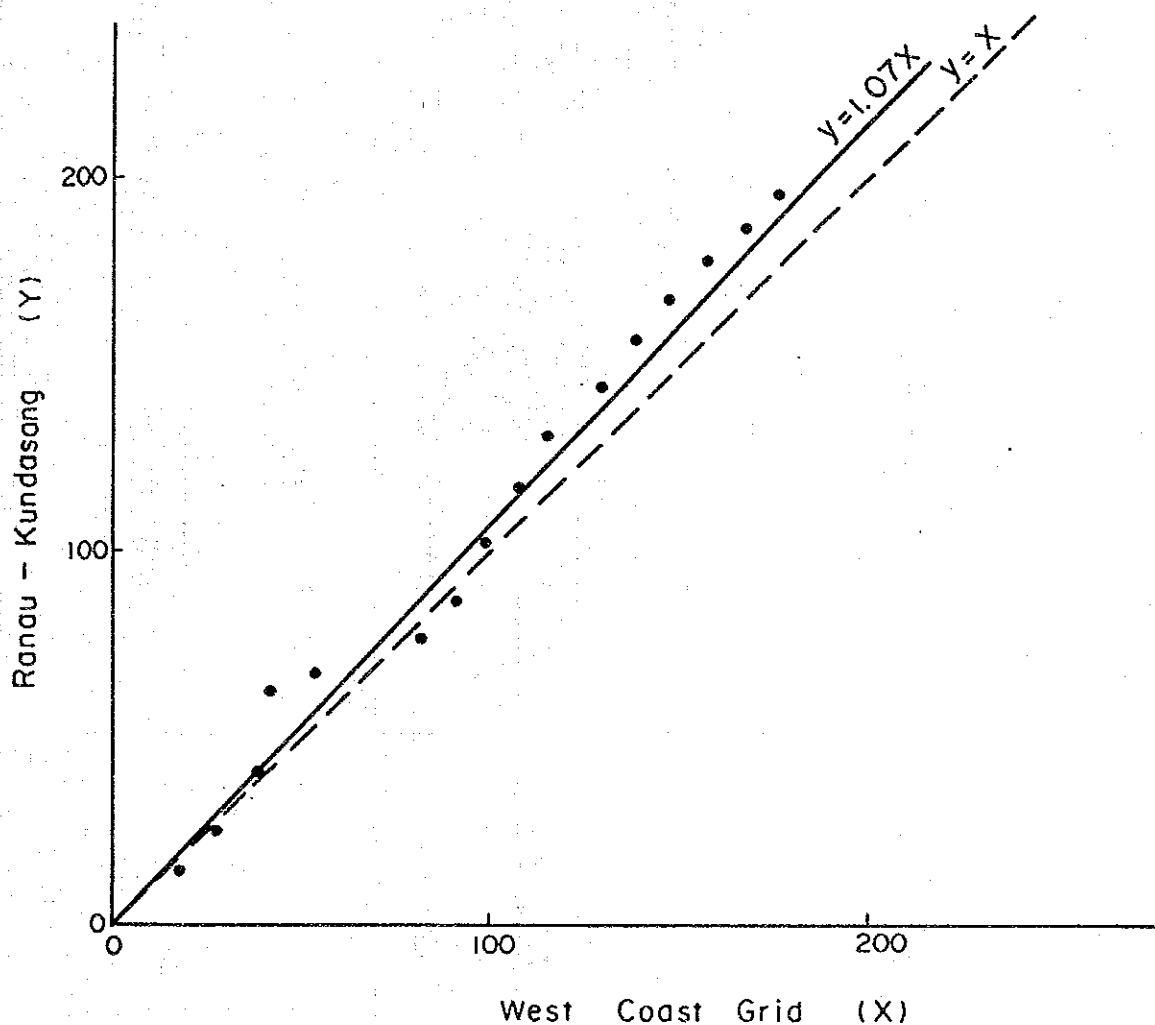
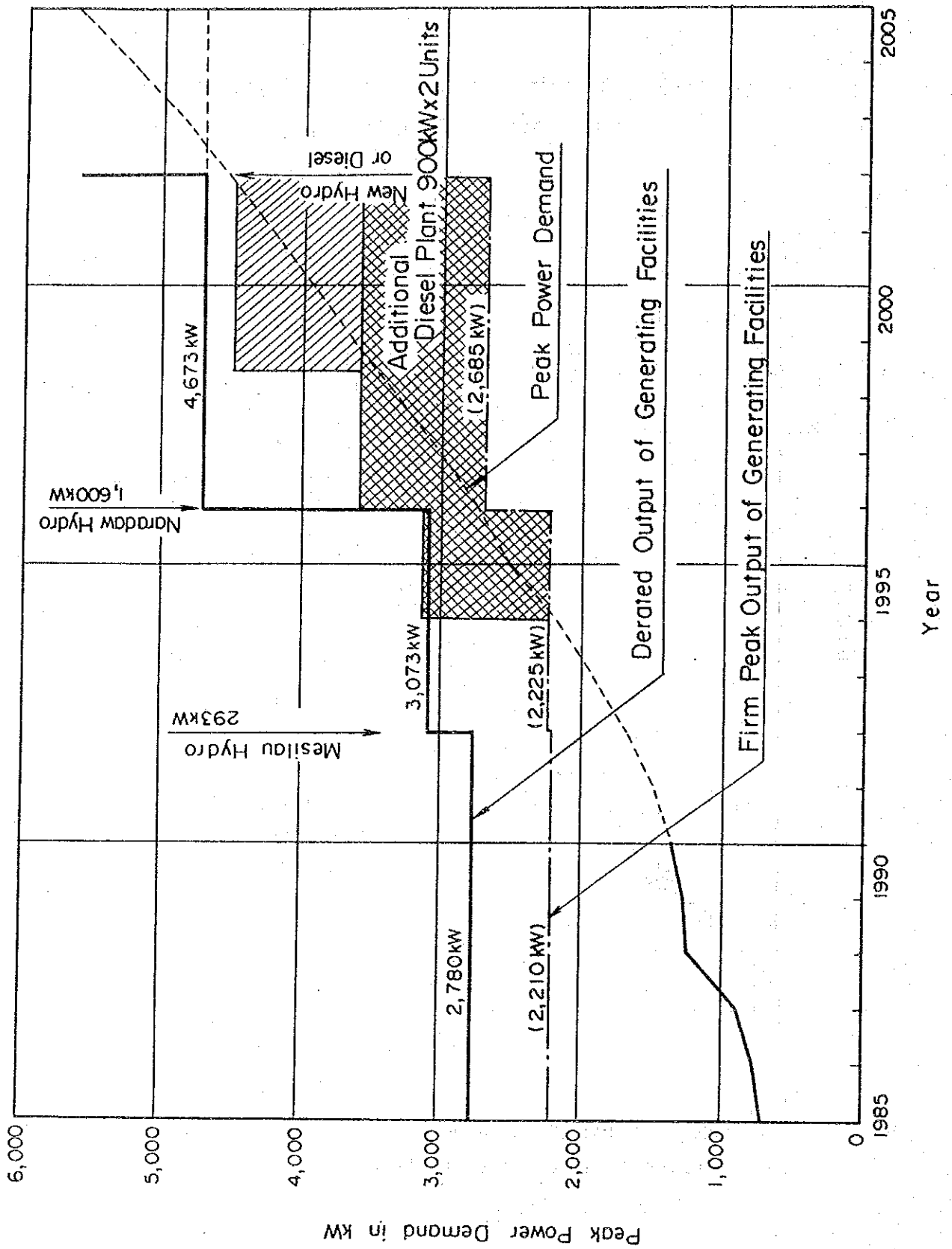


Figure 4-2 Correlation of Ranau-Kundasang Grid with West Coast Grid



Note: Correlation factor of 1.14 was obtained by the actual generating energy growth rate from 1985 to 1990.

Figure 4-3 Peak Power Demand in Ranau - Kundasang Grid



第 5 章 開発計画地点の選定

第 5 章 開発計画地点の選定

	頁
5.1 Liwagu川上流域開発計画の基本方針	5-1
5.1.1 基本的な考え方	5-1
5.1.2 検討対象地点	5-5
5.1.3 検討方針	5-6
5.2 開発計画地点の検討	5-8
5.2.1 Naradaw 地点	5-8
5.2.2 Gantong 地点	5-10
5.2.3 Pakai 地点	5-13
5.2.4 Kauluan 地点	5-14
5.2.5 Lamas 地点	5-16
5.3 最適地点の選定	5-18
5.4 発電計画上の検討課題	5-18

List of Tables

Table 5-1	Hydro Power Supply Capability
Table 5-2	Energy Demand and Supply
Table 5-3	Summary of 20 Sites at Upper Liwagu River Basin
Table 5-4	Data Summary Sheet (1), Small Hydro Power Project at Upper Liwagu River Basin
Table 5-5	Data Summary Sheet (2), Small Hydro Power Project at Upper Liwagu River Basin

List of Figures

Figure 5-1	Hydro Power Supply Capability in a Year
Figure 5-2(1)	Daily Load Duration
Figure 5-2(2)	Supply Capability of Carabau P.S and Mesilau P.S
Figure 5-3	Demand and Supply
Figure 5-4(1)	Alternative Schemes
Figure 5-4(2)	Alternative Scheme
Figure 5-5	Hydro Power Planning Procedure
Figure 5-6	Discharge Duration and Intake Water at a Site
Figure 5-7	Geological Map of Project Area

第5章 開発計画地点の選定

5.1 Liwagu川上流域開発計画の基本方針

5.1.1 基本的な考え方

次の2基本方針に基づきLiwagu川上流域における水力発電計画地点を選定する。

第1はLiwagu川中流にある大規模水力計画（165MW）の建設の妨げとならない様な地点を選定する。すなわち大規模水力の満水位等を考慮して発電計画のレイアウトや進入道路を検討する。

第2に2015年までの需給関係、水力とディーゼルの役割を考慮して小水力地点を選定する。本節は後者について述べたものである。

(1) 既設発電設備の供給能力

現在Ranau-Kundasang系統の総設備出力は4,883kWで、ディーゼル発電機9ユニット2,590kW、水力5ユニット2,293kWで構成されている。設備出力及び供給能力を下表に示す。

発電名	設備出力		有効出力 (kW)	供給能力			
	基数	計 (kW)		平均出力 (kW)	ピーク出力 (kW)	年発電電力量 (GWh)	
Diesel 発電機	Ranau	6	1,645	1,120	900	900	—
	Kundasang	3	945	660	530	530	—
	小計	9	2,590	1,780	1,430	1,430	—
水力	Mesilau	3	293	280	80	80	2.0
	Carabau	2	2,000	1,800	470	860	10.7
	小計	5	2,293	2,080	550	940	12.7
合計	14	4,883	3,860	1,980	2,370	—	

Note ;ディーゼルの供給能力は有効出力に0.8を乗じて求めた。
水力の供給能力は95%流量をベースに求めた。

ディーゼル発電機の供給能力はSEBが提供した実績データに基づくものである。

1991年8月現在、Carabau発電所では1号機が運転中、2号機が修理中である。

Mesilau発電所は3ユニットとも長期に亘り停止している。SEBの計画では、

1991年にCarabau 2号機の修理を終了し、1992年にMesilau PH-2を改造し他を含め運転を再開する予定である。

水力の供給能力は次の条件により調査団が推定したものである。

- 修理後水力はフル出力運転が可能である。
- 各取水ダムにおける河川流量はBedukan測水所の流量データから推定する。また、集水流域から取水される他の利水、取水ダムからの漏水を考慮して定性的に発電用の取水可能量を推定する。
- 鋼製パイプ導水路・水圧鉄管は経年的なサビの発生・発達のため送水能力が低下し、耐用年間の最大出力は設備出力の90%に低下する。(水力の有効出力)
- 95%流量を用いてFirm Powerを算定し、所内消費、事故、補修に伴う停止を考慮し、0.9を乗じて水力のkW供給能力とする。Firm Powerは日平均出力であり、Firm Peak Powerは調整池容量を利用し、ピーク時間帯(4時間)に発電可能な最大出力である。

Mesilauの3発電所は流れ込み式で、支川Mesilau川の集水面積11km²から最大0.198m³/sを取水し、PH-1, PH-2, PH-3で発電し、0.098m³/sをLiwagu川に放流する。PH-1, PH-2から合計0.1m³/sが飲料水、農業用水として分水されている。3発電所は年間の約80%の期間250kWを発電することが可能と推定される。取水ダム・導水路・水圧鉄管からの漏水を考慮すると3発電所の合計Firm Powerは80kWと推定される。調整池が無いのでFirm Peak Powerも80kWである。

Carabau発電所は流れ込み式で、支川Bambangan川の集水面積32.1km²から最大1.27m³/sを取水し、Liwagu川に放流する。この発電所は年間の約40%の期間フル運転が可能で、その供給能力は1,620kWと推定される。集水流域からMamut鉱山用水と集落への飲料水の分水、取水ダムからの漏水を考慮するとFirm Powerは470kWと推定される。2,000m³の容量を持つ調整池を利用すると、ピーク時間帯に約390kWの出力を増加することが可能である。Fig. 5-1に示す通り、年間の河川流量に応じその出力が変化する。これは流れ込み式発電所の特長の1つである。

(2) 既設水力とディーゼルの役割

既設水力の設備と年間を通した出力変動は1990年代の系統に大きな影響を与える。kWh, kW 両面の需給バランスを考察し、既設水力とディーゼルの役割を以下に検討する。

kWh バランス

Fig. 5-2-(1)に予測された系統の代表的な日負荷曲線を示す。将来の日負荷曲線はFig. 5-2-(2)に相似するものと仮定する。日負荷をPeak Load, Middle Load およびBase Loadの3領域に区分すると、それぞれの電力量は日電力量の6%、31%、63%となる。

1996年の最大電力需要は2,740kW、年間消費電力量は12.9GWhと予測されている。

1996年の日負荷と既設水力の供給能力の比較から次のことが指適できる。

(Fig. 5-3 参照)

- 豊水日（年間の40～50%）は水力が主力電源となり、Base Load と Middle Loadを受け持つ。オフピーク時間帯には取水量の一部は発電されないまま河川へ放流される。
- 渇水日はディーゼルが主力電源となり、水力はBase Loadの一部を受け持つ。日間を通じて取水量は発電に用いられる。

上記のことを考慮すると1996年の年間消費電力量12.9GWhの内、約10GWhは水力から、2.9GWhはディーゼルから供給されるものと推定される。既設水力のkWh供給能力は12.7GWhであり、約80%が系統で消費され、約20%が無効放流される。

2000年の最大電力は3,930kW、年間消費電力量は19.0GWhと予測されている。

2000年の日負荷と既設水力の供給能力の比較から次のことが指適できる。

- 豊水日（年間の40～50%）は水力が主力電源となり、Base LoadとMiddle Loadの一部を受け持つ。オフピーク時間帯の無効放流は少なくなる。ディーゼルはPeak LoadとMiddle Loadの一部を受け持つ。
- 渇水日はディーゼルが主力電源となり、水力はBase Loadの極く一部を受け持つ。

上記のことを考慮すると、2,000年の年間消費電力量19.0GWhの内、約11.7GWhは水力から、7.3GWhはディーゼルから供給される。既設水力のkWh供給能力12.7GWhの内、92%が系統で消費され、無効放流は非常に少なくなる。

kWバランス

既設発電所のkW供給能力は2,370kWで、内訳はディーゼルが1,430kW、水力が940kWである。1990年の最大電力は1,330kWであった。

需要予測では、最大電力は1995年に2,520kW、2000年に3,930kWに増加する。

既設発電所の供給能力を上廻る1994年までには最初の新規電源を開発する必要がある。又、2000年までに合計2,500kWの新規供給力を系統に投入する必要がある。

(3) 新規電源

本系統の新規電源はディーゼルと小水力の組合せとなり、(2)で考察した両者の役割分担が継続するものと考えられる。

2000年までの需給関係の特長は、渇水日のkWバランスを保つために新規電源を投入することとなるが、新規電源が受け持つkWhは少ないことである。この場合に採用される電源はディーゼルである。ディーゼルの建設費は水力の建設費より低廉であり、また、要求されるkWhが少ないので燃料費が大きな負担とはならないからである。

ディーゼルを新規電源として投入すると経年的にディーゼルの発電比率が高まり、その燃料費が増大する。これを解消するために燃料が必要でない水力の開発が必要とされる。ただし、水力は建設費が高いため、発電電力量の多くが消費される適切な時期に投入することが大切な条件となる。新規水力の投入時期は、kWhバランスから見て2000年代前半と推定されるが、水力の開発規模等により多少変わるので最適地点選定後、経済比較を行って投入時期を決めることとする。

新規水力投入後は再びディーゼル・水力の順に開発が進と考えられる。

(4) 新規水力の条件

将来の経済的な需給バランスを実現するため、新規水力に必要な諸条件を以下に要約する。

- 新規水力の発電方式は流れ込み式とする。

流れ込み式の建設費は低廉であり、孤立し小規模であるRanau-Kundasang系統の経済性を確保できる。貯水池式水力は、ダム費が高み、小水力の発電原価を押し上げ、系統に大きな負担となる。

- 新規水力は将来の増分需要に適合する範囲で、多くの電力・電力量を発生すること。すなわち出来るだけスケールメリットを追求するためである。
- 年間の出力変動が比較的小さいこと。

Carabau発電所は渇水日に供給力が大幅に低下する。水力の供給力低下を他の電源で補うため系統の設備が過大となる。流れ込み式である新規水力では渇水日の供給力の低下は避けられないが、次の方法を活用しこの傾向を極力抑制することが必要である。第1は、最大使用水量と渇水日の流量の差を小さくすることで、kW、kWhの年間変動を小さくする。第2は陸地に小さな調整池を設けることである。小額の投資で渇水日のピーク時間帯のkW供給力を増加出来る。

5.1.2 検討対象地点

国際協力事業団（JICA）とEconomic Planning Unit（EPU）が本フィージビリティ調査のIdentification Stageでレビューすることに合意した20ヶ所の計画地点計画をTable 5-3に示す。20計画地点の内11計画地点が調整池・貯水池式で、9計画地点が流れ込み式である。

調査団は将来の需要に適合する小水力の条件に添って次の通り20地点をレビューし、より詳しく検討する地点として5地点6計画、すなわち、Kauluan, Naradaw, Gantong A, Gantong B, Pakai, Lamas 2を抽出した。

- 経済性より小水力の発電方式は流れ込み式とする。ダムを建設した場合、ダム工事費が小水力の発電原価を押し上げ当面の系統に大きな負担となると考えられるので貯水池式水力計画は本検討の対象から除外する。
- 1990年代後半から2000年代初頭の増分需要はおよそ年300kWである。Firm Powerが700kW以下となる発電計画はスケールメリットに乏しいと判断し、本計画の対象から除外する。

5地点の内、Naradaw地点、Gantong地点は流れ込み式水力として有利な条件を備え

していると判断される。この地点におけるあらゆる開発可能性を考慮して地点の特性を吟味することとし、複数の発電計画を作成した。この課程で調査団が新規に作成又は修正した計画は7案である。以上より5地点14計画を本調査の検討対象地点とする。なお、調査団はRanau地域内の他の数ヶ所で新規計画を作成したが、前記地点を上廻る経済性を有する地点は無いと判断し、これらは記載していない。

5.1.3 検討方針

次の方針により5地点14発電計画を作成し、技術的、経済的検討を行う。14発電計画のレイアウトをFig. 5-4に、又 地点選定フローをFig. 5-5に示す。

- (1) 縮尺1/50,000の地形図上で各計画の取水設備、導水路、調整池、水槽、水圧管路、発電所、放水路の位置を設定する。
- (2) 各計画の取水水位と放水水位から総落差を求める。簡易式により、損失水頭を計算する。総落差から損失頭を差し引いて有効落差を求める。
- (3) 縮尺1/50,000の地形図上で各計画の取水ダムの流域面積をプランメータで求める。

Bedukan測水所で観測された河川流量（日平均流量）を流域換算して各計画取水ダム地点の日平均流量とし、流況曲線図を作成する。流域からの発電・農業・飲料水用に取水される水、ダムからの漏水量・放水量を考慮し、取水口からの取水可能量を定性的に推定する。（Fig. 5-6 参照）

- (4) 各計画の最大使用水量は需要・供給特性、河川流況を考慮し、年間の70%流量と仮定する。なお最大使用水量は第9章で詳しく検討する。
- (5) 水車・発電機の総合効率は82%とし、使用水量による効率の変化を無視する。
- (6) 流入量の日間調整を行うため調整池を設けることとする。この調整池は渇水日のピーク時間の出力を増加させ、系統の設備出力の減少に寄与する。

調整池は最大使用水量の1時間分の容量を有するものとする。1時間分の容量は4時間のピーク時間の出力を日平均出力の1.5倍に増加することが可能であると仮定した。

- (7) 発電力は次により算定する。

$$\text{設備出力} = 8 \times H_e (\text{有効落差}) \times Q (\text{最大使用水量})$$

$$\text{Firm Power} = 8 \times H_e \times Q_{0.5} \times (0.9 \text{ or } 0.8)$$

$$\text{Firm Peak Power} = 8 \times H_e \times 1.5 Q_{0.5} \times (0.9 \text{ or } 0.8)$$

(8) 年間可能発電電力量は流況曲線図を用い概算する。

$$\text{年間可能発電電力量} = \text{出力} \times \text{日数} \times 24 \text{時間} \times (1 \text{ or } 0.9)$$

(9) 設備利用率は次により算定する。

$$\text{設備利用率} = \frac{\text{年間可能発電電力量}}{\text{設備出力} \times 365 \text{日} \times 24 \text{時間}}$$

(10) 各案の建設費は準備費、土木工事費、水車発電機費、予備費及びエンジニアリング費で構成する。この地点選定段階では、同一の簡単な方法により建設費を概算する。土木工事に係る労務、資材、建設機械の大部分をマレーシア国内で調達する。類似のCarabau小水力発電所の計画用工事単価を物価上昇と設備の若干の仕様改善を考慮して補正し、本案の土木工事費を推定する。水車発電機は国際調達されるので、国際価格を用いて推定する。

(11) 各案の経済性は年間可能発電電力量を建設費で除したkWh当りの建設費により評価する。発電原価の指標であるkWh当りの建設費が小さいほど経済性の良い計画である。

5.2 開発計画地点の検討

5地点14開発計画の流域概要、発電計画および地質の検討結果を次に示す。また発電計画諸元をTable 5-4、Table 5-5に示す。

5.2.1 Naradaw地点

(1) 流域概要

Naradaw地点は、Ranau町西方6kmのLiwagu川とMesilau川の合流点より上流域に位置する。この地域は、標高840~1,440mの山地の地形をなし、この中をLiwagu川とMesilau川が、西北西から東南東へ蛇行しながら流下している。計画地域でのLiwagu川の河川勾配は、約1/19、Mesilau川の河川勾配は、約1/15である。Liwagu川とMesilau川の川幅は、一般に15~25mである。尾根と谷底の比高は、100~500mである。斜面は、一般に20~45度の傾斜を示し、斜面の一部には、古い地すべり地形ないし新しい崩壊地形が認められる。

(2) 発電計画

Naradaw地点ではA~Eの5つの発電計画を検討した。Naradaw AおよびCはアジア開発銀行(ADB)のHydro Power Project in Sabah and Sarawakで検討又は提案されたものである。

Naradaw Dの設備出力は1,540kWで、5つの発電計画の中では最も経済性が良い。Liwagu川、Mesilau川に取水設備を、両川の合流点付近に発電所をそれぞれ配置し、165mの有効落差を得る。2条の鋼製パイプ導水路(延長3,240m)と1条の水圧鉄管(延長624m)を地表に設ける。

59.2km²の集水流域から最大1.17m³/sを取水し、ターゴインパルス型水車・発電機で発電する。取水ダム~発電所間の約5.5kmの河川には他の利水や人口の多い集落は無い。従って河川の水棲動植物の保護に必要な少量の維持流量を取水ダムから放流すれば他は発電用に取水することが可能と考えられる。地形から十分な容量をもつ調整池を設置することは可能である。

Firm peak power は1,100kW、年間発電電力量は11.9GWh、kWh当りの建設費は0.9~1.0M\$/kWhと推定される。

Naradaw D の取水ダムを下流に移すとNaradaw A となり、設備出力は1,340kW、有効落差は126m、kWh当りの建設費は約1.1M\$/kWhである。Naradaw地点では発電計画の経済性が有効落差に比例するので、高い有効落差をもつ計画を見い出すことが大切である。

Naradaw A を2分割するとLiwagu川より取水するNaradaw B(850kW)、Mesilau川より取水するNaradaw C(490kW)となる。3案のkWh当りの建設費は、設備出力に比例して安くなる。これはスケールメリットの一例であって、準備工事・進入道路にかかる固定費の存在、使用水量の平方根に比例する土木工事費などがその原因と考えられる。新規水力は開発時の需要が受け入れる限り大規模設備としスケールメリットを追求することが望ましい。

Naradaw A は水圧管路沿いに数戸の民家・畑が存在し、これらの移転が必要である。この移転を避けるため、発電所をMesilau川上流に変更したものがNaradaw Eである。Naradaw E はNaradaw A に比べ有効落差が減少し、経済性が劣る。数戸の移転は、発電計画の経済性を確保するために止むを得ないものと考えられる。これらの移転は計画の実現上重要であるので、十分な補償を行いスムーズに移転させることが望まれる。

(3) 地 質

Naradaw地点は、Crocker層と呼ばれる堆積岩とこれを覆うPinosuk礫層、段丘堆積物および河川堆積物などから構成される。Fig. 5-7に計画地域の地質図を示す。

Crocker層は、砂岩、頁岩、シルト岩および泥岩よりなり、これらは互層して層状をなす。本層は、褶曲と小断層が顕著に発達する。Liwagu川とMesilau川の合流点付近の地層の走行はN70° E、傾斜は20° Eを示す。Pinosuk礫層は、Crocker層を不整合に覆う砂礫層で、標高900~1,200mより上方の尾根に分布する。段丘堆積物および河床堆積物は、Crocker層とPinosuk礫層を不整合に覆ってLiwagu川とMesilau川に沿って分布する。これらの堆積物は、直径0.5~2mのボルダーサイズの円礫を主体としており、直径5m以上の円礫も多く分布している。

なお、コルビウムないし崖錐堆積物は、中腹あるいは山麓に部分的に分布する。

土木地質的評価は次のとおりである。

- Liwagu川と Mesilau川の取水ダム地点付近は、一部に Crocker層の砂岩が分布するものの、河川堆積物および段丘堆積物が主として分布する。また、Mesilau川の標高1,000m以上には、Pinosuk礫層が分布する可能性がある。最終的に決定した取水ダム地点については、河川堆積物やPinosuk礫層などの砂礫層に対して透水性、地下水位および層厚を把握するため、地質調査を行う必要がある。
- Liwagu川とMesilau川の各導水路ルートは、主としてCrocker層の堆積岩分布域に位置する。斜面および尾根部の Crocker層は、風化が進んでいる。今回の地表踏査によるとLiwagu川沿いの導水路ルート上では、小規模ながら新しい崩壊地が1カ所認められた。この崩壊地は、規模が小さく計画の推進を不可能とするような地すべりではないと考えられるが、導水路の設ける場合は、崩壊地の安定対策が必要となろう。この崩壊地を除く導水路ルートの斜面は、植生状態からすると概ね安定していると推定される。ただし、斜面の一部に複数の古い地すべり地形があることから、その安定度を把握するため地質調査を行う必要がある。
- 水槽および水圧管路ルートの尾根は、Crocker層が分布する。今回の地表踏査によると、この尾根は、地形条件、植生状態および土地利用の状況からして安定した状態にあると推定される。ただし、Crocker層の風化状況および支持基盤の深度を把握するため、地質調査を行う必要がある。
- 発電所および放水路地点は、段丘堆積物および河床堆積物が分布する。ここでは、発電所の支持基盤を決めるための地質調査を行う必要がある。

5.2.2 Gantong 地点

(1) 流域概要

Gantong 地点は、Ranau町西方6kmのLiwagu川とMesilau川の合流点より下流域に位置する。この地域は、標高650~1,110mの山地の地形をなし、この中をLiwagu川が、北西から南東または西から東へ蛇行しながら流下している。計画地域でのLiwagu川の河川勾配は、約1/19である。Liwagu川の川幅は、一般に15~30mである。尾根と谷底の比高は100~550mである。斜面は、一般に20~45度の傾斜を示し、斜面の中

腹ないし山麓の一部には、古い地すべり地形と新しい崩壊地形が認められる。

(2) 発電計画

Gantong地点ではA～Eの5つの発電計画を検討した。Gantong A, B, C はLiwagu川、Mesilau川合流点下流 100mに取水ダムを設け左岸に導水路発電所を配置する。合流点付近では現河道の他、分岐河道跡が存在し洪水時の流れが複雑となることが予想される。これを避けるため取水ダムを合流点の下流 100mに設ける。導水路は鋼製パイプを地表に敷設するが、ルート上に存在する2ヶ所の崩壊地はトンネルとする。Gantong A, B, C の設備出力はそれぞれ1,600kW、2,140kW、2,340kWであるが、トンネル工事費が負担となってkWh当りの建設費が1.3M\$/kWhを越す。

Gantong D, E は取水口をNaradaw 発電所の直下流に設け、導水路を右岸に配置する。これらはNaradaw計画の実現を前提とする発電計画である。

Gantong D の設備出力は1,610kWで、5つの計画の中では最も経済的である。急な河床勾配を利用して144mの有効落差を得る。鋼製パイプ導水路は約1,920mである。

水圧鉄管は2,010mで地形・国道の制約から長くなる。63.5km²の流域から最大1.40 m³/sを取水する。取水口下流の減水区間には他の利水は無く、人口の多い集落も無い。従って水棲動植物の保護に必要な少量の維持流量を取水ダムから放流すれば他は発電用に取水することが可能と考えられる。地形から調整池を設置することは可能である。Firm Peak Power は1,280kW、年間発電電力量は12.4GWh, kWh当りの建設費は1.1程度と推定される。

Gantong E の設備出力は1,640kWで、導水路でLiwagu川の水を支川 S. Kihopotに分水する。取水ダムより下流の河川では、Ranau町に供給する上水が取水されている、又 Ranau町住民の生活排水が流入する。既得利水を保証し水質悪化を防止するため、取水堰から放流し下流河川に一定以上の水量を確保する必要がある。取水ダムから少くとも年最小流量を放流する条件を設定すると、渇水日のkW, kWhが著しく低減する。

(3) 地質

Gantong地点地域は、Naradaw地点と同様に Crocker層と呼ばれる堆積岩とこれを覆うPinosuk礫層、段丘堆積物および河川堆積物などから構成される。Fig. 5-7に計画地域の地質図を示す。

Crocker層は、砂岩、頁岩、シルト岩および泥岩よりなり、これらは互層して層状をなす。本層は、褶曲と小断層が顕著に発達する。地層の走向はN50°～25°W、傾斜は20°～40°Wを示すものが多い。Pinosuk礫層は、Crocker層を不整合に覆う砂礫層で、Liwagu川左岸の標高900～1,200mより上方の尾根に分布している。段丘堆積物および河川堆積物は、Crocker層を不整合に覆ってLiwagu川に沿って分布している。これらの堆積物は、直径0.3～2mのボルダーサイズの円礫を主体としており、直径5m以上のアダメライトの円礫も場所によって含まれる。

なお、コルビウムないし崖錐堆積物は、中腹あるいは山麓に部分的に分布する。

土木地質的評価は次のとおりである。

- 取水ダム地点は、アバットの一部にCrocker層の堅硬な砂岩が分布するものの、河川堆積物および段丘堆積物が主として分布する。これらの堆積物は、砂礫層である。
- 導水路ルートは、主としてCrocker層の堆積岩分布域に位置する。今回の地表踏査によると、Liwagu川左岸の導水路ルート上において、崩壊地が2カ所認められた。この崩壊地は、規模が大きく、現在も下部の浸食がLiwagu川において進行しているため、再び崩壊が発生する可能性が高い。したがって、この地表部に導水路を設置することは、困難でありトンネルによる回避が必要であろう。なお、これらの崩壊地を除く導水路ルートの斜面は、植生状態からすると現状では安定していると推定される。ただし、斜面の一部には、古い地すべり地形が認められることから、その性状および安定性の把握が課題である。
- 水槽および水圧管路ルートの尾根は、Crocker層が分布する。今回の地表踏査によると、この尾根は、風化が進んでいるものの地形条件および植生状態からして安定した状態にあると推定される。ただし、その安定度の把握が課題である。
- 発電所および放水路地点は、段丘堆積物および河床堆積物の分布域に位置する。

5.2.3 Pakai地点

(1) 流域概要

Pakai地点はLiwagu川の右岸にあり、Ranau平野と丘陵地の境界付近に位置する。この地域は、標高 410~870mの丘陵地および標高 450~600mの平野からなる。Liwagu川は、Ranau平野を、東流した後Ranau平野で150度方向を変え南西へ流下している。計画地域でのLiwagu川の河川勾配は、約 1/53 である。Liwagu川の川幅は、取水ダム地点付近で20~30m、発電所地点付近で40~70mである。丘陵地の尾根と谷底の比高は、200~350mである。丘陵地の斜面は、一般に10~25度の比較的緩い傾斜を示す。

(2) 発電計画

Pakai地点の設備出力は2,700kWである。河川勾配は他河川より緩やかであるが、わん曲する河川を長い導水路でショートカットすることにより 173mの有効落差を得る。導水路は 1,000mのトンネルと 3,360mの鋼製パイプより構成される。流域面積 88.9km²から最大1.96 m³/sを取水する。取水ダム下流河川では、Ranau町に供給する飲料水が取水されている、また Ranau町住民の生活排水が流入する。既得利水を保証し水質悪化を防止するため、取水ダムから放流し、下流河川に一定以上の水量を確保する必要がある。取水ダムから少なくとも年最小流量を放流する条件を設定すると、渇水日のkW、kWhが著しく低減する。Firm peak power は 850kW、電力量は17.7GWh、kWh当りの建設費は1.2 ~ 1.3\$/kWhと推定される。

(3) 地質

Pakai地点は、Trusmadi層と呼ばれる堆積岩と、これを覆う Pinosuk礫層、段丘堆積物および河川堆積物などから構成される。Fig. 5-7に計画地域の地質図を示す。

Trusmadi層は、砂岩、粘板岩、頁岩、シルト岩および泥岩よりなり、これらは互層して層状をなす。これらの地層は、褶曲と小断層が発達する。発電所付近では、地層の走向は、N42° E、傾斜は28° Eを示す。Pinosuk礫層は、Trusmadi層を不整合に覆う礫層で、Ranau平野の西半分を占め直径 5 mを越えるアダメライトの円礫を多く含み厚く堆積している。段丘堆積物は、Trusmadi層やPinosuk礫層を不整合に覆っており、Ranau平野の東半分を占め広く分布している。河川堆積物は、堆積岩を不整合

に覆ってLiwagu川に沿って分布する。段丘堆積物や河川堆積物は、直径0.2～1mの円礫から主として構成される。

なお、コルビウムないし崖錐堆積物は、丘陵地に部分的に分布する。

土木地質的評価は次のとおりである。

- 取水ダム地点は、河川堆積物および段丘堆積物が主として分布している。
- 導水路ルートは基盤のTrusmadi層まの堆積岩分布域に位置している。導水路ルートの上流側に計画されているトンネル区間については、基盤の風化が深くかつ複数の断層の存在が予想される。このため、トンネル掘削にあたっては、十分な支保および排水対策が必要となろう。トンネル区間を除く導水路ルートは、基盤の風化が進行していることから、支持台の根入れは、支持力を得るため深くなると予想される。また、ルートとなる丘陵地の斜面は、傾斜も緩く現時点では安定した状態にあると推定される。ここでは、基盤岩の風化状況と支持基盤の深度を把握することが課題である。
- 水槽および水圧管路ルートとなる尾根は、Trusmadi層の堆積岩および段丘堆積物の分布域に位置する。今回の現地調査によると、この尾根は、植生状態からして安定した状態にあると推定される。ただし、基盤の風化状況、支持基盤の深度を把握することが課題である。
- 発電所および放水路地点は、段丘堆積物および河床堆積物が分布する。

5.2.4 Kauluan地点

(1) 流域概要

Kauluan地点は、Ranau町北西方約9kmのMesilau川とLiwagu川に挟まれた地域に位置し、Naradaw計画地域と一部重複している。この地域は、標高950～1,510mの山地の地形をなし、この中をMesilau川が、北から南または北西から南東へ蛇行しながら流下している。計画地域でのMesilau川の河川勾配は、約1/10である。

Mesilau川の川幅は、一般に10m程度である。尾根と谷底の比高は、150~300mである。斜面は、一般に20~45度の傾斜を示し、斜面の一部には、古い地すべり地形ないし新しい崩壊地形が認められる。

(2) 発電計画

Kauluan地点の設備出力は1,150kWである。Mesilau川に設ける取水設備とLiwagu川に設ける発電所の間には412mの有効落差を得る。導水路の延長は1,740m、水圧鉄管の延長は2,630mである。22.2km²の流域面積から最大0.35m³/sを取水する。取水ダム下流の減水区間には利水のための取水は無く、人口の多い集落も無い。従って水棲動植物等の保護に必要な少量の維持流量を取水堰から放流すれば、他は発電用に取水することが可能と考えられる。本流域内にMesilau PH-1発電所が在り、11km²の流域面積から取水しLiwagu川に分水している。このため渇水日には、Kauluanの取水流量が著しく減少し、kW kWhとも低減する。Firm peak power は620kW、年間電力量は8.8GWh、kWh当りの建設費は1.2 ~ 1.3M\$/kWh程度と推定される。高落差がkWhの少なさをカバーし上述のkWh当りの建設費をもたらしている。

(3) 地質

Kauluan地点は、Naradaw地点と同様にCrocker層と呼ばれる堆積岩とこれを覆うPinosuk礫層、段丘堆積物および河川堆積物などから構成される。Fig.5-7に計画地域の地質図を示す。

Crocker層は、砂岩、頁岩、シルト岩および泥岩よりなり、これらは互層して層状をなす。本層は、褶曲と小断層が顕著に発達する。地層の走向は、NW~SE、傾斜は40° ~55° Sを示すものが多い。Pinosuk礫層は、Crocker層を不整合に覆う砂礫層で、標高1,000~1,300mより上方に分布している。段丘堆積物および河川堆積物は、Crocker層を不整合に覆って Mesilau川とLiwagu川に沿って分布している。これらの堆積物は、直径0.5 ~ 2 mのボルダーサイズの円礫を主体としており、直径5 m以上のアダメライトの円礫も多く含まれる。

なお、コルビウムないし崖錐堆積物は、中腹あるいは山麓に部分的に分布する。

土木地質的評価は次のとおりである。

- 取水ダム地点は、Pinosuk 礫層および河川堆積物が分布する。これらは砂礫層である。
- Mesilau川右岸の導水路ルートは、Pinosuk礫層の分布域に位置している。この礫層は、固結度が低く未固結な部分も含むため、降水による崩壊が発生しやすく、浸食に対する抵抗力が弱い。このため、地表部に導水路を設置する場合は、ルートのかなりの区間で斜面の崩壊に対する対策が必要となろう。Pinosuk礫層中の斜面については、その安定度を把握することが課題である。
- 調整池および水圧管路ルートは、上部が Pinosuk礫層中に、下部がCrocker層の堆積岩中に位置している。水圧管路ルートの尾根は、植生状態からして現状では安定した状態にあると推定される。ただし、Crocker層の風化状況、支持基盤の深度の把握が課題である。
- 発電所地点および放水路地点は、Liwagu川の左岸に計画されており、段丘堆積物および河床堆積物が分布する。

5.2.5 Lamas地点

(1) 流域概要

Lamas地点は、Ranau南方32.5kmのKegibangan川の中流域に位置している。この地域は、標高 500~2,400mの山地をなし、この中をKegibangan川が、西から東へほぼ直線的に流下している。計画地域でのKegibangan川は、河川勾配が約 1/5であり、非常に急な勾配をもつ河川である。尾根と谷底の比高は、1,400~1,900mあり、斜面は、一般に30~40度の急傾斜を示す。

(2) 発電計画

Lamas 2 の設備出力は8,400kWである。1/5の河川勾配を利用して652mの有効落差を得る。鋼製パイプの導水路は延長3,360m、水圧鉄管は1,370mである。

72.9km²の流域面積から最大1.61m³/sを取水する。取水ダム下流の減水区間には他の

利水は無く、人口の多い集落も無い。従って水棲動植物の保護に必要な少量の維持流量を取水ダムから放流すれば、他は発電用に取水することが可能と考えられる。地形が急峻なため調整池の設置は困難であろう。

Firm peak powerは4,450kW、年間発電電力量は65GWh、kWh当りの建設費は0.5～0.7M\$/kWhと推定される。Lamas 2 は70～80kmのアクセス道路、32.5kmの送電線を新規に設置する必要があるが、多い電力量と高落差がこれらの弱点を補い良好なkWh当りの建設費をもたらしている。しかし、Ranau系統の需要が小さいため一度に8,400kWを運開させることはできない。

Ranau系統の需要の増加に応じLamas 2 を逐次開発することを前提とし最初の開発案をLamas 3 とする。Lamas 3の設備出力は3,180kWである。レイアウトはLamas 2 と同じもので、最大使用水量は0.61m³/sである。Firm peak power は3,180kW、年間発電電力量は27.7GWh、kWh当りの建設費は1.0～1.1M\$/kWhと推定される。高落差がこのkWh当りの建設費をもたらしているが、スケールメリットを享受できないのでLamas 2 より経済性が劣る。

なお、本地点の地形地質はダム築造の可能性を示唆しており、10MW以上の設備出力を有する、貯水池式水力計画も可能と考えられる。

本発電所の下流にLiwagu Hydro Project(165MW) が計画されている。Lamas 発電所はこのProjectの貯水池満水位より上に位置しているため、Lamas地点がLiwagu Hydro Projectの推進を防げることは無い。

現在Lamas地点には3点の問題がある。第1はRanau系統の小さい需要がその経済的開発を妨げている。第2は、アクセス道路が無く必要な調査が出来ない。第3にその建設費に不明事項が多い。Liwagu Hydro Projectによって本計画の進入道路の延長などが影響を受けるからである。

これらの問題の解決が可能と考えられる2010年代にはLamas地点がRanau系統の有力な電源となる可能性がある。

(3) 地質

Lamas地点は、現地調査を実施していないため、地質状況は不明であるが、P. Collette (1958) によれば、Trusmadi層の堆積岩類が分布すると予想される。

5.3 最適地点の選定

5.2の検討結果を踏まえ、下記事項を総合的に判断し、Naradaw地点を最適地点とする。

- kWh当りの建設費が他より安く経済的である。
- 計画地域はRanau町から離れ、人口の多い集落も無いので、十分な対応策を講ずることにより周辺の社会環境・自然環境に与える影響を最小に止めることが可能である。
- 十分な容量をもつ調整池の築造が可能な地形が存在し、濁水日のピーク時kW供給能力の増加が期待できる。
- 土木工事はトンネルを含まず、マレーシア国内業者による建設が可能である。

5.4 発電計画上の検討課題

次の2つの発電計画上の課題を検討した。

- 鋼製パイプ導水路のサビに起因する出力の低減 — 鋼製パイプ導水路は建設後、経年的にサビが発生・発達する。本計画の導水路は長いので、サビによる摩擦損失の増加は無視できず、導水路の送水能力の低下が発電力の低下を招く。これらの予測は長期需要計画作成上必要である。今、Manning公式を用い導水路の管内流速を計算する。導水路の粗度としては完成時0.013、数年後のサビに対して0.015と仮定すると最大通水能力は完成直後1.18 m^3/s 、数年後1.08 m^3/s となる。これより運転開始数年後の最大出力は設備出力1,600kWの約90%程度に低下するものと予測される。
- 取水ダムからの漏水量 — 取水ダムを設ける河床には数mに及ぶ巨石、礫、砂、シルトから構成される厚い堆積物が存在している。小水力の経済性を得るため、河床堆積物を残したままダムを設置せざるを得ず、ダムから河川水が漏水する。漏水の程度をあらかじめ予測しておくことはダムの設計並びに濁水日の供給能力の推定上大切となる。今、簡易計算式を用い粗度係数を $1 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ と仮定して、ダムからの漏水量を予測すると0.01~0.03 m^3/s 程度となる。ダムにおける河川の

95%流量はMesilau川で0.22m³/s、Liwagu川で0.40m³/sである。予測された漏水量はおよそ10%程度以下であって計画上大きな問題になるとは考えられない。なお、取水位が現河床より高い程、漏水量が増加するのでダムの高さを必要最小限とすることが得策と考えられる。

Table 5-1 Hydro Power Supply Capability

Day	Percent of the Time	Power (KW)						Energy (GWh)		
		Average			Peak			Mesilau	Carabau	Total
		Mesilau	Carabau	Total	Mesilau	Carabau	Total			
145	40	250	1,620	1,870	250	1,800	2,050	0.9	5.7	6.6
183	50	250	1,390	1,640	250	1,780	2,030			
256	70	250	910	1,160	250	1,300	1,550	0.7	3.3	4.0
301	83	250	690	940	250	1,080	1,330			
347	95	80	470	550	80	860	940			
365	100	50	270	320	50	660	710	0.4	1.7	2.1
Total								2.0	10.7	12.7

Table 5-2 Energy Demand and Supply

Unit: GWL

Year	Demand	Carabau Mesilau		Naradaw		Hydro	Diesel
		Used	Discharge	Used	Discharge		
	(1)	(2)	12.7-(2)	(3)	10.1-(3)	(2)+(3)	(1)-(2)-(3)
1993	8.9	7.7	5.0			7.7	1.2
4	10.2						
1995	11.6						
6	12.9	10.0	2.7			10.0	2.9
7	14.3						
8	15.7	11.0	1.7			11.0	4.7
9	17.2						
2000	19.0	11.7	1.0	4.6	5.5	--	--
1	20.3						
2	21.8	12.2	0.5	6.0	4.1	--	--
3	23.5						
4	25.2	12.7	0	6.9	3.2	--	--
2005	27.1						
6	28.7	12.7		8.2	1.9	--	--
7	30.5						
8	32.3	12.7		8.6	1.5	--	--
9	34.3						
2010	36.6	12.7		9.1	1.0	--	--
1	37.9						
2	39.3	12.7		9.6	0.5	--	--
3	40.7						
4	42.1	12.7		10.1	0	--	--
2015	43.6	12.7		10.1		--	--
Tentative schedule							

Table 5-3 Summary of 20 Sites at Upper Liwagu River Basin

No.	River Name	Site Name	Type of P/S		Catchment Area km ²	Design Flows m ³ /s	Water Levels		Gross Head m	Installed Capacity MW	Net Head m	95% Flows m ³ /s	Screening	
			Storage	Run off River			Head ft	Tail ft					Firm Power kW	Estimated by JICA Team o 700 kW or more X less than 700 kW
1	Bambangan	Tembaga		o	15	1.0	4,000	3,300	213	1.7	181	0.20	290	X
2	Kegibangan	Watau	o		510	40.4	800	650	46	16				
3	Kegibangan	Barambang	o		33	2.4	1,200	920	85	2				
4	Kegibangan	Lamas 2		o	68	3.7	4,000	1,750	686	22	583	0.88	4,100	o
5	Kegibangan	Lamas 1	o		68	4.4	4,250	1,750	762	29				
6	Kegibangan	Pudau	o		303	21.7	1,085	990	29	5				
7	Kegibangan	Tinonun	o		391	28.6	990	880	34	8				
8	Liwagu	Lobok		o	14	0.8	4,000	3,500	152	1.0	129	0.18	190	X
9	Liwagu	Gantong A		o	67	3.9	2,800	2,200	183	6.2	156	0.87	1,090	o
10	Liwagu	Gantong B		o	67	3.9	2,800	2,000	244	8.2	207	0.87	1,440	o
11	Liwagu	Pakai		o	97	5.6	2,050	1,360	210	10.2	179	1.26	1,800	o
12	Liwagu	Kiglok B	o		200	11.4	1,480	1,200	85	8.4				
13	Liwagu	Kiglok A	o		200	11.4	1,500	1,410	27	2.6				
14	Liwagu	Nampasan	o		390	23.3	1,260	1,140	37	7.3				
15	Mesilau	Kauluan		o	23	1.6	4,650	3,200	442	5.9	376	0.30	900	X
16	Mesilau	Naradaw		o	29	1.8	3,400	2,800	183	2.8	156	0.38	470	o
17	Mindahuan	Solong	o		54	4.1	2,948	750	670	23.8				
18	Sama lang	Peropot		o	145	9.2	1,610	1,510	30	2.3	26	1.89	390	X
19	Tabasan	Serpong B	o		161	8.8	1,750	1,350	122	9.2				
20	Tani Tanis	Nimbajai	o		25	1.4	2,300	1,300	305	3.5				

Source: Hydropower Options Study - Inventory of Identified Site, Liwagu River Basin. Tonkin & Taylor 1990

Table 5-4 Data Summary Sheet (1), Small Hydro Power Project at Upper Liwagu River Basin

No.	Site Name	River	Installed Capacity kW	Annual Energy GWh	Const. Cost 1/ 1000 M\$	Cost kW M\$	Cost kWh M\$	Rank	Note
1	Naradaw A	Liwa/Mesi	1,340	10.3	11,410	8,515	1.11		
2	Naradaw B	Liwagu	850	6.6	8,656	10,184	1.31	1	
3	Naradaw C	Mesilau	490	3.7	6,090	12,429	1.65		
4	Naradaw D	Liwa/Mesi	1,540	11.9	11,410	7,409	0.96		
5	Naradaw E	Liwa/Mesi	1,070	8.3	10,620	9,925	1.28		
6	Gantong A	Liwagu	1,600	12.3	16,580	10,363	1.35		
7	Gantong B	Liwagu	2,140	16.5	21,290	9,949	1.29	2	
8	Gantong C	Liwa/Mon	2,340	18.1	25,300	10,812	1.40		
9	Gantong D	Liwagu	1,610	12.4	13,510	8,391	1.09		
10	Gantong E	Liwa/Kihop	1,700	11.2	14,340	8,435	1.28		
11	Pakai	Liwagu	2,700	17.7	22,270	8,248	1.26	3	
12	Kauluan	Mesilau	1,150	8.8	10,980	9,548	1.25	3	
13	Lamas 2	Kegibangan	8,400	65.0	37,790	4,500	0.58		
14	Lamas 3	Kegibangan	3,180	27.7	29,080	9,145	1.05	-	

Table 5-5 Data Summary Sheet (2), Small Hydro Power Project at Upper Liwagu River Basin

No.	Site Name	River	Catch. Area km ²	Water Level		Net Head m	Disch- arge m ³ /s	Installed Capacity kW	Firm Peak Power kWh	Annual Energy GWh	Plant Factor %
				Head ft	Tail ft						
1	Naradaw A	Liwa/mesi	60.3	3,260	2,780	126	1.33	1,340	1,060	10.3	88
2	Naradaw B	Liwagu	31.9	3,260	2,780	126	0.84	850	750	6.6	89
3	Naradaw C	Mesilau	28.4	3,230	2,780	125	0.49	490	310	3.7	86
4	Naradaw D	Liwa/Mesi	59.2	3,400	2,780	165	1.17	1,540	1,100	11.9	88
5	Naradaw E	Liwa/Mesi	60.3	3,260	2,870	100	1.33	1,070	840	8.4	88
6	Gantong A	Liwagu	65.5	2,730	2,200	137	1.45	1,600	1,260	12.3	88
7	Gantong B	Liwagu	65.5	2,730	2,000	184	1.45	2,140	1,700	16.5	88
8	Gantong C	Liwa/Mon	78.5	2,730	2,000	168	1.74	2,340	1,850	18.1	88
9	Gantong D	Liwagu	63.5	2,760	2,200	144	1.40	1,610	1,280	12.4	88
10	Gantong E	Liwa/Kihoput	63.5	2,760	2,200	149	1.40	1,700	1,320	11.2	75
11	Pakai	Liwagu	88.9	2,050	1,360	173	1.96	2,700	850	17.7	75
12	Kauluan	Mesilau	22.2	4,650	3,200	412	0.35	1,150	620	8.8	87
13	Lamas 2	Kegibangan	72.9	4,000	1,750	652	1.61	8,400	4,450	65.0	88
14	Lamas 3	Kegibangan	72.9	4,000	1,750	652	0.61	3,180	3,180	27.7	99

Figure 5-1 Hydro Power Supply Capability in a Year

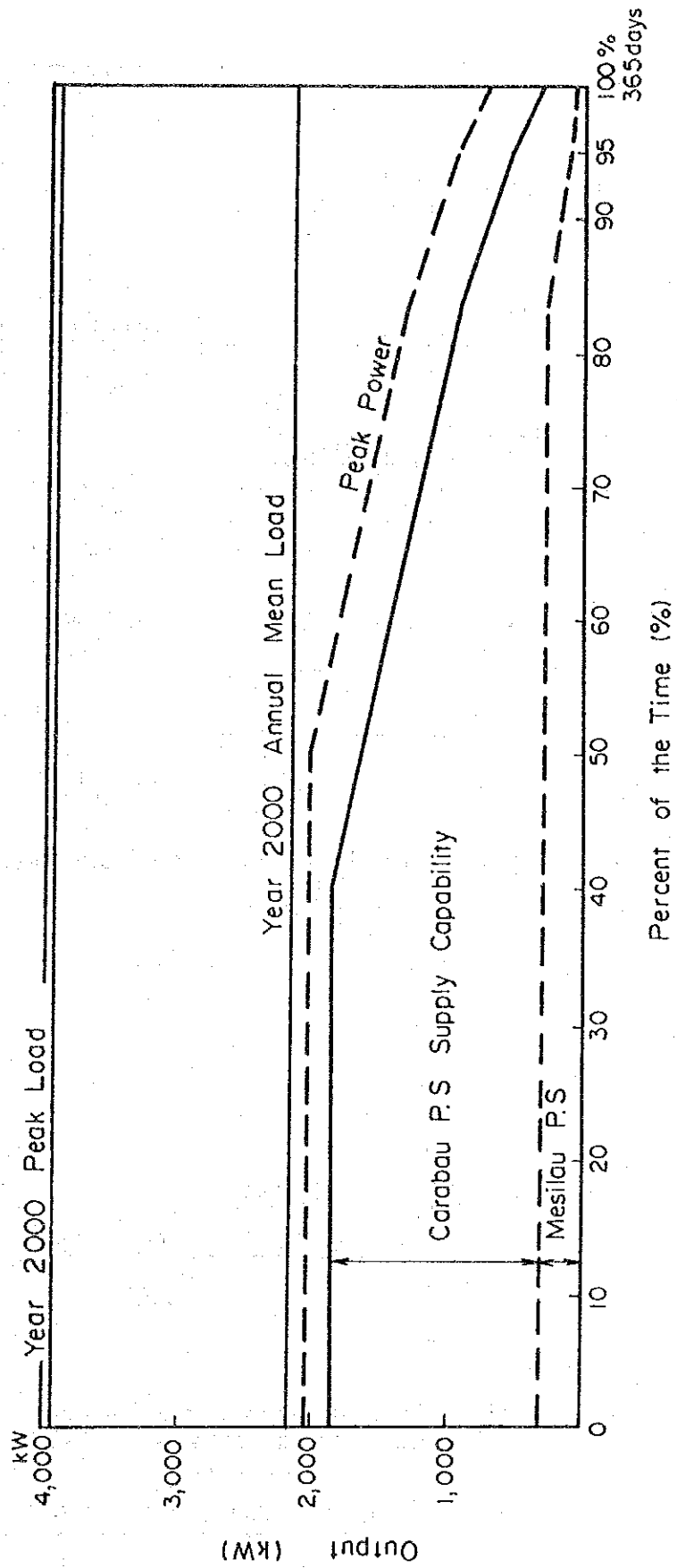


Figure 5-2(1) Daily Load Duration

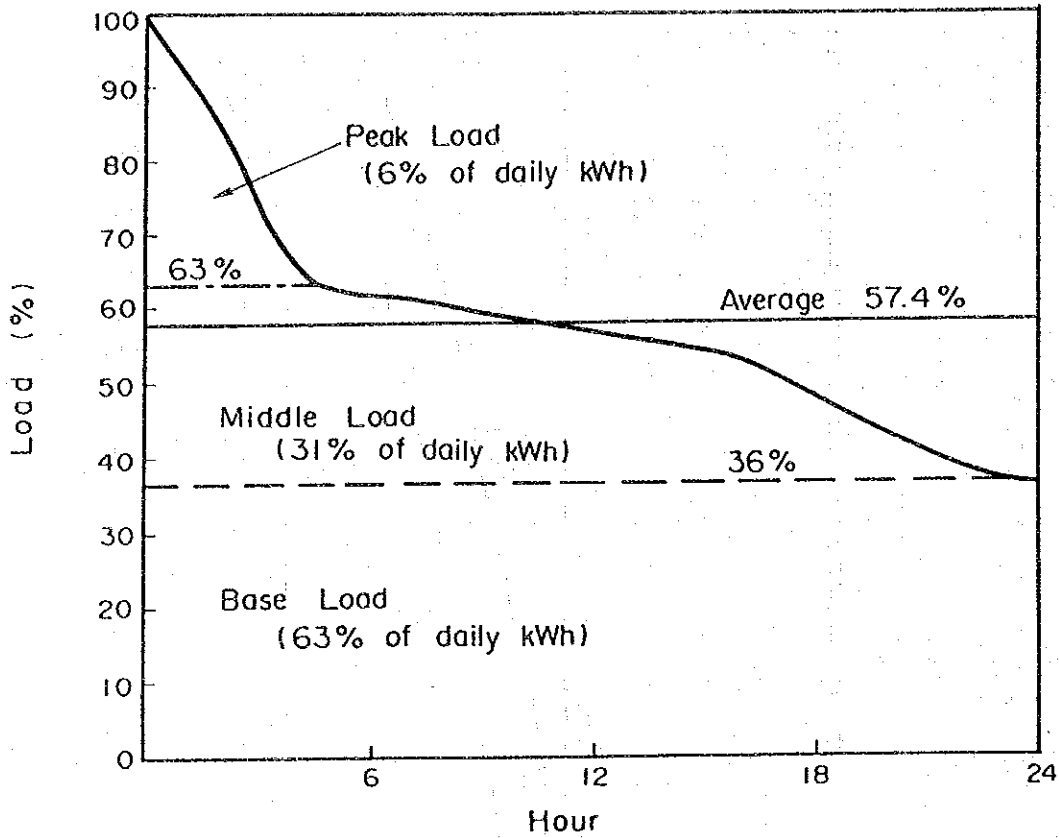


Figure 5-2(2) Supply Capability of Carabau P.S and Mesilau P.S

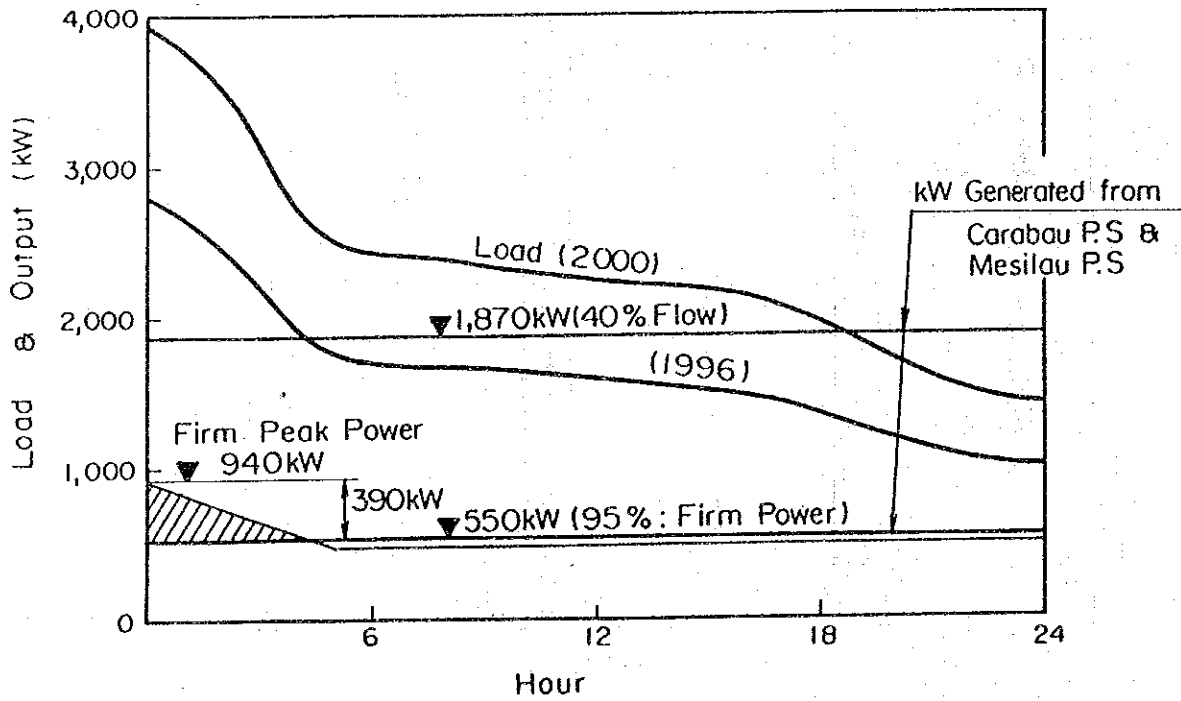
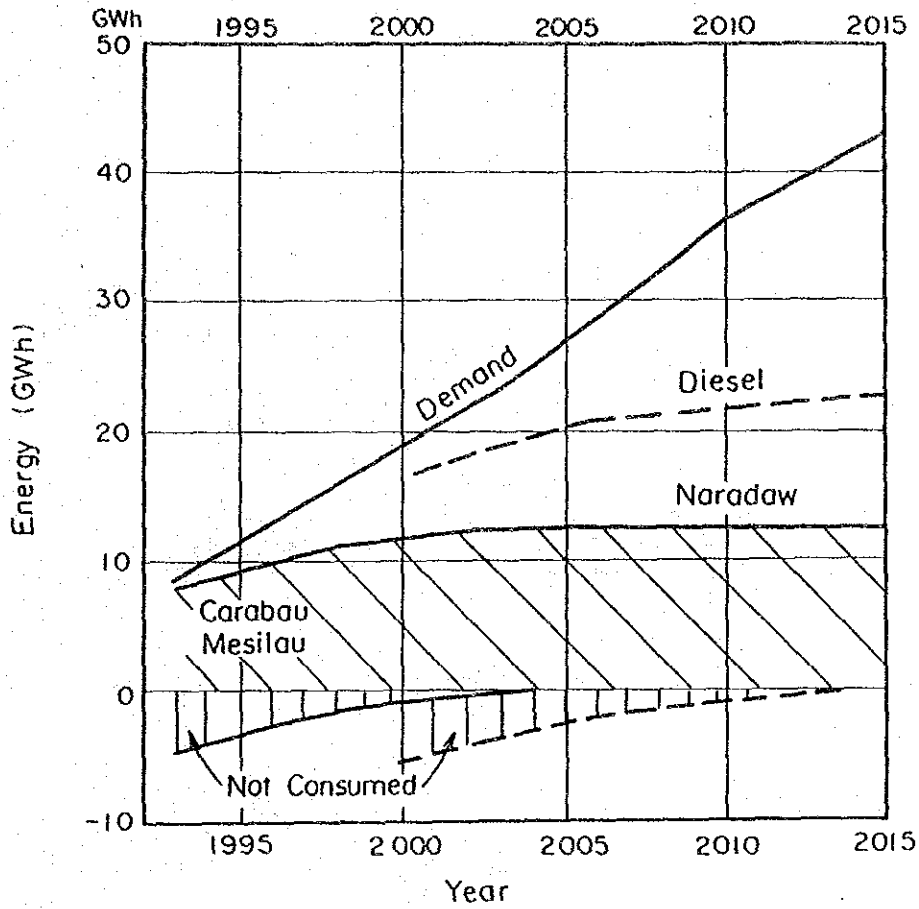
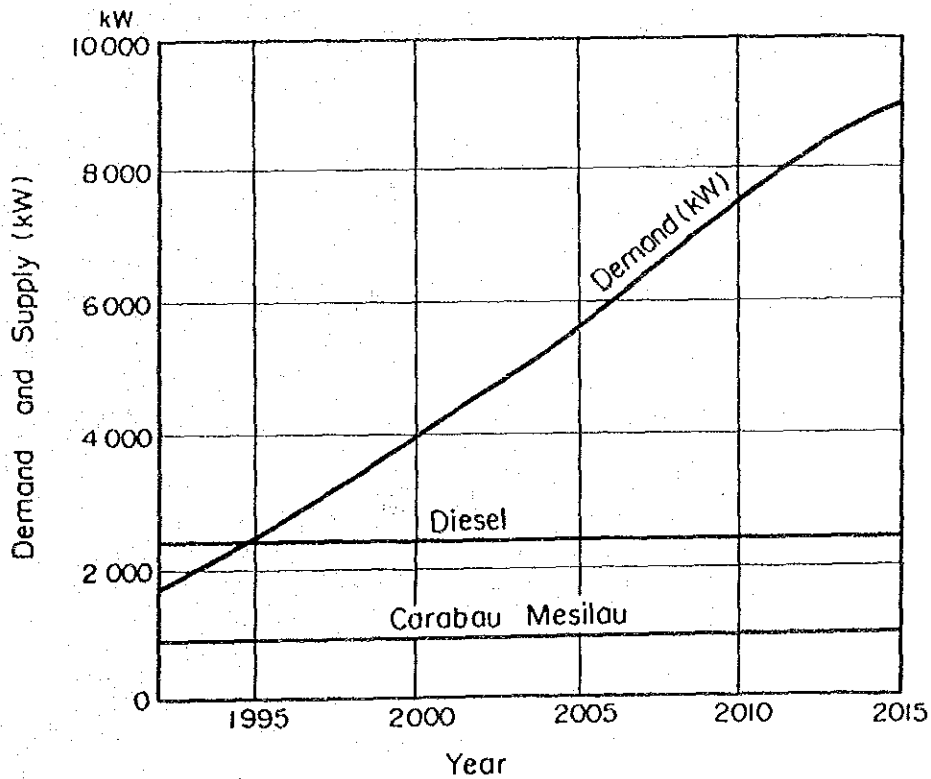


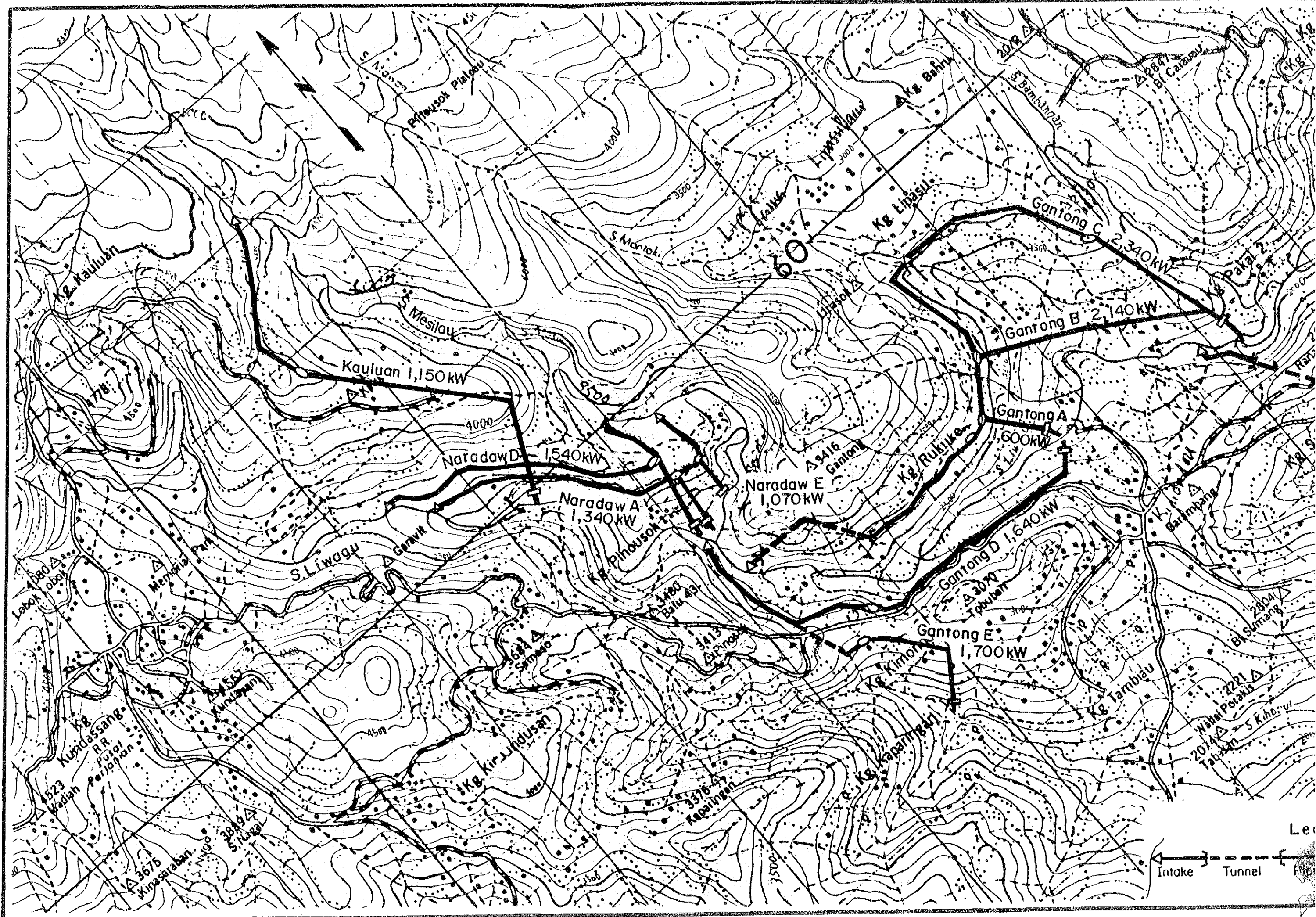
Figure 5-3 Demand and Supply

(1) KWh Balance



(2) KW Balance





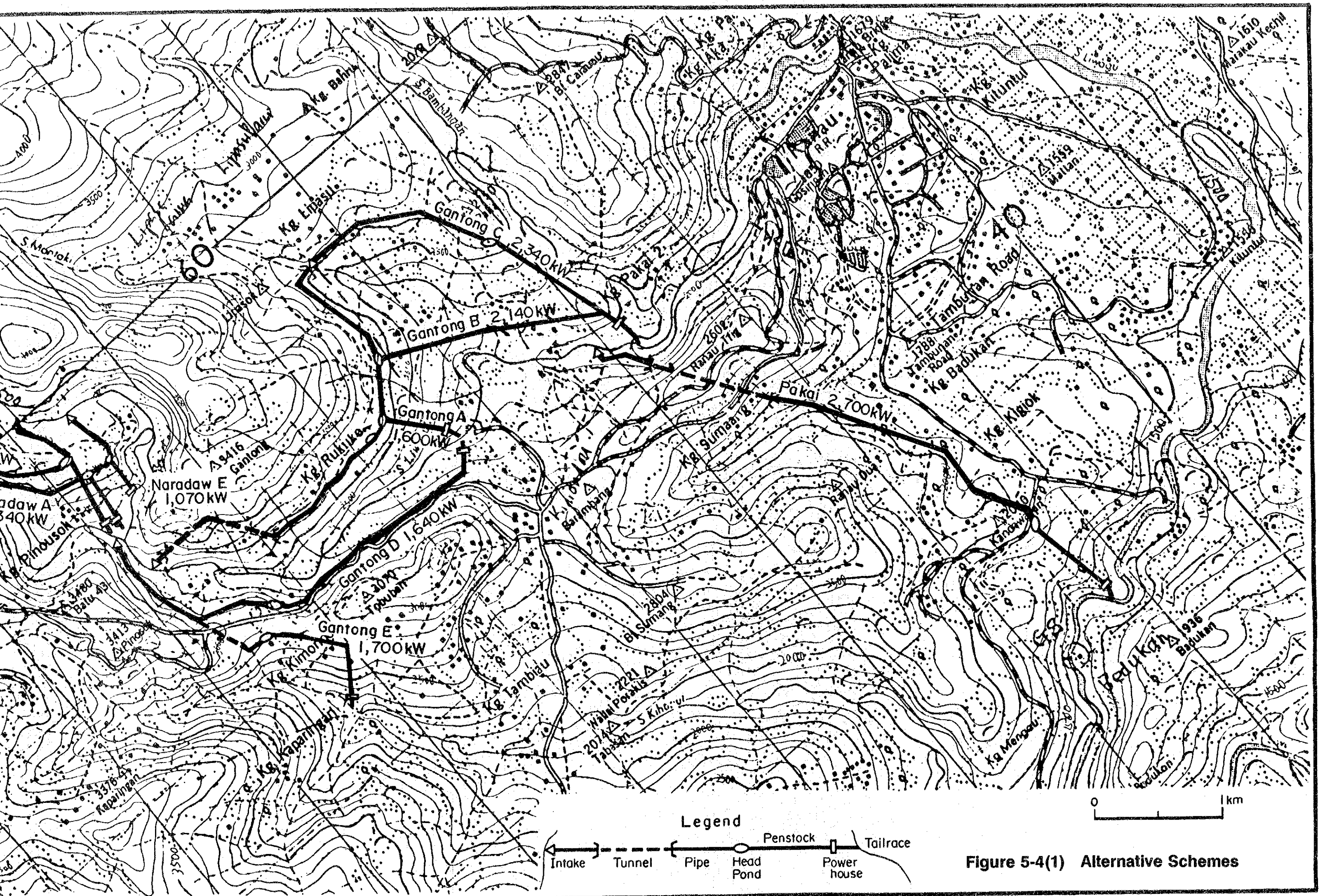


Figure 5-4(1) Alternative Schemes

Figure 5-4 (2) Alternative Scheme

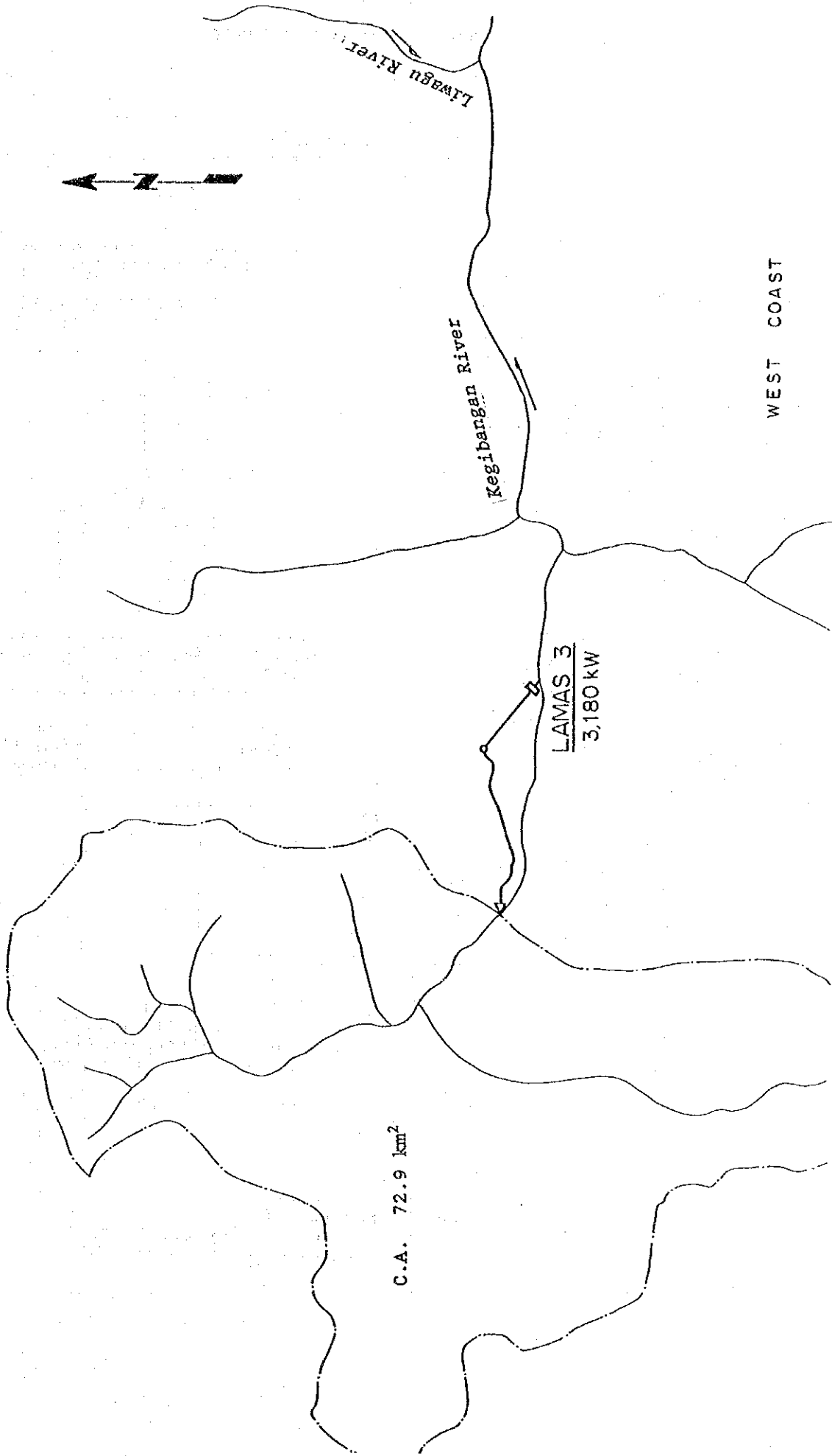


Figure 5-5 Hydro-power Planning Procedure

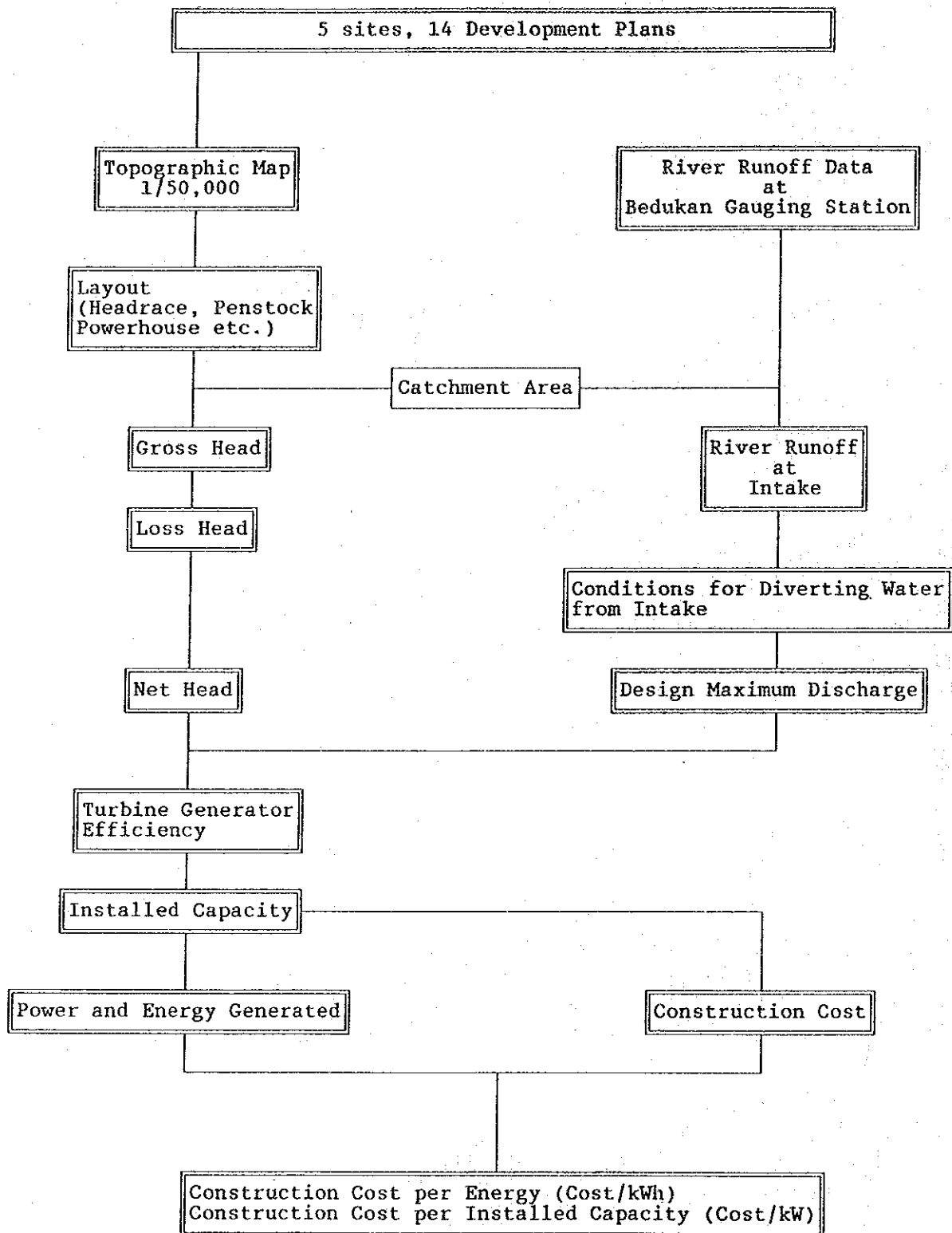
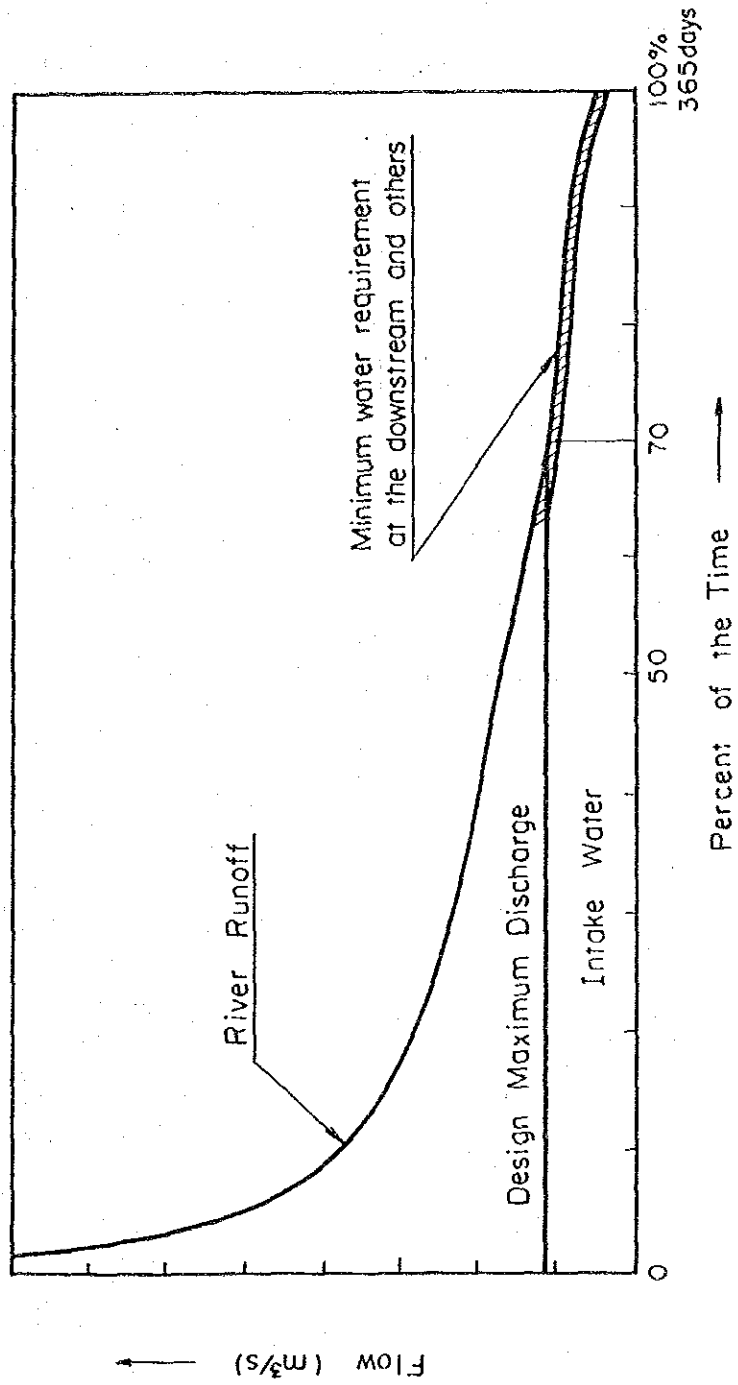
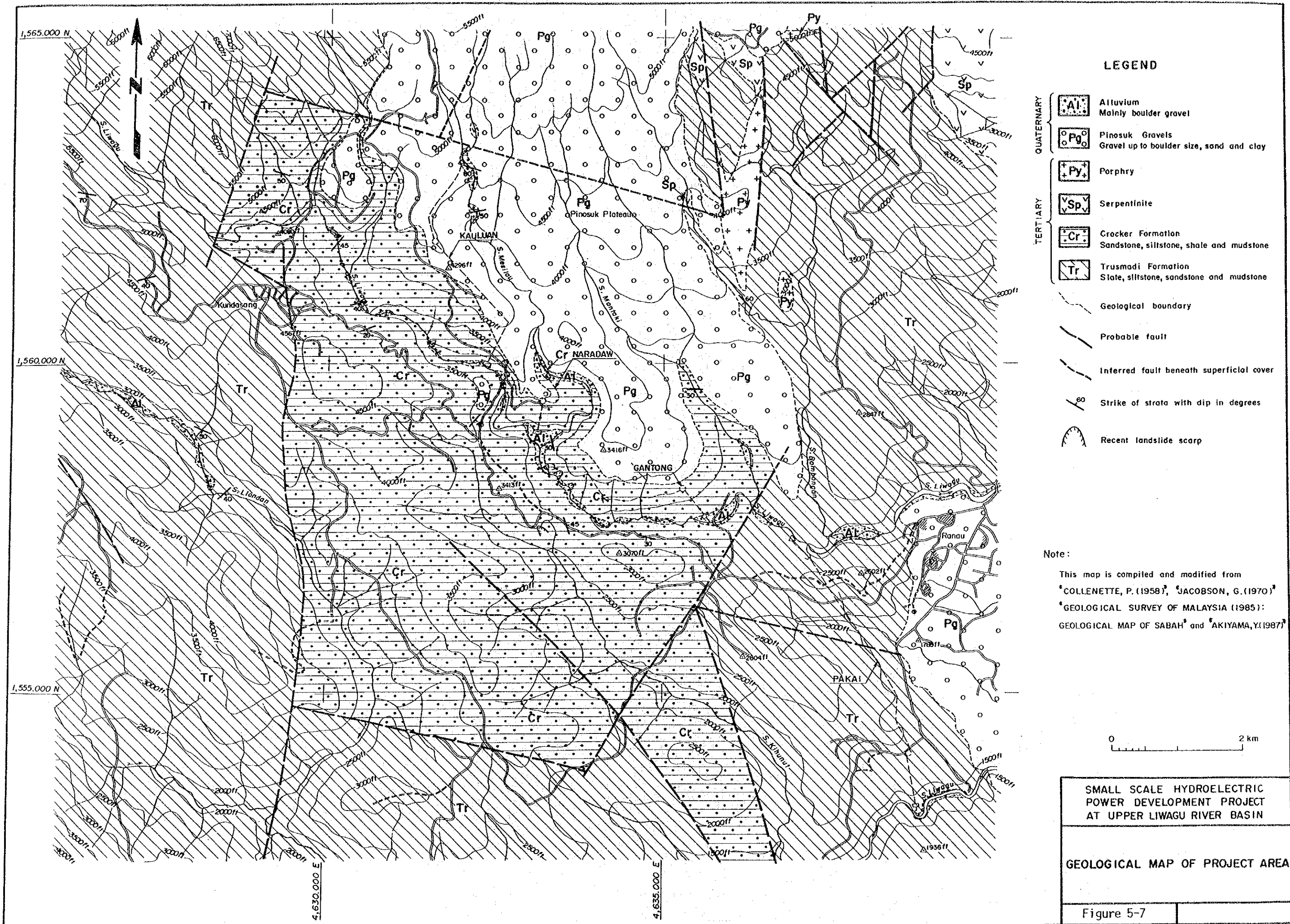


Figure 5-6 Discharge Duration and Intake Water at a Site





第 6 章 地 形 图

第 6 章 地 形 图

	頁
6.1 既存地形図	6-1
6.2 地形測量	6-1

第6章 地形図

6.1 既存地形図

本プロジェクトの調査に使用できる既存の地形図としては、縮尺1/50,000、1/12,500および1/2,500がある。

縮尺1/50,000の地形図は、1986年にDirectorate of National Mappingから発行されたものであり、Liwagu川上流域の全体がカバーされており、開発計画地点選定に有効に利用できる。

縮尺1/12,500および1/2,500の地形図は、1988年および1991年にDepartment of Land Survey, SABAH (DLS) が作成したもので、今回の現地調査でSEBより提示された。特に1/2,500の地形図はLiwagu川上流域左岸が図化されており、本プロジェクトの最適計画地点のレイアウト作成に利用できる。この1/2,500地形図の入手により当初計画していた1/30,000の航空写真から1/5,000地形図の図化は不必要となった。

6.2 地形測量

縮尺1/500地形図作成はJICA調査団が作成した技術仕様書に従って地形測量の手法により取水ダム、ヘッドポンド、水圧鉄管及び発電所等の計画地域周辺について実施した。地形測量実施に先立ってそれぞれの計画地域座標を公共座標系に取り付ける為のトラバース測量及び水準測量を実施した。それぞれの計画地域には後続作業を考慮して基準点を設置した。

(1) トラバース測量

三角点Trig Batu 43、Trig GantongおよびTrig Samasoを与点として使って約12kmについてトラバース測量を実施した。これらの与点はマレーシア国の測地座標系(National coordinate system)に属し、準拠楕円体(Spheroid)はEverestで、平面座標系(Plane coordinate)はRectified Skew, Orthomorphicを使って計算されている。

(2) 水準測量

平均海面からの高さを持った国家水準点、BM206033を与点として使い約19kmに亘り直接水準測量を実施した。

(3) 基準点設置

下記の通りそれぞれの計画地域に基準点を設置し、基準点明細書を作成した。

(Appendix 1 参照)

埋石点	Liwagu川取水ダム計画地域	(TMB 1)
	Mesilau川取水ダム計画地域	(TMB 2)
	水圧鉄管計画地域	(TMB 7)
	発電所計画地域	(TMB 3)
簡易水準点	リワグ川橋脇	(TMB 6)
	崖崩れの箇所	(TMB 5)

(4) 地形測量

主曲線間隔1メートルの縮尺1/500 地形図作成の為に現地測量は経緯儀を使って、スタジャ測量方式で実施した。

作業量は下記の通りである。

Liwagu川取水ダム計画地域	0.014 km ²
Mesilau川取水ダム計画地域	0.015 km ²
ヘッドポンド、水圧鉄管及び発電所計画地域	0.115 km ²

(5) まとめ

測量は当初計画通り実施され、1991年9月24日に開始し、1992年1月31日に終了した。

測量作業はサバ電力庁 (SBB) が現地のSurcom Serviceに委託し、調査団による技術指導のもとに終了した。調査団は最初の派遣で現地踏査後、技術仕様書を作成してSBBに提出した。2回目の派遣でSBBのカウンターパートを通じて現地の測量会社の技師に技術指導を実施した。

測量成果品の検査は日本国内において、成果品のコピーを検査する方法で実施した。トラバース測量成果・水準測量成果のコピーの検査結果は非常に良い精度であった。1/500地形図陽画についても同様の検査を実施した。小さな家・岩および徒歩道等の脱落があったもの大変に見易く今回の調査の為に情報としてはさしつかえなかった。

第 7 章 地 質

第 7 章 地 質

	頁
7.1 地質調査の概要	7-1
7.1.1 現地調査	7-1
7.1.2 地質調査工事	7-1
7.1.3 既存資料	7-2
7.2 広域地質	7-4
7.2.1 地形	7-4
7.2.2 地質	7-5
7.3 計画地域の地質	7-8
7.3.1 地形概要	7-8
7.3.2 地質概要	7-8
7.4 計画地点の地質	7-9
7.4.1 Liwagu 取水設備地点	7-9
7.4.2 Mesilau 取水設備地点	7-11
7.4.3 Liwagu パイプラインルート	7-12
7.4.4 Mesilau パイプラインルート	7-14
7.4.5 水圧鉄管路ルート	7-15
7.4.6 発電所地点	7-17
7.5 地震	7-18
7.5.1 地質構造	7-18
7.5.2 地震	7-18

List of Tables

- Table 7-1 Outline of Geological Investigation Works
Table 7-2 List of Geological Investigation Works
Table 7-3 Stratigraphy of Northern Sabah

List of Figures

- Figure 7-1 Regional Geological Map
Figure 7-2 Geological Map of Naradaw Area
Figure 7-3 Geological Plan and Section of Liwagu Intake Facility
Figure 7-4 Geological Plan and Section of Mesilau Intake Facility
Figure 7-5 Geological Plan and Profile of Penstock and Powerhouse
Figure 7-6 Distribution of Earthquake Epicenters of Focal Depth ≤ 100 km
Figure 7-7 Distribution of Earthquake Epicenters of Focal Depth ≥ 100 km
Figure 7-8 Seismotectonic Setting Map of Malaysia
Figure 7-9 Maximum Observed Intensity of Sabah and Sarawaku
Figure 7-10 Distribution of Earthquake Epicenters, Sabah and Offshore

第7章 地質

本章は、IDENTIFICATION STAGEおよびFIELD INVESTIGATION STAGEにおいて得られた地質情報を基に、最適計画地点として選定されたNaradaw地点の発電計画に関して、地形的地質的、水理地質的および土木地質的な評価を記述したものである。

7.1 地質調査の概要

7.1.1 現地調査

地質に関する現地調査は、次の3回に分けて実施した。

IDENTIFICATION STAGE

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| 1991年 7月15日～1991年 8月13日 | ■ 地質情報の収集 |
| | ■ 地質調査工事の計画 |
| | ■ 地表地質踏査 |
| 1991年 9月22日～1991年10月 6日 | ■ 地表地質踏査 |
| | ■ 技術仕様書の提出および説明 |

FIELD INVESTIGATION STAGE

- | | |
|-------------------------|-------------|
| 1991年11月27日～1991年12月11日 | ■ 調査工事の技術管理 |
| | ■ 地表地質踏査 |

IDENTIFICATION STAGEでの現地調査は、既往資料に基づくスクリーニングによって選定された5地点のうち現地踏査が可能な4地点について行った。現地調査に使用した地形図は1/50,000を拡大した1/10,000を主とし、Naradaw地点については1/2,500の地形図も用いた。これらの現地調査結果等に基づき最適地点としてのNaradaw地点が選定された。また、JICA調査団は、Naradaw地点に対する地質調査工事のための技術仕様書を作成しサバ電力庁に説明し提出した。

FIELD INVESTIGATION STAGEでの現地調査としては、サバ電力庁が請負業者に発注した地質調査工事について現地での技術指導が主体であり、併せて地質踏査も実施した。

7.1.2 地質調査工事

地質調査工事（地質図作成を含む）は、Naradaw地点のうち最適計画案の主要構造物地点を対象としてサバ電力庁により行われた。

サバ電力庁は、Naradaw地点に対してJICA調査団が作成した技術仕様書に基づいて地質調査工事を請負業者に発注した。地質調査工事は現地コンサルタントのAPPLIED GEOTECHNICSが行った。

各地点における地質調査工事の概要は、Table 7-1に示す通りである。

Table 7-1 Outline of Geological Investigation Works

地 点	調 査 項 目	数 量
Liwagu取水ダム	ボーリング (透水試験と標準貫入試験を含む)	2 孔計30m
Mesilau 取水ダム	ボーリング (透水試験と標準貫入試験を含む)	2 孔計30m
*1水槽	ボーリング (透水試験と標準貫入試験を含む)	2 孔計40m
水圧鉄管路	ボーリング (透水試験と標準貫入試験を含む)	2 孔計40m
発電所	ボーリング (標準貫入試験を含む)	2 孔計40m
計画地域全域	地質図作成 (1/5,000)	10 km ²
Liwagu取水ダム	地質図作成 (1/500)	0.014km ²
Mesilau 取水ダム	地質図作成 (1/500)	0.015km ²
水圧鉄管路～発電所	地質図作成 (1/500)	0.115km ²

Note: *1 Alternative waterway (A)

地質調査工事の具体的な数量をTable 7-2に示す。

これら地質調査工事の結果は、APPLIED GEOTECHNICSにより“REPORT OF GEOLOGICAL INVESTIGATION AT UPPER LIWAGU MINI HYDRO PROJECT SITE, KUNDASANG, RANAU”としてまとめられており、その一部は、Appendix 2として本レポートに添付した。

なお、Scope of Studyで提案されている弾性波探査は、将来の詳細設計時に実施されることになろう。

7.1.3 既存資料

本計画地域に関連する既存の地質および地震データは、第1回の現地調査を実施した際にサバ州地質調査所より入手した。これら既往地質資料のリストは、参考資料として章末に示した。

本章作成にあたっては、これらの既存資料と上記の地質調査工事報告書を参考とした。

Table 7-2 List of Geological Investigation Works

[CORE DRILLING WORK]

Hole No.	Site	Coordinate	Elevation (m)	Depth (m)	Permeability T.		**SPT times	** CPT times
					*1OET times	*2PT times		
LI-1	Liwagu Intake Dam	E765,742.5 N662,788.5	1,049.91	15.00	5	1		10
LI-2	Liwagu Intake Dam	E765,732.5 N662,777.5	1,049.81	15.00	5	1		10
LI-3	Mesilau Intake Dam	E767,644.5 N662,603.5	1,035.96	15.00	6			10
LI-4	Mesilau Intake Dam	E767,623.3 N662,597.5	1,035.34	15.00	6		2	8
LT-1	*5 Head Pond	E767,818.0 N661,692.5	1,031.62	20.00	5	2	2	8
LT-2	*5 Head Pond	E767,725.5 N661,707.5	1,035.53	20.00	5	2	5	5
LP-1	Penstock	E767,727.0 N661,434.0	975.08	20.00	5	2		10
LP-2	Penstock	E767,717.0 N661,237.0	913.65	20.00	5	2	8	2
LP-3	Power House	E767,712.0 N661,075.0	861.67	20.00			9	2

Note: *1OET; Open-end test (Field permeability test in unconsolidated deposit)

*2PT ; Packer test (Field permeability test in bed rock)

*3SPT; Standard penetration test (Penetration test in topsoil and weathered bedrock)

*4CPT; Cone penetration test (Penetration test in gravel)

*5 ; Alternative waterway (A)

[GEOLOGICAL MAPPING]

Item	Site	Scale	Quantity	Remarks
Interpretation of aerial photograph	Project area	1/25,000	over 10 km ²	
Geological mapping	Project area	1/5,000	10 km ²	including route maps, photos and sketches
Geological mapping	Liwagu Intake Dam	1/500	0.014 km ²	including route maps, photos and sketches
Geological mapping	Mesilau Intake Dam	1/500	0.015 km ²	including route maps, photos and sketches
Geological mapping	Penstock to Power House	1/500	0.115 km ²	including route maps, photos and sketches

7.2 広域地質 (Regional Geology)

7.2.1 地形

(1) サバ州北部

サバ州北部は、ボルネオ島の北端部に位置し、西海岸は南シナ海に、東海岸はスルー海に接している三角形の地域である。

この地域の地形的特徴は、西海岸に平行して南西から北東に延びるCrocker山脈およびTrusmadi山脈とその中央にあるKinabalu山塊の存在である。これらの山地の平均の標高は標高600m～1,200mで、標高2,000m越える山が多く認められる。特にKinabalu山は、標高4,101mを示し東南アジアの最高峰となっている。

これらの山地が分水嶺となって、Wariu川、Labuk川、Sugut川などの多くの河川が南シナ海やスルー海に注いでいる。

計画の対象となったLiwagu川は、Kinabalu山の南斜面に源を発し、南東へ流下したのちKegibangan川と合流してLabuk川となり、スルー海に注ぐ全長約220kmの河川である。

(2) Ranau地域

計画地点のある地域は、Ranau地域と呼ばれ、東南アジア最高峰のKinabalu山 (El. 4,101m) の南および東斜面に広がる東西24km、南北22kmの地域である。その地形は、壮年期にある。

この地域は、Crocker山脈の北東端にあり、大部分が標高500～4100mの山地または丘陵地となっており、東部にはRanau Planeと呼ばれる標高400～600mの平野が見られる。また、Kinabalu山直下の標高900～1800mの南斜面には、Pinosuk Plateauと呼ばれる高原がある。

Kinabalu山に源を発したLiwagu川は、北西から南東へ流下したのち、Ranau平野で大きく方向を変え南へ流下している。Liwagu川には多くの支流があり、その中の一つであるMesilau川は、Pinosuk Plateauを深く開析する河川である。

山地または丘陵地は、Liwagu川などの諸河川により深く開析されているため、急な斜面の一部には、地すべり地形や崩壊地形が認められる。

最適計画地点として選定されたNaradaw地点は、Liwagu川またはMesilau川沿いに計画されている。

7.2.2 地質

(1) サバ州北部

サバ州北部の層序図をTable 7-3に、広域地質図をFig. 7-1に示す。

サバ州北部の最も古い地層は、三疊紀 (Triassic) またはそれ以前に形成された変成岩類である。これらの変成岩類は、ボルネオ島で最も古く crystalline basement と呼ばれている。これらは、Kinabalu山周辺やLabuk川の一部に分布する。白亜紀から中新世初期にかけては北西ボルネオ地向斜の厚い堆積岩類が crystalline basement に不整合に覆った。それらは、サバ州北部に広く分布し主要な山地を構成している。中新世中期から鮮新世にかけては超塩基性岩が上記の堆積岩中に併入し、さらに深成岩活動、火山活動と続いた。これらの火成岩類は、Kinabalu山地域やTelupid周辺などに分布する。そして、第四紀初頭には、ほぼ現在に近い山地が形成されたと考えられている。

(2) Ranau地域

計画地点のあるRanau地域は三疊紀 (Triassic) またはそれ以前の変成岩、第三紀の堆積岩や火成岩、第四紀の新しい堆積物から構成されている。これらの地質を古い方から順に述べると次の通りである。

片麻岩類： 三疊紀 (Triassic) またはそれ以前に形成されたボルネオ島で最も古い基盤岩で、片麻岩および片岩からなる。Kinabalu山周辺に局所的に分布する。

堆積岩類： 第三紀 (Tertiary) 暁新世 (Paleocene) から中新世 (Miocene) にかけて形成されたTrusmadi層およびCrocker層と呼ばれる砂岩、粘板岩、頁岩、シルト岩および泥岩から構成される。これらは、片麻岩類を不整合に覆いRanau地域に広く分布する。堆積後の火成岩類の貫入や造山運動により、本層中には褶曲や断層が発達している。

火成岩類： 上記の地層に中新世 (Miocene) に貫入した蛇紋岩、斑岩、花崗閃緑岩およびアダメライトなどからなる。アダメライトは、Kinabalu山の山体の大部分を構成している。

第四紀堆積物 (更新世)：更新世 (Pleistocene) に形成されPinosuk礫層と呼ばれる砂礫層である。Pinosuk礫層は、火成岩類および堆積岩類を不整合

に覆っており、Pinosuk Plateauと呼ばれる高原を構成している。円礫、砂およびシルトからなり、Kinabalu山の周水河作用によって形成された堆積層とされている。

第四紀堆積物（完新世）：完新世（Holocene）に形成された段丘堆積物、河川堆積物、コルビウムおよび崖錐堆積物などから構成される。段丘堆積物および河川堆積物は、Trusmadi層、Crocker層およびPinosuk礫層を不整合に覆ってLiwagu川やMesilau川などの主要河川に沿って分布している。円礫、砂およびシルトからなり、直径が5 mを越えるアダメライトの円礫を多く含む。

計画地点は、Fig. 7-2の地質図に示す通り、Crocker層の基盤とそれを覆う第四紀堆積物から構成される。

計画地点のCrocker層の主要な構造方向は、西北西～東南東方向である。

Table 7-3 Stratigraphy of Northern Sabah

AGE		NORTHERN SABAH		
		Labuan-Klias Crocker Range Sapulut, Ranau	Kudat Banggi	Labuk Valley Upper Kinabatangan
QUATERNARY	HOLOCENE	ALLUVIUM	ALLUVIUM	ALLUVIUM
	PLEISTOCENE	PINOSUK GRAVELS	TERRACE	
TERTIARY	PLIOCENE	LIANG FORMATION (ln)	TIMOHING FORMATION (th)	
		BELAIT FORMATION (be)	BONGAYA FORMATION (bg) with BALAMBANGAN LIMESTONE MEMBER (bl)	BONGAYA FORMATION (by)
	MIOCENE	SETAP SHALE FORMATION (s)	SOUTH BANGGI FORMATION (sb)	TANJONG FORMATION (tj) and KALABAKAN FORMATION (kl)
		MELIGAN FORMATION (mg)		
	OLIGOCENE	TEMBURONG FORMATION (tm)		SPILITE, LABUK VALLEY
		WEST CROCKER FORMATION (wc)	CROCKER FORMATION (c) (undifferentiated)	KULAPIS FORMATION (ku)
	EOCENE	EAST CROCKER FORMATION (ec)		CROCKER FORMATION (c) (undifferentiated)
		TRUSMADI FORMATION (tr)	CHERT - SPILITE FORMATION (cs)	
	PALEOCENE	SAPULUT FORMATION (sp)		CHERT-SPILITE FORMATION (cs)
	MESOZOIC	CRETACEOUS		
TRIASSIC				

	Sandstone and shale mostly of flysch type		Limestone		Mainly shale
	Chert		Sandstone and shale with some coal seams		Spilite
	Tuff, tuffite		Slump deposits		Gravel
	Metamorphic rocks		Unconformity		Gravel and sand

Note : This table is compiled and modified from " ANNUAL REPORT 1988, GEOLOGICAL SURVEY OF MALAYSIA "

7.3 計画地域の地質

Fig. 7-2に計画地域の地質図を示す。

7.3.1 地形概要

計画地域はRanau町西方6kmのLiwagu川とMesilau川の合流点より上流域に位置する。この地域は、標高840~1440mの山地の地形をなしている。この中をLiwagu川は、西北西から東南東へ、Mesilau川は、北西から南東または北から南へ流下し、Naradau村南方で合流している。計画地域でのLiwagu川の平均的な河川勾配は、約1/19、Mesilau川の河川勾配は、約1/15である。Liwagu川とMesilau川の川幅は一般に15~25mである。尾根と谷底の比高は、100~500mである。斜面は、一般に20~45度の傾斜を示し、斜面の一部には、古い崩壊地および新しい崩壊地が認められる。

7.3.2 地質概要

計画地域は、第三紀のCrocker層と呼ばれる堆積岩とこれを覆う第四紀のPinosuk礫層段丘堆積物、コルビウム、地すべり堆積物、崖錐堆積物および現河床堆積物から構成される。

Crocker層は、フレッシュ相の砂岩、頁岩、シルト岩および泥岩よりなり、これらは互層をなす。本層は、スランプ構造、褶曲および小断層が発達する。本層の走向・傾斜は、Liwagu川とMesilau川の合流点付近ではN 70° E 20° Sを示す。

Pinosuk礫層は、Crocker層を不整合に覆う砂礫層で、標高900~1200mより上方の尾根に分布する。

段丘堆積物および河床堆積物はCrocker層とPinosuk礫層を不整合に覆ってLiwagu川とMesilau川に沿って分布する。これらの堆積物は、 ϕ 30~200cmの円礫を主体としており ϕ 5m以上の円礫も多く分布している。

コルビウム、地すべり堆積物および崖錐堆積物は、中腹あるいは山麓に広く分布している。なお、これらの堆積物は、正確な分類が困難なため、添付図には、区分せずまとめて示した。

7.4 計画地点の地質

7.4.1 Liwagu取水設備地点

Liwagu取水設備地点の地質図をFig. 7-3に示す。

(1) 地形

Liwagu取水設備地点は、Liwagu川とMesilau川の合流点から北西方2.7kmのLiwagu川に位置する。この付近のLiwagu川は、西から東へ流下している。ダム地点の河床標高は、1,048m、川幅は約20m、河川勾配は約1/10である。左岸は、比高約1～2m、幅約20mの段丘面を経て傾斜38°から40°の急斜面となっている。ヘッドポンドはこの左岸段丘面上に設けられる計画である。右岸は、比高約2～3m、幅約5mの段丘面を経て傾斜30°から42°の急斜面となっている。ダム地点の右岸直下流約25mには、小さな沢がある。

取水設備周辺の段丘面および斜面は、右岸上流部を除き原生林からなっている。洪水痕跡は、植生状態からすると現河床より1～2mの高さまで確認した。また、取水設備周辺斜面には、大規模な地すべりは認められない。

(2) 地質

Liwagu取水設備地点は、Fig. 7-3に示す通り、基盤のCrocke層とそれを被う現河床堆積物、段丘堆積物、コルビウムおよび崖錐堆積物が分布する。

取水設備地点周辺は、基盤の露頭が見られず、基盤は、現河床堆積物、段丘堆積物およびコルビウムに被われている。この付近の基盤露頭は、少なく、下流の右岸の一部に露頭しているのみである。この露頭での走行傾斜は、N 50° W35° Sである。ダム地点の上流約30mの調査ボーリング結果によると、基盤は、河床下0.8～3m以深に分布し、砂岩から構成されている。この砂岩は、無層理かつ硬質であるものの節理などの不連続面の発達が顕著である。これらの不連続面は、風化による酸化変色が著しい。断層は、調査ボーリングLT-1孔においては小規模な2条の断層を確認している。動的貫入試験による砂岩のNd値は、50以上である。また、パッカー法での透水係数は $5.8 \times 10^{-4} \sim 8.9 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ であった。なお、削孔後の孔内水位はLI-1孔で深度0.097m、LT-2孔で深度4.60mであった。LT-2孔の孔内水位がLiwagu川の水面より低い理由については基盤岩中の不連続面（亀裂）に地下水の水みちがあり部分的に地下

水位が低くなっていると推定される。

ダム地点の現河床堆積物は、 $\phi 10\text{cm}\sim 300\text{cm}$ の円礫を主として構成されている。ダム地点直下流には、 $\phi 5\text{m}$ を越えるアダメライトの巨大礫が点在している。調査ボーリング結果によると現河床堆積物の厚さは、 $0.8\sim 3\text{m}$ であり、ダム地点でも同様の厚さをもつと推定される。Nd値は、50以上であり、末端開口法での透水係数は、 $1.1\times 10^{-2}\text{cm/sec}$ であった。ダム地点両岸およびヘッドポンド地点に分布する段丘堆積物は、現河床堆積物と同様に $\phi 10\text{cm}$ 以上の円礫を主として構成されている。その厚さは $1\sim 4\text{m}$ 程度と推定される。

斜面に分布するコルビウムおよび崖錐堆積物は、斜面上部から崩落あるいは移動した $\phi 1\sim 10\text{cm}$ の角礫を主として構成されている。その厚さは、 $2\sim 3\text{m}$ 以上と推定される。

(3) 土木地質的評価

これまでの各種地質調査結果に基づくLiwagu取水設備地点の土木地質的評価は、次の通りである。

- 取水ダムは、河床堆積物や段丘堆積物などの砂礫層と基盤岩のCrocker層を基礎にすると推定される。これらの堆積物や基盤岩は、その性状からして高さ数mの取水ダムの基礎として十分な耐荷力を持つと考えられる。また、ヘッドポンドについては、段丘堆積物を基礎とすることができるだろう。
- 取水ダムの基礎となる河床堆積物や段丘堆積物などの砂礫層やクロッカー層は、全般に透水性が高い。また、Crocker層中にはLiwagu川の水面より地下水位の低い部分が認められた。このため、ダムの設置にあたっては、その保水性についての検討を行う必要があるだろう。
- 取水設備地点周辺の斜面には、コルビウムないし崖錐堆積物によって覆われているが、斜面上には変状等は認められず安定状態にある。また、取水ダム設置にあたっては、斜面上の切り取り掘削はほとんど無いこと、取水による斜面基部の地下水水位上昇も $0\sim 2\text{m}$ と少ないことから、斜面の安定に与える影響は軽微であり、現状の植生や河道が現状に近い状態で維持される限り斜面の安定は確保できると考えられる。

7.4.2 Mesilau取水設備地点

Mesilau取水設備地点の地質図をFig. 7-4に示す。

(1) 地形

Mesilau取水設備地点は、Liwagu川とMesilau川の合流点から北方1.7kmのMesilau川に位置する。取水設備付近のMesilau川は、蛇行しながら北から南へ流下している。取水ダム地点の河床標高は1,035m、川幅は約30m、河川勾配は約1/11である。左岸は、比高約2～6mの段丘面が広がっている。右岸は、比高約2～6m、幅約15mの段丘面を経て傾斜18°から40°の急斜面となっている。ヘッドポンドは、右岸段丘面上に設けられる計画である。

取水設備周辺の段丘面および斜面は、原生林からなっている。洪水痕跡は、植生状態からすると現河床より1～2mの高さまで確認した。また、取水設備周辺斜面には、地すべりは認められなかった。

(2) 地質

Mesilau取水設備地点は、Fig. 7-4に示す通り、更新世のPinosuk礫層とそれを被う完新世の現河床堆積物、段丘堆積物、崖錐堆積物が分布する。

取水設備地点周辺は、Pinosuk礫層の露頭が見られず、現河床堆積物、段丘堆積物および崖錐堆積物に被われている。ダム地点の調査ボーリング結果によると、Pinosuk礫層は河床下5.5～6.3m以深に分布し、 $\phi 6 \sim 50\text{cm}$ の角礫から亜角礫を主とする淘汰の悪い不均質な礫層である。礫は、砂岩礫からなり、マトリックスは、砂およびシルトからなり、わずかに固結している。Pinosuk礫層のNd値は、50以上であり、末端開口法での透水係数は、 $4.0 \times 10^{-4} \sim 8.3 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ であった。なお、削孔後の孔内水位は、LI-3孔で深度1.37m、LT-4孔で深度1.38mであった。

取水ダム地点の現河床堆積物は、 $\phi 10 \sim 300\text{cm}$ の円礫を主として構成されている。ダム地点周辺には、 $\phi 5\text{m}$ を越えるアダメライトの巨大礫が点在している。調査ボーリング結果によると、現河床堆積物の厚さは、5.5～6.3mである。末端開口法での透水係数は、 $3.6 \times 10^{-3} \sim 1.7 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ であった。

取水ダム両岸およびヘッドポンド地点に分布する段丘堆積物は、現河床堆積物と同様に $\phi 10 \sim 300\text{cm}$ の円礫を主として構成されている。Pinosuk礫層までの厚さは7～

10m程度と推定される。

斜面に分布する崖錐堆積物は、斜面上部から崩落したφ5～200cmの礫を主として構成されている。その厚さは、2～5m以上と推定される。

これらの地層中には、断層はみられない。

(3) 土木地質的評価

これまでの各種地質調査結果に基づくとMesilau取水設備地点の土木地質的評価は、次の通りである。

- 取水ダムは、その規模から見て、河床堆積物や段丘堆積物の砂礫層を基礎にすることができると考えられる。また、ヘッドポンドについては、段丘堆積物を基礎とすることが可能であろう。
- 取水ダム基礎となる河床堆積物や段丘堆積物などの砂礫層は透水性が高い。このため、ダムの設置にあたっては、その保水性についての検討を行う必要がある。
- 取水設備周辺の斜面には、崖錐堆積物が分布しており、現状の斜面は、変状等は認められず安定状態にある。また、取水ダム設置にあたっては、斜面上の切り取り掘削は無いこと、取水による斜面基部の地下水水位上昇もほとんど無いことから、斜面の安定に与える影響は軽微であり、現状の植生や河道が現状に近い状態で維持される限り斜面の安定は確保できると考えられる。

7.4.3 Liwaguパイプラインルート

Liwaguパイプラインルートの地質図をFig. 7-2に示す。

(1) 地形

Liwaguパイプラインルートは、Liwagu取水設備地点よりNaradau村北方の尾根頂部に至るルートで、その全長は、約2.7kmである。このパイプラインは、主としてLiwagu川左岸の標高1,046～1,022mの山腹部を通過する。このパイプラインの通過する斜面は、Liwagu川とMesilau川に挟まれた南東に延びる尾根の南東斜面であり、最大50°～20° 平均25°～30°の傾斜をもつ。尾根の上部は開墾され畑および人家が散在する。ルート周辺の斜面の一部には、新しい崩壊地が認められるほか古い崩壊地も認められる。パイプラインルート上には、新しい崩壊地が一箇所確認された。この

新しい崩壊地はLiwagu取水設備地点より下流約0.2kmにあり、幅25m高さ25mの規模をもっている。

(2) 地質

Liwaguパイプラインルートは、Fig. 7-2に示す通り、基盤のCrocker層とそれを被うPinosuk礫層、コルビウム、崖錐堆積物及び地すべり堆積物が分布する地域を通過する。

パイプラインルートのうち上流側約1.6km区間は、一部Pinosuk礫層が分布する以外はコルビウム、崖錐堆積物および地すべり堆積物が分布する。下流側約1.1kmの区間は、基盤のCrocker層が分布する。

このパイプライン通過地域のコルビウム、崖錐堆積物および地すべり堆積物は、斜面上部から崩落あるいは移動して山麓に厚く堆積している場合が多い。これらの堆積物は、主に ϕ 1~20cmの角礫と砂およびシルトを主として構成されている。角礫は、主としてCrocker層の風化砂岩からなる。

パイプライン通過地域のPinosuk礫層は、Liwagu取水設備地点下流約0.8kmの標高1,040m付近に小規模に分布している。Pinosuk礫層は、 ϕ 30cm以上のアダメライトの円礫の多く含む礫層である。

Liwagu川の河岸と道路沿いには、Crocker層の露頭が見られる。本地域では、基盤岩類の露頭状態は全般に良くない。露頭でのCrocker層は、砂岩、頁岩、シルト岩および泥岩の互層から構成される。本層は、フリッシュ相を示し、スランプ褶曲やスランプ角礫岩等のスランプ構造が認められる。小規模な走向断層は認められるものの連続性のある大規模な断層は確認していない。この地域の地層はNW-SEまたはNWN-SESの走向、 20° から 60° NまたはS傾斜している。Crocker層の走向・傾斜は、スランプによる変形や褶曲が激しいことさらに、斜面部では、クリープによる変形も加わっているため変化が顕著である。本層は、一般に亀裂の発達および風化による劣化が著しい。

(3) 土木地質的評価

これまでの地質調査結果に基づくと、Liwaguパイプラインルートの土木地質的評価は、次の通りである。

- Liwaguパイプラインルートが計画されている斜面は、現状の地形、地質および植生状態では、大部分の区間で安定状態にあると推察される。ただし、Liwagu取水設備地点より下流約0.2kmパイプラインルート上には、新しい崩壊地が一箇所確認された。この崩壊地の規模は、幅25m高さ25mである。この崩壊地は、規模が小さく計画の推進を不可能とするような崩壊地ではないが、パイプラインの設計に際しては、この崩壊地の存在に留意する必要がある。
- Liwaguパイプラインは、主として急峻な山腹斜面を通るルートが計画されている。このため、道路設置にあたっては、斜面の不安定化を避けるため、斜面上での切り取り掘削を少なくするとともに、法面の保護対策をはかるとともに雨水の排水設備等を適切に設ける必要がある。
- パイプラインの設置にあたっては、パイプラインの不等沈下などの変形を極力避けるため、十分に締まった支持地層までサドルを打ち込む必要がある。

7.4.4 Mesilauパイプラインルート

Mesilauパイプラインルートの地質図をFig. 7-2に示す。

(1) 地形

Mesilauパイプラインルートは、Mesilau取水設備地点よりNaradau村北方の尾根頂部に至るルートで、その全長は、約1.0kmである。このパイプラインは、主としてMesilau川右岸の標高1,036~1,022mの山腹部を通過する。このパイプラインは、Liwagu川とMesilau川に挟まれた南東に延びる尾根の北東側斜面上を通る。その斜面は、最大45°~15°、平均25°~30°の傾斜をもつ。その周辺の尾根の上部および山腹は、開墾され畑となっている。パイプラインルートの下流区間の一部は、畑の中を通過する。ルート周辺の斜面には、明瞭な崩壊地形が認められない。

(2) 地質

Mesilauパイプラインルート通過地域には、Fig. 7-2に示す通り、Crocker層、段丘堆積物コルビウムおよび崖錐堆積物が分布する。

パイプラインルートのうち上流側約0.8km区間は、上流側より下流側に向かって順次、段丘堆積物、コルビウムおよび崖錐堆積物が分布する。下流側約0.2km区間は、

主としてCrocker層が分布する。

段丘堆積物には、 $\phi 10\sim 300\text{cm}$ の円礫が含まれている。

コルビウムおよび崖錐堆積物は、斜面上部から崩落あるいは移動して山麓に厚く堆積している。これらの堆積物は、主として $\phi 1\sim 10\text{cm}$ の礫、砂およびシルトから構成されている。

Crocker層は、ルート沿いでは露頭せず、Mesilau川の河岸の一部に露頭している。ルート沿いでのCrocker層は、Mesilauパイプラインルートと同様に砂岩、頁岩、シルト岩および泥岩の互層から構成されると推定される。本地域では、連続性のある大規模な断層は確認されていない。

(3) 土质地質的評価

これまでの地質調査結果に基づくと、Mesilauパイプラインルートの土质地質的評価は次の通りである。

- Mesilauパイプラインルートの計画されている斜面は、現状の地形、地質および植生状態では、安定状態にあると推察される。
- Mesilauパイプライン沿う道路設置にあたっては、急な山腹斜面を通る部分については、斜面の不安定化を避けるため、極力斜面上での切り取り掘削を少なくするとともに法面の保護対策をはかるとともに雨水の排水設備等を適切に設ける必要がある。
- パイプラインの設置にあたっては、パイプラインの不等沈下などの変形を極力避けるため、十分に締まった支持地層までサドルを打ち込む必要がある。

7.4.5 水圧鉄管路ルート

水圧鉄管路ルートの地質図をFig. 7-5に示す。

(1) 地形

水圧鉄管路は、LiwaguパイプラインルートおよびMesilauパイプラインルートの合流点から発電所に至るルートが計画され、その全長は、780mである。水圧鉄管路ルートは、Liwagu川とMesilau川に挟まれた尾根の南端の標高1,027mから854m間に位置する。水圧鉄管路ルート通過斜面は、 $2^{\circ}\sim 32^{\circ}$ 平均 20° の傾斜をもち、その

背後の尾根は、牧草地、畑および人家があり、土地利用がなされている。水圧鉄管路ルート周辺の急斜面上には、古い崩壊地形が認められる。

(2) 地質

水圧鉄管路ルート通過地域は、Fig. 7-5に示す通り、基盤岩のCrocker層とそれを被う段丘堆積物、コルビウムおよび崖錐堆積物が分布する。

水圧鉄管路ルート上では、コルビウムおよび崖錐堆積物が、標高1,030mから1,000mの間と標高980から945mの間に分布する。これらコルビウムおよび崖錐堆積物は、主としてCrocker層からもたらされた $\phi 1 \sim 10$ cmの角礫、砂およびシルトから構成されている。そのうち角礫は、主として風化砂岩からなる。LP-1孔とLP-2孔の調査ボーリング結果によると、コルビウムおよび崖錐堆積物の厚さは、1.9~4.6mである。これら堆積物のN値は、9~24であり、末端開口法での透水係数は、 $1.2 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-4}$ cm/secであった。

Crocker層は、水圧鉄管路ルート近傍では、標高970m付近と標高946m付近の斜面上に露頭している。ここでのCrocker層の層理面は、B-W走向で $20^{\circ} \sim 32^{\circ}$ 北へ傾斜する。露頭でのCrocker層は、砂岩、頁岩、シルト岩の互層から構成される。これらは、全般に破碎し亀裂の発達および風化による劣化が著しい。また、調査ボーリング結果によるとCrocker層のN値は、13~50以上を示す。とくに、シルト岩のN値は、13~27を示し、砂岩より低いN値となっている。パッカー法での透水係数は、 $6.4 \times 10^{-5} \sim 5.0 \times 10^{-4}$ cm/secであった。削孔後の孔内水位は、LP-1孔で深度17.63m、LP-2孔で深度8.37mであった。本地点では、連続性のある大規模な断層は確認されていない。

水圧鉄管路ルート末端に分布する段丘堆積物は、主として $\phi 10 \sim 300$ cmの円礫から構成される。段丘面上には、 $\phi 5$ mを越えるアダメライトの円礫が点在している。

(3) 土木地質的評価

これまでの地質調査結果に基づくと、水圧鉄管路ルートの土木地質的評価は、次の通りである。

- 水圧鉄管路ルートが通る尾根部の斜面は、地下水位が低く、現状の植生状態および土地利用では安定状態にあり、水圧管路の設置は、可能と考えられる。

- 水圧鉄管路の固定台、小支台の設置にあたっては、尾根部は、深部まで低いN値あることから、固定台の安定を確保するため十分に締まった地層まで掘削あるいは杭を打ち込む必要がある。

7.4.6 発電所地点

発電所地点の地質図をFig. 7-5に示す。

(1) 地形

発電所地点は、Liwagu川およびMesilau川の合流点より100m上流のLiwagu川左岸段丘面上に位置している。この段丘面は、現河床面と4～6mの比高をもつ。

(2) 地質

発電所地点には、Fig. 7-5に示す通り、段丘堆積物が分布する。

水圧管路ルート末端に分布する段丘堆積物は、主としてφ10～300cmの円礫から構成され、φ5mを越えるアダメライトの円礫が点在している。調査ボーリングLP-3孔の結果によると、N値は、8～50以上を示しバラツキが大きい。基盤のクロッカー層までの深さは17.1mであった。

(3) 土质地質的評価

これまでの地質調査結果に基づくと、発電所地点の土质地質的評価は次の通りである。

- 発電所地点には、段丘堆積物が分布しているが、その段丘堆積物は、小規模な発電所の基礎地盤としては十分な耐荷力を持つと考えられる。

7.5 地震

本項は、計画地域の地震に関連する地質構造および地震活動性について述べる。

7.5.1 地質構造

ボルネオ島は、古生代二畳紀から中生代ジュラ紀のインドシナ造山運動と中生代白亜紀から第四紀のヒマラヤ造山運動によって骨格が形成された。インドシナ造山運動により形成された古い地層は、スンダ陸棚 (Sunda Shelf) の一部をなしボルネオ島南西部に分布する。一方、ヒマラヤ造山運動によって形成された新しい地層は、サラワク州からサバ州を含むボルネオ島北東部に広く分布する。この新しい地層は南東から北西方向に配置する。計画地域は、北西ボルネオ地向斜と呼ばれる白亜紀から第三紀に形成された堆積岩類中に位置する。この地域は、第三紀中新世から鮮新世にかけての超塩基性岩および酸性岩の貫入により褶曲や断層が発達した。第四紀初頭には、Kinabalu山を初めとしてほぼ現在に近い山地が形成された。

一方、プレートテクトニクス論から見ると、ボルネオ島は、ユーラシアプレート (スンダ陸棚 Sunda Shelf) の南東部にあり、南方をインドプレート、東方をフィリピン海プレートで境されている。ボルネオ島の北東部は、インドプレートおよびフィリピン海プレートのユーラシアプレート (スンダ陸棚 Sunda Shelf) への沈み込みによって形成された隆起帯の一部を構成している。計画地域を含むサバ州の中央部から南東部は、白亜紀から第三紀の堆積岩類中にオフィオライトが見られる。このオフィオライトは、スルー海の海洋プレートがボルネオ島南東部のユーラシアプレートに押し上げられたオブダクションスラブと考えられている。

7.5.2 地震

ボルネオ島は、フィリピン島弧から800km以上、インドネシア島弧より500km以上離れている。このため、ボルネオ島の地震は、フィリピン島弧やインドネシア島弧に比べて少ない。Fig. 7-6およびFig. 7-7に世界の地震分布図を示す。

マレー半島やボルネオ島南西部は、ユーラシアプレートの一部であるスンダ陸棚 (Sunda Shelf) の一部をなし、構造的に安定 (Stable) な地域である。一方、Sabah州を含むボルネオ島北東部は、地質構造運動のやや活発 (Moderately active) な地域である。マレーシアのSeismotectonic setting mapをFig. 7-8に示す。

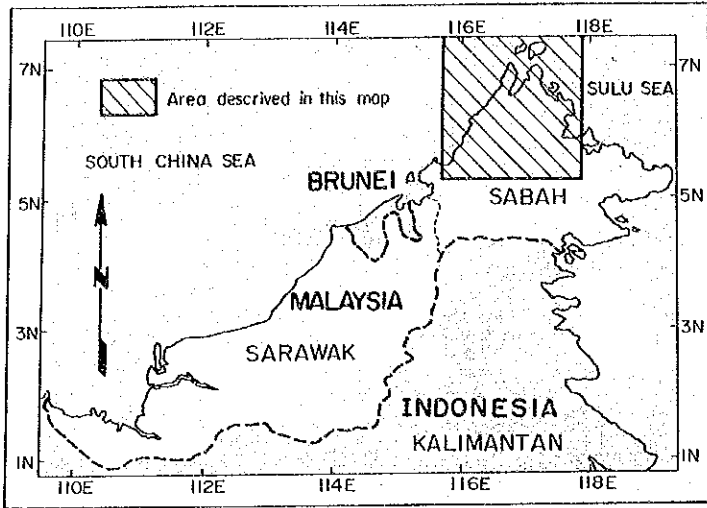
サバ州の地震記録 (Seismological data of earthquakes) は、1897年より1991年までに51回の地震が記録されている。これらの記録はAppendix 2に添付した。Modified Mercalli Scaleによる観測最大震度階分布図 (Maximum observed intensity map, 1875-1983) をFig. 7-9に、また、サバ州の震央分布図をFig. 7-10に示す。これらに示されるように、サバ州の地震は、マグニチュード 4~5.9の規模で、70kmより浅い地震が卓越している。

計画地点のあるRanau地域では、これまでに5回の地震記録がある。Ranau地域の最近の地震としては、1991年 5月26日の18:59と19:17に発生した2つの地震がある。前者は、マグニチュード 5.2の地震で、震央がRanau町の南東約21kmに位置し、震源の深さ約33kmであった。後者は、マグニチュード 5.1地震で、震央がRanau町の南東約14kmに位置し、震源の深さ約33kmであった。これらのRanau地域の震度階 (Modified Mercalli Scale)は、V~VIIであった。この地震の被害としては、Ranau町のビルディングの柱や壁に亀裂の発生が報告されている。この地震は、Ranau地域でのこれまでに観測された地震では1966年 5月18日の地震 (マグニチュード 5.3) に次ぐ規模であった。

Geological References

1. Geological Survey Department British Territories in Borneo. The Geology and Mineral Resources of the Jesselton-Kinabalu Area, North Borneo. 1958
2. Geological Survey Malaysia. Gunong Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. 1970
3. Geological Survey of Malaysia. Annual Report 1985. 1986
4. Geological Survey of Malaysia. Annual Report 1988. 1989
5. Geological Survey of Malaysia. Geological Map of Sabah, 1/500,000. 1985
6. Akiyama, Yoshio. Ore-genesis and Conceptual Model of Ore Target Criteria of the Mamut Porphyry Copper Deposit, Sabah, Malaysia. 1987
7. National Astronomical Observatory of Japan. Distribution of Earthquake Epicenters in the World. 1990
8. Southeast Asia Association of Seismology and Earthquake Engineering. Seismotectonic Setting Map of Malaysia. 1985
9. Lim Pen Siong and Paulus Godwin. Report on Damages Caused by the 26 May 1991 Earthquake. 1991

LOCATION MAP



Note: This map is compiled from "GEOLOGICAL SURVEY OF MALAYSIA (1985); GEOLOGICAL MAP OF SABAH"

LEGEND

SEDIMENTARY AND SEDIMENTARY-VOLCANIC ROCKS

- RECENT Coastal and riverine alluvium
- PLEISTOCENE Terrace sand, gravel and (a) coral
- PLIOCENE - PLEISTOCENE Sand, clay, conglomerate with abundant lignite, tignitic clay; poorly consolidated. Limestone, marl, sandstone, clay
- MIDDLE MIOCENE - PLIOCENE Sandstone, mudstone, siltstone, shale, conglomerate and lignite with minor limestone and tuff
- EARLY MIOCENE - MIDDLE MIOCENE Mudstone, sandstone, siltstone, conglomerate, minor limestone and lignite
- OLIGOCENE - MIDDLE MIOCENE Slump breccia and sequences of interbedded mudstone, tuff, luffaceous sandstone, shale, conglomerate with minor chert and limestone
- OLIGOCENE Sandstone, shale, mudstone, siltstone, conglomerate and limestone. Rhythmic alternations of siltstone and shale with rare limestone
- EOCENE-OLIGOCENE Red calcareous sandstone and shale. Flysch-type sandstone, shale, siltstone with rare tuff, limestone, breccia and agglomerate
- PALAEOCENE - EOCENE Shale and phyllite with some siltstone and sandstone; weak regional metamorphism
- LATE CRETACEOUS - LATE EOCENE Mudstone with some sandstone, conglomerate and limestone
- CRETACEOUS - EOCENE Sandstone, chert, conglomerate, volcanic breccia, agglomerate, basalt, spilite

IGNEOUS AND METAMORPHIC ROCKS

- LATE MIOCENE - PLIOCENE Adamellite and granodiorite
- CRETACEOUS - EARLY TERTIARY Gabbro, dolerite

CRYSTALLINE BASEMENT

- TRIASSIC AND/OR EARLIER Gneiss, schist, amphibolite and associated granite, granodiorite and tonalite

- Chronologic boundary
- Intrusive and extrusive boundary
- Formation boundary
- Fault
- Synclinal axis with plunge
- Anticlinal axis with plunge
- Structural trend or strike ridge



SMALL SCALE HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT AT UPPER LIWAGU RIVER BASIN

REGIONAL GEOLOGICAL MAP

FIGURE 7-1

