

第 5 章 地 質

第5章 地 質

5.1 概 要

本章では、JICA 調査団が、ELECTROPERU の協力のもとに1984年7月から1985年12月にわたって Ene 川水力発電計画の Master Plan 策定を目的に実施した地質調査と、それから得られた地質データの検討結果が述べられている。

本計画地点は、ほとんど未踏査の山岳ジャングル地帯にあり、その地形、地質に関する既往の情報はそれ程多いものではなかったが、できるかぎり精力的に収集され最大限に本報告書の作成に役立てられている。今回の Master Plan 策定の為の地質調査は、まず全計画地域と各計画地点のアウトラインを把握することに重点が置かれた。本計画地点のアクセシビリティは非常に乏しいこと、また、丁度、JICA 調査団の現地調査実施時期は治安上センシティブであったことから、現地踏査の範囲は制限された。その為、計画地域の地形、地質情報収集には、空中偵察、空中写真判読、LANDSAT 画像解析が効果的に実施された。これらの空中からの調査は、特に各貯水池地域の地形、地質特性解明に多大に貢献した。

本章の以下の項目で述べるように、Ene 川水力発電計画の Master Plan に必要な地形、地質の情報は、今回の地質調査により概ね入手することができた。

5.2 地質調査

本計画の Master Plan の為の地質調査として、1984年7月から1984年11月の間に次のような地質調査が ELECTROPERU の協力を得て JICA 調査団によって実施された。これらの調査結果が、本章を記述する上でのデータソースとなっている。

(1) 空中偵察及び現地踏査

1984年7月19日から同年7月23日までの間に、セスナ機による空中偵察と Tambo Puerto Prado 地点から Ene Paquitzapango 地点の上流約 15 km までの Ene 川沿いのカメラによる調査が実施された。

また、1984年10月30日から同年11月5日までの間に、Tambo Puerto Prado 地点の Tambo 川と Ene Paquitzapango 地点の Ene 川の夫々の水深が音響測深器で測定され、後述するボーリングコアの鑑定も同時に行われた。

第三回目として、カメラを用い、Ene 川沿いに Ene Cutivireni と Ene Sumabeni 地点の現地調査が1985年6月27日、28日の両日にわたって実施された。

(2) 空中写真による地質判読

1984年8月初旬から同年10月初旬まで Photo geologist がペルー国に滞在し、本計画地域の、空中写真のステレオグラムによる地質判読と、現地確認踏査を実施した。彼は、

Tambo Puerto Prado 地点の下流側から、Ene Paquitzapango 地点の上流側まで主流路沿いにカヌーを利用して、また、Puerto Ocopa から Satipo まで、徒歩と自動車により、夫々現地確認調査を実施した。更に彼は、各計画地点のセスナ機による空中偵察も実施している。

今回判読に使用された空中写真はペルー国政府機関の SAN (Servicio Aerofotografico Nacional) によって撮影されたもので、総数 342 sheets (縮尺 1/40,000, 1/60,000, and 1/80,000) である。またこれらの写真は本計画地域の各計画地点と Ene 川の全区間と Apurimac 川の下流部の流路に沿った地域をカバーしているにすぎない。

判読に使用された空中写真の list と index maps は Appendix A - 2, (1), (2), および(3) に夫々示されている。

(3) 弾性波探査

屈折法による弾性波探査が、Tambo Puerto Prado 地点と、Ene Paquitzapango 地点に於て、1984 年 8 月下旬から同年 10 月下旬に実施された。両地点に於ける探査数量は、Table 5-1 に示す通りである。

Table 5-1 Total Length of the Seismic Traverses at the Ene River Projects in 1984

Site	No.s of Seismic Traverse	Total Length
Tambo Puerto Prado	5 Traverses	3,960 m
Ene Paquitzapango	4 Traverses	1,070 m
Grand Total	9 Traverses	5,030 m

これらの探査はペルー国内業者 (JOSE E. ARCE EXPLORATION GEOPHYSICIST SURVEY) によって施工され、また、探査実施期間中は Geophysicist 1 名が Supervisor として JICA 調査団から派遣された。この探査結果は、ペルー国内業者より JICA 調査団に、報告書としてまとめられ提出された。

(4) ボーリング調査

コア・ドリリングが、Tambo Puerto Prado 地点と Ene Paquitzapango 地点で 1984 年 8 月中旬から同年 11 月上旬までの間に、JICA 調査団から派遣された 2 名の engineers による Supervision のもとにペルー国内業者 (GEOTEC S.A) により施工された。また同時に、孔内透水テストも実施された。両地点に於けるボーリング掘さく長と透水テスト

の回数を Table 5-2 に示す。

Table 5-2 Total Length Drilled and Numbers of Permeability Test at the Ene River Projects in 1984

Site	No.s of Drill Holes	Total Length Drilled	No.s of Permeability Test
Tambo Puerto Prado	3 Holes	116 m	17 Sections
Ene Paquitzapango	1 Hole	50 m	10 Sections
Grand Total	4 Holes	166 m	27 Sections

これらの掘さく工事記録と透水テスト結果は JICA 調査団の施工管理のもとにペルーコントラクターにより報告書としてまとめられている。

本計画のボーリング柱状図、コア写真および透水データは Appendix A-2, (5)~A-2, (9)に示されている。

(5) LANDSAT 画像解析

前述の通り、本地域全体の地形、地質情報の不足を補完する手段として、LANDSAT 画像解析が、1985年5月から9月にかけて JICA 調査団により日本で実施された。当該地域の LANDSAT 画像は、その地形的、地質的特性をよく反映しており、その画像から得られた情報は、全体の地形、地質アウトラインの解明に大いに役立った。本文で取扱った LANDSAT 画像のデータソースと範囲および LANDSAT 画像解析作業の流れ図を Appendix A-2, (10)に示す。

(6) 地形、地質解析作業

上述の地質調査成果ならびに章末にかかげる既往地質資料の総合的な Study が、1984年12月以降、1985年6月上旬まで日本で実施された。ついで、1985年6月末から7月上旬にかけて JICA 調査団はペルー国を訪れ、ELECTROPERU に中間的な成果を報告した。その結果、地質解析作業の一部は修正され、1985年11月中旬までに全ての作業が終了した。

特に、Tambo Puerto Prado 地点と Ene Paquitzapango 地点の弾性波探査とボーリング調査の結果は慎重にクロスチェックされ、それぞれの地点の岩盤の物理性質、および河床部の砂礫層の厚さが調べられた。

5.3 計画地域の地形、地質概要

(1) Geographical Location

南米大陸の西縁に沿い、その背骨をなす Andes 山脈は、ペルーでは NNW-SSE の方向性を持ち、その東翼は広大な Amazon 平原に接し、西翼は海岸山脈 (Cordillera de los Andes) を経て直ちに太平洋に接する。Andes 山脈は、地形学上、西 Andes、中央 Andes、東 Andes に大別されこれらを合わせて Cordillera de los Andes と呼ばれるが、その更に東側には同じような方向性をもつ Sub-Andes (Precordillera) を伴っている。

本計画地域は地勢上、Amazon 河の最大の支流 Ucayali 川上流の上述の 2 つの主脈、即ち東 Andes と Sub-Andes の中間を流れる Ene 川流域にあり、ペルーの中央部太平洋岸の首都 Lima から東北東約 330 km の距離に位置している。

Ene 川は全長約 160 km で、小さく曲折しながらも全体としては NNW 方向に流れ、その下流端で左岸側から Perene 川と合流して Tambo 川となる。Tambo 川はその流れの向きを急激に変え、全体として東流する。Ene 川の上流端は、ほぼ NNE 方向の Apurimac 川と左岸側から東流する Mantaro 川の合流点である。

今回の調査対象となった計画地点のうち、最下流地点の Tambo Puerto Prado (Tambo-10) 地点が Perene 川と Ene 川の合流点の直下流 (Tambo 川の最上流部) に位置する他は、順次上流に向って、Ene Paquitzapango (Ene-40) 地点がその合流点より約 50 km 上流、以下同様に、Ene Cutivireni (Ene-20) 地点が約 100 km 上流、および Ene Sumabeni (Ene-10) 地点が約 150 km 上流に夫々位置している。

(2) General Topography

Ene 川を高さの面からみると、その河床は標高約 280 m から約 460 m の間にある。その兩岸の山体は標高約 500 m ~ 800 m の丘陵状山地及び標高 1,000 m 前後の山体からなり、それらはやがて大小の起伏を繰返しつつ標高 3,000 m を越える前述の 2 つの主脈に連なっている。

空中写真および LANDSAT 画像の判読によると、計画地域、即ち Ene 川流域の地形のアウトラインは、後述するような地質構造に支配された NNW-SSE 方向に延びる、前述の 2 つの主山脈と支山脈の存在と、更には、それらの山脈間に発達したいく筋かの縦谷と支山脈を横断するいく筋かの横谷^{*2]}の存在など、幼年期の名残りをもち地形で特徴づけられる。

Ene 川沿いの一般的地勢の傾向は、上流部から下流部に向うにつれ、相対的に谷幅は狭くなり、それにつれて周囲の山容も下流程やや急峻となる。

*1 A valley which runs parallel to manifest mountain chains ; the term is often applied to a valley which is parallel to the strike of the rock strat .

*2] A valley which cuts across manifest mountain ranges.

各計画地点の地形については、最下流部の Tambo Puerto Prado 地点から、最上流部の Ene Sumabeni 地点に至るまで、いずれの地点も地形学上の横谷部に位置しているが、上述の通り、Ene Cutivireni および Ene Sumabeni 地点の上流側は、Ene Paquitzapango 地点の下流側と比べて谷幅は広く、かつ、その兩岸斜面はなだらかとなっている。

(3) Topographic Features Interpreted by Air Photo and LANDSAT Imagery

ここでは、本計画地域の空中写真および LANDSAT 画像の判読から抽出された地形的特徴のうち、いくつかの特殊地形について説明し、地質構造と密接な関連をもつ構造地形については次の地質の Section で述べる。

(a) 地^{*3]} じり

本地域は全て堆積岩の分布地域であるが、大規模な地じりはほとんどみられない。少なくとも、今後明らかに滑動する可能性を示唆するような大規模なものもなさそうである。

空中写真を非常に注意深く判読すると、古い地じりの可能性のある場所はところどころにわずかに(10カ所以内)認められる。しかし、これらは、現状ではそれらの冠頭の一部を除いて、それ以外は植生に覆われており、安定しているようにみうけられる。当地域内には、地形学上、背斜山稜が多く見うけられ、そのような山稜の両翼部は、斜面と地層の走向・傾斜が一致している為、それらの裾部が侵食されると地じりとなりやすい。しかしながら、全体に地じりが少ないことは、その侵食輪廻の若さに由来するものであろう。

(b) 崩^{*4]} 壊地

Ene 川流域の中流域から上流域には、崩壊地が、部分的に幾分集中する傾向を示して分布している。崩壊地は中流域では右岸側山体の中腹より以高に、また上流域では兩岸山体の比較的低い位置に夫々分布している。下流域の崩壊地は中流域と上流域に比較すれば非常に少ない。これら崩壊地は、空中写真で判読する限りでは、いずれも小規模(推定サイズは高さも幅も 50 m 以下が大多数を占める)で、そのうちのあるものは人為的な耕作に誘発されたと考えられる。

本流域の崩壊地の分布特徴は、後述するように、その基盤を構成する岩石の性質に左右されており、地質時代の新生代(Cenozoic)の地層の分布地に多い傾向を示している。

*3] 地じりという用語は、ここでは比較的規模の大きい mass movement に対し使用している。

*4] 本文では、slope failure と云う用語を比較的小規模な、かつ、比較的急速に soil または rock が重力により斜面を滑動した結果生じた、斜面上の裸地に対して使用している。

(c) カルスト地形

本計画地域には、石灰岩および石灰岩質岩石を含む地層が分布しているので、特にカルスト地形は慎重に判読された結果、他の世界各国の石灰岩地域で認められるような大規模な Sinkhole とか カツレンフェルト のような典型的なカルスト地形は認められなかった。しかし、ところによっては、地表面に小さいくぼみ地形がいくつか判読された。それらは空中写真上では、円形ないし楕円形を呈し、Ene Paquitzapango 地点の北東および南方では、いくつかのものが直径 100 m 程度を示すがその他大部分は直径が 50 m 以下である。またそれらはほぼ全て、その表面は植生に覆われている。これらが実際に Sinkhole かどうか、地表踏査で確認する以外確認の方法はないが、本文では一応 Sinkholes と呼ぶことにする。

これら Sinkholes は全体としては小規模で、Ene 川の下流域から中流域の比較的標高の高いところ（標高約 600 m 以上）で、左岸側より右岸側にやや多く分布している。

これらが事実 Sinkhole であるとしても、それらは全体に Ene 川の河水面より充分高いところに分布していること、また後に述べる地質構造面からみても、それが Ene 川の水力発電計画に大きな制約を与えるとは思われぬ。しかし、将来は、より安全を期する意味で、更に詳しく調査する必要があるだろう。

(d) 段丘地形

Ene 川の侵食営力は極めて活発で、過去の Ene 川の侵食作用によって形成された段丘は Ene Paquitzapango 地点の上流側に極く局部的にみられるのみである。現在の河床面には比高が 10 m 以下の氾濫原がところにより（特に支流の合流点付近）認められる。

(4) 一般地質

地質学的に、南アメリカ大陸には、先カンブリア時代の安定したいくつかの台地が存在しており、それらの台地の西縁沿いの地帯では、古生代、中生代、および新生代の大部分を通じて、海成および陸成層が分布しており、その堆積盆の延長方向は、現在の Andes 山脈に平行して、アルゼンチン南部から、チリを経て、ベネズエラに及んでいることが知られている。本計画地域は、前述の通り、地形学上、東 Andes と Sub Andes の中間に位置するが、ここは丁度上記の堆積盆の一部を占めている。本計画地域内にも古生代から中生代を経て新生代に至る ロングレンジ の幾多の地層が、Peru Andes 地域に普遍的にみられる地質構造と同様の特徴を示して分布している。

(a) 層 序

本計画地域の層序については、これまでに収集した既往地質資料によると、部分的に未確認のものがある。これは、本地域の大部分が熱帯もしくは、亜熱帯の植生に覆われた山岳ジャングル地帯に起因することは明白である。JICA 調査団は今回 ELECTRO PERU と協力して Tambo Puerto Prado 地点から Ene Paquitzapango 地点の上流側

約 15 km の地点までの Ene 川沿いの露頭観察をすることができた。また、一方、本地域の層序に関する既存地質図として、ELECTROPERU の作成による地質図（縮尺 1/10 万）、PETROPERU の地質図（縮尺 1/50 万）および公刊のペルー国地質図（縮尺 1/100 万）が入手できたが、これらに記述された層序は、大体同じような基準にもとづいている。従って、本文では、基本的には ELECTROPERU の地質図に示された層序に従い、部分的には、今回現地を確認され、また、新しく判読された空中写真と LANDSAT 画像の結果に基づいて修正された層序が述べられており、それは Table 5-3 に示されている。

Ene 川流域で、今回の現地調査で確認された層序区分と既往資料のそれと対比させると Table 5-4 のようになるが、両地点の各累層の厚さは、模式地に比較すると相当薄くなっている。

現地調査で確認できた最下位の岩石は、Tambo 川流域の粘板岩、砂岩で、これらは二疊紀～石炭紀の Tarma-Copacabana 層群に対比される。その上位の石灰質岩（Calcareous rocks）は既存資料によれば、三疊紀の Pucara 層に対比されるが、Tambo Puerto Prado 地点ではウミユリ類、Ene Paquizapango 地点では Spirifer および Productus（腕足類）を多産する。これらの化石群は石炭紀～二疊紀のものとする（ペルー国、地質、鉱物、冶金研究所の C. Rangel 氏による）。以上述べたような理由で、この石灰質岩石は、Tarma-Copacabana 層群に属する可能性も考えられるので、本文では、Ene 層と仮称して、独立させて示している。^{*5]}

Ene 層の上位は、ジュラ紀の Sarayaquillo 層に対比される頁岩、泥灰岩の薄層と、白亜紀の Oriente 層群に対比される珪質砂岩が分布する。両者の関係は不整合と推定される。珪質砂岩の上位には、白亜紀の Chonta 層に対比されるチャート質泥灰岩の薄層がある。

白亜紀 Chonta 層の上位には、不整合に赤色砂岩、泥灰岩、灰色砂岩よりなる厚い地層が発達しており、その地層は、新生代第三紀の Huayabamba 層に対比される。赤色砂岩と灰色砂岩の上下関係は不明瞭であり、今後調査と検討が必要である。本層は、空中写真と LANDSAT の画像の判読では、地形的特徴にわずかの差があり、本文では上部層と下部層に区分している。Huayabamba 層の上位は、再び不整合に第三紀の Ipururo 層に対比できる軟弱な泥岩、砂岩互層が分布する。

Table 5-5 には、Tambo Puerto Prado と Ene Paquizapango 地点の岩相区分

*5] Ene 層の名称は、PETROPERU の地質図（縮尺 1/50 万、1968）に由来しており、それにはジュラ～三疊紀の Pucara-Ene 層として記載されている。Ene 層は主に石灰岩からなっており、土木地質的な観点から本文では分離独立させて示している。層序学の問題については、今後更に系統的な研究が必要とされる。

(Lithostratigraphic Unit) を示す。

計画地域内の第四紀の堆積物としては、沖積平面を形成している堆積物、山体の斜面中腹以下の崩積堆積物と、主な流路沿いの河床堆積物がある。これら第四紀の堆積物は、粘土から巨礫に至る変化に富んだ粒径の、未固結な物質によって構成されている。沖積堆積物は、本計画地域内の主要な流路のうちの谷幅の広い部分の一部とか、大きな流路の合流点付近に分布している。崩積堆積物は、崖の下とか、斜面山麓に分布しており、一般に角礫ないしは垂角礫を含んでおり、slope wash, cliffdebris, talus, etc はこれに含まれる。河床堆積物は、主要な流路の谷底を埋めている。本文では氾濫原堆積物もこれに含めている。

Table 5-3 Stratigraphical Correlation in the Ene River Basin

Era and Period		Formations Described in ELECTROPERU's Geological Maps	Formations Described in JICA MISSION's Geological Maps
Cenozoic	Quaternary	Alluvial Deposit	River Bed Deposit
		Colluvial Deposit	Colluvial Deposit
		Alluvium Deposit	Alluvial Plane Deposit
	Tertiary	Ipururo Formation	Ipururo Formation
		Huayabamba Formation	Huayabamba Upper Formation Huayabamba Lower Formation
Mesozoic	Cretaceous	Chonta Formation	Chonta Formation
		Oriente Group	Oriente Group
	Jurassic	Sarayaquillo Formation	Sarayaquillo Formation ?
	Triassic	Pucara Formation	Ene Formation ?
Paleozoic	Permian-Carboniferous	Tarma-Copacabana Group	Tarma-Copacabana Group
	Carboniferous	Ambo Group	Ambo Group
	Silurian	Excelsior Formation	Excelsior Formation

(5) 地質構造

本計画地域の地質構造を特徴づけているのは、Andes 山脈のトレンドにほぼ平行する NNW-SSE 方向をもつ褶曲軸の存在である。これらの褶曲軸の軸面は大体西方向への傾斜を示し、またところによっては褶曲冠線が多少波うっている（即ち、背斜軸のカルミネーションおよびデプレッション）傾向が認められ、当地域の地質構造は複合褶曲を示している。

次に、本計画地域を Ene 川沿いに四地区に分けて、各地区の地質構造を説明する。

(a) Tambo Puerto Prado の下流域 (Tambo 川流域)

Tambo Puerto Prado 地点の下流域は準平原状地形を呈する為、岩質や地質構造は、空中写真や LANDSAT 画像の判読からは不明瞭であるが、既存資料によると、全体にドーム状 (褶曲) 構造を呈し、Tarma-Copacabana 層群のような下位の累層が Tambo 川に沿って分布していると推定される。Ene 層の石灰質岩石は、山腹部に鉢巻状に分布している。

(b) Tambo Puerto Prado-Ene Paquitzapango 間の Ene 川下流域

本地域には、複合褶曲構造が明瞭に認められる。Ene 川西岸 (左岸側) の稜線に沿って背斜軸が走り、主に Oriente 層群などの中、下位の累層が細長く、帯状に分布するが、南方 (上流側) では Huayabamba 層など上位の累層が優勢となる。本背斜軸の東側には、ほぼ Ene 川に沿って向斜軸が走り、その軸は、軸に平行する衝上断層を伴っている。

Ene 川河床部では、主に灰色の砂岩・泥灰岩層が露出しており、これは Huayabamba 層に属すると推定される。この灰色の互層は、赤色砂岩・泥灰岩が溶脱・脱色された可能性があり、今後現地確認の必要がある。

Ene 川と Perene 川の合流点上流約 11 km 付近の Ene 川東岸 (右岸側) には、Ipururo 層と思われる軟弱な赤色泥岩・砂岩が灰色砂岩・泥灰岩を不整合関係に覆って分布しており、境界部には石膏を産する。

Ene 川の西岸 (左岸側) の台地は、背斜軸と向斜軸が繰返し存在し、主に Huayabamba 層と Ipururo 層のような上位の累層が分布していると推定される。

(c) Ene Paquitzapango-Mision-Puerto Rico 間の Ene 川中流域

本区間では盆地状構造が発達し、Ipururo 層を主とする上位累層が広く分布すると推定される。ここでは風化作用が地下深部に及び、不規則樹枝状のパターンをもつ深い谷に刻まれている。

(d) Puerto Rico の上流域

Puerto Rico から Mantaro 川との合流点を含む Ene 川上流域は、既存資料によれば、古生代の Tarma-Copacabana 層群、Ambo 層群、Excelsior 層など、本流域のうちでは最も古い地層が分布しており、Ene 川の中、下流域とは地質状態を異にする。これら各累層の空中写真上での特徴は、ち密、塊状の岩質の特性を示し、またところにより、層理面が比較的明瞭に判読される特性を残している。

(6) 断 層

本計画地域の断層パターンには、NW-SE, NNW-SSE, NNE-SSW, E-W, および NE-SW 方向のものがある。これらのうち、地域全体の地質構造のアウトラインを支配しているものは、NW-SE と NNW-SSE 方向のものである。NNE-SSW, E-W, および

NE-SW方向の断層は Ene 川沿いの地域の local な地質構造に影響を与えている。

また、LANDSAT 画像の判読の結果、Ene 川流域では、NW-SE ないし NNW-SSE および NE-SW の方向性をもつ Lineament (もしくは推定断層) が卓越していることが判明した。

Ene 川と直接交差する断層としては、Tambo Puerto Prado site と Ene Paquizapango site の間で、NW-SE の方向性のものと NE-SW の方向性のものが、相当な連続性を示して存在することが推定される。

Ene 川より上流の Apurimac 川流域では、その右岸側山麓部に沿った NW-SE の方向性をもつ比較的連続性の大きい断層の存在が推定される。

Table 5-4 Stratigraphic Sequence of the Ene River Basin

Era and Period	Formation	Type Locality		The Ene River Basin */	
		Rock Type	Thickness	Rock Type	Thickness
Cenozoic	River Bed Deposit				
	Colluvial Deposit				
	Alluvial Plain Deposit				
Tertiary	Ipurupo Formation	Mudstone Sandstone	1,600 m	Mudstone, Sandstone	800m +
	Huayabamba Upper-Formation	Reddish Sandstone Mudstone	4,000 m	Sandstone, Marl Reddish Sandstone	400 ~ 500m±
	Huayabamba Lower-Formation	Reddish Sandstone Mudstone	3,000 m	Reddish Sandstone Marl, Sandstone	300 ~ 500m±
Cretaceous	Chonta Formation	Shale, Mudstone (+Marl, Limestone)	1,100 m	Cherty Marl	50m±
	Oriente Group	Quartzose Sandstone	1,800 m	Quartzose Sandstone	100m±
Mesozoic	Sarayaquillo Formation	Sandstone (+Shale, Marl)	2,000 m	Shale, Marl	50m±
	Ene Formation	Limestone (+Marl)	2,200 m	Limestone, Marl	200m±
Paleozoic	Tarma-Copacabana Formation	Limestone, Shale	3,000 m	Shale, Marl, Sandstone	
	Ambo Group	Shale (+Sandstone)	1,400 m		
	Excelsior Formation	Shale	1,000 m		

*/ The term of "The Ene River Basin" in this Table means an area from the junction of the Ene River and the River to Sima about 3 km downstream from the junction of the Ene River and Perene River.

Table 5-5 Lithostratigraphic Unit of Tambo Puerto Prado and Ene Paquitzapango Sites

Period	Formation	Tambo Puerto Prado		Ene Paquitzapango	
		Rock Unit	Thickness	Rock Unit	Thickness
Tertiary	Ipururo Formation	—	—	Alternation of reddish sandstone and mudstone	300 m±
	Huayabamba Upper Formation	Sandstone, marl, reddish sandstone	400 m±	Reddish sandstone, marl sandstone	500 m±
	Huayabamba Lower Formation	Reddish sandstone, marl, sandstone	300 m±	Reddish sandstone, marl sandstone	500 m±
	Chonta Formation	—	—	Cherty marl	50 m±
Cretaceous	Oriente Group	Quartzose sandstone	100 m±	Quartzose sandstone	100 m±
Jurassic	Sarayaquillo Formation	Sandstone, marl	30 m±	Shale, marl	50 m±
Triassic (?)	Ene Formation	Limestone, calcareous rocks	100 mt	Limestone, calcareous shale	200 m±
		Limestone, marl	50 m±		
Permian -carboniferous	Tarma-Copacabana Group	Shale, sandstone	?	—	—

5.4 計画地点の地質

5.4.1 Tambo Puerto Prado 地点

(1) 地質調査工事

本地点に対する JICA 調査団による地質調査工事として、弾性波探査とコアボーリングによる地下調査があり、それらの位置は DWG 5-4 に示されている。

本地点に於ける屈折法による探査の実施数量を Table 5-6 に示す。この探査結果は、DWG 5-5 と 5-6 に示されている。

Table 5-6 Quantitative Features of the Seismic Prospecting at Tambo Puerto Prado

Traverse	Length (m)	Geophone Stations	Shot Points	Magnetic Direction	Remarks
ST-1	600 * 300 **	900	20	N53°W	* On the right bank
ST-2	1,200	1,200	21	N52°E	** On the left bank
ST-3	840	84	18	N7°W	*** Partly N28°E and N54°40'E
ST-4	720	72	16	N46°E ***	
ST-5	300	30	17	N48°W	
Total	3,960 m	396 Stations	92 Points		

本地点に於けるボーリング調査工事数量一覧表を Table 5-7 に示す。これらのボーリングにより得られたデータは、柱状図にまとめられコア写真とともに、また、透水テスト記録と Permeability Values の計算式等はそれぞれ Appendix - A 2[5] ~ A-2[9] に示されている。

本ダム地点では、上述の subsurface explorations に加えて、縮尺 1/10,000 地形図を用いた geological reconnaissance がなされている。

Table 5-7 Actual Quantity of Core-drilling and Permeability Tests at Tambo Puerto Prado

Drillhole Name	Location	Elevation (m)	Length (m)	Direction	Diameter of Drillhole (cm)	Permeability Test (Times)
DT-1	Damsite on the right bank	283 <u>*/</u>	26.0	Vertical	0m - 11.3m : $\phi = 15.24$	K ₁ <u>**/</u> : 3
					11.3m - 20.6m : $\phi = 12.70$	K ₂ <u>**/</u> : 3
					20.6m - 25.0m : $\phi = 11.43$	
					25.0m - 26.0m : $\phi = 9.27$ (NC)	
DT-2	Damsite on the left bank	284 <u>*/</u>	50.0	Vertical	0m - 8.8m : $\phi = 9.27$ (NC)	K ₁ : 3
					8.8m - 50.0m : $\phi = 7.31$ (NX)	K ₂ : 2
						K ₃ <u>**/</u> : 5
DT-3	Upstream of the damsite, on the left bank	284 <u>*/</u>	40.0	Vertical	0m - 8.0m : $\phi = 12.7$	K ₁ : 1
					8.0m - 27.75m : $\phi = 11.43$	K ₂ : 1
					27.75m - 39.0m : $\phi = 9.27$ (NC)	K ₃ <u>**/</u> : 5
					39.0m - 40.0m : $\phi = 7.31$ (NX)	

(Total) (116.0)

Notes: */ The elevation of Drillholes DT-1, -2 and -3 is roughly estimated by the aero-topographical map (1/25,000 in scale).

**/ The permeability tests, K₁, K₂ and K₃ are as follows:

K₁ : Open end method under constant water head

K₂ : Open end method under constant water head

K₃ : Open end method under variable water head

K₃ : Packer method under constant water head (Lugeon Type)

(Le Franc Type)

(2) 地 形

Ene川はその最下流部では北流しているが、その左岸側から東流する Perene川と合流のうち Tambo川と呼名が変わる。ダムサイトは、その合流点から約 2.5 km 下流に位置する。Tambo川はダムサイト付近でその流れの方向を北から東へ大きく変化させる。

ダムサイトは、大局的にみると、地質構造に支配されてほぼ NW-SE 方向に延びる山体を Tambo川が横谷状に切断した箇所に当っており、Tambo谷はダムサイト付近で最もせままり、その上下流側では谷巾は広がっている。

ダムサイトの兩岸の山体はいずれも 400~450 m の比高をもち、両者とも同一方向性をもって細長く流路に張り出しているが、左岸山体はそのつけ根で両側からの沢の切れこみの為、くびれている。

ダムサイトの谷の形は、DWG. 5-5 に示すように舟をタテ方向に切った場合の舟底形をしており、河床部の巾は約 400 m、比高約 200 m 上方での谷巾は約 1,000 m である。

Tambo川の流路は河床部の左岸側にあり、その巾は約 140 m (as of the end of July, 1984 - in the dry season) で、その最大水深は音響測深器によると約 8 m (as of the end of October, 1984) である。兩岸斜面の傾斜は約 35° で、その表面は比較的起伏が少ない。

河床部では、ダムサイト左岸上流側と右岸下流側の一部に氾濫原が形成されている。

1984年に撮影された航空写真から図化された縮尺 1/25,000 地形図によると、ダムサイト付近の河原の標高は約 282 m である。

(3) 地 質

(a) 基盤岩類の分布・性状

本ダム地点では、兩岸斜面の裾部と、右岸山体山頂部付近に基盤岩の露頭がある。また Drillhole DT-2 で深さ 17.5 m から孔底の深さ 50 m までの間で基盤岩の存在が確認された。これまでの調査で確認された bedrocks はその岩質的特徴に基づいて、若い時代から古い時代順に列記すると、DWG 5-4, 5-5 および 5-6 にも示されるように、alternation of sandstone and marl (Ss/Mr), sandstone (Ss), and limestone (Ls) の 3 つの units に区分できる。これらの rock units の地質時代は、既存資料によると、Ss/Mr unit が tertiary (Paleogene?) Ss unit が Cretaceous ~ Jurassic, Ls unit が Triassic であるが、最後の unit は Triassic よりも古いと云う意見もある。^{*6]} これら rock units は、N 60° ~ 70° W の走向、35° ~ 45° SW の傾斜、即ち、ダムサイト

*6] According to Mr. C. Rangel (Geologist), ペルー国, 地質, 鉱物研究所; the age of this limestone formation is considered to be older than Triassic because of yielding of fossils in this formation.

ではダム軸にほぼ平行する走向で、上流側の傾斜を示して分布している。

Rock unit Ss/Mr は本ダム地点の上流側兩岸の山麓部で観察され Sandstone, marl および shale の互層からなっており、各単層の厚さはいずれも 1~2 m 以下である。本 unit の砂岩は赤褐色の中~細粒のものと、灰色の中~細粒ものが含まれる。Marl は、一般に灰色で、部分的には bedding plane が明瞭な Calcareous shale と呼称した方がよいと思われるものもある。^{*7]} shale は灰色ないし黒灰色で、non-calcareous である。本 unit はよく成層しており、露頭では多少風化しているため、いずれの岩石も岩質的には、わずかに軟化している。本 unit は他の units に比較すると、風化による劣化を考慮に入れても、固結度と硬さの点に於て最も劣ると考えられる。

Rock unit Ss は、ダムサイト付近右岸上流側の川岸の露頭で観察されるが、主に淡黄灰色ないしは灰色の非常に堅硬、ち密な siliceous sandstone よりなり、その下部では同様の砂岩と堅硬、ち密な Marl との互層からなる。

Rock unit Ls は、ダムサイトではわずかに上流側の兩岸川岸部で露出し、また Drillhole DT-2^{*8]} で確認されているが、灰色で堅硬、ち密な石灰岩を主体に、部分的に灰色ないしは灰黒色の Marl 又は Shale を挟在するものからなる。石灰岩は堅硬、ち密な岩質を呈し、溶食現象 (karstification) は、あまり著しくはない。

Rock unit Ls の下位の bedrock が何か、露頭でも Drillhole DT-2 でも未確認である。

2) Geological Structure

基盤岩類の地質構造に関しては、上述の通り、ダムサイトおよびその近傍では全ての Rock units は、一見 Homoclinic で全て上流側傾斜 (35°~45°) を示しているが、それらの走向は兩岸でわずかに変化している。即ち、右岸側では N 60°~70°W の走向を示すのに対して、左岸側では N 40°W を示し、この差が何に起因するか、現時点では不明である。

3) Fault

本ダムサイト付近では、ダムサイトの下流側 (予定ダム軸より 600~700 m 下流) で、Tambo 川とほぼ直交する方向の断層が photogeological interpretation により推定されている。この推定断層は、弾性波探査によると、相対的な低速度帯として示されている (See DWG 5-5)。本地点は、bedrocks の露頭が少なく、断層に関する情報も少ない。これまでに確認された Fault としては、Drillhole DT-2 の深さ 37.45 m - 37.65

*7] Tambo Puerto Prado 地点のみならず、Ene Paquitzapango 地点には Marl もしくは Calcareous shale が分布する。Marl と Calcareous shale を厳密に区分することは、まだ、data が少なく困難であるため、本文ではとりあえず Marl を統一的使用している。

*8] DT-2 の深度 35.5 m のコアは顕微鏡鑑定により aphanitic limestone と判明。

m間（明らかに faulting によると思われる clay を確認）に小断層が1条あるにすぎない。

(d) カルスト

本地点には、石灰岩をはじめ石灰岩質岩石が分布しているが、露頭と Drillhole DT-2 のコアでみるかぎり、著しいカルスト現象はみられない。しかし、現時点では、本地点のカルスト現象を討論するには、それに関するデータが少なすぎるので、まだ結論的なことは云えない。

(e) 表層堆積物の分布・性状

本地点の Overburden としては、riverbed deposits, flood plane deposits, and talus deposits がある。

riverbed deposits は表面では砂礫が主体であるが、シルトまたは粘土が含まれている可能性がある。何故ならば riverbed deposits 中を掘削した Drillholes DT-1 と DT-3 の透水テストは、シルトもしくは粘土の存在を暗示しているからである。

flood plane deposits は、表面ではシルトおよび細粒砂と小礫の構成を示している。

talus deposits は、topsoil を含めたものであり、粘土、シルトおよびバラエティに富んだサイズの rock fragments からなっている。

これら Overburden はダムサイト付近の大部分を厚くカバーしている。河谷部は riverbed and flood plane deposits で厚く埋めつくされており、弾性波探査と drill-holes による地下調査結果によると、厚さ 40m を越える riverbed deposits が確認され、最深部では 60~70 m もしくはそれ以上の deposits 存在の可能性が指摘された。

topsoil and talus deposits は、ダムサイト両岸斜面の大部分を覆っており、弾性波探査の結果に基づくと最も厚い部分では 20m に達する可能性があることを示した。

(4) 土地質的性状

(a) P-Wave Velocity of The Ground

本地点で実施された Seismic prospecting (Refraction Method) によって求められた P-wave velocity (Seismic primary wave velocity = V_p) values は特徴的に 5 層に区別される。Table 5-8 は本地点に於ける各 seismic traverse の 5 層の V_p 値を示す。

Drillholes DT-1, -2, and -3 の結果によると、河床砂礫層の V_p はその表層部は 0.4 ~ 0.5 km/sec, 深部では 1.7 ~ 1.8 から 2.4 ~ 2.6 km/sec の値を、talus deposits は 0.5 ~ 0.6 から 1.2 ~ 1.3 km/sec の値を夫々示した。更に、Drillhole DT-2 に於ける bedrocks of limestone interbedded with marl and shale の V_p は 3.8 or 4.0 km/sec^{*9]}

*9] 同一場所の Bedrocks の V_p が "3.8 or 4.0 km/sec" であることは、多分その異方性によるものと思われる。

の値を示した。

DWG 5-5と5-6には each seismic traverse に沿った geophysical and geological sections が示されているが、特に、ダムサイトの両岸斜面部と河床部の V_p の分布特性は Assessment of engineering geology を行う際に、留意すべき点である。

Table 5-8 Vp Values (in km/sec) of Each Traverse
at Tambo Puerto Prado

Seismic Traverse Layer	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	Geological Correspondence (assumed)
1st Layer	0.2 - 0.5	0.2 - 0.5	0.2 - 0.4	0.3 - 0.4	0.2 - 0.4	Topsoil, Surficial riverbed or flood plane deposits
2nd Layer	0.6 - 1.0	0.8 - 1.1	0.7 - 0.9	0.5 - 1.2	0.5 - 0.6	Talus, riverbed, and flood plane deposits and weathered bedrock
3rd Layer	0.9 - 1.3	-	-	-	0.9 - 1.0	
4th Layer	1.5 - 2.4	1.9 - 2.6	1.8 - 2.5	2.0 - 2.5	2.2 - 2.5	
5th Layer	3.1 - 3.8	3.1 - 3.4	2.9 - 3.8	3.1 - 4.0	3.3 - 3.6	Bedrocks

(b) Coefficient of Permeability

本地点では、全ての drillholes で透水テストが実施され、その結果は DWG 5-6 の “Geological Logs of Drillholes” に示されている。本地点で採用された透水テストの方法と試験記録は Appendix A-2 [7], [8] および [9] に示されている。

本地点の透水テスト結果を要約すると次のようになる：

- Riverbed deposits の Permeability coefficients は、 10^{-2} cm/sec と $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/sec のオーダーを夫々示す区間がある。
- 上記の permeability coefficients のうち、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/sec の値を示す箇所はかなり不透水性であることを意味している。それらの部分のボーリングコアをみると砂と礫が採取されているに過ぎないが、多分実際にはもっと細粒分 (silt or clay) が存在しており、それらは掘さく中に洗い流されたと考えられる。
- Drillhole DT-2 では bedrocks として shale と limestone が確認されているが、その部分の透水係数は概そ 10^{-3} cm/sec のオーダーの値を示す。
- 採取されたこれら bedrocks のコアの状態から判断すると、上記の透水係数はわずかに過大である印象を与えるが、土木地質的にみて、大きな心配の種となるような透水性ではない。

(c) R.Q.D

本地点では、Drillhole DT-2 の深さ 17.5 m から 50m までの区間のみが、bedrocks 中を通過したが、その区間から recover された cores の R.Q.D (Rock Quality Designation) は DWG 5-6 の geological log に示されている。

DT-2 では石灰岩中に Shale が約 28% 含まれており、Shale 部分はコア長が 10cm 以上を示すことがまれである。DT-2 の bedrocks の R.Q.D は平均で 38.6% である。

(5) 土木地質的評価

(a) ダム地点

本地点は地形的には、Ene 川と Perene 川が合流して Tambo 川となって最初の比較的狭い河谷部に当っており、ダムサイトの候補地となっている。ダムタイプおよびダムの高さは、いろいろ比較検討の段階である。

一方、本地点の地質に関する情報は前述の通り非常に限られたものであり、ダムサイトに対して詳しい土木地質的な評価を下すには時期尚早である。従って、ここではこれまでに判明した地形、地質条件に基づいて本地点の土木地質的評価が次のようになされている。

- 本地点河谷部は、厚い riverbed deposits に埋めつくされている。その厚さは Drillhole DT-3 で少なくとも 40m 以上の厚さがあることが確認されており、又、弾性波探査と航空写真判読の結果を総合的に勘案すると、最大厚さ部は 60~70 m もしくは

それ以上であると推定されている。

- ダムサイトとしてこのような厚い砂礫層の存在は、建設第一段階の coffer dams の設置の際、いろいろな問題を提起するであろう。

更に、コンクリートタイプのダムを考える場合は、ダム基礎部分ではその全ての riverbed deposits を除去せねばならない。

フィルタイプダムの場合は、不透水コア部のみ、それを除去するかもしくは、その堆積物中に充分信頼出来る不透水ゾーンを作るかのいずれかの処理が不可欠となる。

- 本地点の兩岸斜面はその裾部を除き bedrocks の outcrops はなく、そこでの弾性波探査の結果は、 V_p (velocity of seismic primary wave) が 1.6 ~ 1.9 km/sec のゾーンが地表から最大 20m もしくはそれ以上の深さまで分布していることを示している。このような比較的低い速度のゾーンは、未固結の soft materials からなることを暗示しており、どのようなタイプのダムであれ、その dam abutments の基礎としては、掘さく除去か相当慎重な基礎処理の対象となるべきものである。
- 本地点の bedrocks の V_p は、比較的低速のゾーンを除けば 3.0 ~ 4.0 km/sec と比較的広いレンジの値を示す。屈折法によって求められた V_p の値は、大きければ大きい程、物理的強度も大きく、又、経験的に、 V_p が 3 km/sec 以上あれば sound rocks の性質をもっていると云うことができる。
- 本地点の bedrocks は、その物理的強度の面のみからみると、高さ 100 数 10m クラスのコンクリートタイプのダムの基礎としての耐荷性は保持しているようにみうけられる。
- 本地点の bedrocks の透水係数は、Drillhole DT-2 により大体 10^{-3} cm/sec のオーダーの値が示されている。この値はダム基礎として、ダムのタイプ、高さに関係なく止水の為の基盤処理の必要性を示している。
- ダムタイプとしてフィルタイプが選定される場合は、本地点の計画洪水量が 10,000年確率で 37,200 m³/sec と非常に大きい量であり、それに対する洪水吐設備を地山に設ける必要が生ずる。したがって地山に洪水吐設備を計画する際は、前述の通り、いずれの斜面もその表面は厚い overburden に覆われていることに対する十分な設計上の配慮を必要とする。
- ダム地点兩岸の山体の地下水分布状態については情報が無い。これらの山体は Limestone および Calcareous rocks で構成されていることから、貯水池サイドからの漏水の関点から、今後そこでの地下水の分布状態と、山体を構成する地層の透水性については充分把握する必要がある。

2) 貯水池地域

Tambo Puerto Prado に河床上高さ 20 ~ 30 m 以上のダムを築造すれば、その貯水池

は Ene 川と Percne 川の両流域に達する。両流域には、これまでも度々述べたように、石灰岩および石灰質岩石が分布していることが知られている。又、今回実施した航空写真判読でも一部の石灰岩分布地域には、極く小規模ながら Sinkhole らしい地形の凹みがいくらか判別されている。これらの地域を貯水池の watertightness からの関点でみると、当該地域には著るしいカルスト地形が少ないこと、地質構造上、貯水池からの水が他流域へ逃げやすいような構造にはなっていないこと、流域内へ流れこむ各支流のほとんどは乾期で表流水をもっていることなどから総合的に判断するとダム地点近傍を除けば、その他の貯水池地域からの大量の漏水の可能性は少ないようにみうけられる。

しかし、現時点では、この大切な問題に結論を下すにはデータが充分ではなく、今後、計画の推移、貯水池満水位の最終的決定を待つて、より詳しい調査が必要であることは云うまでもないことである。

貯水池地域内には、小規模な slope failures は locally に分布しているが、現時点で、特別に注意を要するようものはなさそうである。

加わうるに、LANDSAT images と Aerial photographs を用いた interpretations によると、この貯水池内、即ち、Tambo Puerto Prado site と Ene Paquitzapango site の間で、前述した通り、Ene 川と NW-SE 方向と NE-SW 方向に斜交し、かつ相当な連続性を示す断層が推定される。将来、Tambo Puerto Prado site に high dam が計画されるような場合には、この断層の精査が必要となろう。

5.4.2 Ene Paquitzapango 地点

(1) 地質調査工事

本地点に対する JICA 調査団による Subsurface explorations として Seismic Prospecting と core drilling があり、その位置は DWG. 5-7 に示されている。

本地点に於ける屈折法による探査の実施数量は Table 5-9 に示されている。この探査の結果は DWG. 5-8 に示されている。

本地点に於けるボーリング調査数量一覧表を Table 5-10 に示す。Drillhole DE-1 から得られた data は柱状図にまとめられ Appendix-A-2(5) に添付されている。透水テスト記録と Permeability Values を求める為に用いられた計算式は Appendix-A-2(7), [8] および [9] に添付されている。

本ダム地点およびその近傍については、上述の subsurface explorations 以外に Ene 川沿いにカヌーによる geological reconnaissance が縮尺 1/10,000 地形図を用いて実施された。

Table 5-9 Quantitative Features of the Seismic Prospecting at Ene Paquitzapango

Traverse	Length (m)	Geophone Stations	Shot Points	Magnetic Direction	Remarks
SE-1	480	47	11	N70°W	* Crossing the Ene River
SE-2	180	18	5	N70°W	
SE-3	240	24	7	N6°E	
SE-4*	170	17	14	N47°30'W	

Total 1,070 m 106 Stations 37 Points

Table 5-10 Actual Quantity of Core-drilling and Permeability Test at Ene Paquitzapango

Drillhole Name	Location	Elevation (m)	Length (m)	Direction	Diameter of Drillhole (cm)	Permeability Test (Times)
DE-1	Damsite on the left-bank	345m */	50.0	Vertical	0m - 25.0m : $\phi = 9.27$ (NC) 25m - 50m : $\phi = 7.31$ (NX)	K_3 **/ : 7

Notes: */ The elevation of Drillhole DE-1 is roughly estimated by the aero-topographical map (1/25,000 in scale).

**/ The permeability test K_3 corresponds to the "Packer method" under constant water head.

(2) 地 形

Ene Paquitzapango 地点は、Ene 川と Perene 川の合流点より流路沿い約 50 km 上流に位置する。本地点付近は長さ約 2 km にわたって V 字型の峡谷が形成されており、Ene 川はその峡谷中をほぼ直線的に NE 方向に流下する。

この峡谷は、標高 1,000 m 前後のいくつかの山頂をもち、NW-SE 方向に延びる山脈を丁度直角に切断する方向に形成されたいわゆる横谷に相当している。

ダムサイトとして考えられている部分の谷の形状は、DWG 5-8 に示されているように、河床部からの比高 100m までは左岸斜面の傾斜は約 30° に対し、右岸のそれは約 35°、河床部からの比高 100m ~ 200m は左岸側斜面が傾斜 50° ~ 55°、右岸側では 40° ~ 45° を示している。又、ダムサイト付近では、Ene 川の流路巾は約 70 m でその最大水深は音響測深器によると約 16 m (as of the end of October, 1984) であり、河床部よりの比高約 150 m (標高 500m) での谷巾は約 480 m である。

この峡谷区間内では、河床部付近に河原は形成されていないが、この峡谷の上、下流側では谷巾および河床巾も峡谷の 2 ~ 3 倍ないしそれ以上と広くなり、そこでは部分的に氾濫原が形成されている。

1984 年に撮影された航空写真から図化された縮尺 1/25,000 地形図によると、ダムサイト付近の河岸の標高は約 340 m である。

(3) 地 質

(a) 基盤岩類の分布・性状

本ダム地点付近では、両岸河岸沿いの部分と、斜面中腹以高の急崖部に基盤岩類が露出している。更に、ダムサイトの河床部左岸側の Drillhole DE-1 は地表から地下 50 m の深さまで岩盤をした。これまでの investigation works により確認された本地点の基盤岩類を若い時代から古い時代順に列記すると、Alternation of sandstone, marl, and shale (ALT-U), Alternation of sandstone, marl, and shale (ALT-D), Cherty marl (Mr-c), Quartzose Sandstone (Ss-q) Shaly marl (Mr-s), and Limestone (Ls) の 6 つの rock units に区分される。これらの Rock units の地質時代は既存資料に基づくと、Rock units のうち、Alt-U and Alt-D が Tertiary (Paleogene ?), Mr-c と Ss-g が Cretaceous, Mr-s と Ls が Triassic とされている。最下位の Rock unit Ls は Tambo Puerto Prado の limestone unit (Ls) に対比できるものであり、前述の通りこの limestone は Triassic より古いと言う意見もある。

この rock units は、後述するようにダムサイトの下流側で anticline を形成しており、ダムサイトを含めそれより上流側では、Ene 川に対してほぼ直交する走向 (N 30° ~ 60° W) で上流側傾斜 (20° ~ 35° SW) を示して分布している。

Rock unit Alt-U は、Ene 川河床付近では峡谷の上流端付近に分布し、その両岸斜

面上に連続的にかつ対称的に形成されている崖に沿って分布するものと思われる。今回の geological reconnaissance では、Ene 川の左岸河床部で風化した軟質な Sandstone の露頭が確認されたにすぎない。本 unit はセスナ機からの空中偵察では reddish な地層と light yellowish white な地層の互層状態が認められた。本 unit の地質状態については今後調査の必要がある。

Rock unit Alt-D は、Alt-U のすぐ下位の地層で、峡谷のやはり上流端付近の河床部両岸に露出している。本 unit は Alt-U と同様、その両岸斜面上に連続的且つ、対称的に形成されている崖に沿って分布しており、この峡谷によって切られている NW-S E 方向に延びる山体の両岸上流側斜面 (or Wings) は多分この unit で形成されている。本 unit は、cross lamina の発達した reddish, fine grained sandstone と、grey ~ dark grey の muddy な shale と marl、ところによっては whitish な fine-grained sandstone の互層から構成されており、各単層の厚さはところにより 1 m を越えるものもあるが大部分は数 10 cm 以下で全体によく成層している。本 unit の各種岩石は露頭でみるかぎり、その硬度は後述する Rock unit Ss-q の Sandstone より明らかに劣る。

Rock unit Mr-c は、Alt-D の下位に分布し、light grey の非常に堅硬、ち密で Cherty な Calcareous rock であり、本文では一時的に Cherty marl と呼称している。

Rock unit Ss-q とその下位の unit Mr-s はともに Drillhole DE-1 で fresh な Cores として採取されている。Ss-q は白色の medium-grained quartzose sandstone のみからなり、全体に massive である。この砂岩はルーペで観察すると、各 quartz の grain 形状が判別でき、ほぼ quartz grains のみからなり、岩質は堅硬である。

Rock unit Mr-s は全体としては、Calcareous, argillaceous fine-grained sedimentary rock-marl が主体であるが、Drillhole DE-1 では non-calcareous, dark grey shale, greyey white, calcareous sandstone, grey or dark greyish calcareous, conglomeratic mudstone が採取された。shaly な部分は幾分 exfoliative である。

本地点付近の地表部で観察される rock unit のうちでは、最も下位の unit Ls は現在考えられているダム軸のわずかに下流側に分布している。この limestone は露頭では不明瞭ながら層理面は認められるが、一般に massive で灰色を呈し、堅硬、ち密である。この limestone の karstification は露頭でみるかぎりあまり顕著ではない。

*10] DE-1 の深度 7.0 m と 41.8 m のコアは顕微鏡鑑定の結果、夫々、" quartz arenite or quartzose sandstone " と " calcareous quartz arenite and limestone " と判明した。

(b) 地質構造

本地点の bedrocks を構成するいろいろな rock units は軸が NW-SE 方向の背斜構造を示す。この背斜軸は予定ダム軸より約 750m 下流付近で Ene 川とほぼ直交する方向に延びている。この軸はこの峡谷部の両岸で、NW-SE 方向に延びる山脈の稜線とはほぼ一致している。即ちこの山脈は地形学上で云う背斜山稜であり、その中核部程地質時代の古い rock unit が分布していることをものがたっている。

DWG 5-7 でも示されているように、この anticline は、非対称的 (asymmetrical) であり、SW (下流) 側翼部 (limb) より NE (下流) 側翼部の方が急傾斜しており、この特徴はそのまま山体の地形に現われている。

ダムサイト付近より上流側の河床部の露頭で測定された地層の走向は、右岸側では N 50°-60° W であるのに対して左側では、N 30°-40° W とわずかではあるが差がある。その原因は地層の複合的な褶曲によるものか、その他によるか、今後調査する必要がある。

(c) 断層

ダムサイト付近の bedrocks の outcrops を観察した範囲内では著しい断層はない。航空写真判読によると、上述の anticlinal axis より下流側で、それとほぼ同様の方向性をもつ断層が 2 条推定される。もしこの 2 条の断層が存在するとしても、本地点の計画自体には大きな影響はないと思われるが、今後更に調査の必要がある。

(d) カルスト

本地点には石灰岩をはじめ calcareous rocks が分布しているが、Ene 川沿いの露頭の観察、セスナによる空中からの偵察および空中写真判読の結果によっても著しいカルスト現象は認められない。しかし、現時点では、本地点のカルスト現象を討論するに十分なデータがないので、まだ結論的なことは云えない。

(e) 表層堆積物の分布、性状

本地点およびその周辺部の overburden としては、riverbed deposits, flood plane deposits, and talus deposits がある。

峡谷区間では riverbed deposits は、兩岸の川岸にところどころわずかに顔を出しているにすぎない。river channel の bottom については、弾性波探査 (seismic traverse SE-4 による) で調べても、詳細は不明であった。ただし、ダムサイト付近では river channel の巾も前述の通り約 70m と比較的狭いことから、量的には、それ程多くはない。本計画地点を今後推進する為には、比較的早い段階で河床部の砂礫層の分布と性状をボーリングによって確認すべきであろう。ダムサイト付近では、talus deposits は兩岸斜面中腹の現在植生に覆われている部分に存在する。それらの厚さについては今のところ具体的なデータがないが、地形条件のみから判断すると厚さ数 m を越えることはないように思われる。

峡谷区間の外側は、上下流部とも谷巾と河床部の巾は広くなり riverbed deposits と flood plane deposits によって、それら河谷は埋めつくされている。そこでの厚さに関するデータはないが、谷の形状と河床巾の規模から推定するとこれら堆積物の厚さは数 10 m 以上はありそうである。

ここでの riverbed deposits は、表面では主に sand and gravel からなっているが、ところによっては silt, etc の細粒物質も含まれているだろう。また、flood plane deposits の構成物質は、本質的には riverbed deposits のそれと同一であるが、表面では細粒砂ないしは silt が卓越している。

峡谷部およびその外側で、河岸が斜面中腹にかけて、bedrocks の露頭がない部分は talus deposits が分布していると考えてよいだろう。その deposits の厚さ性質に関しては、今のところ不明である。

(4) 土木地質的性状

(a) P-Wave Velocity of the ground

本地点で実施された Seismic Prospecting (Refraction Method) によって求められた P-wave velocity (seismic primary wave velocity = V_p) values は特徴的に 5 層に区別される。Table 5-11 は、本地点に於ける各 seismic traverse の 5 層 V_p 値を示す。

DWG. 5-7 には本地点に於ける弾性波探査の測線配置が示されているが、それを見てもわかるように、seismic traverse は Drillhole DE-1 の point を通っていない。その理由は、DE-1 の付近の地形条件が seismic traverse の設定に不適であった為である。従って、Table 5-11 に示された各 layer がどのような地質条件に対応するかは推定に基づいてなされている。ここで注目すべきことは、本地点に於ける bedrocks の P-Wave velocity を示すと思われる 5 th Layer の V_p が 2.8 km/sec から 3.2 km/sec の間にあることである。これら V_p の値は前述した Tambo Puerto Prado の bedrocks のそれ ($V_p = 3.1 \sim 4.0$ km/sec) に比較すると低いことである。その低い原因は、本質的に岩石の固結度が劣っている為か、又は風化作用、その他の二次的な原因で V_p が低下した為かのいずれかであると思われるが、今後はその原因究明の為の調査が必要である。

Seismic traverse SE-4 では、river channel 部の V_p は 2.5 ~ 2.6 km/sec の値を示している。これは riverbed deposits と bedrocks の両者の複合値であると推定される。

即ち、riverbed deposits の部分と bedrocks の部分の両者からなる部分の平均的 V_p とみることができる。

本地点の overburden の V_p は、前述の Tambo Puerto Prado の例とほぼ同様の値を示している。

(b) 透水係数

Drillhole DE-1 (length drilled : 50m) の地表部を除いてほぼ全区間で packer method による透水試験が実施されその結果は、DWG 5-8 の "Geological Log of Drillhole" に示されている。本地点で採用された透水テストの方法と、試験記録は Appendix A-2[7],[8], および[9] に添付されている。

Drillhole DE-1 の透水テスト結果を要約すると次のようになる：

- 地表から深さ 10m 付近までの区間 (quartzose sandstone) の透水係数は 10^{-3} cm/sec のオーダーの値を示す。
- 深さ 10m 付近から深さ 35m 間 (主に quartzose sandstone) の透水係数は 10^{-4} cm/sec のオーダーの値を示す。
- 深さ 35m から孔底 (深さ 50m) までの間 (主に alternation of shale and calcareous sandstone) の透水係数は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/sec のオーダーの値を示す。
- 以上の各深度の透水係数は、採取されたコアの状態と比較しても、全く reasonable である。

(c) RQD

Drillhole DE-1 では地表面から深さ 32.1m 間は quartzose sandstone が、深さ 32.1m から孔底 (深さ 50.0m) までの間は主に calcareous sandstone と shale からなる互層の cores が採取された。DE-1 の cores の RQD (Rock Quality Designation) は DWG 5-8 の geological log に示されているが、それから quartzose sandstone と、それより下位の互層部分の平均的 RQD を求めてみると、夫々約 82% と約 51% となる。DE-1 の cores 全体の RQD は約 72% である。これらの RQD は、全体としては比較的 crack の発達が少ないことを意味している。

Table 5-11 Vp (in km/sec) of Each Traverse
at Ene Paquizzapango

Seismic Traverse Layer	SE-1	SE-2	SE-3	SE-4	Geological Correspondence (assumed)
1st Layer	0.2 - 0.4	0.2 - 0.4	0.3 - 0.4	0.3	Topsoil, Surficial riverbed or flood plane deposits
2nd Layer	0.6 - 0.9	0.6 - 0.7	0.7 - 0.8	-	Talus, riverbed, and flood plane deposits and weathered bedrocks
3rd Layer	1.2 - 1.3	1.1 - 1.2	-	0.8 - 1.2	
4th Layer	1.5 - 2.0	1.9 - 2.2	2.4	2.2 - 3.2	Bedrocks
5th Layer	3.0	2.9	2.8 - 2.9		

(5) 土木地質的評価

(a) ダム地点

本地点は、本文でこれまでも繰返し説明しているように、anticlinal ridgeが横谷状に開析された峡谷部に位置している。現時点では、いろいろな高さのコンクリートタイプのダムが考えられている。これまでに判明している、あまり豊富ではない地形、地質情報に基づいて本地点の土木地質評価を行うと次の通りである。

- Paquitzapangoの峡谷は長さが約2 kmあり、その間をEne川はほぼ直線的に流れているが、現在、ダムサイトはその峡谷内の上流側1/3地点付近に位置している。また、その峡谷内の下流側1/3地点付近にはanticlinal axisが流路にほぼ直交している。
- このanticlineの中核部は、当地点では地質的に最も古い石灰岩層(Ls unit)が分布している。このanticlineを境にその上流側より下流側の方が、地質条件は複雑そうにみうけられる。従って、ダム軸を地質条件のみから選定するとすれば、このanticlineより上流側の方が望ましいと云うことができる。
- 現時点では、このanticlineより約750m上流付近の、河床部ではquartzose sandstoneが分布する部分にダム軸が考えられているが、これは地質的に妥当であると考えられる。しかし、この軸位置が地質的に最良であるか否かは現時点では判断するデータが少ないので断定できない。
- 予定ダム軸沿いの地質断面はDWG 5-8 (Section A-A)に示されているが、その図は、基盤岩類の地質構造のoutlineを示している。各rock unitの境界位置の高さの精度はあまりないことを考慮に入れても、兩岸斜面の中腹以高にはRock unit Alt-Dと更にその上位にAlt-Uが分布することに注意すべきである。
- 何故なら前述したように、Alt-D unitを構成する岩石は、それより下位のRock units Mr-c, Ss-q, およびLsなどより、見掛け上physical propertiesが劣っているような形跡があるからである。この問題は、当地点のダムの高さを最終的に決定する時に、その高さを規制する可能性がある。
- 当地点では、計画洪水量(28,300 m³/sec)に比較して河床部をはじめ谷巾が狭い為、コンクリートタイプのダムが考えられている。峡谷内の兩岸斜面は全般的に起伏が少ないので、地形的条件のみでは、アーチタイプを一義的に選定できるような地点はなさそうである。
- ダムサイト付近の河床砂礫の分布状態は、現時点では不明である。河床付近の地形条件と基盤岩類の露出状態からみて、ダムサイトに於ける河床砂礫の厚さを調べることに對してはcore drillingによるexplorationが最良の方法のように思われる。
- 基盤岩類の透水性については、DE-1の透水テストデータを除くと、他には何もない。今後は河床部では、Ls unitの石灰岩の透水性について、又、兩岸abutmentsにつ

いては地下水位の分布とその部分の透水性に関するデータが入手できるような調査が不可欠である。

(b) 貯水池地域

Paquitzapango の峡谷に、仮に高さ 150m クラスのダムを築造すると、その貯水池の終点は Apurimac 川と Mantaro 川の合流点よりいくらか上流側にまで達する。これまでの地形と地質に関する調査は充分なものとはいえないが、それによると、上記の貯水池地域から他の流域へ大量の漏水が発生するような地形的、地質的条件はみつかっていない。しかし、貯水池内には石灰岩質岩石が分布していることから、今後とも、調査精度をあげ、貯水池の Watertightness を保証する必要がある。

ダムサイトの位置する峡谷の両岸に NW - SE 方向に延びる山脈はその表面は比較的固結度の低い Tertiary formations で構成されている可能性がある。Paquitzapango に高さ 100m を越える dam を計画する場合にはまずその ridges の watertightness が保証されなければならない。従って、その ridges の地質的、水理地質の性状を把握する為の調査が必要となる。

貯水池地域内のうち、特に、上流部には小規模ながら多数の崩壊地が航空写真判読で抽出されている。しかしながら、それらのうち現時点で特別な注意を払わねばならぬ程のものはないと考えられる。

5.4.3 Ene Cutivireni 地点

(1) 地形及び地質

本地点は、Ene Paquitzapango 地点の、Ene 川流路沿い約 60km 上流、即ち、Ene 川中流域の集落 Mision の約 2 km 下流に位置する。本地点は、航空写真測量地形図（縮尺 1/25,000）によると、河床水面が標高約 385m であり、下流域で満水面が標高約 385m もしくはそれ以下のダムが計画された場合に限りダム候補地点となりうる。

本地点に関しては、JICA 調査団により空中写真判読が実施された他に、1984 年 7 月末に、セスナによる空中偵察および、1985 年 6 月末には、流路沿いにカメラを用いた現地調査が実施された。

本地点は、Ene 川がその流路を NE から NNW に変える河川の屈曲部に当たっている。本地点の上流側は、Quempiri 川及び Cutivireni 川が Ene 川に合流し、広大な河床原が発達している。下流側にも約 3 km の河床原が発達している。

ダム予定地点での川巾は約 200m で、兩岸の山体は河床部からの比高差が 100m ~ 150m で、全体になだらかな丘陵性の地形を呈する。

ダム地点は、既存地質資料、LANDSAT 画像判読、空中写真判読等の結果に基づくとその bedrocks は Tertiary の Ipururo Formation で構成されている可能性がある。この Ipururo

Formationは、軟弱な mudstone, sandstone の互層からなるとされており、これまでの空からの情報の判読結果もそれを支持する結果を得ている。この地層の走向は NNW ~ NS を、傾斜は約 10° W を示すと推定される。

ダムサイトの上流約 1 km には NNE - SSW 系の断層が推定され、本断層は Ene 川の流路形状に影響を与えていると予想される。

ダムサイトおよびその付近の riverbed deposits は、広い河床原を形成しており、相当厚そうである。

(2) 土木地質評価

これまでの本地点に関する地質調査は少なすぎて、正当な土木地質的評価はできない。しかし、これまで判明している地形条件と、推定される地質条件から、ダム地点としてあまり有利な地点であるとは云えないこと、もし、ダムを築造するにしてもあまり高いダムはできないことは確かである。

5.4.4 Ene Sumabeni 地点

(1) 地形及び地質

本地点は、Ene Cutivireni 地点から Ene 川流路沿い、約 50 km 上流、即ち、Apurimac 川と Mantaro 川の合流点より約 15 km 下流に位置する。本地点は航空写真測量地形図（縮尺 1/25,000）によると河床水面標高が約 440 m であり、本地点より下流側で満水面が約 440 m もしくはそれ以下のダムが計画された場合のダム候補地点である。

本地点に対しては JICA 調査団は、LANDSAT 画像と空中写真の判読以外に 1984 年 7 月末にセスナ機からの空中偵察を行っている。更に、1985 年 6 月末には流路沿いにカメラを用いた現地踏査が実施された。

本地点は、NNW へ流れる Ene 川が、流路を西方へ曲げ、更に NNE へ変える河川の屈曲部に当たっている。ダムサイト付近の河床部は最狭部で約 500 m の巾を示している。現時点では、この河床部が最狭のところをダム軸を一応予定しているが、その地点では左岸側からは比較的急な斜面を持つ尾根が河床方向に張り出しているが、右岸側は全体に河床面からの比高が約 100 m の広い平坦面（ダム軸上での巾約 1 km）が比較的急な斜面をもつ山体との間に横たわっている。

ダムサイトは、既存の地質資料と今回実施した LANDSAT 画像と空中写真の判読の結果によると、その bedrocks は Paleozoic の Ambo Group により構成されている可能性がある。Ambo Group は shale と limestone を主体とする堆積岩よりなるとされている。それらの地層は空からのデータに基づくと、NNW の走向、 10° ~ 30° W の傾斜を示していると推定される。

本地点を含むこの地域は、北西側に存在する Tertiary の Sedimentary basin と、南東側

の Paleozoic の elevated block の間に位置しており、NNW-SSE系、NNE-SSW系、NE-SW系などの断層が集中的に発達している。

更に、空中写真判読により、本地点付近には slope failure 又は、その形跡のある地形的特徴が多数抽出されている。

河床砂礫は、広い河谷を埋めつくしており、その厚さは相当厚そうである。

(2) 土木地質的評価

本地点についても Ene Cutivireni 地点と同様、土木地質的評価とするには時期尚早である。しかしながら、一方では地形的、地質的な基本条件を比較すると Ene Sumabeni 地点が Ene Cutivireni 地点よりダムサイトとしては、より適性があると云うことはできる。

これまでに判明した地形、地質条件のうち、次の事項は今後特に注意する必要がある。

- 本地点で、現河床面上の高さが 100 m を越えるようなダムを計画する場合は、ダム軸の選定の前に十分な現地調査を行い、兩岸山体の地形条件を Study すること。
- 本地点付近の slope failure もしくは landslide の調査を行い、ダムまたはその付帯設備に与える影響の Study をすること。

5.5 建設材料

Ene 川水力開発計画の Master Plan として、Tambo Puerto Prado 地点では、コンクリート又はフィルタイプのダムが、Ene Paquitzapango 地点ではコンクリートタイプのダムが考えられている。また、Ene Cutivireni と Ene Sumabeni の両地点ではフィルタイプのダムが考えられている。各計画地点のダムタイプは今後の計画の推移により変更されるかもしれない。従って本節では、主として Ene 川沿いの地域を対象として、これまでに判明した地質条件に基づいて全ての建設材料の field conditions を説明する。

○ コンクリート骨材

Ene 川をはじめ、その付近の主要河川にはどこでも、riverbed deposits からなる河床原ないしは flood planes が形成されている。この riverbed deposits は、いずれも河原表面では堅硬、ち密な岩石の礫といろいろな粒径の砂、および silt から構成されている。この riverbed deposits は、量的にも質的にもコンクリート骨材として使用することが可能である。

コンクリート骨材に対する今後の調査としては、まず、各地点の計画の進め方に合わせて、基本的な室内試験をはじめ、どこから、如何に経済的に採取することができるかを目途としたこととなるであろう。更に、比較的早い段階で、アルカリ骨材反応試験を行っておくことも必要である。

○ ロック材

フィルタイプダムのロック材としては、一般に比重が大きく、新鮮で、堅硬な岩石で、か

つ massive であることが要求される。

このような岩質を示す岩石としては、Tambo 川上流部および Ene 川流域では、中生代又は古生代に属する limestone と Sandstone が一般に最も適していると考えられ、更には、石灰質な堆積岩で massive な性質を持つ岩石も含めることができるであろう。

Tambo Puerto Prado でロック材としての調査対象となる rock units は Ls と Ss であり、更に露頭での岩質からみて、Ss/Mr もその対象となりうるかもしれない。

Ene Paquitzapango でロック材となりうるものは、rock units Ls, Ss-q, Mr-c であろう。しかしこれらは、露頭でみるかぎり、Tambo Puerto Prado の岩石より、風化しており、岩質的にもやや条件が劣ると思われるので注意を要する。

Ene Cutivirene と Ene Sumabeni 両地点については Rock units に関する情報が無いが、両者を比較した場合、Ene Cutivirene 地点付近には良質なロック材となるような岩層の分布はなさそうである。

○ フィルター材

フィルタイプダムのフィルター材は、どの地点でもその近傍の riverbed deposits から量的にも質的にも充分得られるであろう。

○ 不透水性材料

フィルタイプダムの不透水性材料は一般に、不透水性で、大きいせん断抵抗をもち、かつ建設中容易に圧密できるような性質をもつ材料が適している。本計画地域の中では、Talus deposits, weathered bedrocks, または flood plane deposits のうちの細粒堆積物 (silt or clay) がその調査の対称となるであろう。

これまでの本計画地域での現地調査の結果では、どの地点でも半径 5 ~ 6 km の範囲内には、Impermeable Materials の調査対象地となりうる場所は、存在しているように思われる。

5.6 地震加速度の確率解析

5.6.1 地震データ

この解析で使われる地震データは NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration Environmental Data Service) が収集したものである。Lima の ONERN によって提供された磁気テープには、西経 30° から西経 85° および南緯 60° から北緯 15° にわたる広範なデータが、1868年から1981年の期間について含まれている。しかしながら、1925年以前のデータは、主として地震のマグニチュードが欠けているため、この解析には利用できない。

一方、当計画地点は Table 5-12 に示すように、ほぼ南緯 $11^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 、西経 74° に位置している。計画地点周辺の地震概況は、Appendix A-(5) の Fig. 1 ~ 9 から読みとれよう。計画地点の位置と1925年から1981年の地震データの震央の位置が、マグニチュードと震源深さの段階別に図示されている。

3計画地点、即ち、Tambo Puerto Prado, Ene Paquitzapango および Ene Sumabeni は、簡単にそれぞれ地点 A, B, C とし、ここでの記述では符号 A, B, C を用いて、それぞれの地点を表わす。Appendix A-5 の Table A-1, B-1, C-1 は、この解析に用いられた地震のマグニチュードと震央距離の分布を示す。これらの表に集録された地震については、Appendix A-(5) の Table A-2, B-2, C-2 に、1925年から1981年までの年間別地震生起回数として累積回数と共に示されている。

5.6.2 減衰モデル

これまでに提案された減衰モデルで、地盤最大加速度 A (gal) を、地震のマグニチュード M と震央距離 R (km) 又は震源距離 D (km) で表わしたものの中から、以下の4モデルがこの解析で用いられた。

- Log A = 3.090 + 0.347M - 2 log (R+25) (1)
 proposed by C. Oliveira¹⁾.
- Log A = 2.674 + 0.278M - 1.301 log (R+25) (2)
 proposed by R. K. McGuire²⁾.
- Log A = 2.041 + 0.347M - 1.6 log D (3)
 proposed by L. Esteva and E. Rosenblueth³⁾.
- Log A = 2.308 + 0.411M - 1.637 log (R+30) (4)
 proposed by T. Katayama⁴⁾.
-

References:

- 1) Oliveira, C.; Seismic Risk Analysis, EERC 74-1, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley (1974), 1-102.
- 2) McGuire, R. K.: Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regressions on Earthquake Magnitude and Distance. Mass. Inst. Technol. Dep. Civ. Eng., R74-51 (1974)
- 3) Esteva, L. and Rosenblueth, E.: Espectros de Temblores A Distancias Moderadas y Grandes, Proc. Chilean Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Vol. 1, University of Chile (1963).
- 4) Katayama, T.; Fundamentals of Probabilistic Evaluation of Seismic Activity and Seismic Risk (in Japanese), SEISAN-KENKYU (Monthly Journal of Institute of Industrial Science, University of Tokyo), 27-5 (1975), 1-11.

5.6.3 最大加速度の統計解析

地震データは、それぞれの地点に対し、1925年から1981年の56年間にわたり利用できる。従って、極値理論に基づいた確率モデルを、等時間間隔を1年として設定できる。ダム地点で予想される最大加速度の確率関数は未知ではあるが、関数形は第3型漸近分布に近いとするのが妥当で、次のように定義される。

$$P(x) = \exp\left\{-\left\{\frac{w-k}{w-u}\right\}^k\right\}$$

ここに w は変数の上限値、 k は形状パラメータ、 u は特性値であり、 x は1年間隔の最大加速度を対数で示した任意変数で次のように表わされる。

$$x = \log A_{\max}$$

Appendix A - [5] の Table A-3, B-3, C-3 には、前に述べた各々の減衰モデルに対し、1925年から1981年までの年間最大加速度が示されている。この最大値はAppendix A - [5] の Fig. A-1~5, B-1~5, C-1~5 に図示されている。各々の最大値の図示する位置は、次のように計算される。

$$P(m) = (N - m + 1) / (N + 1)$$

ここに、 $N (= 56)$ は時間間隔の総数、 m は値の大きい方からの順番である。これらの図には、第3漸近分布関数として評価された回帰曲線が実線で示されており、これから確率年に対する最大加速度の値が求められる。Table 5-13, 5-14, 5-15 に、各々のダム地点において、50, 100, 200年 確率として予想される最大加速度を示す。

Table 5-12 Location of Project Sites

	S	W
A: Tambo Puerto Prado (Tambo-10)	11°09'10"	74°14'21"
B: Ene Paquitzapango (Ene-40)	11°31'04"	74°04'30"
C: Ene Sumabeni (Ene-10)	12°09'50"	74°04'13"

Table 5-13 Maximum Accelerations for Three Return Periods (gal)

Model (Eq.No.)	Proposer(s)	Return Period, Tr (year)		
		50	100	200
(1)	C. Oliveira	33.5	53.4	82.7
(2)	R. K. McGuire	94.9	133.3	185.4
(3)	L. Esteva & E. Rosenblueth	30.8	51.8	86.4
(4)	T. Katayama	59.6	92.4	142.6

Table 5-14 Maximum Accelerations for Three Return Periods (gal)

Model (Eq.No.)	Proposer(s)	Return Period, Tr (year)		
		50	100	200
(1)	C. Oliveira	22.7	31.0	40.9
(2)	R. K. McGuire	74.5	94.4	117.2
(3)	L. Esteva & E. Rosenblueth	22.3	32.3	45.4
(4)	T. Katayama	44.9	61.7	82.8

Table 5-15 Maximum Accelerations for Three Return Periods (gal)

Model (Eq.No.)	Proposer(s)	Return Period, Tr (year)		
		50	100	200
(1)	C. Oliveira	32.1	56.4	98.8
(2)	R. K. McGuire	87.2	124.4	177.1
(3)	L. Esteva & E. Rosenblueth	46.6	87.6	164.4
(4)	T. Katayama	47.2	69.6	101.7

5.7 結 論

(1) The Tambo Puerto Prado 地点

- (a) 本地点は、地形的、地質的にみて、ダム地点として最も注目すべきなことは、河床部に、確認厚さで40 m 以上（最厚部で推定 60～70 m もしくは、それ以上）の riverbed deposits が存在していることである。
- (b) ダムサイトの foundation rocks は中生代（もしくは、一部は古生代？）の石灰岩、砂岩、頁岩、泥灰岩より構成され、それら岩石自体は高さ 100 数 10 m クラスのコンクリートダムに対する bearing capacity は充分期待できる強度を保持していると考えられる。しかし、河床部左岸側で行われた Drillhole DT-2 の透水テストでは、その bedrocks は 10^{-3} cm/sec のオーダーの透水係数であることが指摘された。その部分のコアを観察した限りでは、geotechnically に groutable であるが、ダム基礎部の透水性については今後充分注意する必要がある。
- (c) ダムサイト両岸 abutments は V_p が 2 km/sec 以下のものが深さ 15～20 m、ところによってはそれ以上分布していることが判明した。これは両斜面上に Soft materials (overburden or strongly weathered bedrocks) の分布を指摘しており、今後充分調査する必要がある。
- (d) ダムサイト両岸山体の地下水分布状態は現時点で不明である。両山体は部分的には、limestone and calcareous rocks から構成されているので、今後、山体の地下水分布状態とその山体で構成する岩石の透水性を調べる必要がある。
- (e) 本地点は Engineering Geology の観点から結論的に、厚い河床部の砂礫層の処理方法についての問題を除けばダムサイトとしての適性は持っていると言うことができる。
- (f) 本地点に高いダム（例えば、河床上の高さ 50 m 以上）が計画される場合には、貯水池地質の観点から将来 2 項目の調査が必要となるだろう。1 つは、貯水池の保水性は、今のところ問題が無さそうに見えるが、今後はそれを証明する必要がある。その為には、ダムサイト両岸の山体の詳しい地質的、水理地質的調査を実施すべきである。もう 1 つは、航空写真と LANDSAT images によって判読された貯水池地域と交差する NW-SE 方向と NE-SW 方向の長い連続性を示す断層の性状を把握する為に、より詳しい調査が必要である。

(2) Ene Paquitzapango 地点

- (a) 本地点は、ダムサイトの foundation rocks は河床部から両岸斜面中腹にかけては、中生代（もしくは、一部は古生代？）の石灰岩、砂岩、頁岩、泥灰岩より構成され、それら岩石自体は高さ 100 数 10 m クラスのコンクリートダムに対する bearing capacity は多分保持しているであろう。しかし、両岸中腹以高は、Tertiary の堆積岩類が分布し、それらは、下位の bedrocks より physical properties は劣っている。

(b) 河床部は、流路床は riverbed deposits が分布していると思われるが、その厚さは不明である。ダムサイトおよびその上下流側でのこの deposits の厚さはできるだけ早い機会に確認（例えばボーリングにより）する必要があるだろう。

(c) ダムサイトの両岸の山体は anticlinal ridges であり、その ridges の中核部は地質時代は中生代もしくは古生代の石灰岩で、又、地表部は Tertiary の Alternation of Sandstone, shale, and marl で構成されている。本地点で 100 数 10m クラスのダムを考える場合は、両 ridges が十分に watertight であるかどうかが問題となる。従って今後はそこでの地下水の分布状態と透水性を把握する必要があると不可欠である。

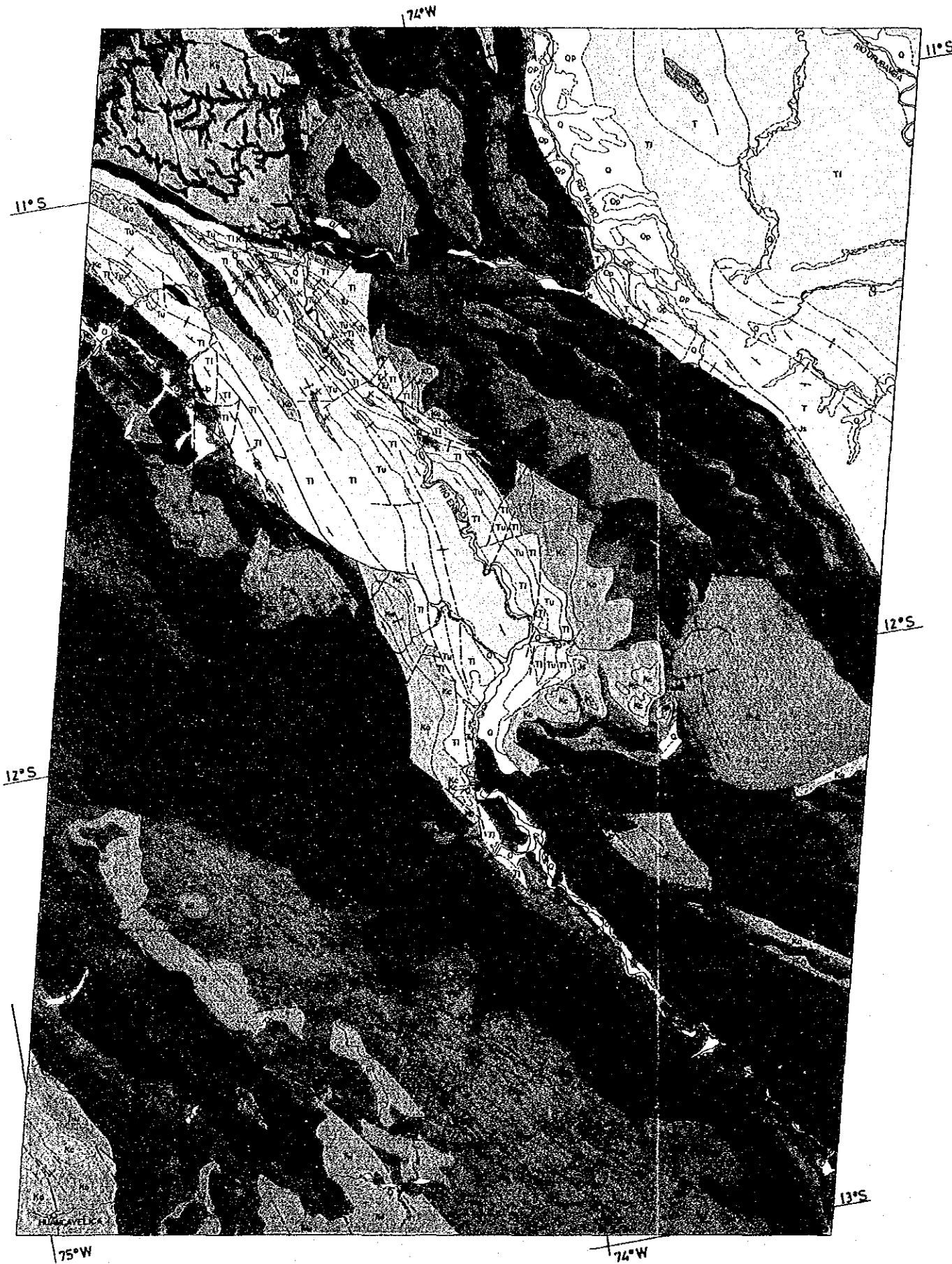
(d) 本地点は、Engineering Geology の観点からみて、高さ 100 数 10m クラスのコンクリートタイプを安全かつ経済的に築造する保証を得る為には、まず河床部の石灰岩の透水性と両岸斜面中腹以上の Tertiary の rock units の透水性と physical strength に対する調査が必要であると結論づけることができるだろう。

(3) Ene Cutivireni 地点

本地点は、geological engineering assessment ができるような data が不十分であるが、少なくとも、高さ 100m 以上の dam は不可能であること、また、一般的にダムサイトとしての地形的、地質的条件に恵まれているとは思えないことは明白である。

(4) Ene Sumabeni 地点

本地点も上記の Ene Cutivireni 地点と同様、まだ geological engineering assessment をするには data が充分ではないが、少なくとも、ダムサイトとしては地形的、地質的にみれば Ene Cutivireni 地点より、よさそうである。本地点に関するこれまでの地形的、地質的な情報から判断すると、最適ダム軸位置選定の為には、更に現地での微小地形を含めた field survey および崩壊地調査が不可欠である。



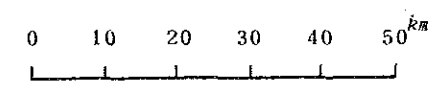
Quaternary
Tertiary
Cretaceous
Jurassic
Jurassic~
Triassic
Permian
Permian~
Carboniferous
Carboniferous
Devonian~
Ordovician
Pre-Cambrian

L E G E N D

- Q : Alluvium
- Qp : Pagorene fm
- Tvu : Senca fm
- Tvl : Huanta gp
- Ti : Ipururo fm
- Tu Tl : Huayabamba gp
- Kc : Chonta fm
- Ko : Oriente gp
- Js : Sarayaquill fm
- Jp : Pucara-Ene fm
- Pm : Mits gp
- P-C : Tarma-Copacabara gp
- Ca : Ambo gp
- O-D : Exelsior gp
- Pr-C : metamorphics
- Gt : granite
- Gp : granite

- Stratigraphical boundary
- Fault
- Anticline
- Syncline

Notes This map is compiled on the basis of data as follows:
 1. MAPA GEOLOGICO DEL PERU (Scale: 1/1,000,000), INGM., 1975.
 2. Geological Map of Petro-Peru (Scale: 1/500,000), 1968.
 3. LANDSAT Images Processed of Digital Mosaic, (Scales: 1/1,000,000, 1/500,000, and 1/250,000), JICA MISSION, 1985.



ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT	
GEOLOGICAL PLAN OF ENE RIVER BASIN	
DWG. 5.1	

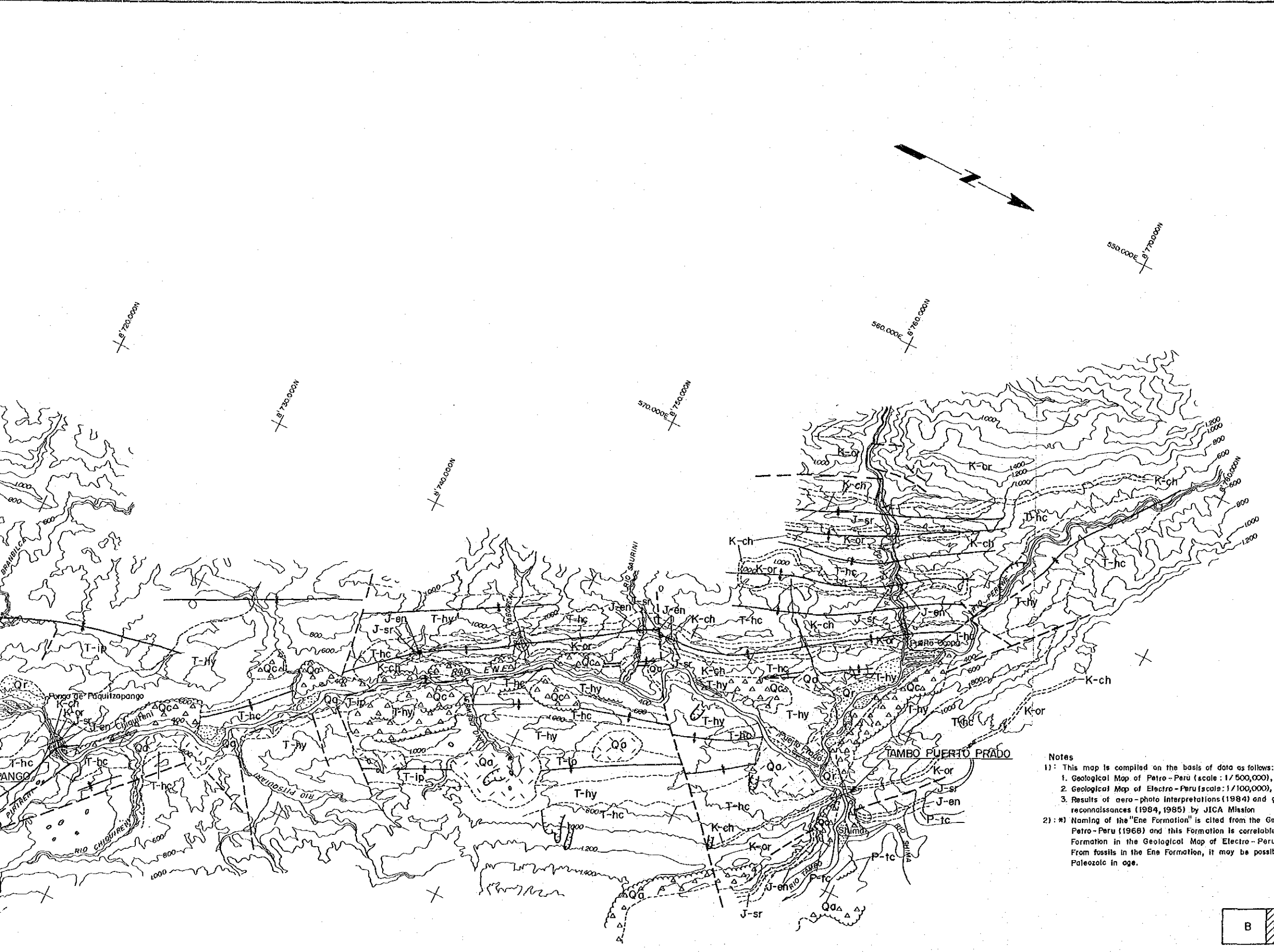


Notes

- 1) This map is compiled on the basis of data as follows:
 1. Geological Map of Petro-Peru (scale: 1/500,000), 1968
 2. Geological Map of Electro-Peru (scale: 1/100,000), 19--
 3. Results of aero-photo interpretations (1984) and geological reconnaissance (1984, 1985) by JICA Mission
- 2) (*) Naming of the "Ene Formation" is cited from the Geological Petro-Peru (1968) and this Formation is correlable with the Formation in the Geological Map of Electro-Peru (19--). From fossils in the Ene Formation, it may be possibly Paleozoic in age.

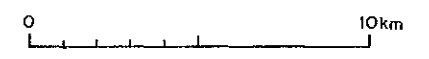
LEGEND

- Quaternary
 - Qr River bed deposit
 - Qca Colluvial deposit
 - Qa Alluvial deposit
 - Tertiary
 - T-ip Ipururo Formation
 - T-hy Huayabamba Upper Formation
 - T-hc Huayabamba Lower Formation
 - Cretaceous
 - K-ch Chonta Formation
 - K-or Oriente Group
 - Jurassic
 - J-sr Sarayaquillo Formation
 - Triassic (?)
 - J-en Ene Formation *
 - Permian-carboniferous
 - P-tc Tarma-Copacabana Formation
-
- Stratigraphical boundary
 - Anticline
 - Syncline
 - Fault
 - Cliff
 - Slope failure
 - Sink hole



Notes

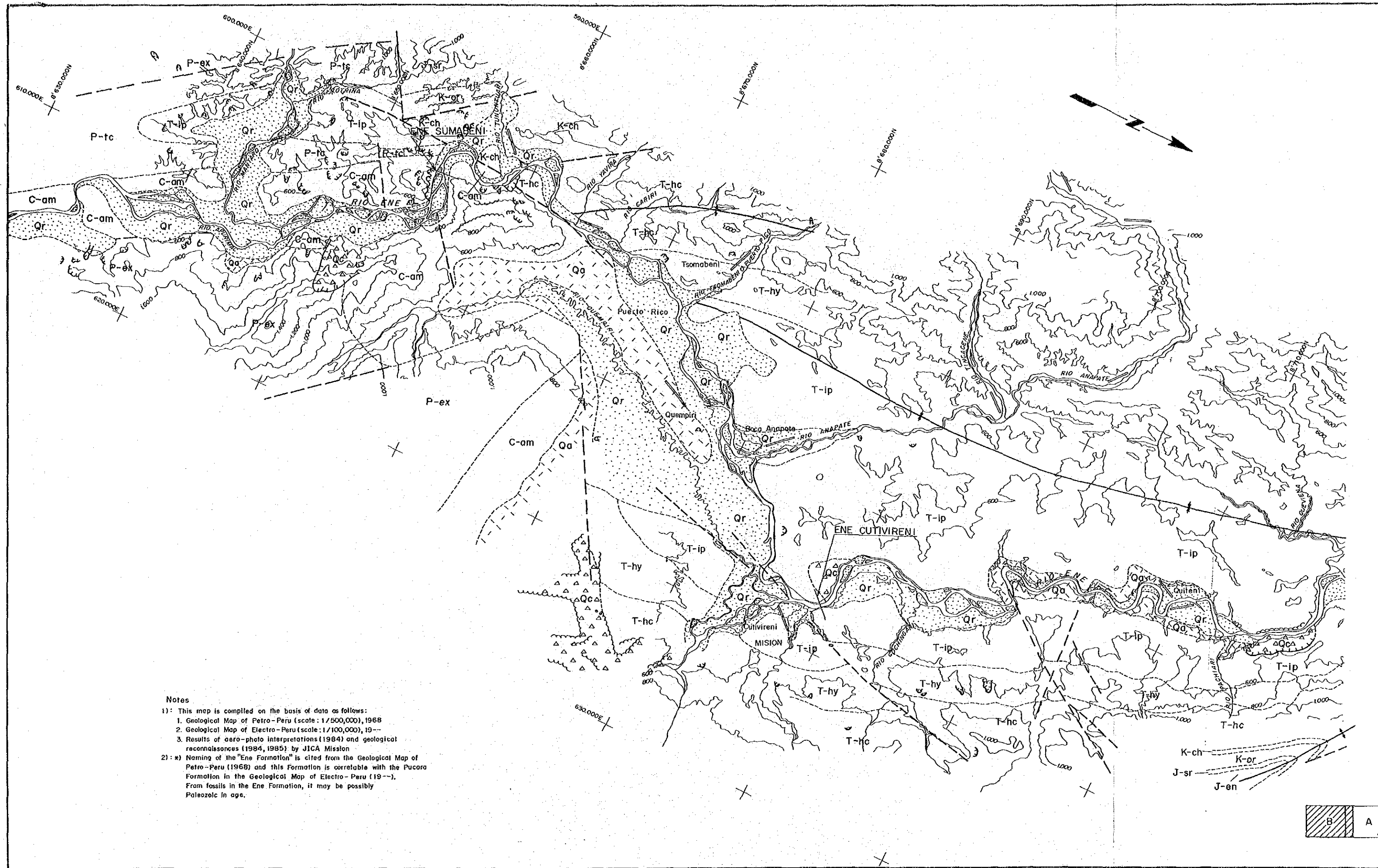
- 1) This map is compiled on the basis of data as follows:
 1. Geological Map of Petro-Peru (scale: 1/500,000), 1968
 2. Geological Map of Electro-Peru (scale: 1/100,000), 19--
 3. Results of aero-photo interpretations (1984) and geological reconnaissances (1984, 1985) by JICA Mission
- 2) *) Naming of the "Ene Formation" is cited from the Geological Map of Petro-Peru (1968) and this Formation is correlatable with the Pucara Formation in the Geological Map of Electro-Peru (19--). From fossils in the Ene Formation, it may be possibly Paleozoic in age.



ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER
DEVELOPMENT PROJECT

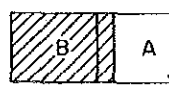
GEOLOGICAL PLAN
OF
THE PROJECT AREA (A)

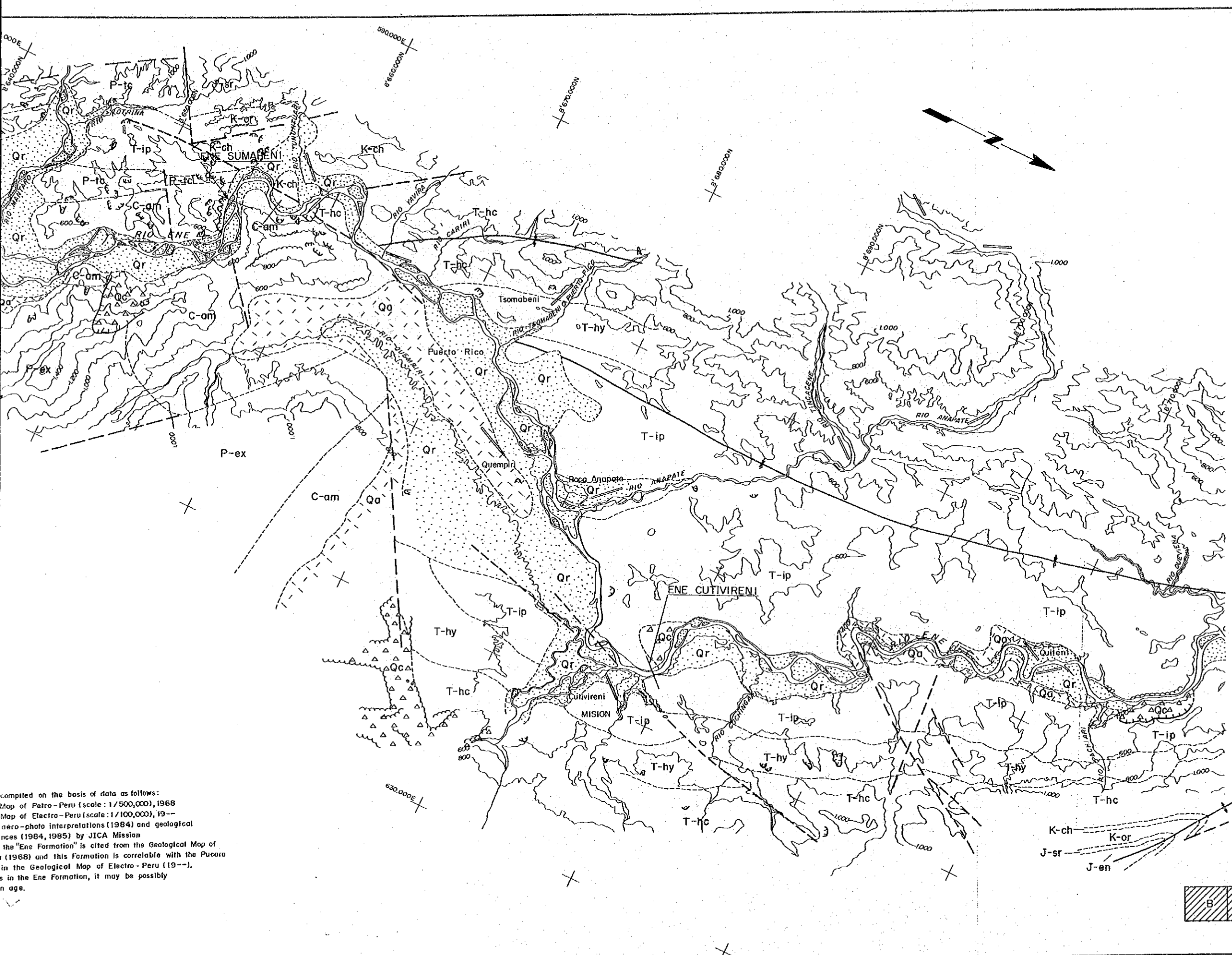
DWG. 5-2



Notes

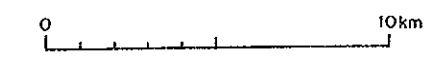
- 1): This map is compiled on the basis of data as follows:
 1. Geological Map of Petro-Peru (scale: 1/500,000), 1968
 2. Geological Map of Electro-Peru (scale: 1/100,000), 19--
 3. Results of aero-photo interpretations (1984) and geological reconnaissances (1984, 1985) by JICA Mission
- 2): * Naming of the "Ene Formation" is cited from the Geological Map of Petro-Peru (1968) and this Formation is correlable with the Pucara Formation in the Geological Map of Electro-Peru (19--). From fossils in the Ene Formation, it may be possibly Paleozoic in age.





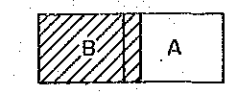
LEGEND

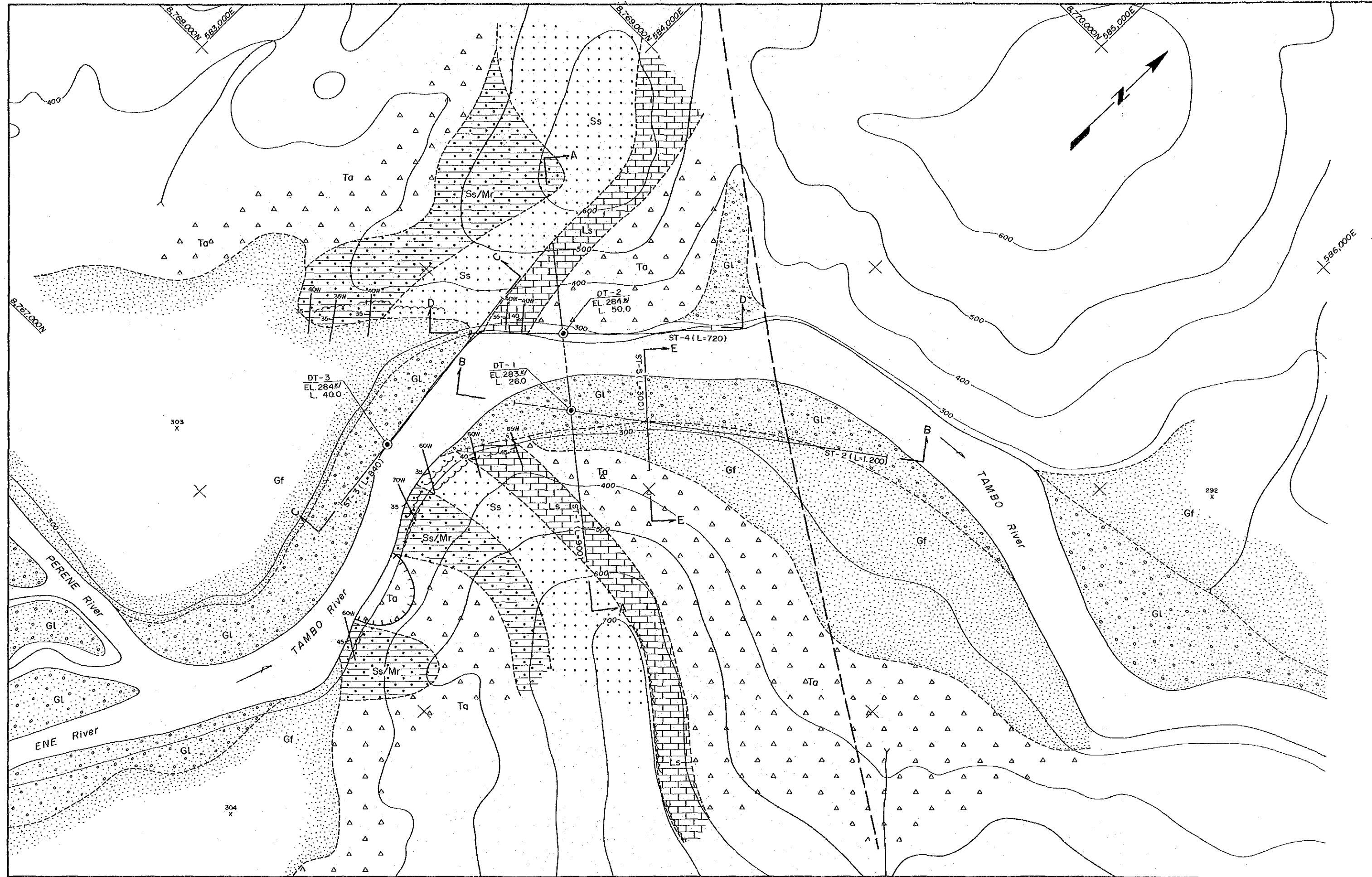
- Quaternary
 - Q River bed deposit
 - △ Qc △ Colluvial deposit
 - Qa Alluvial deposit
- Tertiary
 - T-ip Ipururo Formation
 - T-hy Huayabamba Upper Formation
 - T-hc Huayabamba Lower Formation
- Cretaceous
 - K-ch Chonta Formation
 - K-or Oriente Group
- Jurassic
 - J-sr Sorayaquillo Formation
- Triassic(?)
 - J-en Ene Formation^{*)}
- Permian-carboniferous
 - P-tc Tarma - Copacabana Formation
- Carboniferous
 - C-am Ambo Group
- Silurian
 - P-ex Excelsior Formation
- Stratigraphical boundary
- Anticline
- Syncline
- Fault
- Cliff
- Slope failure
- Sink hole

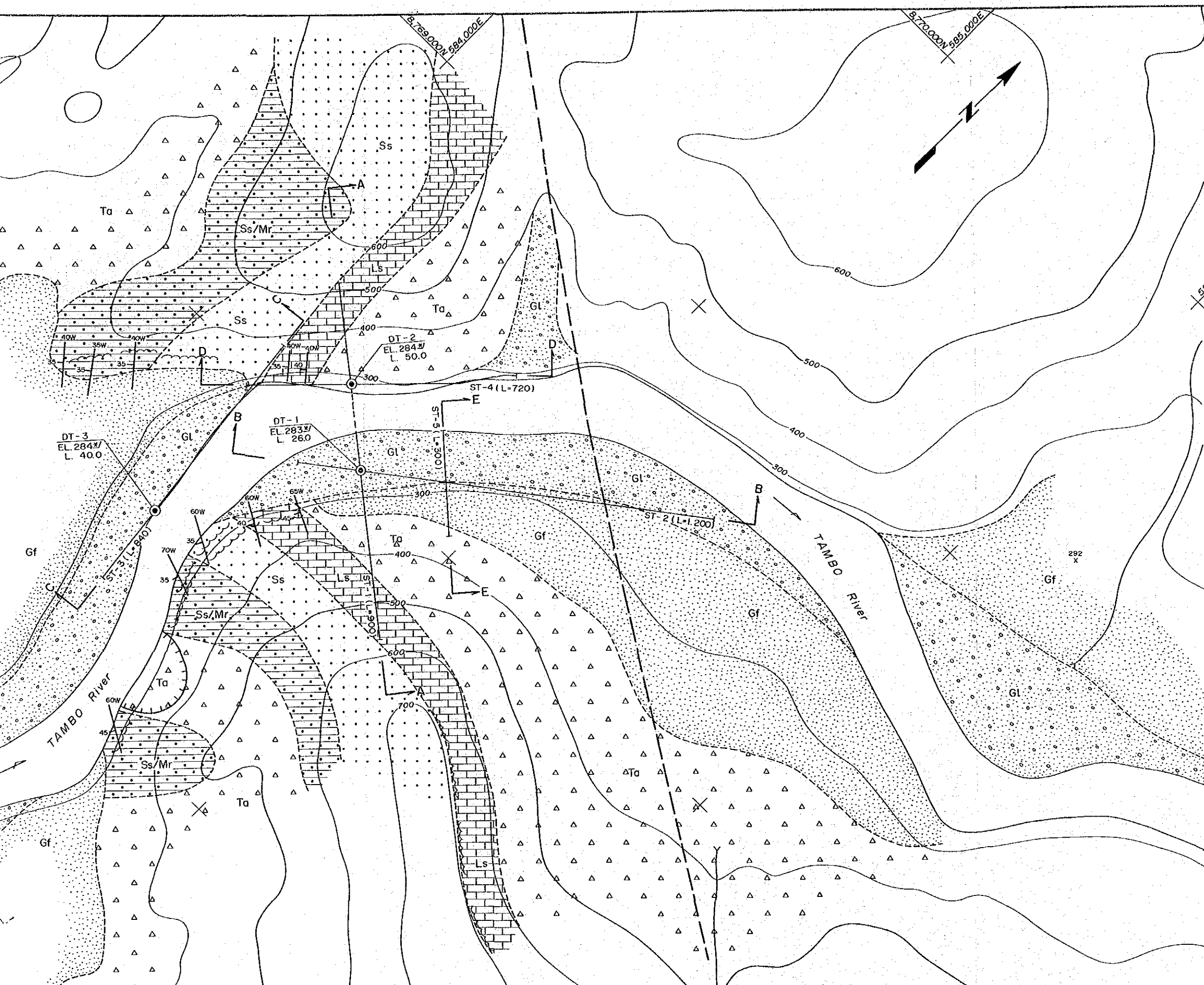


compiled on the basis of data as follows:
 Map of Petro-Peru (scale: 1/500,000), 1968
 Map of Electro-Peru (scale: 1/100,000), 19--
 aero-photo interpretations (1984) and geological
 nces (1984, 1985) by JICA Mission
 the "Ene Formation" is cited from the Geological Map of
 (1968) and this Formation is correlable with the Pucara
 in the Geological Map of Electro-Peru (19--).
 s in the Ene Formation, it may be possibly
 n age.

ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT	
GEOLOGICAL PLAN OF THE PROJECT AREA (B)	
DWG. 5-3	

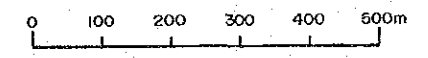






- LEGEND**
- Gf Riverbed deposits (Locally includes fan deposits)
 - Gf Flood plane deposits
 - Ta Talus deposits (With assumed thickness of 1.5m or more, includes topsoil)
 - Ss/Mr Alternation of sandstone and marl
 - Ss Siliceous sandstone (Interbedded with calcareous rocks)
 - Ls Limestone (Interbedded with marl or shale)
 - Strike and dip of stratum
 - Outcrop of bedrock
 - Geologic boundary
 - Assumed fault
 - Slope failure
 - DT-
EL. $\frac{m}{L}$
Drillhole's name
Elevation (in m)
Length (in m)
 - ST-
(L=)
Seismic traverse (Length in m)
 - Location of section

Note: $\frac{m}{L}$: The elevations of the drillholes are temporarily referred to the "1/25,000-scale map" made up from air-photographs in 1984.

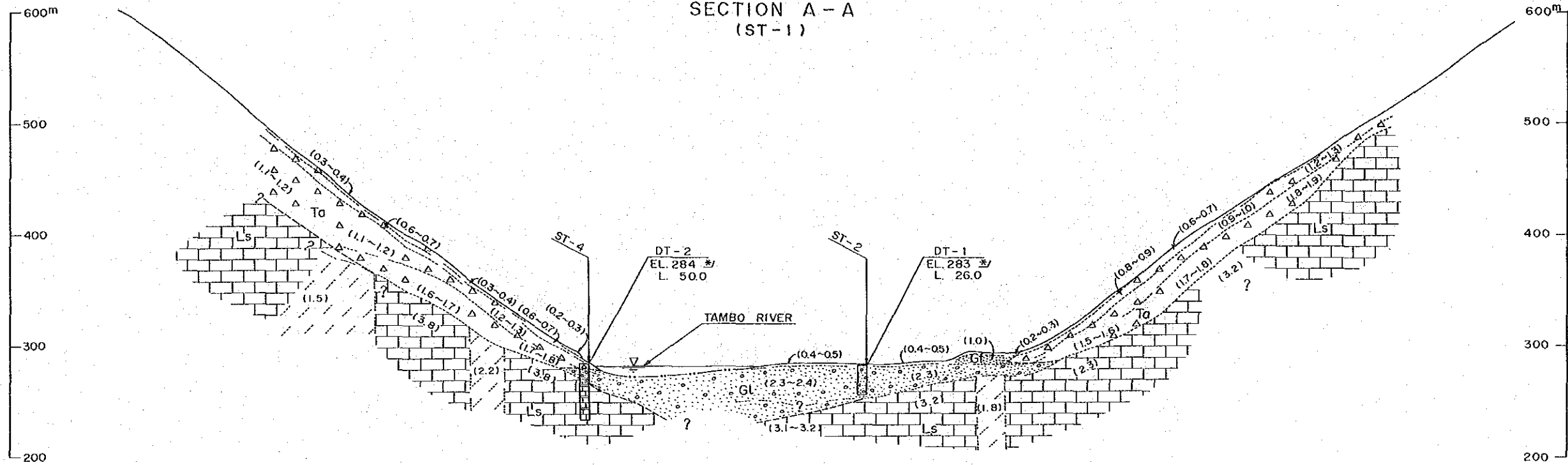


ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER
DEVELOPMENT PROJECT

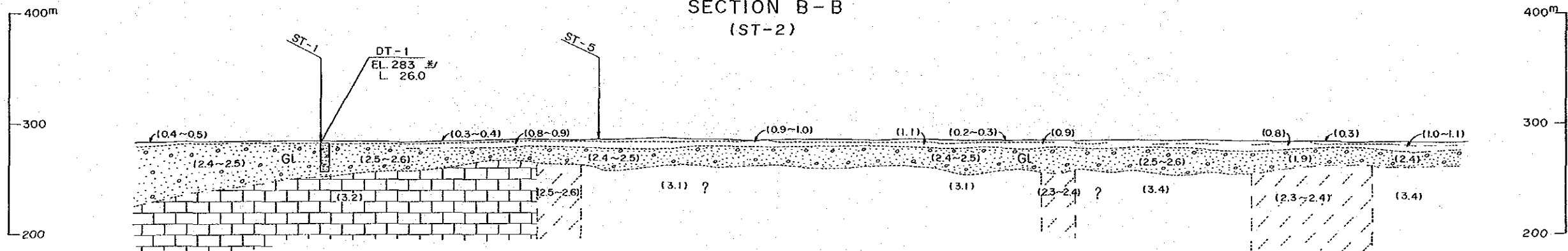
**GEOLOGICAL PLAN
OF
TAMBO PUERTO PRADO SITE**

DWG. 5-4

SECTION A-A
(ST-1)



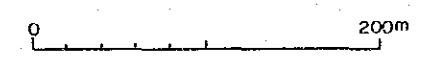
SECTION B-B
(ST-2)



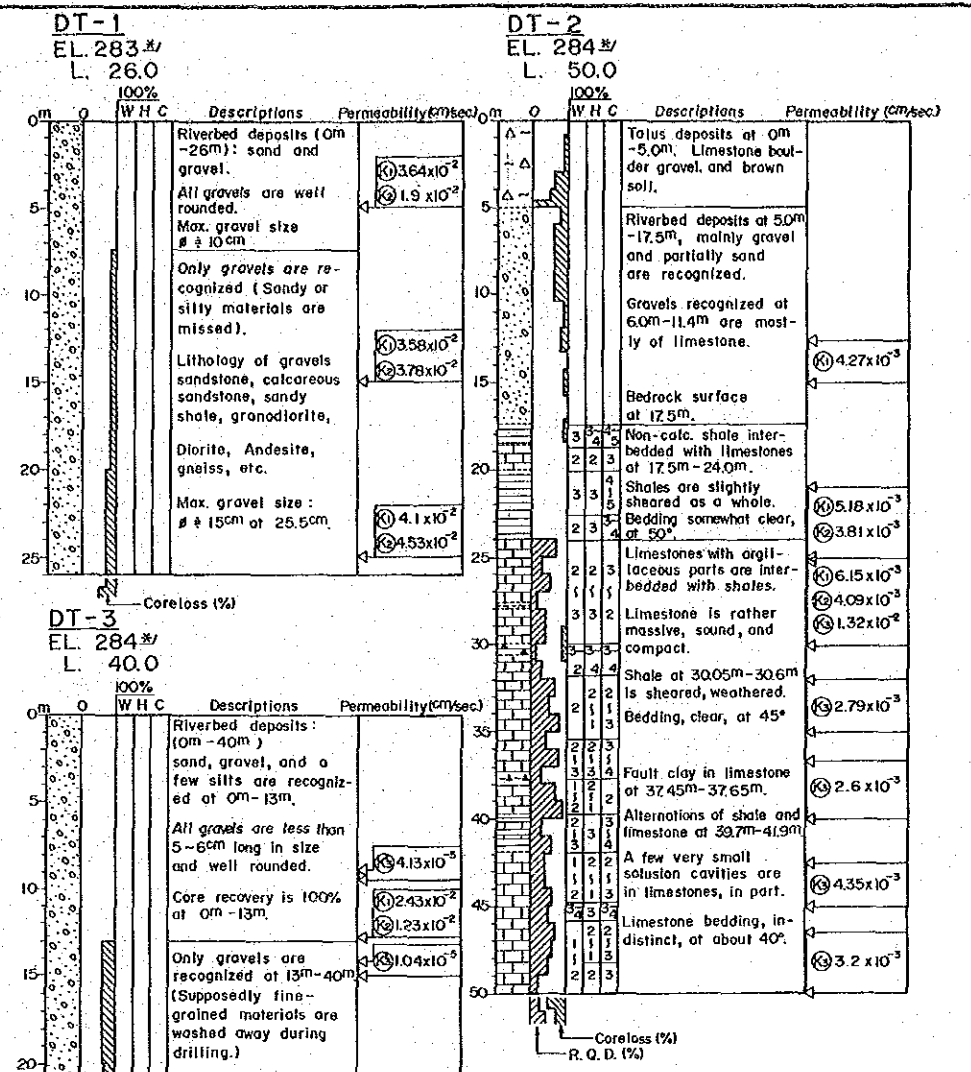
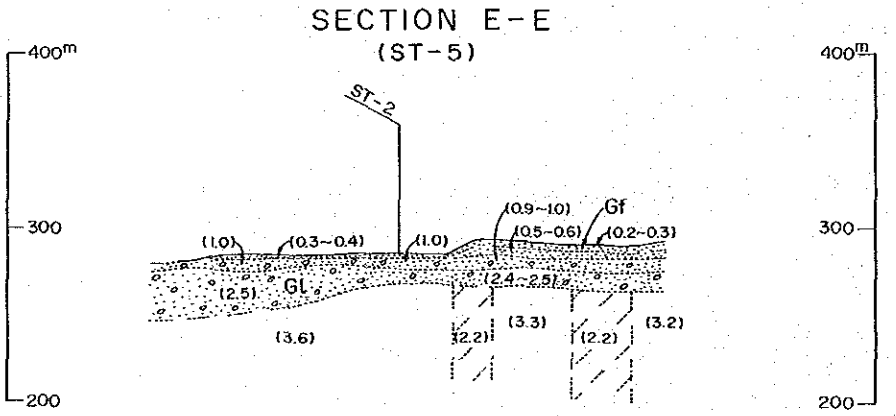
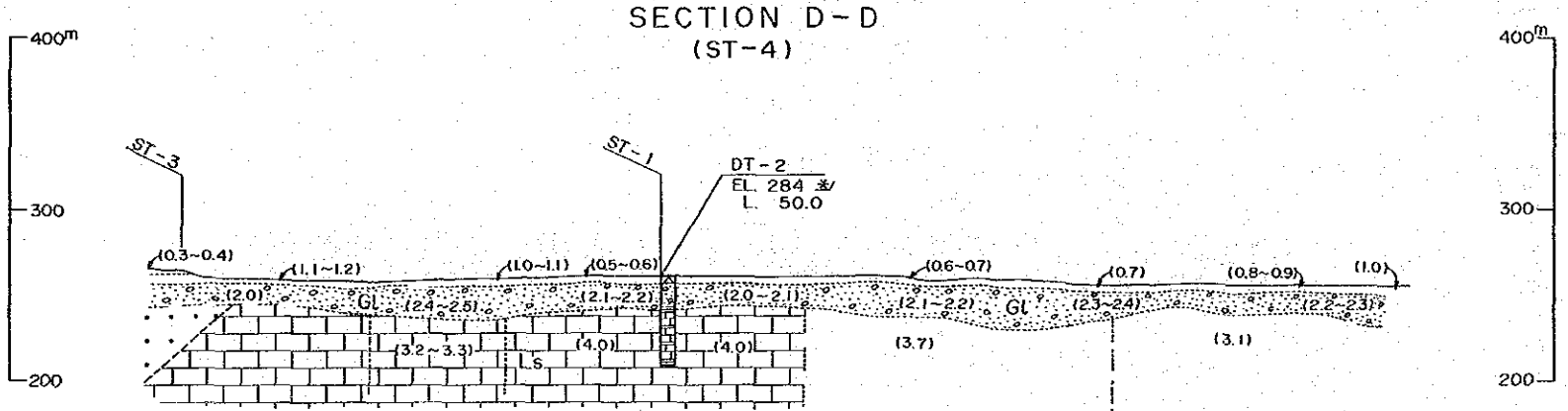
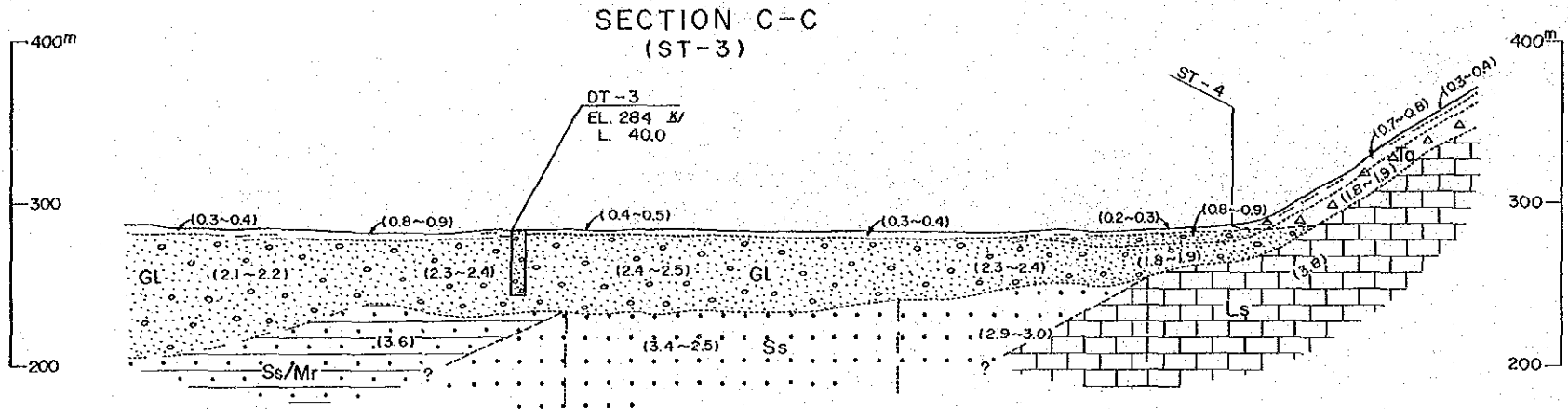
LEGEND

- | | | | | |
|--|----|--|--|--|
| | GL | Riverbed deposits (Silt, sand, gravel) | | Seismic primary wave velocity (in km/sec) and its boundary |
| | Gf | Flood plane deposits (Silt, sand, gravel) | | Relatively low velocity zone (in km/sec) |
| | Ta | Talus deposits (Silt, clay, rock fragments) | | Drillhole's name |
| | Ls | Limestone (Interbedded with marl or shale) | | Elevation (in m.) |
| | | Geological boundary | | Length (in m.) |
| | | Bottom of river water (By echo sounding device, on 1st, Nov. 1984) | | Name of seismic traverse of refraction prospecting |

Notes: 1), \pm ; The elevations of the drillholes are temporarily referred to the "1/25,000-scale map" made up from air-photographs in 1984.
2), Geological logs of the drillholes DT-1 and -2 are shown in DWG.5-6.



ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT	
GEOLOGICAL SECTION OF TAMBO PUERTO PRADO SITE	
DWG. 5-5	



LEGEND (Log of Drillhole)

Length
Core recovery (%) & R.Q.D. (%)
Physical conditions of rock
Degree of weathering
Hardness
Crack spacing

W = 1 (Fresh) ~ 5 (Very strongly weathered)
H = 1 (Very hard) ~ 5 (Very soft)
C = 1 (> 50cm) ~ 5 (< 1cm)

Explanations of Permeability

Section tested for permeability

Ⓞ : Permeability value by open-end constant load method (in cm/sec.)

Ⓢ : Permeability value by open-end constant load method (in cm/sec.) (Le Franc Type) **/

Ⓣ : Permeability value by open-end variable load method (in cm/sec.)

Ⓤ : Permeability value by packer method with constant load (in cm/sec.) (Lugson Type) **/

LE (Se)

GL Riv

Gf Flo

Ta Tol

Ss/Mr Alt

Ss Sil

Ls Lim

Se

its

Re

Dr

Ele

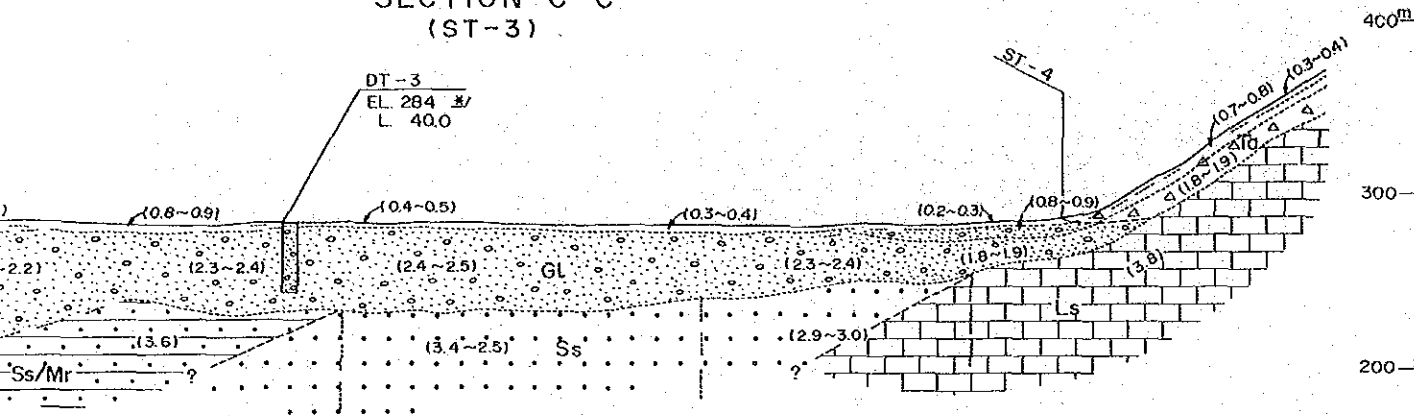
Le

No

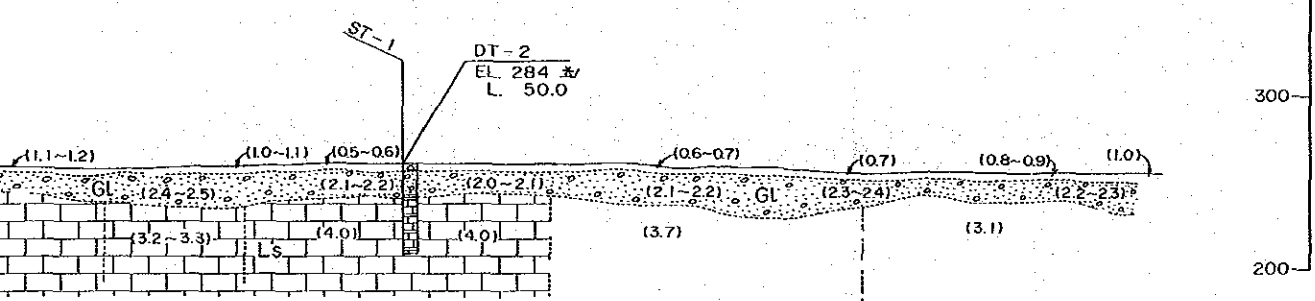
of

Notes: *; The referred air-photogrammetry; Det.

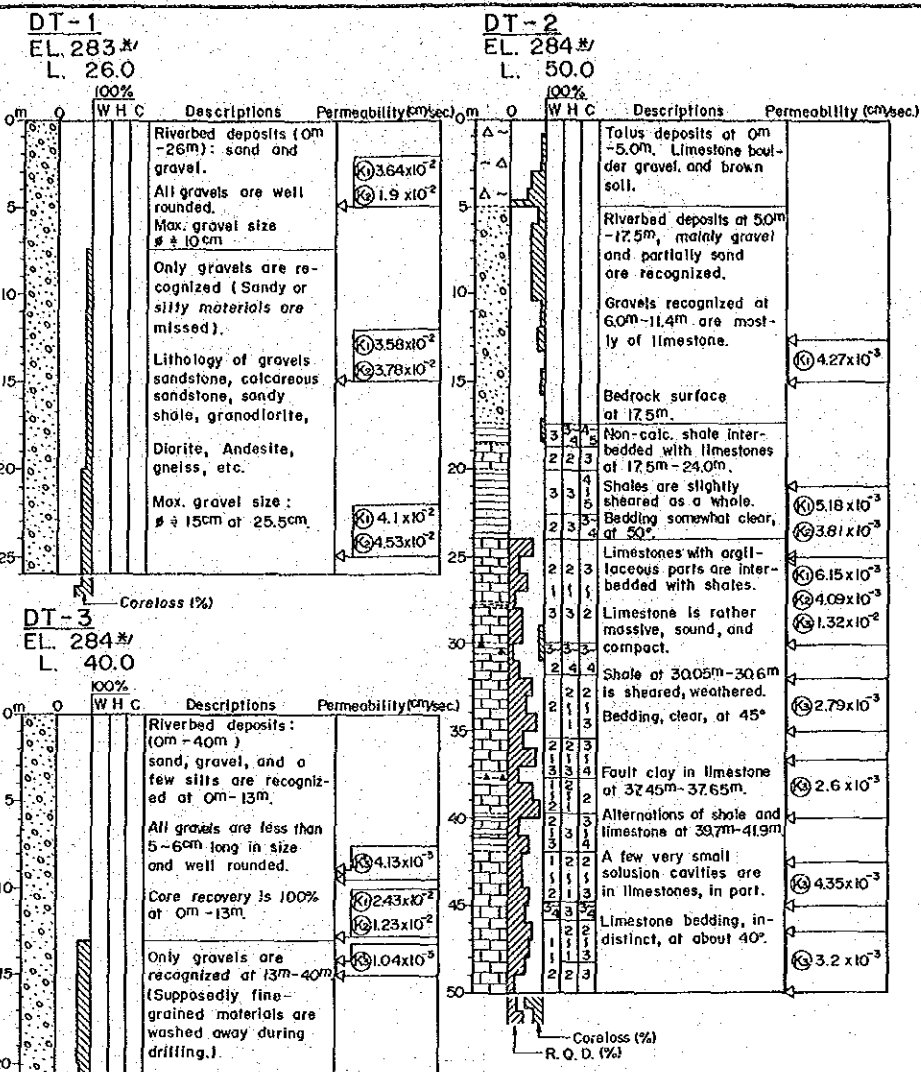
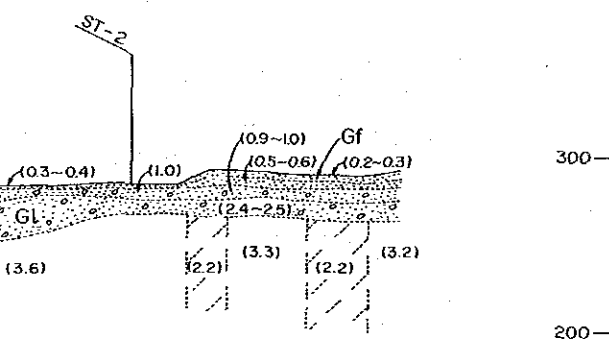
SECTION C-C
(ST-3)



SECTION D-D
(ST-4)



SECTION E-E
(ST-5)



LEGEND
(Sections)

- GL Riverbed deposits (Silt, sand, gravel)
- Gf Flood plane deposits (Silt, sand, gravel)
- Ta Talus deposits (Silt, clay, rock fragments)
- Ss/Mr Alternation of sandstone, and marl
- Ss Siliceous sandstone (Interbedded with marl or shale)
- Ls Limestone (Interbedded with marl or shale)
- Geological boundary
- Seismic primary wave velocity (in km/sec) and its boundary
- Relatively low velocity zone (in km/sec)
- DT- Drillhole's name
- EL. #/ Elevation (in m.)
- L Length (in m.)
- ST- Name of seismic traverse of refraction prospecting

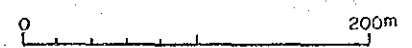
LEGEND
(Log of Drillhole)

- Length
- Core recovery (%) & R.Q.D. (%)
- Physical conditions of rock
- Degree of weathering
- Hardness
- Crack spacing
- W = 1 (Fresh) ~ 5 (Very strongly weathered)
- H = 1 (Very hard) ~ 5 (Very soft)
- C = 1 (> 50cm) ~ 5 (< 1cm)

Explanations of Permeability

- Section tested for permeability
- Permeability value by open-end constant load method (in cm/sec.)
- Permeability value by open-end constant load method (in cm/sec.) (Le Franc Type) **/
- Permeability value by open-end variable load method (in cm/sec.)
- Permeability value by packer method with constant load (in cm/sec.) (Lugeon Type) **/

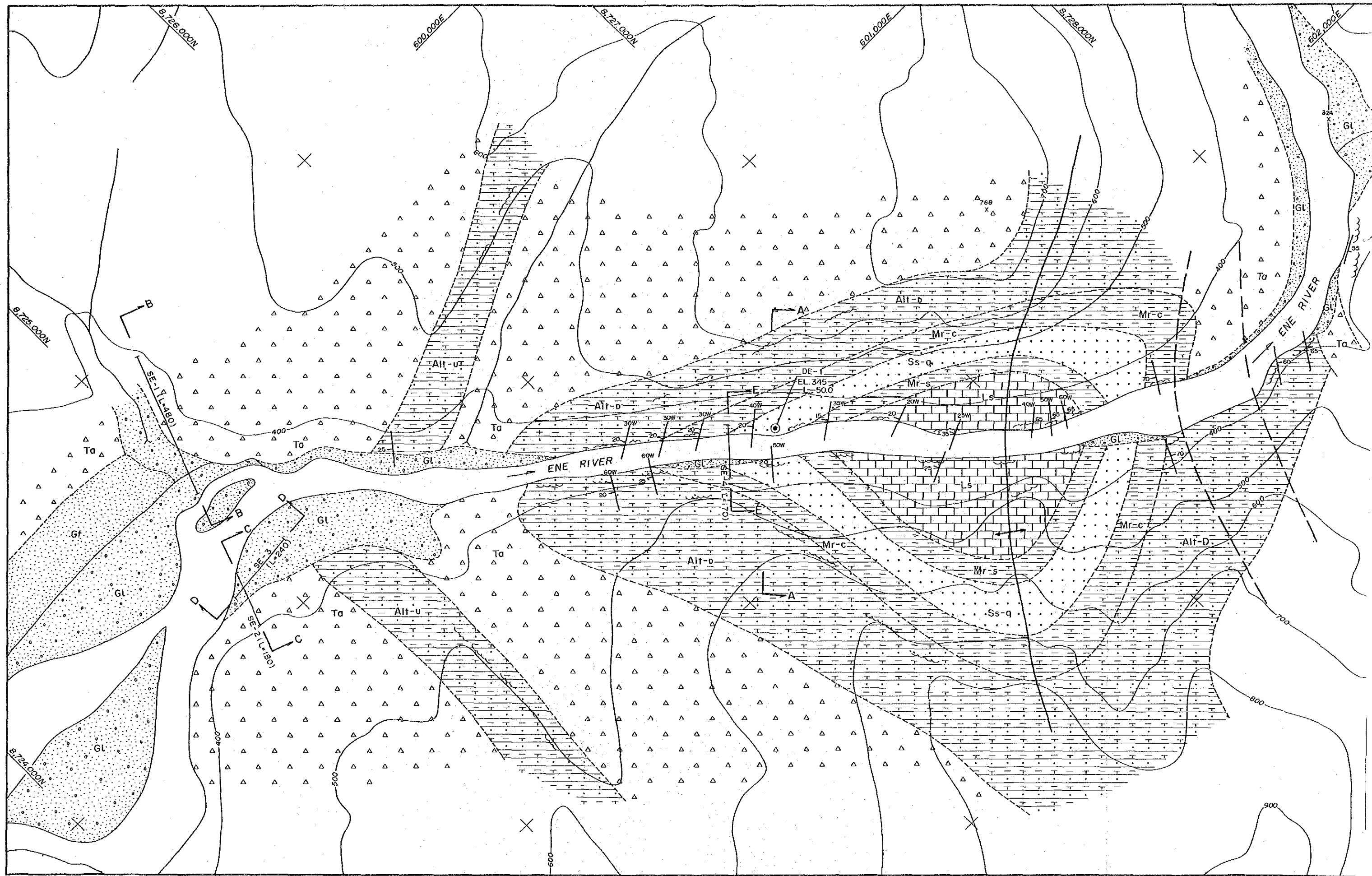
Notes: #/; The elevations of the drillholes are temporarily referred to the "1/25,000 - scale map" made up from air-photographs in 1984.
**/; Detailed explanations are given in Appendix-A-2 (7)

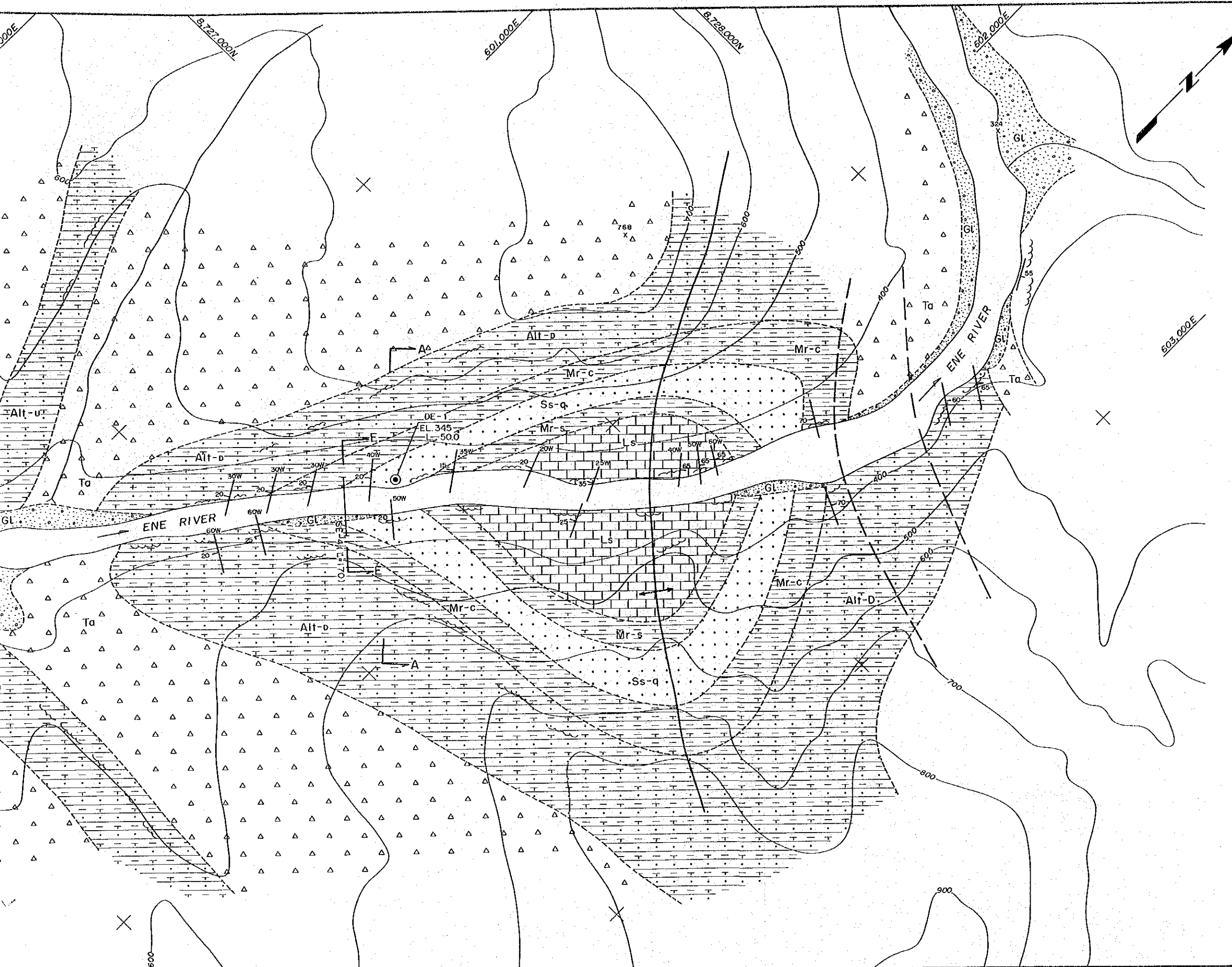


ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER
DEVELOPMENT PROJECT


















GEOLOGICAL SECTIONS
AND
LOG OF DRILLHOLE
OF
TAMBO PUERTO PRADO SITE

DWG. 5-6

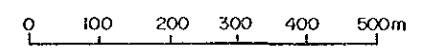




LEGEND

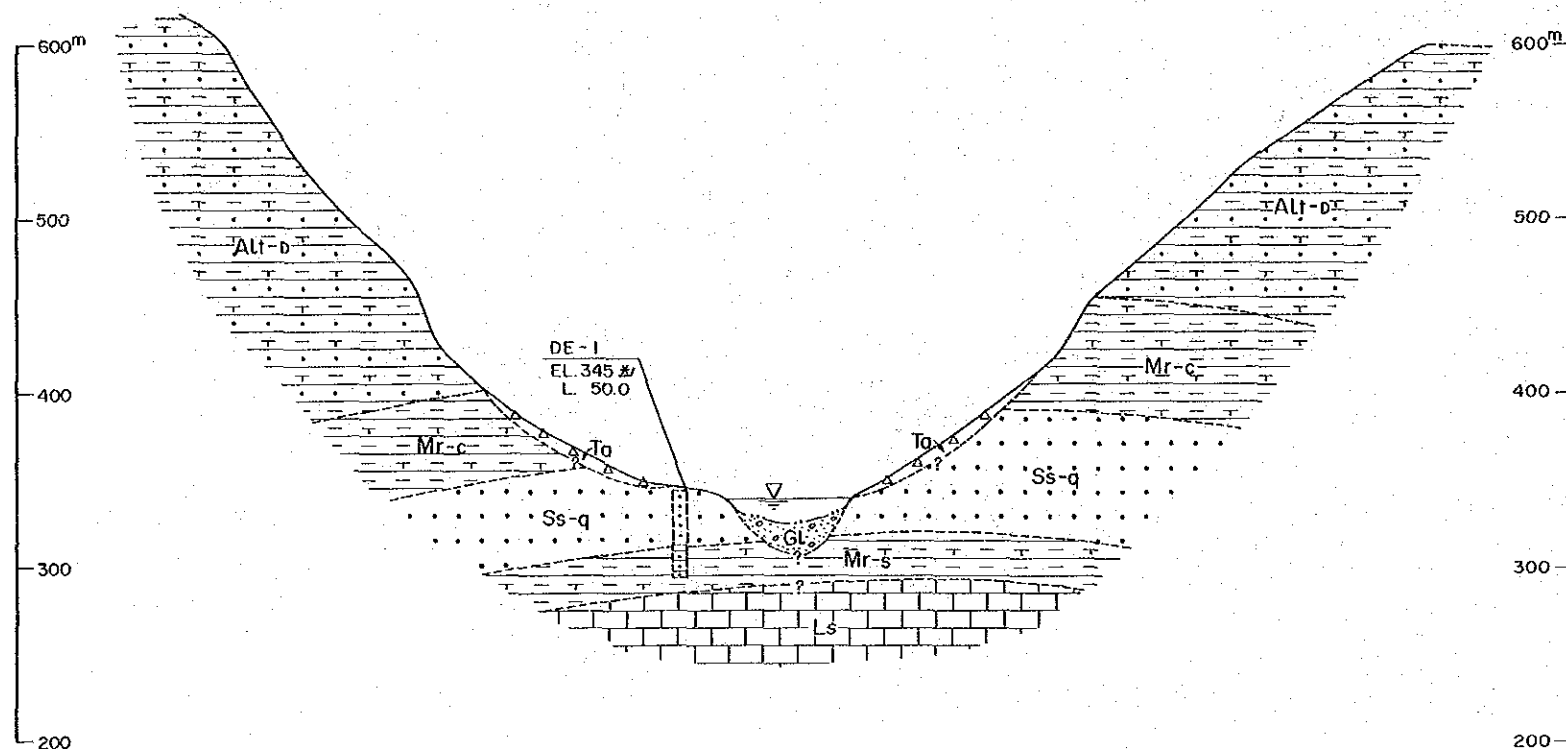
-  GL Riverbed deposits (Locally includes fan deposits)
-  Gf Flood plane deposits
-  Ta Talus deposits (With assumed thickness of 1.5m or more, includes topsoil)
-  Alt-u Alternation of sandstone, marl, and shale
-  Alt-d Alternation of sandstone, marl, and shale
-  Mr-c Cherty marl
-  Ss-q Quartzose sandstone
-  Mr-s Shaly marl
-  Ls Limestone
-  20 30W Strike and dip of stratum
-  Outcrop of bedrock
-  Geological boundary
-  Assumed fault
-  Axis of anticline
-  DT- EL. #/ L Drillhole's name
Elevation (in m.)
Length (in m.)
-  SE- (L=) Seismic traverse (Length in m.)
-  A A Location of section

Note: 註; The elevations of the drillholes are temporarily referred to the "1/25,000-scale map" made up from air-photographs in 1984.

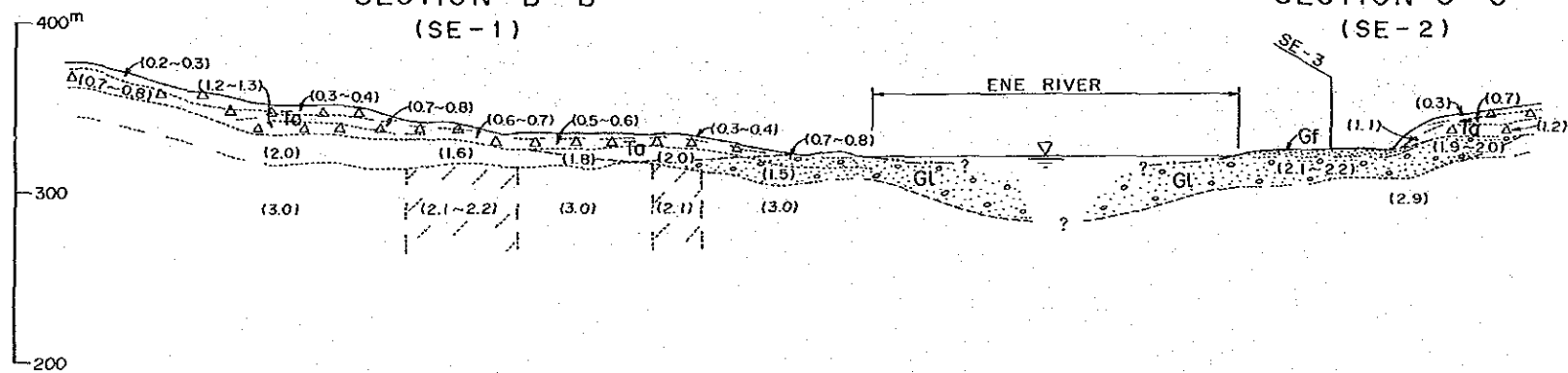


ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT	
GEOLOGICAL PLAN OF ENE PAQUITZAPANGO SITE	
DWG. 5-7	

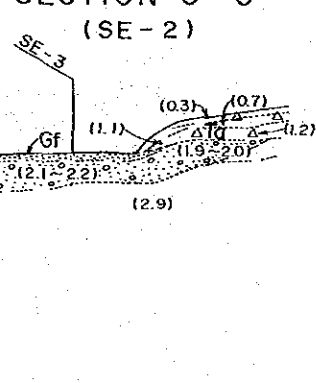
SECTION A-A



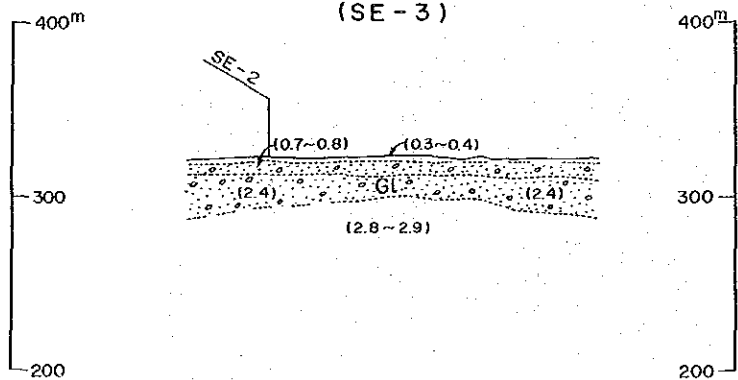
SECTION B-B (SE-1)



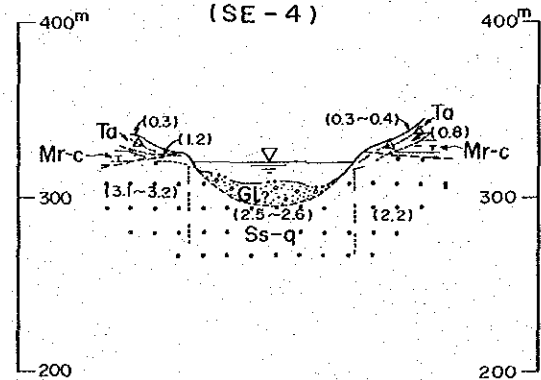
SECTION C-C (SE-2)



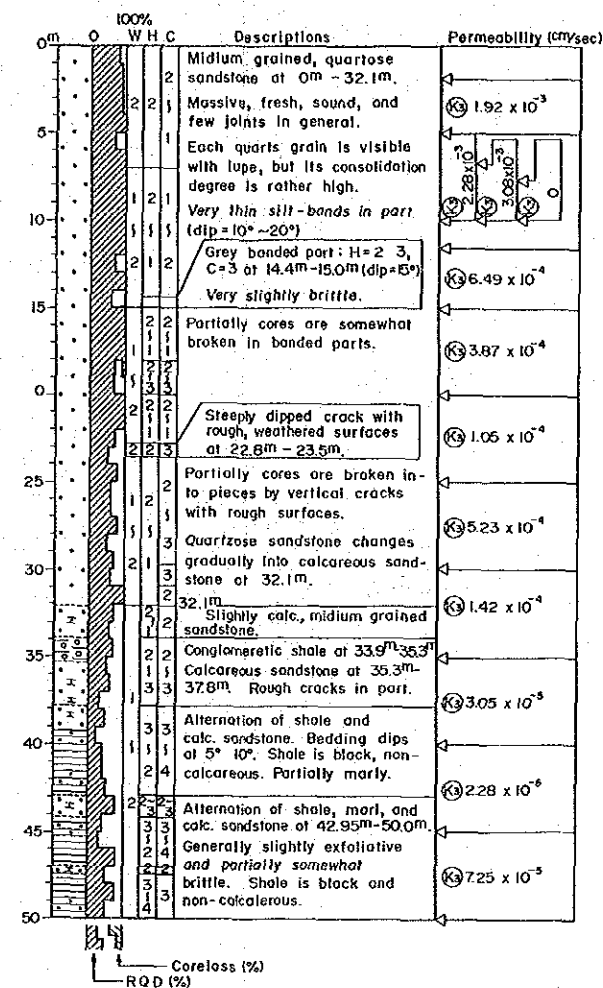
SECTION D-D (SE-3)



SECTION E-E (SE-4)



DE-1
EL. 345 #
L. 50.0

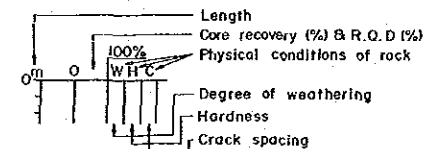


LEGEND (Sections)

- Gl Riverbed deposit
- Gf Flood plane
- Ta Talus deposit
- Alt-d Alternation of shale and calc. sandstone
- Mr-c Cherty marl
- Ss-q Quartzose sandstone
- Mr-s Shaly marl
- Ls Limestone
- Geological boundary
- Bottom of river
- Seismic primary boundary
- Relatively impermeable boundary
- DT- Drillhole's name
- EL. # Elevation (in m)
- L. # Length (in m)
- ST- Name of section of refractor

Notes: #; The elevation referred to made up from...
##; Detailed explanation

LEGEND (Log of Drillhole)



W = 1 (Fresh) ~ 5 (Very strongly weathered)
H = 1 (Very hard) ~ 5 (Very soft)
C = 1 (> 50cm) ~ 5 (< 1cm)

Explanations of Permeability

Section tested for permeability

Permeability value by open-end constant load method (in cm/sec.)

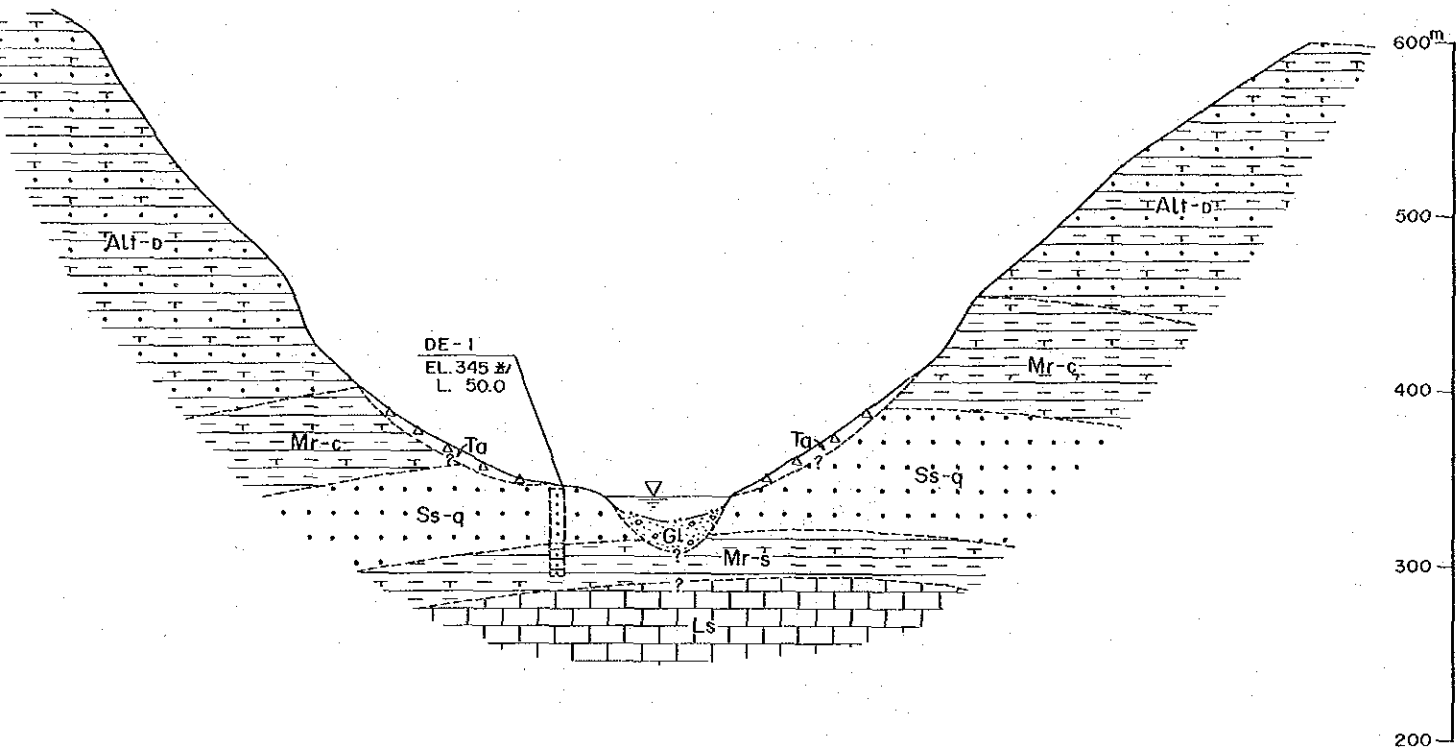
Permeability value by open-end constant load method (in cm/sec.) (Le Franc Type) ##

Permeability value by open-end variable load method (in cm/sec.)

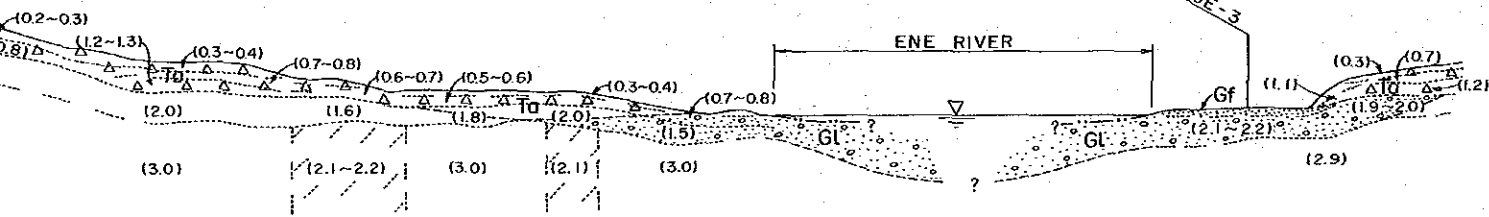
Permeability value by packer method with constant load (in cm/sec.) (Lugeon Type) ##

EN
G
I
E
D

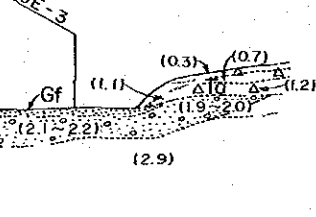
SECTION A-A



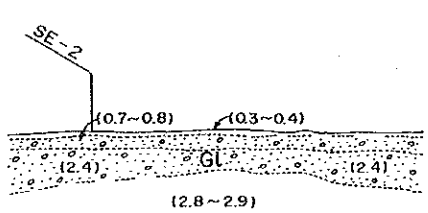
SECTION B-B
(SE-1)



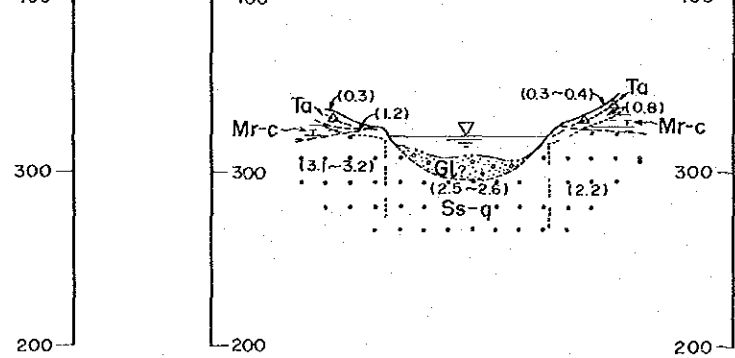
SECTION C-C
(SE-2)



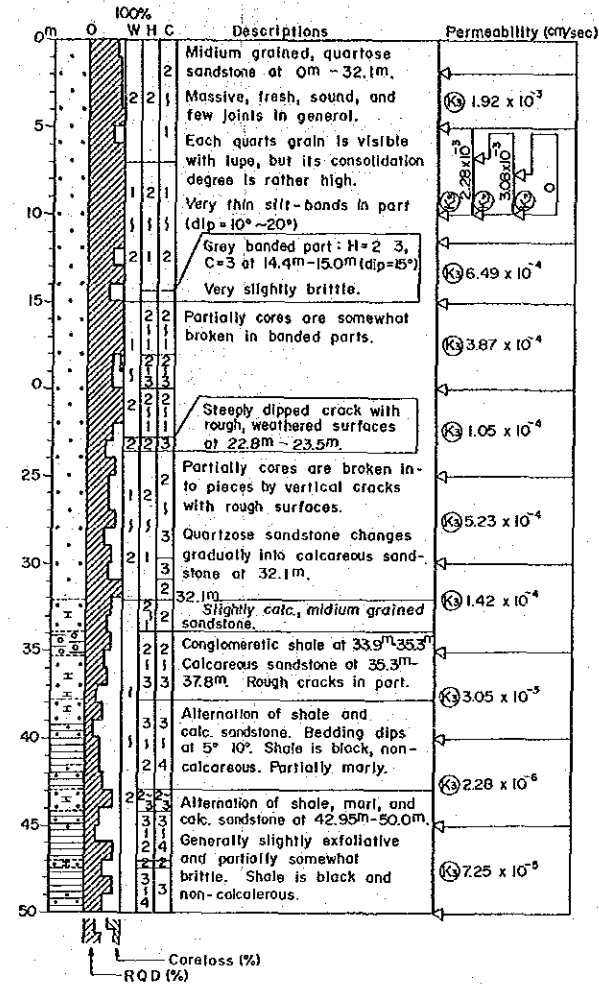
SECTION D-D
(SE-3)



SECTION E-E
(SE-4)



DE-1
EL. 345.7
L. 50.0



LEGEND
(Sections)

- Gl Riverbed deposits (Silt, sand, gravel)
- Gf Flood plane deposits (Silt, sand, gravel)
- Ta Talus deposits (Clay, silt, rock fragments)
- Alt-d Alternation of sandstone, marl, and shale
- Mr-c Cherty marl
- Ss-q Quartzose sandstone
- Mr-s Shaly marl
- Ls Limestone
- Geological boundary
- Bottom of river water (By echo sounding device, on 31 st Oct, 1984)
- Seismic primary wave velocity in (km/sec) and its boundary
- Relatively low velocity zone (in km/sec)
- DT- Drillhole's name
EL. #/ Elevation (in m.)
L. #/ Length (in m.)
- ST- Name of seismic traverse of refraction prospecting

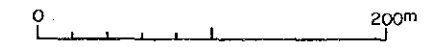
Notes: #/; The elevations of the drillholes are temporarily referred to the "1/25,000-scale map" made up from air-photographs in 1984.
##/; Detailed explanations are given in Appendix-A-2 [7]

LEGEND
(Log of Drillhole)

- Length
 - Core recovery (%) & R.Q.D (%)
 - Physical conditions of rock
 - Degree of weathering
 - Hardness
 - Crack spacing
- W = 1 (Fresh) ~ 5 (Very strongly weathered)
H = 1 (Very hard) ~ 5 (Very soft)
C = 1 (> 50cm) ~ 5 (< 1cm)

Explanations of Permeability

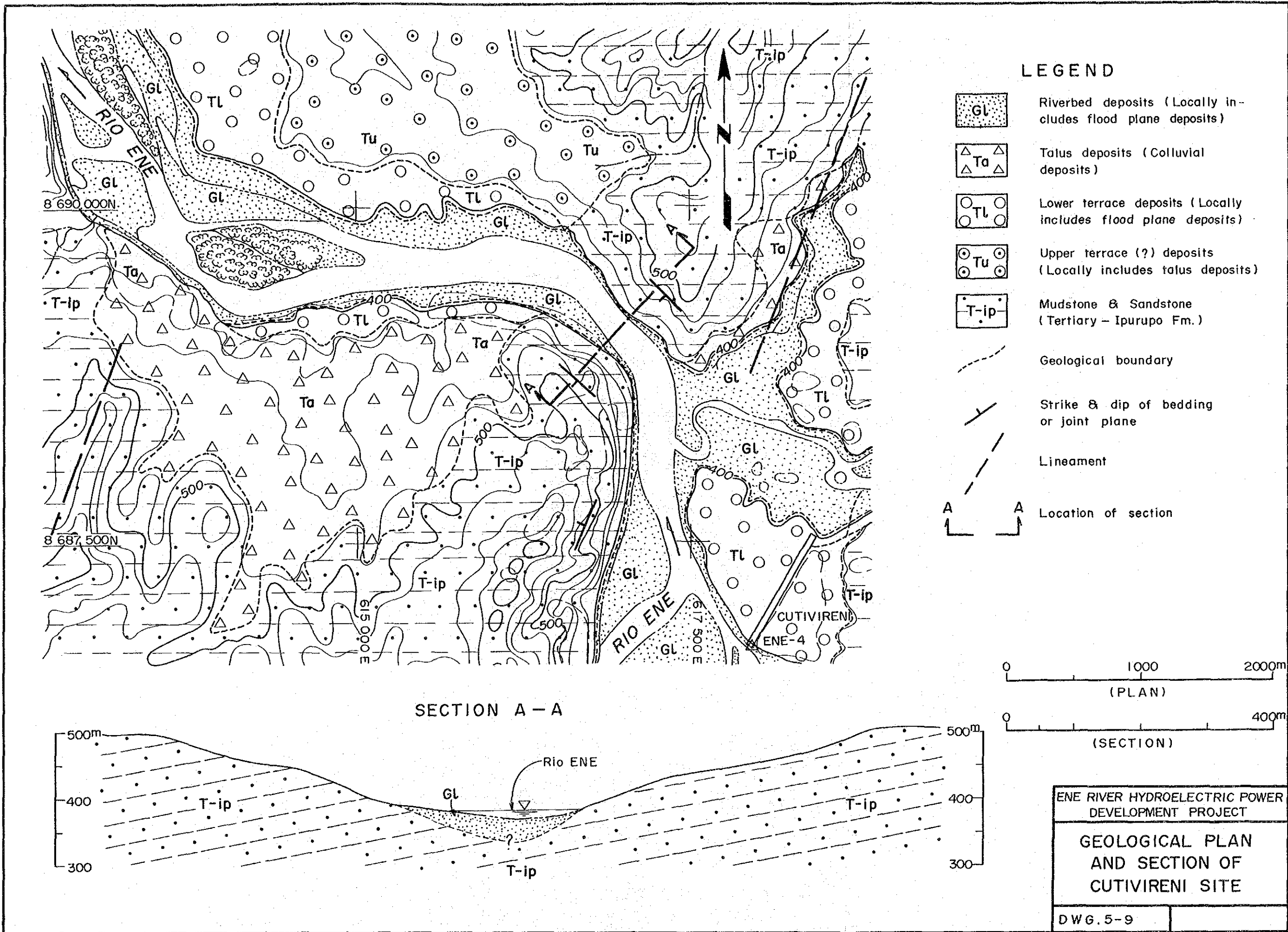
- Section tested for permeability
- (K): Permeability value by open-end constant load method (in cm/sec.)
- (K): Permeability value by open-end constant load method (in cm/sec.) (Le Franc Type)##/
- (K): Permeability value by open-end variable load method (in cm/sec.)
- (K): Permeability value by packer method with constant load (in cm/sec.) (Lugeon Type)##/




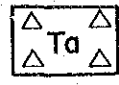


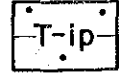
ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER
DEVELOPMENT PROJECT

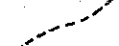



GEOLOGICAL SECTIONS
AND
LOG OF DRILLHOLE
OF
ENE PAQUITZAPANGO SITE

DWG. 5-8



LEGEND

-  Riverbed deposits (Locally includes flood plane deposits)
-  Talus deposits (Colluvial deposits)
-  Lower terrace deposits (Locally includes flood plane deposits)
-  Upper terrace (?) deposits (Locally includes talus deposits)
-  Mudstone & Sandstone (Tertiary - Ipurupo Fm.)

-  Geological boundary
-  Strike & dip of bedding or joint plane
-  Lineament
-  Location of section

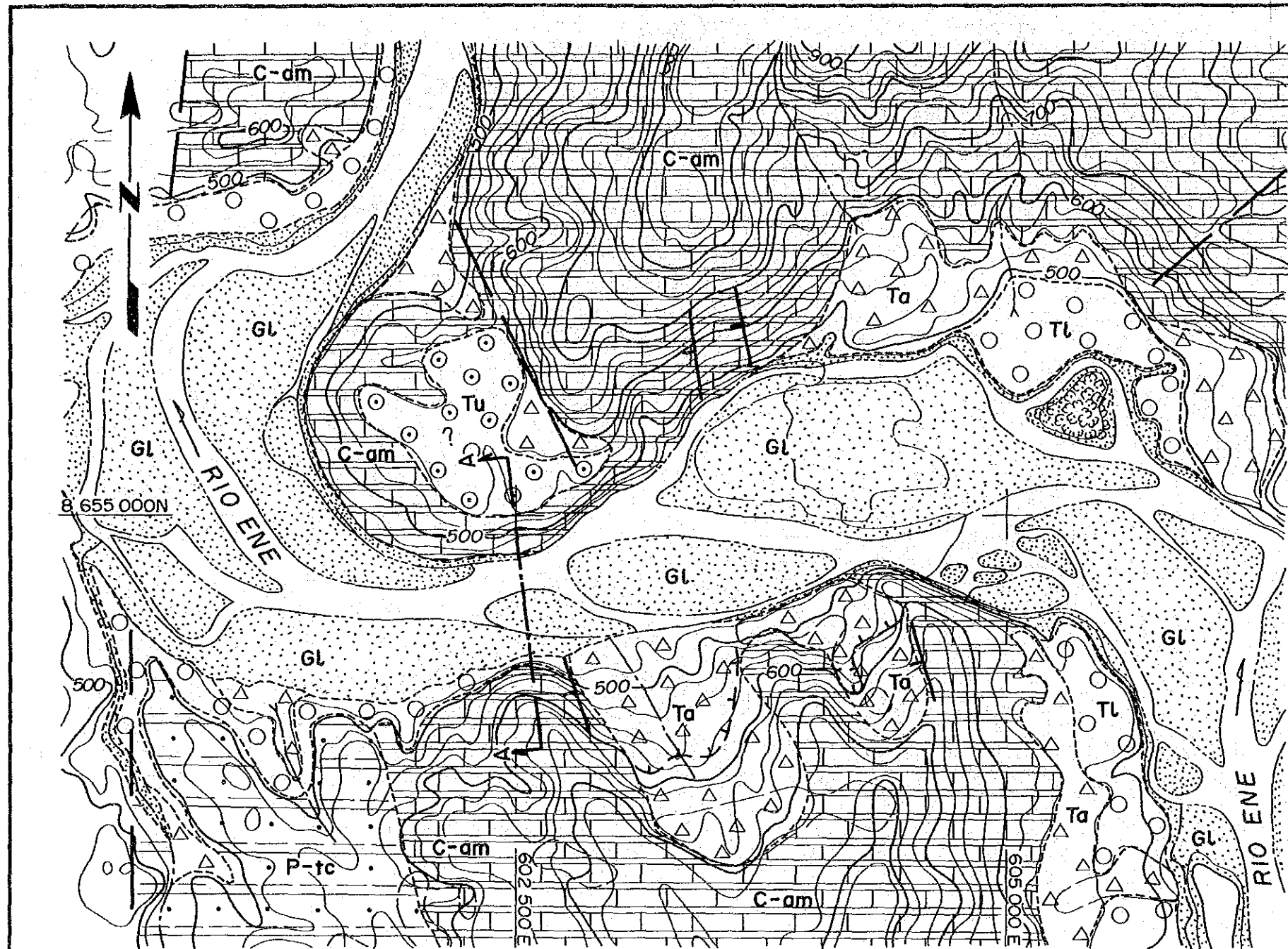
0 1000 2000m
(PLAN)

0 400m
(SECTION)












ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT

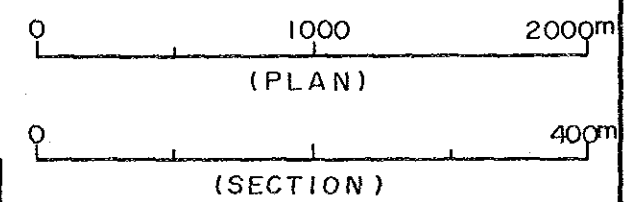
GEOLOGICAL PLAN AND SECTION OF CUTIVIRENI SITE

DWG. 5-9

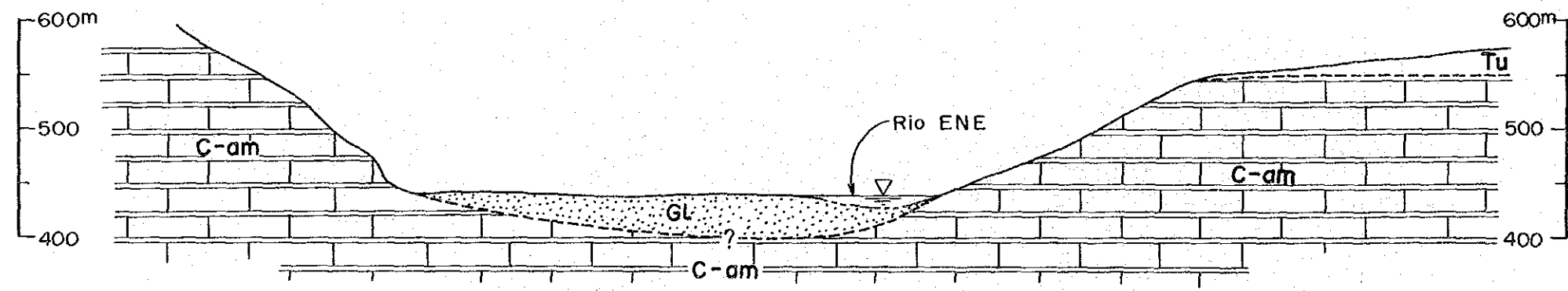


LEGEND

-  Riverbed deposits (Locally includes flood plane deposits)
-  Talus deposits (Colluvial deposits)
-  Lower terrace deposits (Locally includes flood plane deposits)
-  Upper terrace (?) deposits (Locally includes talus deposits)
-  Shale, Sandstone & Marl (Permian: Tarma-Copacabana Fm.)
-  Limestone & Shale (Carboniferous: Ambo Gp.)
-  Geological boundary
-  Strike & dip of bedding or joint plane.
-  Slope failure
-  Lineament
-  Location of section



SECTION A-A



ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT

GEOLOGICAL PLAN AND SECTION OF SUMABENI SITE

DWG. 5-10

