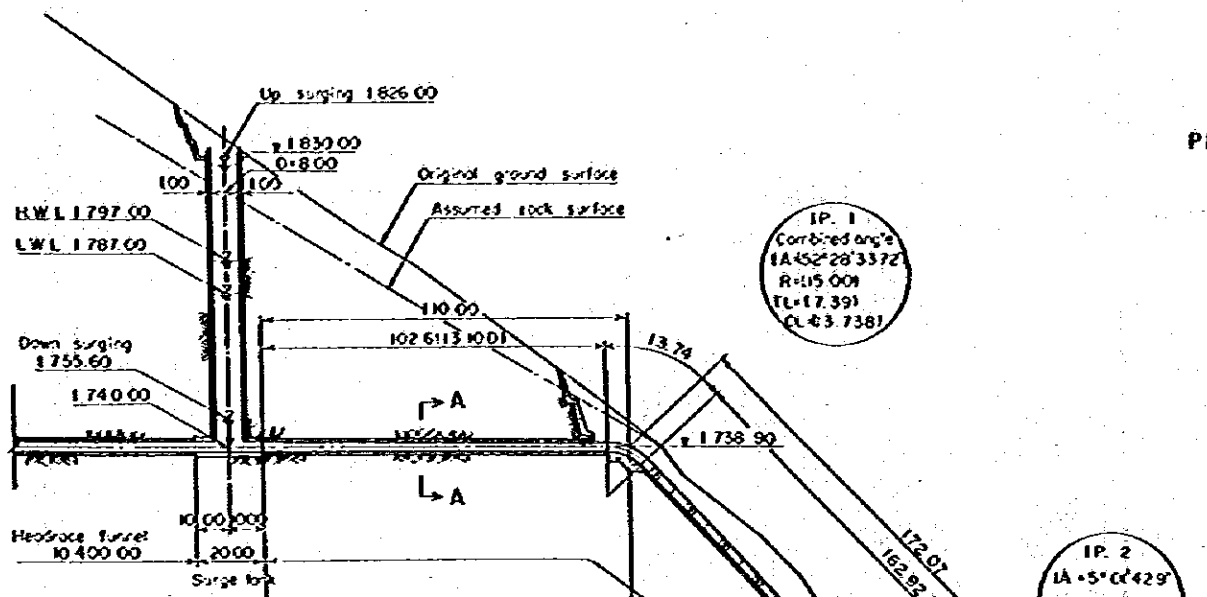
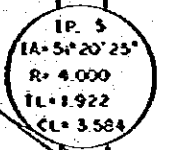
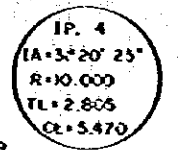
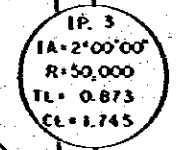
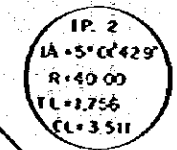
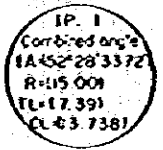


Fig.  
PEN  
PROFILE

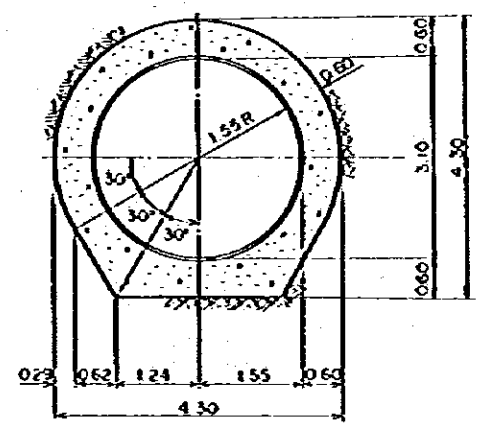


PROFILE

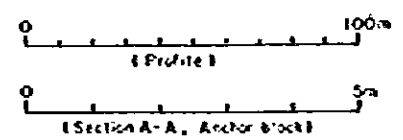
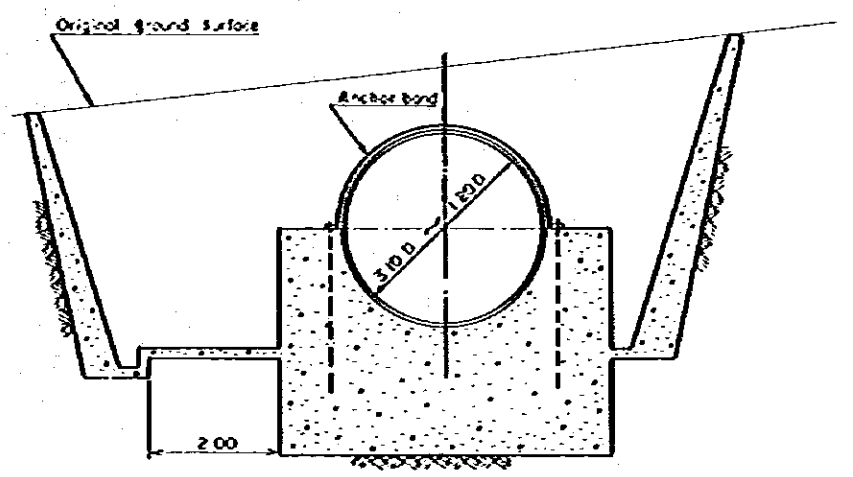


Station	Distance from	Total station	Ground height	Formation height
3	0	316.47	533.50	532.70
4	49.39	365.86	487.00	485.00
5	111.00	376.86	481.00	481.00
6	92.80	469.66	408.50	365.00
7	14.00	483.66	396.00	365.00

SECTION A - A



ANCHOR BLOCK



Station	Distance from	Total station	Ground height	Formation height
1	0	110.00	745.00	740.00
2	17.29	227.29	644.50	613.00
3	89.18	316.47	533.50	532.70

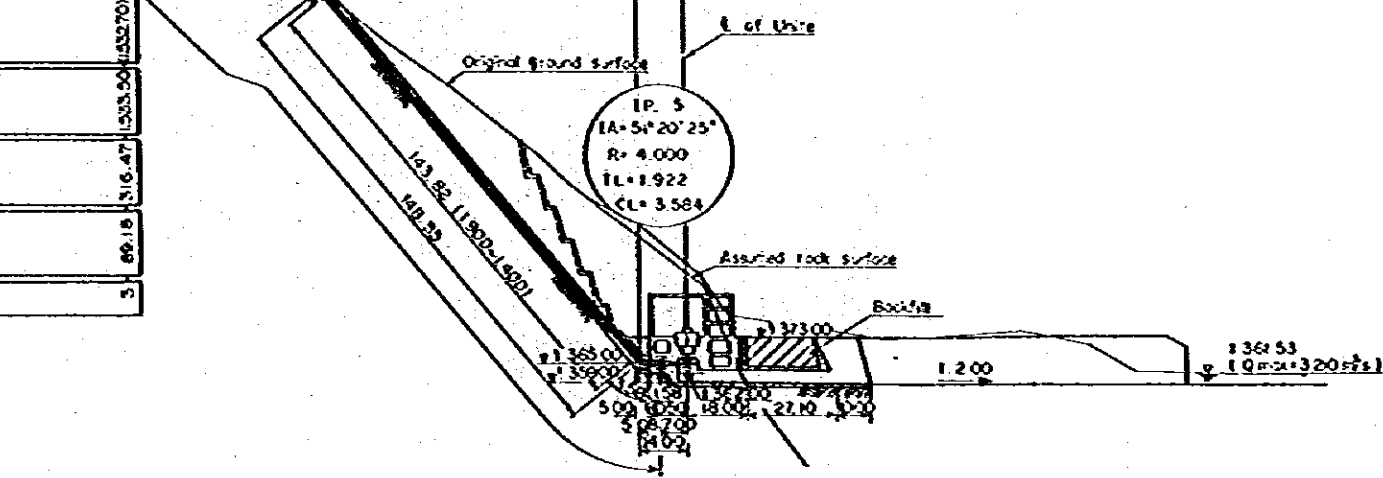
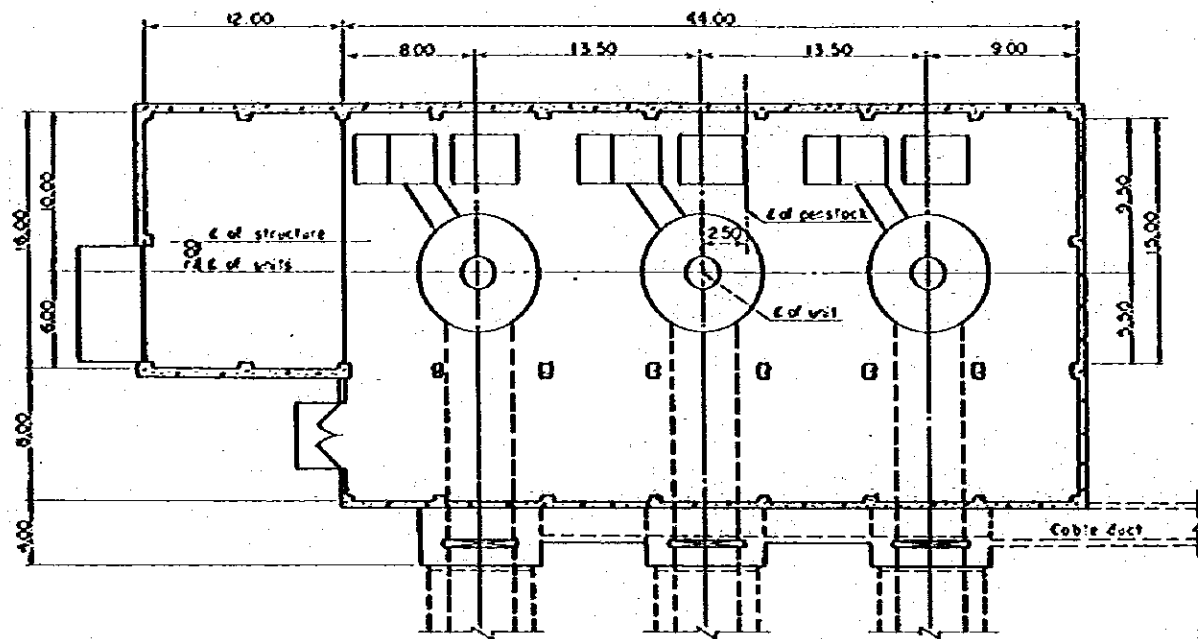


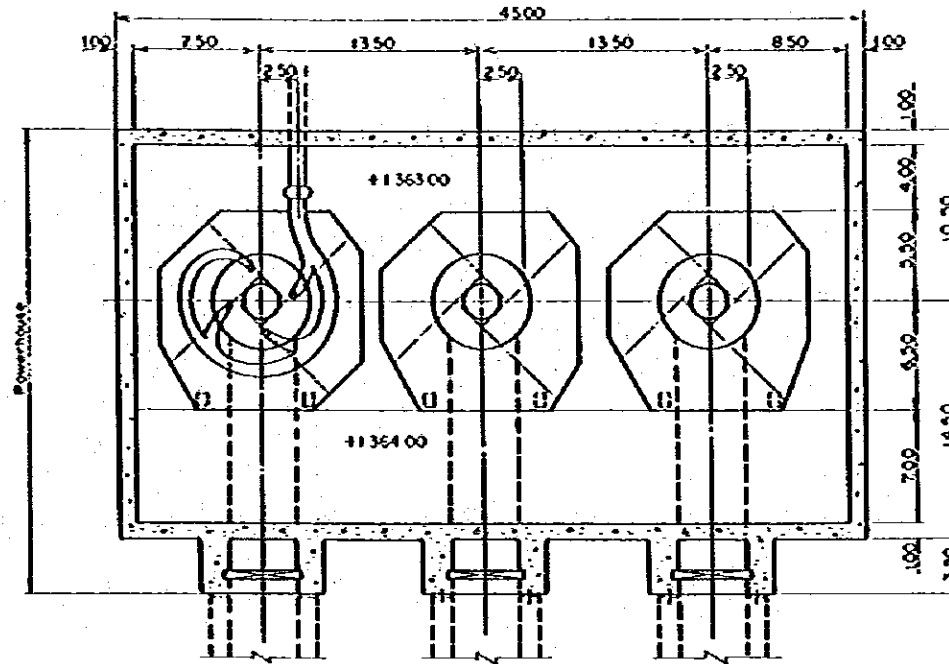
Fig. 7-18

PENSTOCK  
 PROFILE AND SECTIONS

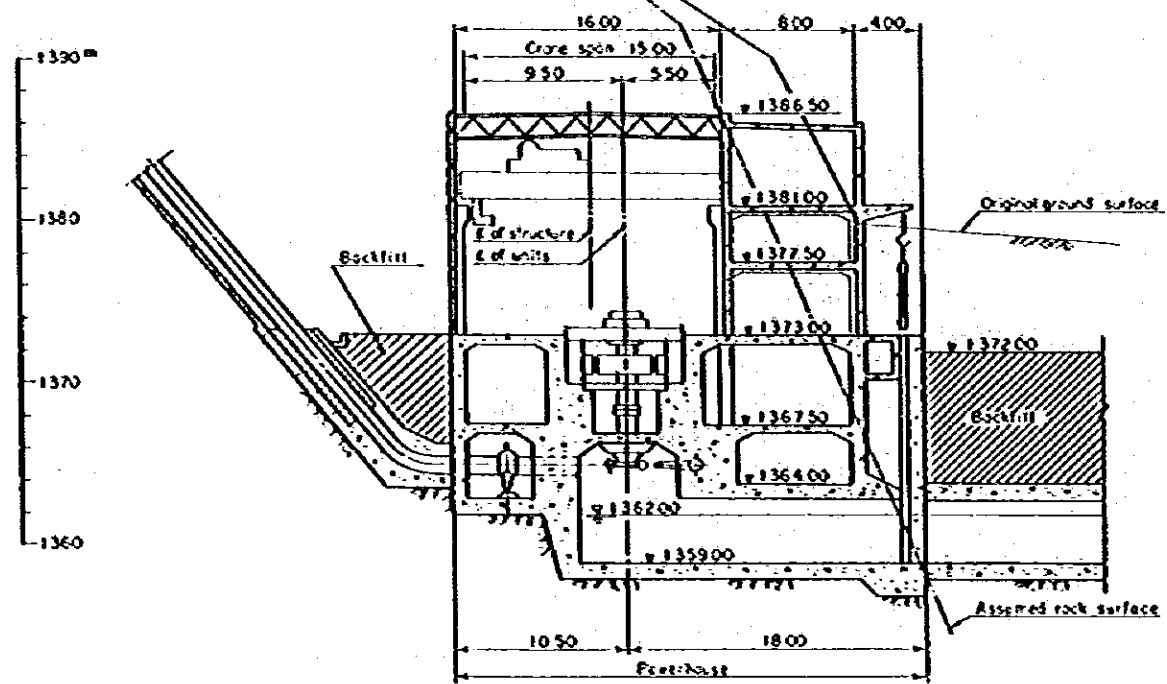
PLAN (EL 1373.00)



PLAN (EL 1365.00)



TRANSVERSE SECTION



LONGITUDINAL SECTION

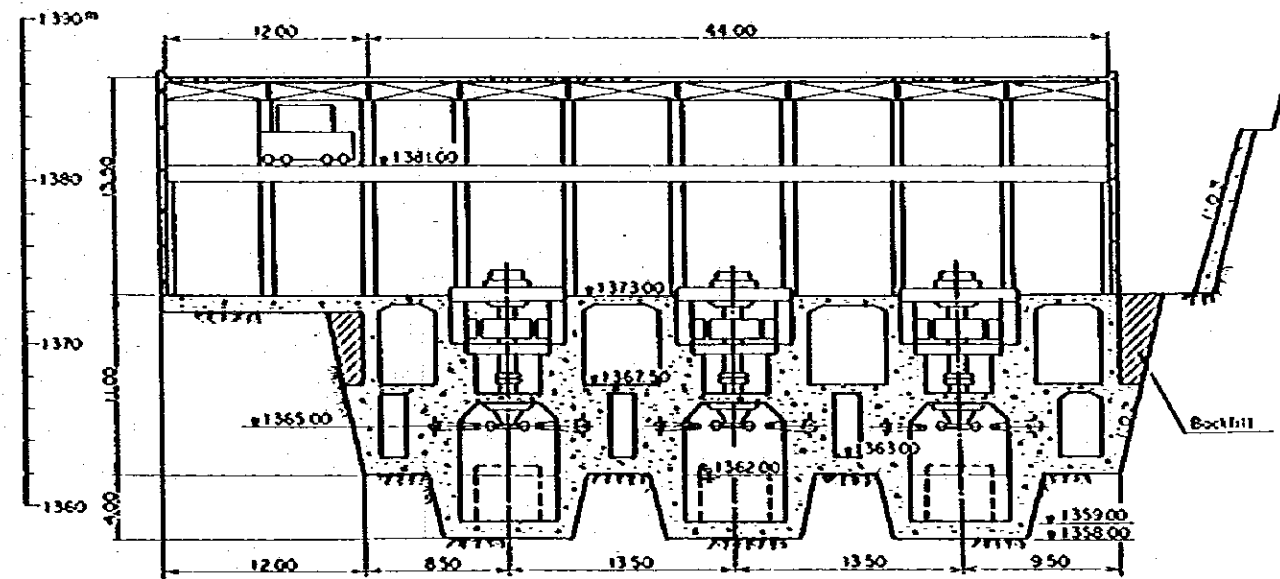
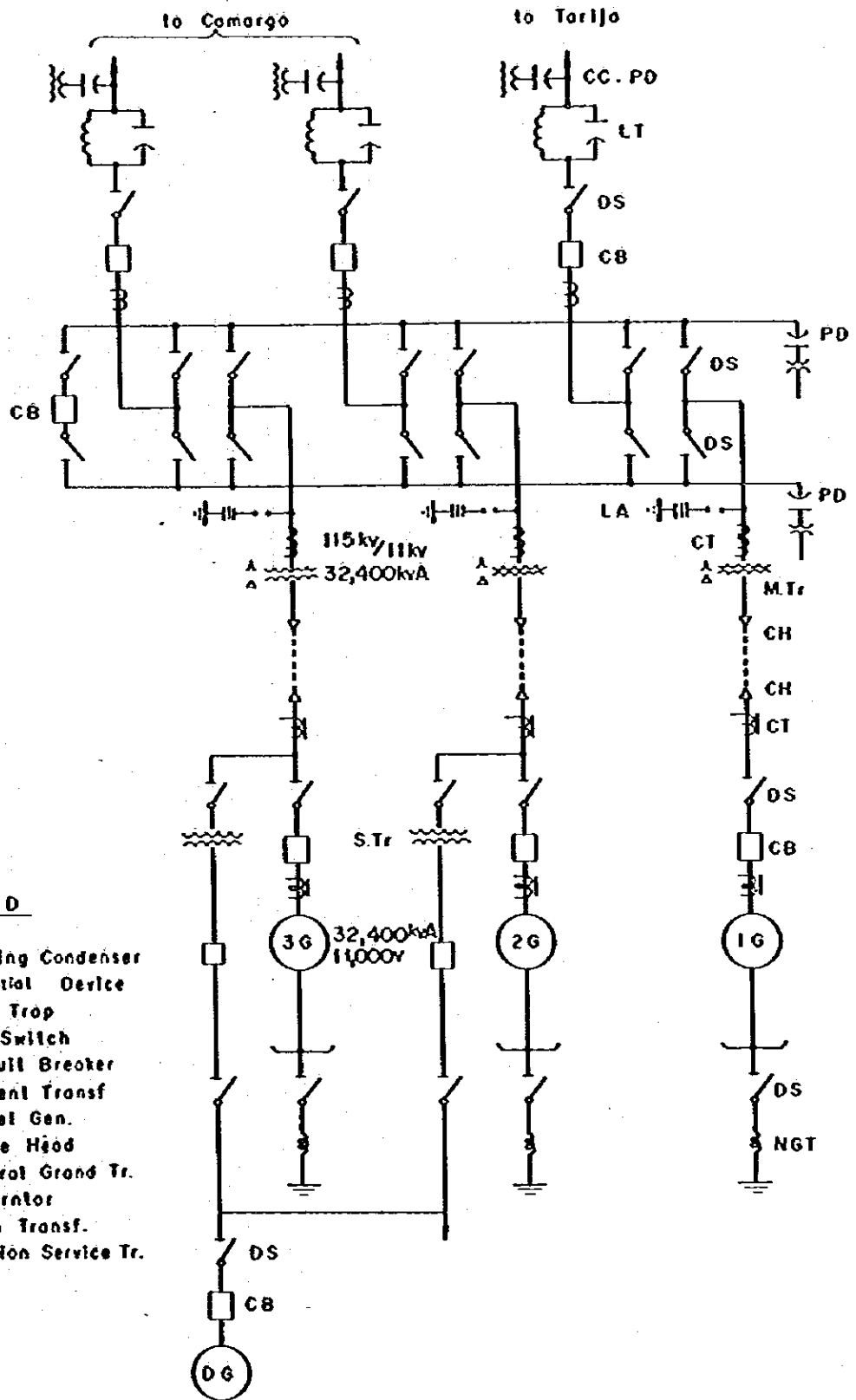


Fig. 7-19

POWERHOUSE  
PLAN AND SECTIONS



Fig.7-20 Single Line Diagram for Pilayo P.S



**LEGEND**

- C.C : Coupling Condenser
- P.D : Potential Device
- L.T : Line Trap
- O.S : Oil Switch
- C.B : Circuit Breaker
- C.T : Current Transf
- D.G : Diesel Gen.
- C.H : Cable Head
- M.Tr : Main Transf.
- S.Tr : Station Service Tr.







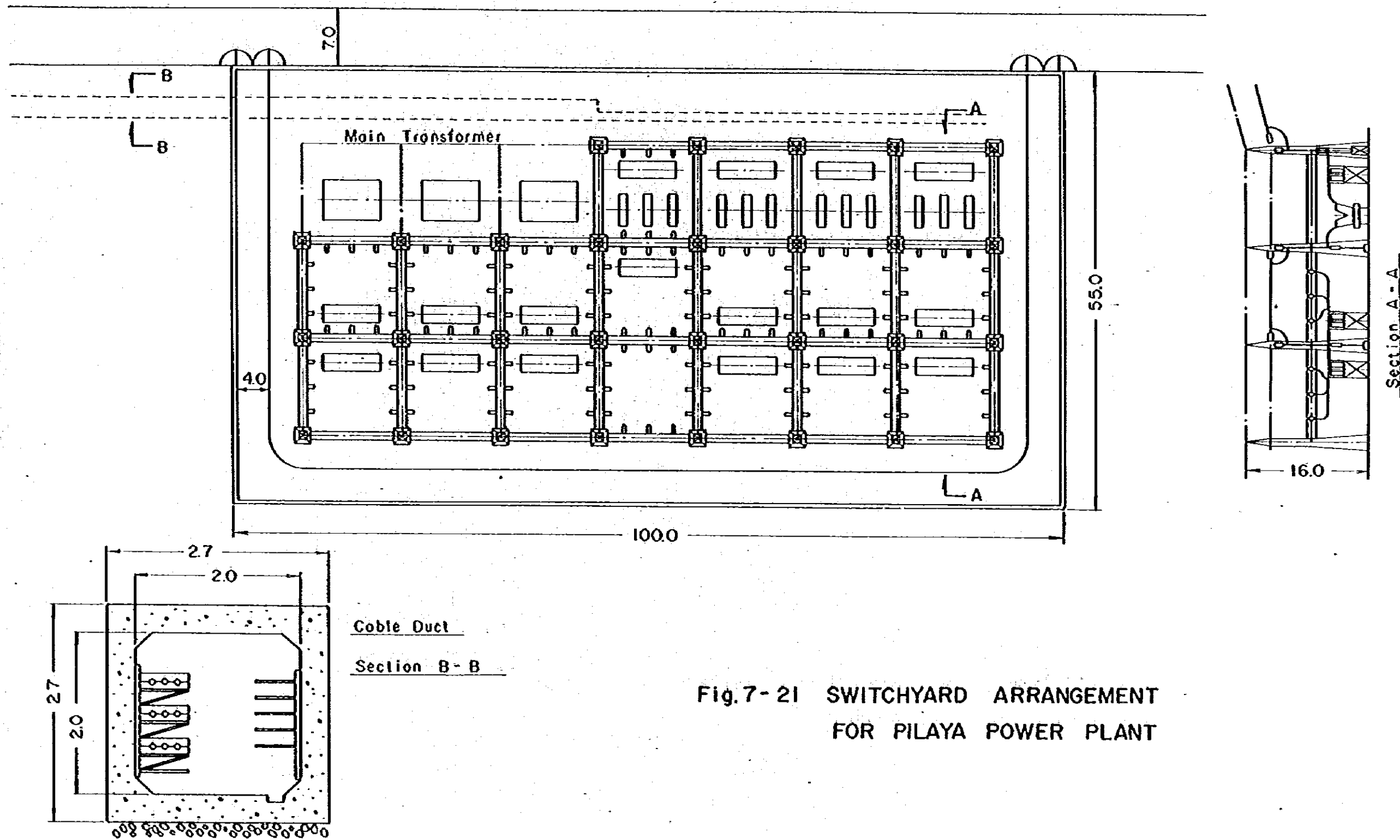


Fig.7- 21 SWITCHYARD ARRANGEMENT FOR PILAYA POWER PLANT