

マレーシア国

サラワク小水力発電開発計画

調査報告書

第五卷

ムダミット-2 水力発電開発計画

補遺書

昭和63年7月

国際協力事業団

|           |
|-----------|
| 鉦計資       |
| C/26      |
| 88-94-5/8 |

国際協力事業団

18355

マレーシア国

# サラワク小水力発電開発計画

## 調査報告書

第五卷

ムダミット-2 水力発電開発計画

補遺書

JICA LIBRARY



1069447[E9]

18355

昭和63年7月

国際協力事業団

## 報告書の構成

### 和 文

|     |                     |
|-----|---------------------|
| 第一卷 | ムコ水力発電開発計画主報告書      |
| 第二卷 | ムコ水力発電開発計画補遺書       |
| 第三卷 | ムコ水力発電開発計画資料集       |
| 第四卷 | ムダミット-2水力発電開発計画主報告書 |
| 第五卷 | ムダミット-2水力発電開発計画補遺書  |
| 第六卷 | ムダミット-2水力発電開発計画資料集  |
| 第七卷 | サラワク小水力開発地点選定       |
| 第八卷 | サラワク小水力開発地点選定補遺書    |
|     | 要約報告書               |

### 英 文

|             |   |
|-------------|---|
| Volume I    | Main Report for Feasibility Study on Mukoh Hydroelectric Power Project                |
| Volume II   | Appendix for Feasibility Study on Mukoh Hydroelectric Power Project                   |
| Volume III  | Data Book for Feasibility Study on Mukoh Hydroelectric Power Project                  |
| Volume IV   | Main Report for Feasibility Study on Medamit-2 Hydroelectric Power Project            |
| Volume V    | Appendix for Feasibility Study on Medamit-2 Hydroelectric Power Project               |
| Volume VI   | Data Book for Feasibility Study on Medamit-2 Hydroelectric Power Project              |
| Volume VII  | Main Report for Identification of Small Scale Hydroelectric power Projects in Sarawak |
| Volume VIII | Appendix for Identification of Small Scale Hydroelectric power Projects in Sarawak    |

# 目 次

付 録 - I 地 質 調 査

付 録 - II 材 料 調 査

付 録 - III 水 文 解 析



付 録 - I

地 質 調 査





# 目 次

|                         | 頁      |
|-------------------------|--------|
| 1 緒 言 .....             | I - 1  |
| 2 地 質 概 要 .....         | I - 2  |
| 2.1 概 要 .....           | I - 2  |
| 2.2 地 形 .....           | I - 2  |
| 2.3 広 域 地 質 .....       | I - 2  |
| 3 地 震 .....             | I - 4  |
| 3.1 概 要 .....           | I - 4  |
| 3.2 計画地点周辺の地震記録 .....   | I - 4  |
| 3.3 地震係数の提案 .....       | I - 6  |
| 4 地 質 調 査 .....         | I - 7  |
| 4.1 コアボーリング .....       | I - 7  |
| 4.2 現場透水試験 .....        | I - 8  |
| 4.3 標準貫入試験 .....        | I - 9  |
| 4.4 地 震 探 査 .....       | I - 10 |
| 5 計画地点の地質と地質工学的評価 ..... | I - 12 |
| 5.1 代替案 - 1 .....       | I - 12 |
| 5.1.1 ダムおよび発電所 .....    | I - 12 |
| 5.2 代替案 - 2 .....       | I - 15 |

|       |           |       |      |
|-------|-----------|-------|------|
| 5.2.1 | 水路        | ..... | I-15 |
| 5.2.2 | 発電所       | ..... | I-16 |
| 5.3   | 代替案-3     | ..... | I-16 |
| 5.3.1 | 水路        | ..... | I-16 |
| 5.3.2 | 発電所       | ..... | I-18 |
| 6     | 今後の調査への提言 | ..... | I-20 |

参考文献

## 添 付 図 一 覧 表

| 図 番    |                            | 頁      |
|--------|----------------------------|--------|
| 図 I -1 | 地質調査位置図 .....              | I - 22 |
| 図 I -2 | ムダミットー 2 地点周辺の地質図 .....    | I - 23 |
| 図 I -3 | ムダミットー 2 地点の地質図(1/2) ..... | I - 24 |
| 図 I -3 | ムダミットー 2 地点の地質図(2/2) ..... | I - 25 |
| 図 I -4 | サラワク・サバにおける震源位置図 .....     | I - 26 |
| 図 I -5 | ムダミットー 2 地点のルジオン試験結果 ..... | I - 27 |
| 図 I -6 | ムダミットー 2 地点の標準貫入試験結果 ..... | I - 28 |
| 図 I -7 | ダム軸の地質断面図 .....            | I - 29 |
| 図 I -8 | 水路沿いの地質断面図 .....           | I - 30 |
| 図 I -9 | 水圧管路～発電所の地質断面図 .....       | I - 31 |



## 1. 緒 言

ムダミットー2計画では1987年6月から7月にかけての約2ヶ月間現地調査が実施された。本付録-1は計画地点の地質状況について現地調査結果に基づいて述べられている。

計画地点の地質は、地表踏査、コアボーリング、標準貫入試験、透水試験および弾性波探査等の調査を実施して調べたものである。

調査数量を以下に示す。

| 調査項目      | 数                   | 量             |
|-----------|---------------------|---------------|
| 地 表 踏 査   | 4.36km <sup>2</sup> | 縮 尺 1 : 5,000 |
| ”         | 0.25km <sup>2</sup> | ” 1 : 500     |
| コアボーリング   | 延長 150.41 m、        | 7ヶ所           |
| 標準貫入試験    | 延 47回               | 6 孔           |
| 透 水 試 験   | 延 8ステージ             | 3 孔           |
| 弾 性 波 探 査 | 延長 1,725m           | 7 測線          |

ボーリング地点と弾性波探査測線の位置を図I-1地質調査位置図に示した。調査検討しやすいように、ダム、水路および発電所の3つの区域に区分した。コアボーリングと弾性波探査等の現地調査は以下に示すように実施された。

地表踏査はSESCOの依頼により、サラワク地質調査所で実施された。

コアボーリング（標準貫入試験、透水試験を含む）はSESCO社員とJICA専門家の監理下で請負業者（Geo Technique East Malaysia PTE）が実施した。

弾性波探査はSESCOの社員とJICA専門家の監理下で下請負業者（Strata Recon Sdn. Bhd）が実施した。

## 2. 地質概要

### 2.1 概要

サラワク州は赤道直下の北緯 $0^{\circ}50' - 5^{\circ}00'$ 、東経 $109^{\circ}36' - 115^{\circ}40'$ の範囲でボルネオ島の北西海岸に沿った面積 $124,000\text{km}^2$ を有し、北でブルネイとサバ州、南でカリマタン（インドネシア共和国）と境界をなしている。

サラワクの地形は $700\text{km}$ におよぶ沖積海岸平野と東部の山岳地帯で特徴づけられる。サラワクのほとんどの市や町はこの第四紀の海岸平野に散在している。山岳地帯の地質は主に古生代～新生代の第三紀の堆積岩よりなる。火成岩はサラワクの中央部に点在して分布する。堆積岩の地層は褶曲や断層によって複雑な地質構造を呈している。大略サラワクの北側により新しい地層が分布している。サラワク州における主な河川は地質構造に平行して西流するばかりでなく、一部では、地質構造を切って北流するものもある。

### 2.2 地形

ムダミットー2計画地点はサラワク北部のリンバンより南南東約 $50\text{km}$ に広がる標高 $300 \sim 500\text{m}$ の山岳地帯に位置する。

リンバン川は調査地の南西に位置するムルド山（標高 $2,385\text{m}$ ）とバツ山（標高 $2,385\text{m}$ ）から北へ流下している。ムダミット川とリンバン川の支流であるルト川、アダク川、サリドン川は調査地西方のパゴン山（標高 $1,780\text{m}$ ）から西へ流下する。サリドン川は発電所の上流 $1.5\text{km}$ でリンバン川に合流し、ムダミット川は計画ダムサイトより下流約 $25\text{km}$ でリンバン川に合流している。

リンバン川とムダミット川に挟まれた山々は、標高約 $500\text{m}$ を有し、谷や溪流によって浸食されている。しかし、一部では両河川に沿って小規模な段丘や緩斜面が認められる。崩壊地形や地すべり地形が山腹斜面に認められる。

### 2.3 広域地質

本調査地域の地質は、第三紀暁新世～始新世のムル累層、始新世～中新世のメリノウ石

灰岩累層および中新世のセトップ頁岩累層よりなる。

調査地に関係する岩石は、メリノウ石灰岩累層とセトップ頁岩累層であるが、ムル累層はリンバン川の南部（左岸）に分布している。これらの各累層の走向は北々西—南々西—南々東で北西に傾斜し、それぞれ不整合関係である。

大規模な断層や破砕帯は調査地内では認められない。しかし、サリドン川の河口で幅5 mの破砕帯、ダムサイトでは数条の小断層が確認されている。この破砕帯は南西—北東方向で延び、代替案-3の水圧管路の尾根を切っている。また、ダムサイトでは、砂岩と頁岩の境界をなす主断層が南東—北西方向で地層の走向傾斜と平行し、ダム軸の狭さく部を横切っている。

メリノウ石灰岩累層は、リンバン川に沿って右岸の山腹斜面で散在して露頭するが灰色を呈し、塊状な石灰岩である。石灰岩の露頭はサリドン川河口でよく観察できる。

セトップ頁岩累層は砂岩、シルト岩まれに薄い石灰岩層を挟む頁岩層からなりメリノウ石灰岩累層に不整合で載る。

セトップ頁岩累層は調査地では主に細粒砂岩層を挟む頁岩層からなり、へき開がよく発達している。新鮮な頁岩の露頭では、灰色～暗灰色を呈し硬く5 cm程度の厚さの頁岩と2～3 cmの薄い砂岩層が互層状を呈する所も認められる。砂岩はムダミット川とリンバン川との中央部とダムサイトにレンズ状に分布している。ダムサイトの砂岩は細粒で硬く塊状をなしている。ムダミット川とリンバン川との間の山岳地帯の砂岩も細粒であるが、風化により脆弱化し軟らかくなっている。

一般に調査地域の砂岩と頁岩は、河床や谷底では新鮮で堅硬であるが、強く風化を受け、山稜や山腹斜面ではラテライト質の風化残留土が厚く堆積している。以上の岩石を基盤とし、第四紀の段丘堆積物崖錐堆積物および現河床堆積物が河川に沿って小規模に分布している。

図1-2に縮尺1 : 5,000の地質図、また図1-3に縮尺1 : 500の地質図を示す。

### 3. 地 震

#### 3.1 概 要

サラワクは環太平洋火山帯とインドネシア島弧に挟まれているものの、これら火山帯に属さない。

第三紀後半から第四紀にかけて、現在中央サラワク地帯の褶曲している第三紀層分布域に大規模な火山作用が起こり、玄武岩質岩からなるホセ山脈、ウスアバウ台地およびリナバリア台地を形成した。

西部サラワクで最も新しい火成岩は恐らく第四紀初頭のセマタンにおける安山岩熔岩であろう。しかしながら、サラワクでは最近火山活動は認められておらず、火山に起因する地震の発生する可能性は少ないものと考えられる。

#### 3.2 計画地点周辺の地震記録

サラワクにおける地震の記録はマレーシア気象庁によって発刊された「マレーシアとその周辺地域における地震研究」で知ることができる。この研究によれば、1896～1976年の間に半島マレーシアで17、サバで7およびサラワクで2回の地震があったと記録されている。(図I-4参照)

サラワクにおける2回の地震記録を以下に示す。

a. 年 月 日 : 1958年6月30日

場 所 : クチン

震度(マルカの震度階): V

被害報告 : 2回に亘り「ゆれ」を感じ、寝ている人が目をさます。

資 料 : サバ州立図書館、1958年6月5日、北ボルネオニュース、サバタイムズ

b. 年 月 日 : 1965年7月21日

場 所 : ニアとベケヌ、第4行政区

震度(同上): V



被害報告 : 「かるいゆれ」が報告されている。ドアがバタつき

窓がガタガタなる。大きな被害なし。

資料 : サバ州立図書館、1965年7月22日、サラワクウリビューン

改正メルカリ震度階を以下に示す。

---

改正メルカリ震度階 (1931)  
Modified Mercalli Scale

---

震度

無感

地震計にのみ感ずる。

加速度0.5gal以下

1. 特に感じやすい状態にあるごく少数の人に感ずる。
  2. ビルの上層に静止しているような少数の人にのみ感ずる。動きやすい物は、ゆらぐ。
  3. 特にビル上層の屋内で著しく感じ、止まっている自動車がわずかにゆらぐが、多くの方は地震と思わない。
  4. 日中屋内の多数の人に感じ、さらに、窓ガラス、とびらなどがゆれ、止まっている自動車はかなりゆらぐ。
  5. ほとんど全部の人に感じ、多くの方は目がさめる。すわりの悪いものは倒れ、振り時計が止まる。
  6. すべての人に感じ、多くの方は驚いて戸外にとび出す。
  7. ほとんどすべての人が戸外にとび出し、すわりの悪いものや、設計のよくないものには被害が出る。進行車の車中の人も感じる。大きな鐘も鳴る。
  8. 堅ろうな建物にも被害があり、煙突、記念碑、壁などが落ち、家具が転倒する。砂泥をふき出し、井戸水が変化する。自動車の運転困難。木の幹も動く。
  9. 耐震性れんが造り、中欧風の石造りにも大きな被害が生じ、コンクリート壁にもき裂が生ずる。煙突はすべて破壊される。
  10. 石造物の大部分が破壊され、地面のき裂多大。鉄道線路湾曲。
  11. 残有建物少なく、橋も破損、地面には大きき裂。
  12. あらゆるものが破壊され、地表に波形がみられ、空中になげ出されるものもある。
-

### 3.3 地震係数の提案

マレーシア気象庁によれば、サラワク州での地震発生は過去に2回あったのみであり、本州は地震的には安定していると考えられている。

上記の2つの地震は南シナ海に沿った海岸地帯で発生したもので内陸部での地震の報告はない。これは安全側に考えると、内陸部に地震の発生がなかったのではなく、地震があってもその記録がなされなかったとも考えられる。

マレーシア気象庁ではサバ州においてはビルの設計者や技術者は建築物の設計の際は耐震要素を考慮すべきと提言している。

また、サラワクは前述のように地震的には安定とされているが1958年完成のバタンアイ（ロックフィルダム）では地震係数 $K=0.05g$ をまた現在設計中のバクーン計画（ロックフィルダム）では $K=0.15g$ を採用している。

以上より本計画地点の地質、構造物の規模およびサラワクでの設計実績を考慮し、ムグミットー2計画での地震係数は $K=0.05g$ を提案する。

## 4. 地質調査

### 4.1 コアボーリング

#### 位置と掘削長

コアボーリングは、ダムサイトで3ヶ所、水路区間で3ヶ月および発電所地点で1ヶ所、合計150.41mが実施された。

コアボーリングの掘削長、現場透水試験、標準貫入試験の数量を以下に示す。

| 地 点               | コアボーリング |        | S. P. T <sup>1)</sup> | W. P. T <sup>2)</sup> | 弾性波 P <sup>3)</sup> |       |
|-------------------|---------|--------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------|
|                   | 孔 数     | 長 さ    | (点)                   | (ステージ)                | 測線数                 | 測線数   |
| ダムサイト             | 3       | 64.35  | 8                     | 8                     | 2                   | 442   |
| 導水路 <sup>1)</sup> | 3       | 75.66  | 35                    | -                     | 4                   | 1,035 |
| 発 電 所             | 1       | 10.40  | 4                     | -                     | 1                   | 200   |
| 計                 | 7       | 150.41 | 47                    | 8                     | 7                   | 1,677 |

ここに、1) : S. P. T = 標準貫入試験

2) : W. P. T = 透水試験 (ルジオンテスト)

3) : Seismic P = 弾性波探査

4) : 水槽と水圧管路を含む

#### ボーリング法

コアボーリングは、請負業者によって実施された。ロータリー式油圧掘削機 (型式-Y BM-05) を用いダブルコアチューブ、ダイヤモンドビットで掘削した。

採取コアは5m毎にコア箱に整理され、クチンのSESCOの倉庫に納入された。

#### 柱 状 図

ボーリング柱状図はSESCOによって作られ本報告書の資料集にまとめた。掘削孔毎に採取コアのRQD、(10cm以下の長さのコアの残りをコア総長のパーセンテージで表現)を測定した。RQDの計算式は次のように表わされる。

$$RQD = \frac{10\text{cm以上のコアの総長}}{\text{コア採取長}} \times 100\%$$

今回の調査では、R Q Dを1 m毎に測定した。その為上式は以下のように変形した。

$$R Q D = \frac{10\text{cm以上のコアの総長}}{100\text{cm}} \times 100\%$$

R Q Dは柱状図に併記した。

## 4.2 現場透水試験

現場透水試験は地層を考慮し、パッカーによるルジオン試験で実施された。

### 透水試験方法

孔底から5 mの位置にパッカーを孔壁に密着するように固定し、パッカーの下側テスト区間にロッドを通して水を入れる。その際、予め定めた圧力下での水量を記録し、圧力を変えながらその水量を測定する。岩盤の透水性はルジオン値と透水係数で現わされる。1ルジオン値は10kg/cm<sup>2</sup>の圧力下における1 ℓ/min/mで表現される。また、正確には掘削径、孔内水位によって異なるが概ね1ルジオン値は10<sup>-5</sup>cm/secの透水係数と一致する。

ルジオン値と透水係数は、以下の計算式で求めることができる。

### ルジオン値

$$L u = \frac{Q}{L \cdot P} \times 10$$

ここに、L u : ルジオン値

Q : 平均注入量 (ℓ/min)

L : 区 間 長 (m)

P : 圧 力 (kg/cm<sup>2</sup>)

### 透 水 係 数

(USBR「アースマニュアル」パッカーテストより)

$$K = \frac{Q}{2 \cdot L \cdot H} \times \log \frac{L}{r} \quad (\text{cm/sec})$$

ここに、K : 透水係数 (cm/sec)

Q : 平均注入量 (cm<sup>3</sup>/sec)

L : 区 間 長 (cm)

H : 水 頭 差 (cm) (圧力に重力を加えたもの)

r : テスト孔の半径 (cm)

試験した圧力は継手パイプの最も高い部分に圧力計を取り付け、1、4、7、10、7、4、1 kg/cm<sup>2</sup>の7段階で行った。

#### 透水試験結果

試験結果の記録は資料集に一括し、決定した透水係数とルジオン値を図 I-5 にまとめた。

### 4.3 標準貫入試験

#### 標準貫入試験の目的

標準貫入試験は土の耐力と貫入強さを調べるとともにレイモンドサンプラーによる攪乱試料を採取することを目的とする。その結果は、基礎の設計の為の地耐力に関する地盤状況の概要を明らかにすることに使用される。貫入強さは30cm貫入する際の打撃回数で表現される。

#### 方 法

試験深度まで掘削終了後、孔底のスライムを除去し、ロッドに接続したレイモンドサンプラーを孔底まで挿入する。63.5 kgのハンマーをとんびにひっかけ、75cmの高さから自由落下させる。落下エネルギーは外径5.08cm、内径3.49cmのロッドをへて、きれいにしたボーリン孔底に伝わる。

45cm貫入させた打撃回数を記録し、最後の30cmを貫入するのに要した打撃回数を標準貫入試験のN値として扱う(最初の15cmは予備打ちである)。

SPTにより得られたN値は図 I-6 にしめされている。

#### 4.4 地震探査

##### 測線の配置

弾性波探査測線は調査計画に基づいて図 I-1 に示すように配置した。測線長は計 1,120 m で、以下に示すように配置した。

| 地 点   | 測線数 | 測線数   | 測 線 数      |
|-------|-----|-------|------------|
| ダムサイト | 3   | 320   | A, C       |
| 導水路   | 5   | 690   | B, D, F, G |
| 発電所   | 1   | 110   | E          |
| 計     | 9   | 1,120 | A から G     |

##### 観測方法

起震点と受震点の配置は、直線上になるよう計画した。観測をはじめる前に予め縦断測量を行い、起震点と受震点に木杭いを配置した。

一展開において水平距離 5 m 毎に配備した受震器を配置し、30 m 以内で 5 ~ 7 回の起震する方法で実施した。(地形が水平であれば 1 展開 115 m となる)。これをくり返し実施して、計画測線長を観測するが、次の展開に移る際は前展開の起震点と受震点が充分オーバーラップするよう配置した。

主要な機器は以下のものを用いた。

##### 受震器

MCSEIS 1500 システム 24 成分 (応用地質特製)

増幅器 (TR-7)

重合式探査装置 (モデル 1197A)

ディスプレイ (モデル 1216A)

収録と再生装置 (モデル 5744)

12 成分観測線 2 本

受震器 14 ヘルツ 28 個

中継線 200m 2本

起震器 (サイズガン)

(1) 本体の寸法

全長：1.5m

内径：12ゲージ

(2) その他の部品

T型ハンドル：地震探査装置に接続するトリガー付き

調整装置つき起爆ピストン棒

伸縮性シャフト (バネつき)

起爆ピン：2重ストッパーつき

起爆室と銃身

(3) 容 量

1発掛12ゲージ

起震力は破裂弾によって異なる。

走時曲線と解析

地震波 (P波) の走時を正確に1/1000秒で読み取り、これを時間と距離のグラフにプロットし走時曲線を作る。この時間と距離の関係から萩原のハギトリ法で速度層の分布と形状を推定する。走時曲線と解析図は資料集に載せた。

## 5. 計画地点の地質と地質工学的評価

ムダミットー2計画には代替案1、代替案2、代替案3の代替案がある。これら3つの代替案は同じダムで計画されている。以下に、地質調査結果の検討に基づいて基礎岩盤の状況を述べる。

### 5.1 代替案-1

発電所地点はダム直下流右岸に位置するので、発電所の地質的評価はダムの項で述べるものとする。

#### 5.1.1 ダムおよび発電所

ムダミット川は調査地域でその流路を西方へ転じている。ダム地点は東西方向に延びる瘦せ尾根によってその流路を東～北東に変える地点から、300m下流の狭窄部に計画されている。

ダム地点における河床幅は約15mである。左岸は河床部で傾斜70°程度の急崖を形成しているが、河床より20m上部では40°と緩くなる。一方、右岸は河床部で傾斜80°の急崖を呈しているが河床より6mから上部では20～40°と緩くなり、瘦せ尾根を形成している。またダム軸より下流域では、左岸側は急崖が連続しているものの右岸では緩斜面となっている。

ダム候補地点ではBMe-1、BMe-2およびBMe-4地点でボーリングが実施された。BMe-1、2地点は右岸ダム軸上で、BMe-4地点はダム軸より上流約30mの河床で掘削された。

ボーリング調査と現位置試験の結果を以下に要約する。

BMe-1 : 鉛直方向、深さ 21.10m

0～1.6m

表土と砂岩の風化土砂

1.6～14.8m

頁岩の薄層を挟む細粒砂岩、中程度の風化状況

8.7m以浅、開口節理と酸化した節理面が認められる。

コア採取率 : 100%



|                |       |  |
|----------------|-------|--|
|                | R Q D | : 0 ~ 40%  |
|                | ルジオン値 | : 5、32.5   |
| 14.8 ~ 21.10m  |       | やや風化した細粒砂岩。クラッキー   |
|                |       | 節理面は新鮮   |
|                | コア採取率 | : 100%   |
|                | R Q D | : 15 ~ 80%   |
|                | ルジオン値 | : 11.7   |
| <u>BMe-2</u>   |       | : 鉛直方向、深さ 20.95m   |
| 0 ~ 10.55m     |       | 表土、強 ~ 中程度に風化した頁岩。やや堅い ~ 堅い赤褐色のシルト質粘土と軟質な礫                   |
|                | N 値   | : 3 m 以浅で 36   |
|                |       | : 3 m 以深で 50 以上  |
| 10.55 ~ 18.50m |       | やや風化した頁岩。クラッキー。  |
|                |       | 11.60m 以浅まで酸化され、条線とへき開がよく発達している。                             |
|                | コア採取率 | : 100%   |
|                | R Q D | : 0 ~ 30%  |
|                | ルジオン値 | : 1  |
| 18.50 ~ 20.95m |       | 新鮮な頁岩で硬いが、へき開に沿って剝離しやすい。                                     |
|                | コア採取率 | : 100%   |
|                | R Q D | : 0 ~ 30%  |
|                | ルジオン値 | : 2.4  |
| <u>BMe-4</u>   |       | : 鉛直方向、深さ 22.30m   |
| 0 ~ 8.5 m      |       | 薄い頁岩層を挟む砂岩層。層理の傾斜 5 ~ 15° でやや風化し、低角度節理がよく発達し、3 m 以浅まで酸化している。 |
|                | コア採取率 | : 100%   |
|                | R Q D | : 0 ~ 90%  |
|                | ルジオン値 | : 0.6  |

8.5 ~ 22.35m

薄い頁岩層を挟む砂岩層でやや風化～新鮮。

コア採取率 : 100%

RQD : 10~95%

ルジオン値 : 3.3、8.2

弾性波探査 (MEA 測線) の結果によれば、ダム候補地点の左岸側と河床部の地質は以下に示す4つの速度層に区分できる。

MEA 測線 : 左岸側および河床

|       |                  |                |
|-------|------------------|----------------|
| 第一速度層 | 250m/s           | (厚さ 1.5~ 2.0m) |
| 第二速度層 | 500 ~ 600m/s     | (厚さ 2.0~ 4.0m) |
| 第三速度層 | 1,200 ~ 1,400m/s | (厚さ 7.0~13.0m) |
| 第四速度層 | 2,400m/s         |                |

これらの速度層から判断して、第一速度層は表土と軟らかい風化残留粘土、第二速度層は割れ目に風化土砂を挟む強風化岩、第三速度層はクラッキーな砂岩と頁岩および第四速度層は断層や低角度節理が発達したりするが岩片は堅硬な岩盤にそれぞれ対応するものと考えられる。

弾性波探査 (MEA 測線) の結果によれば、ダム候補地点の右岸側の地質は以下に示す4つの速度層に区分できる。

MEA 測線 : 右岸側

|       |                  |                |
|-------|------------------|----------------|
| 第一速度層 | 250m/s           | (厚さ 1.5m以下)    |
| 第二速度層 | 500 ~ 600m/s     | (厚さ 2.0~ 4.0m) |
| 第三速度層 | 1,100 ~ 1,500m/s | (厚さ 5.0~ 6.0m) |
| 第四速度層 | 3,300 ~ 3,600m/s |                |

これらの速度層から判断して、第一速度層は表土、第二速度層は割れ目に風化土砂を挟む強風化砂岩と粘土化した強風化頁岩、第三速度層はクラッキーな砂岩と頁岩および第四速度層は節理に沿って酸化している堅硬な砂岩と締まった頁岩にそれぞれ対応するものと考えられる。

ダム候補地点の地質は、左岸～河床～標高 135mより低い右岸アバットの部分では、薄い頁岩を挟む砂岩からなる。一方右岸の標高 135mより高い右岸アバットの部分では頁岩が分布している。調査地域では、砂岩と頁岩の境界は断層で接している。断層は幅 1～2 cmで右岸～上流側に75°で傾斜している。小規模な断層は両岸で認められる。(図 I-7ダム軸の地質断面を参照されたい。)

砂岩は30～40°で右岸の下流側へ傾斜し、頁岩の走向は北西～南東方向であるが流路が屈曲しているため30～40°で右岸側へ傾斜している。

薄い頁岩を挟む砂岩は塊状で堅硬であるが節理が発達している。砂岩に入る節理は開口幅1～2cmで、主に25～40°で下流側へ傾斜しているが、この低角度節理の分布は判然としない。低角度節理の間隔は15～25cmの部分と25～40cmの部分があり、鉛直節理は30～70cm間隔で発達している。低角度節理は右岸より左岸側で多く発達している傾向が認められる。

ダムの基礎岩盤は以上のような地質からなる。これらはダムの基礎岩盤として地耐力は十分であるが、砂岩部にはその性状が判然としない高い透水性を有する低角度節理が発達している。従って、詳細設計段階で基礎岩盤の透水性や安定性を確認する必要がある。

発電所は幅30m長さ 100m程度でムダミット川右岸の緩斜面に計画されている。この斜面はまだその厚さや分布が解っていない段丘堆積物と崖錐堆積物に被覆されている。しかしながら、河床に沿っての露岩状況や地形からこの被覆層の厚さは5～6mと推定される。従って、発電所の基礎は容易に基盤の砂岩と頁岩に着岩できるものと考えられる。

## 5.2 代替案-2

本代替案の発電所はダム下流約 850mの左岸に計画されている。ダムの地質は前述 5.1.1の項で述べたとおりである。

### 5.2.1 水路

水路は、取水口、導水路トンネルおよび水圧管路よりなる。

#### (1) 取水口

取水口はダム直上流左岸に計画されている。取水口地点の地質は薄い頁岩を挟む砂岩からなる。地質調査結果より取水口構造物の基盤岩盤として、特に問題はない。

## (2) 導水路トンネル

導水路トンネルは取水口（EL.135m）より下流左岸の山腹斜面に位置する水槽までの約380m間に計画されている。このトンネルは取水口より南北方向で延びるが、取水口より120m地点で南西－北東へ曲がっている。トンネルの土被りは1：5,000の地形図によれば110m程度と推定される。

導水路トンネルは取水口から50m間が薄い頁岩を挟む砂岩で、残りの区間が頁岩となっている。トンネルは2つの断層を通過するが、そのうちの1つは砂岩と頁岩の間にはいるものである。他は砂岩を切っている断層で北西－南東の走向を有するものである。後者はダム地点付近の林道で幅数mで確認され、頁岩が分布する区間でトンネルと鋭角で斜交もしくは平行する。頁岩は破碎されている可能性がある。また、砂岩分布区間で、工事中に湧水が発生する可能性が大きいものと考えられる。

## (3) 水槽および水圧管路

水槽および水圧管路は傾斜30°の山腹斜面に計画され、地質は導水路トンネルの頁岩と同じものが分布する。

頁岩の風化帯は、断層作用や風化作用によって厚くなっているものと思われるので水槽および固定台の基礎は頁岩の風化帯に位置するものと考えられる。

## 5.2.2 発電所

発電所はムダミット川の左岸の河岸に計画され、地質は導水路トンネルの頁岩と同じものが分布する。発電所の基礎は頁岩の風化帯に位置するものと考えられる。

## 5.3 代替案－3

本代替案の発電所はリンパン川右岸に計画されている。ダムの地質は前述5.1.1の項で述べたとおりである。

### 5.3.1 水路

水路は取水口、導水路トンネルおよび水圧管路よりなる。取水口地点の地質は薄い頁岩

を挟む砂岩からなる。地質調査結果から、取水口の基礎岩盤として特に問題はない。

#### (1) 導水路トンネル

導水路トンネルは取水口 (BL. 135m) よりリンバン川右岸の山腹斜面に位置する水槽 (BL. 118.5m) までの約 4.5km間に計画されている。このトンネルは取水口より南北方向で延びるが、取水口より 220m地点で北西-南東へ曲がっている。このトンネルは谷や溪流下を通過している。トンネルの土被りは1 : 5,000の地形図によれば 100~ 300m程度と推定される。

地表踏査の結果によれば、林道沿いの露頭や高標高部では強く風化した頁岩と砂岩からなり、小規模な断層も確認されている。また、一面に植生が繁茂している。

導水路トンネルの地質は取水口から50m間が薄い頁岩を挟む砂岩で残りの区間が2つの砂岩層を挟む頁岩となっている (図1-8水路沿いの地質断面図参照)。トンネル沿いのこれらの岩石は、100~ 300m程度の土被りがあるので堅硬で締まっているものと思われる。しかしながら、ダム地点に分布する砂岩は取水口から50m間で弛みゾーンを形成している。その上、取水口より約 110m地点を通過する断層は砂岩層を変位させている。従って、これらの区間では工事中に湧水が発生する可能性が大きいものと考えられる。

#### (2) 水槽および水圧管路

水槽および水圧管路はリンバン川の右岸山腹斜面に計画されている。水槽は標高 160mの小さな尾根に位置し、水圧管路は傾斜30~40°の山腹斜面から沖積段丘に計画されている。

水槽および水圧管路ではBMe-5、BMe-6地点でボーリングが実施された。ボーリング調査と現位置試験の結果を以下に要約する。

BMe-5 : 鉛直方向、深さ30.0m、水槽

|            |   |
|------------|---|
| 0~22.5m    | 表土と頁岩の風化土砂、堅い~非常に堅い粘土質シルト<br>N値 : 9~11                        |
| 22.5~25.8m | 強風化岩で砂質シルト状、堅い。<br>N値 : 50以上                                  |
| 25.8~30.0m | やや風化~新鮮な頁岩でクラッキー。<br>地層の傾斜45°<br>コア採取率 : 100%<br>RQD : 30~40% |

BMe-6 : 鉛直方向、深さ20.3m、水圧管路

|            |  |
|------------|--|
| 0～14.0m    | 表土と頁岩の風化土砂、堅い～非常に堅い粘土質シルトとラテライト化した礫。<br>N値 : 26～39 |
| 14.0～20.3m | 強風化岩で粘土質シルトとラテライト化した礫<br>N値 : 50以上                 |

弾性波探査 (MEF 測線) の結果によれば、水槽および水圧管路の地質は以下に示す4つの速度層に区分できる。

MEF 測線 : 水圧管路沿い

|       |                  |                |
|-------|------------------|----------------|
| 第一速度層 | 250m/s           | (厚さ 0.5～ 2.0m) |
| 第二速度層 | 500、 600m/s      | (厚さ 2.0～ 8.0m) |
| 第三速度層 | 1,000、 1,300m/s  | (厚さ 4.0～12.0m) |
| 第四速度層 | 3,500、 37,400m/s |                |

この他、水圧管路中央部に幅70mにわたり1,600m/sの低速度帯が確認された。

MEF測線のこれらの速度層から判断して、第一速度層は表土、第二速度層は完全に風化した頁岩で土砂状、第三速度層は強風化した頁岩および第四速度層はやや風化した～かなり新鮮な頁岩にそれぞれ対応するものと考えられる。また、低速度帯は不整合面と破砕帯および不整合面に沿った風化帯とそこに形成されている溶蝕空洞と思われる。

水槽および水圧管路の地質は不整合で接する頁岩と石灰岩よりなる。(図 I-9水圧管路～発電所間の地質断面参照) これらの地点では、強く風化されラテライト質の堅い粘土状～軟岩状の頁岩と石灰岩が10～20mの厚さで分布している。水槽はやや風化した頁岩に、固定台はN値50以上の強風化した頁岩や石灰岩に基礎がくるものと思われる。

### 5.3.2 発電所

発電所はリンバン川右岸の沖積段丘に計画されている。

発電所ではBMe-7地点でボーリングが実施された。ボーリング調査と現在位置試験の結果を以下に要約する。

BMe-7 : 鉛直方向、深さ 10.40m

|              |   |
|--------------|---|
| 0 ~ 6.0m     | 表土と段丘堆積物。段丘は粘土質細砂で非常にゆるい<br>N値 : 1 ~ 4  |
| 6.0 ~ 7.15m  | 段丘堆積物。段丘は砂礫で巨礫を含む<br>N値 : 50以上  |
| 7.15 ~ 10.4m | 石灰岩<br>やや風化しているが、硬い。割れ目に沿って漏水する<br>コア採取率 : 100%<br>RQD : 65 ~ 90%<br>ルジオン値 : 37.9 |

弾性波探査 (MEG 測線) の結果によれば、発電所の地質は以下に示す 4 つの速度層に区分できる。

MEG 測線 : リンパン川沿い

|       |          |                   |
|-------|----------|-------------------|
| 第一速度層 | 250m/s   | (厚さ 1.0 ~ 2.0m)   |
| 第二速度層 | 600m/s   | (厚さ 4.0 ~ 7.0m)   |
| 第三速度層 | 1,300m/s | (厚さ 10.0 ~ 15.0m) |
| 第四速度層 | 3,500m/s |                   |

MEG測線のこれらの速度層から判断して、第一速度層は表土と風化残留土砂、第二速度層は崖錐堆積物と段丘堆積物および完全に風化した頁岩で土砂状、第三速度層は段丘堆積物と割れ目沿いに空洞が発達した石灰岩および第四速度層はやや風化した～新鮮な石灰岩にそれぞれ対応するものと考えられる。

発電所の地質は厚さ 7 m の段丘堆積物に被覆された石灰岩よりなる。段丘堆積物はシルト質細砂と礫よりなりリンパン川に沿って段丘崖を形成している。この段丘崖の小さな崩壊跡から現地調査期間中に 2ヶ所で湧水が認められた。また、段丘堆積物中深度 6 m の N 値 50 以上の値は礫に当たったもので、砂礫層の N 値はもっと小さいものと考えられる。石灰岩中で実施された透水試験結果は高いが、地耐力にはなんら問題はない。従って、発電所の基礎は段丘堆積物を削いで、その下位の石灰岩に着岩できるものと考えられる。

## 6. 今後の調査への提言

地質調査の検討結果をもとに代替案-3計画の基礎岩盤について以下に提言する。

(1) 薄い頁岩層を挟む砂岩コンクリートダムの基礎として、十分な地耐力を有することは判明したが、この砂岩層には下流側に傾斜する低角度節理が発達している。そのうえ、砂岩は右岸の頁岩の透水性がルジョン値=1~2.4と小さいのに対し1~32.5と大きくなっている。

ダム建設時にはせん断応力の増加と透水係数の低減を謀るための対策が必要と考えられる。しかしながら、高透水ゾーンの分布が明らかになっていない。従って、詳細設計段階で基礎岩盤の安定性と透水性を明らかにするための調査が必要である。

(2) 水槽および水圧管路の地質は不整合で頁岩と石灰岩よりなり、強く風化されラテライト質の堅い粘土状~軟岩状の頁岩と石灰岩が地表より10~20mの深さで分布している。水槽はやや風化した頁岩、固定台はN値50以上の強風化した頁岩や石灰岩に基礎をおくこととなる。

従って、詳細設計段階で変形係数、弾性係数等の定数を把握するために、孔内水平載荷試験等によりさらに詳細な調査を実施することが必要である。

(3) コンクリート用骨材は原石山から採取する。原石山の候補地はダム軸より約100m下流左岸の分布域が有望である。従って、この砂岩の性状の確認のために、ボーリングや弾性波探査等の調査を実施することが必要である。



## 参 考 文 献

1. Geological Survey Department, 1987. "Geological of the Medamit-2 Small-scale Hydro Electric Project Area, Limbang Divison, Sarawak".
2. Malaysian Meteological Service, 1983. "Micro-seismic of Malaysia and Adjacent Areas".
3. Geotechnique East Malaysia Sdn. Bhd. Core Drilling Material Investigation Report for Medamit-2 Small Hydro Project, August, 1987.
4. Strata Recon Sdn. Bhd. Seismic Refraction Survey Report for Mukoh and Medamit-2 Small Hydro Project 20th August, 1987.
5. Wolfenden, E.B., (1960). The Geology and Mineral Resources of Lower Rajang and Adjoining Area, Sarawak Memoir 11, Geological Survey Department, British Territories in Borneo.



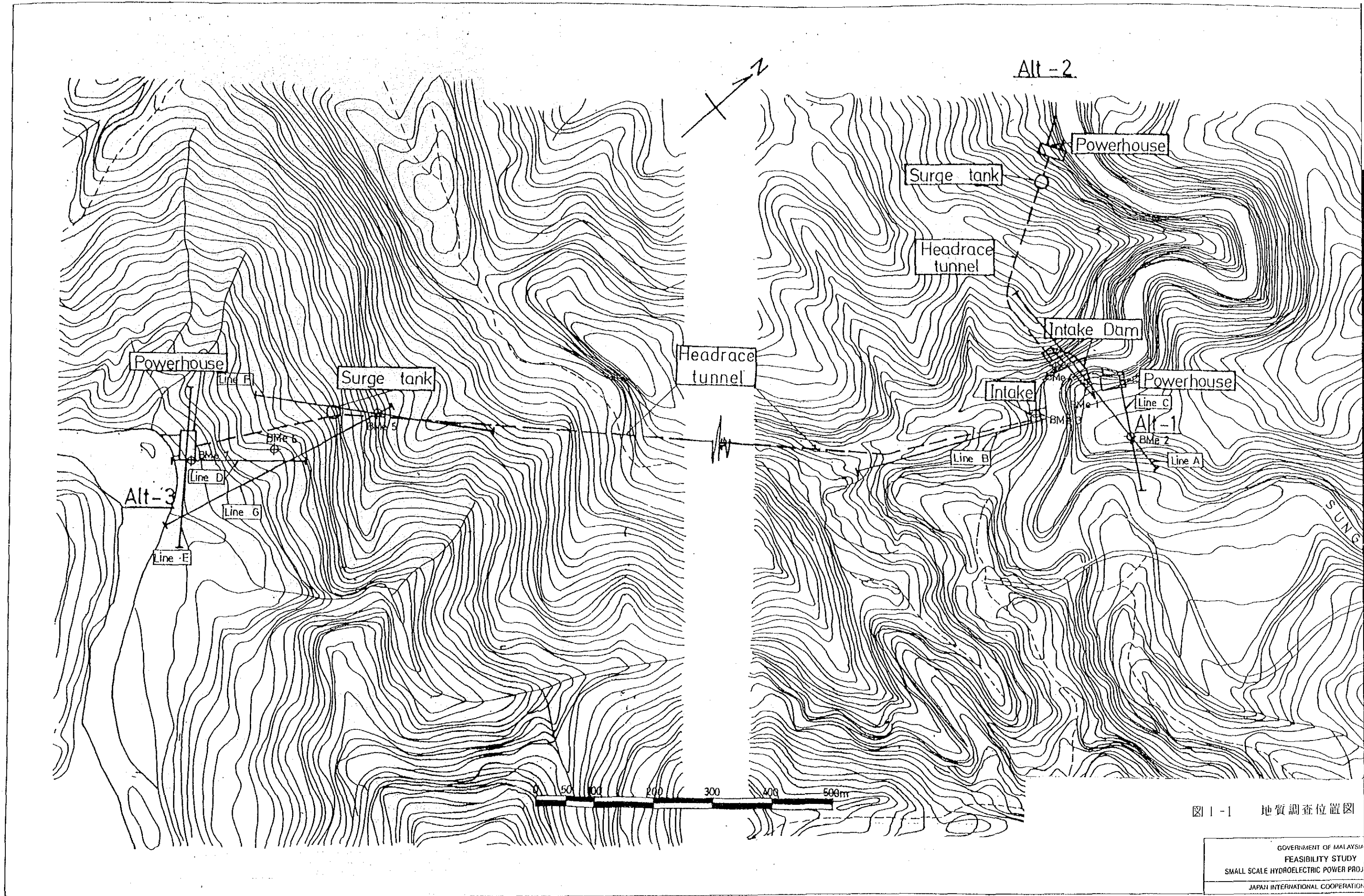


圖 1-1 地質調查位置圖

GOVERNMENT OF MALAYSIA  
 FEASIBILITY STUDY  
 SMALL SCALE HYDROELECTRIC POWER PROJ.  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION

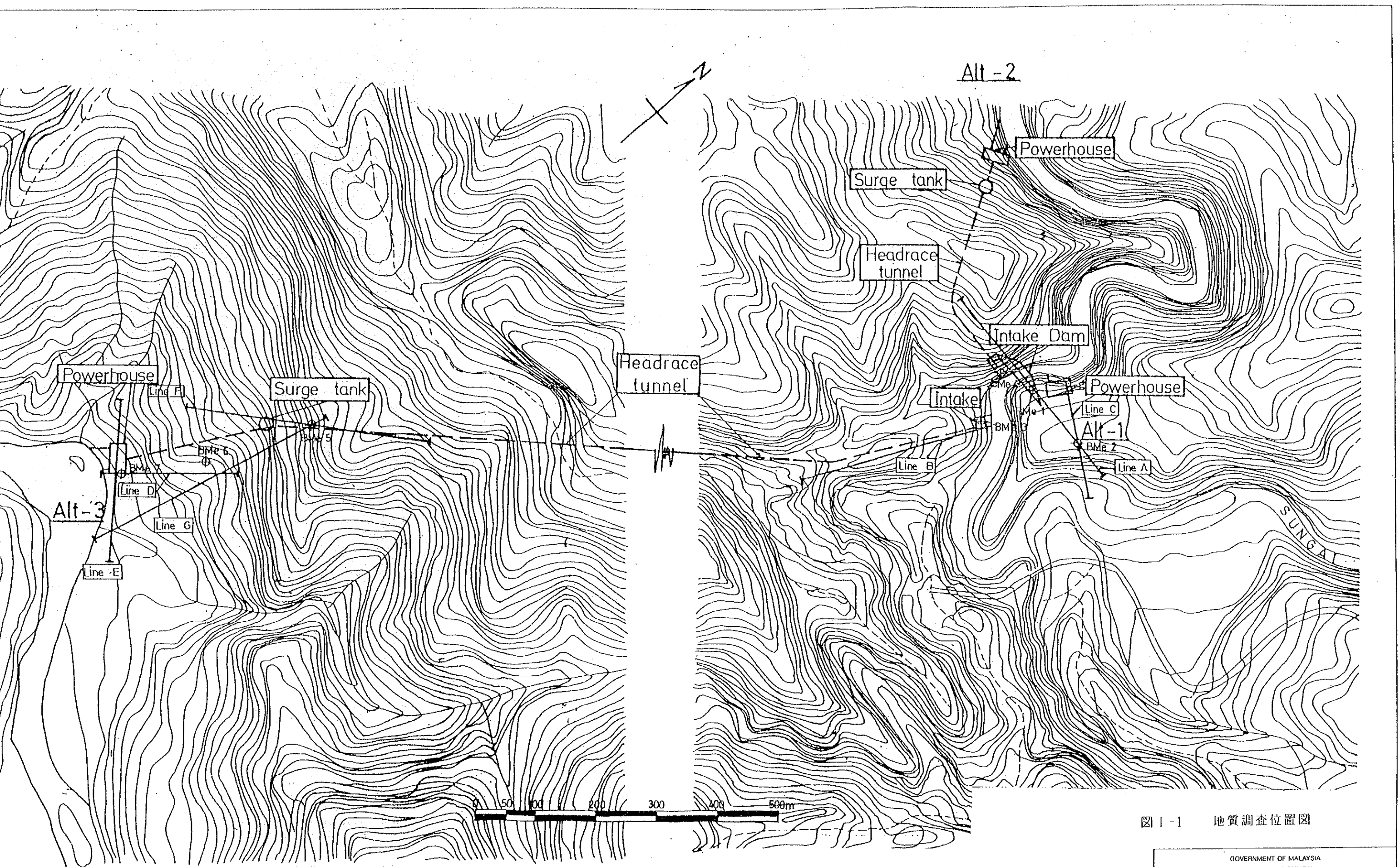


图 1-1 地質調查位置圖

GOVERNMENT OF MALAYSIA  
 FEASIBILITY STUDY  
 SMALL SCALE HYDROELECTRIC POWER PROJECT IN SARAWAK  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY