

マレーシア国

サラワク小水力発電開発計画

調査報告書

第二卷

ムコ水力発電開発計画

補遺書

昭和63年7月

国際協力事業団

総計費
CR 6
88-94-2/8

国際協力事業団

18352

マレーシア国

サラワク小水力発電開発計画

調査報告書

第二卷

ムコ水力発電開発計画

補遺書

JICA LIBRARY



1069444L6J

18352

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 錄 - I 地 質 調 查

付 錄 - II 材 料 調 查

付 錄 - III 水 文 解 析

付 錄 - I

地 質 調 查

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 透 水 試 験	I - 8
4.3 標準貫入試験	I - 9
4.4 地 震 探 査	I - 9
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 - 14

5.2.1	水	路	.....	I-14						
5.2.2	発	電	所	.....	I-15					
5.3	代	替	案-3	.....	I-15					
5.3.1	水	路	.....	I-15						
5.3.2	発	電	所	.....	I-19					
6	今	後	の	調	査	へ	の	提	言	I-21

参考文献

添 付 図 一 覧 表

図 番		頁
図 I-1	地質調査位置図	I-23
図 I-2	ムコ地点周辺の地質図	I-24
図 I-3	サラワク・サバにおける震源位置図	I-25
図 I-4	ムコ地点のルジオン試験結果	I-26
図 I-5	ムコ地点の標準貫入試験結果	I-27
図 I-6	ダム軸の地質断面図	I-28

1. 緒 言

ムコ計画では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	2 km ²	縮尺 1 : 10,000
コアボーリング	延長 118.70 m、	6ヶ所
標準貫入試験	延 29回	4孔
透水試験	延 9ステージ	3孔
弾性波探査	延長 1,120m	9測線

ボーリング地点と弾性波探査測線の位置を図1-1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、南でカリマントラン（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、 700km におよぶ沖積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。サラワクの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

ムコ計画地点はサラワク中央部の町カビットより南西約 25km に広がる標高 $800 \sim 1,000\text{m}$ の山岳地帯の北西部に位置する。

ラジャン川の支流のムコ川はバカック山（標高 $1,005\text{m}$ ）とティンガ山（標高 840m ）に連なる東西に延びる稜線を貫流し狭さく部を形成し、その後その流路を頻繁に変えながら北や北西へ流下している。

この狭さく部はムコ川がルマキラットの付近で流路を北から西に屈曲する地点より 4km 上流に位置し、ダムサイトはこの狭さく部よりさらに上流 120m の地点に計画されている。

2.3 広 域 地 質

計画地域は第三紀暁新世—始新世のペラが累層のステージII（カビット部層）が広く分布している。この累層は弱く変成した頁岩よりなり硬砂岩や準硬砂岩を挟在する。

調査地域の地質は基本的に2つの岩相よりなる。その内の1つは薄い砂岩層を挟む頁岩で他は塊状な砂岩である。頁岩層は調査地域の80%に分布しやや変成し、褶曲や破碎化が

認められる。砂岩は狭さく部、代替案-2の水槽側の導水路トンネル、および代替案-3の発電所付近に分布する。

調査地域では褶曲や断層が多く認められる。褶曲は頁岩層で一般的に発達し、その多くは等斜褶曲である。褶曲に伴って、へき開が認められる。地層は走向N80Wで70~80°で北東又は南西側へ急傾斜している。

断層もまた多く認められるが、主要な断層は1つであり、代替案-3の発電所の上流にN80W90で確認した。この断層は、砂岩の堅い基質と砂岩および頁岩の岩片からなる。

一般に頁岩は河床では新鮮で堅硬であるが、一般に強く風化を受けており、尾根や山腹斜面にはラテライト化した風化残留土帯が厚く分布している。

基盤として以上の岩石とともに、第四紀の段丘堆積物や崖錐堆積物が河川に沿って分布し、特に狭さく部より下流側に小規模であるがより多く認められる。

図1-2に縮尺1:10,000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り、玄武岩質岩からなるホセ山脈、ウスアパ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-3参照)

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 (現地の震度階) : 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、サラワクトリビューン

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。進行車の車中の人を感じる。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慮されている。

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年完成のパクンアイ（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、ムコ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ヶ所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 ¹⁾	W. P. T ²⁾	弾性波 P ³⁾	
	孔 数	長 さ	(点)	(ステージ)	測線数	測線長
ダムサイト	2	30.00	2	7	3	320
誘導水路 ⁴⁾	2	45.10	23	-	5	690
発 電 所	2	43.60	4	2	1	110
計	6	118.70	29	9	9	1,120

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、RQDを1m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/cm²の圧力下における1ℓ/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10⁻⁵cm/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/cm²)

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 (cm³/sec)

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、2、3、5、3、2、1 kg/cm²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-5 に示されている。

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	測線長	測 線 名
ダムサイト	3	320m	A, H, I
導水路	5	690m	B, C, D, E, F
発電所	1	110m	G
計	9	1,120m	AからI

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5m毎に配備した受震器を配置し、30m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115m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

ムコ計画には代替案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左岸に位置するので、発電所の地質工学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

ダム地点は砂岩が形成する狭窄部より上流 120mの地点に計画されている。

ダムおよび発電所地点における河床幅は約40mであり、左岸のダムアバットの斜面は傾斜40°程度である。一方、右岸は河床部で傾斜50°であるが、河床より25mから上部では30°と緩くなっている。左岸側にはダム軸と下流の狭窄部の間に溪流が流れている。

ダム候補地点ではBMK-1、BMK-2の2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。

BMK-1 : 鉛直方向、深さ15.0m、左岸

0 ~ 1.2m

風化残留土で黄褐色の粘性土。

1.2 ~ 15.0m

砂岩の薄層を挟む頁岩でやや風化している。

コア採取率 : 100%

RQD : 100%

ルジオン値 : 1 ~ 1.5

BMK-2 : 鉛直方向、深さ15.0m、右岸

0 ~ 3.7m

堅い~固結状の風化残留土で黄褐色の粘性土と脆い頁岩の礫よりなる。

N値 : 45 ~ 50

3.7~15.0m

砂岩の薄層を挟む頁岩

3.7m~ 8.6m : 中程度に風化

8.6m~15.0m : やや風化

コア採取率 : 100%

RQD : 55%

ルジオン値 : 4.8

弾性波探査 (MKA 測線) の結果によれば、ダムと発電所候補地点の地質は以下に示す 3~4つの速度層に区分けできる。

MKA 測線 : ダム軸

第一速度層	300m/s	(厚さ 1.0~ 2.0m)
第二速度層	1,000m/s	(厚さ 3.0~ 5.0m)
第三速度層	1,500m/s	(厚さ 2.0~10.0m)
第四速度層	4,500m/s	

MKH 測線 : 左岸の河床沿い

第一速度層	500m/s	(厚さ 0.5~ 1.5m)
第二速度層	1,500m/s	(厚さ 2.0~ 2.5m)
第三速度層	3,800m/s	

MKI 測線 : 右岸の河床沿い

第一速度層	500m/s	(厚さ 0.5~ 1.0m)
第二速度層	1,500m/s	(厚さ 2.0~ 3.0m)
第三速度層	3,800m/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土、第二速度層は非常に堅い~固結状の強風化岩、第三速度層は中程度に風化した岩盤および第四速度層はやや風化~新鮮な岩盤にそれぞれ対応するものと考えられる。

一方 MKA測線の結果は他の速度層にくらべて速度値が速くなっている。これは異なる方向で異なった性質を有する異方性による速度値の差と考えられる。従って、MKA測線の第

二～第三速度層は MKH、MKI 測線の第一、第二速度層に相当し、同様に第四速度層は第三速度層に対応するものと考えられる。

ダムと発電所候補地点の地質は、砂岩の薄層を挟む頁岩からなる（図 I-6 ダム軸沿いの地質断面参照）。頁岩の走向は河道方向と直交し $70\sim 80^\circ$ で下流側に急傾斜している。ダム軸より下流側 10m 程度の左岸河床には頁岩が露出しているが、それよりさらに下流側では礫と砂からなる崖錐堆積物が基盤を被覆している。

以上のことから、ダムの基礎はやや風化～新鮮な砂岩の薄層を挟む頁岩に容易に着岩できるが、右岸河床やダム軸より下流の左岸河床では地表より 5m 程度の掘削が必要となる。一方、発電所は二次堆積物の礫と砂が分布しているので、やや風化～新鮮な砂岩の薄層を挟む頁岩に着岩するためにこれらの堆積物を取り除く必要がある。

5.2 代替案-2

本代替案のダムの地質は前述 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砂岩の薄層を挟む頁岩からなる。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より下流左岸の突出した尾根に位置する水槽までの約 1,200m 間に計画され、その間にアンカット川と呼ばれる溪流の下を通過する。

導水路トンネルの地質は砂岩の薄層を挟む頁岩と 2 層の塊状な砂岩よりなる。2 層の塊状な砂岩は取水口より水槽にかけての 250～400m の区間と 850～1,150m の区間の 2 区間に分布している。この 2 層の砂岩分布域の間を流れるアンカット川周辺は崖錐堆積物よりなる緩斜面が形成されている。またこの間のムコ川河床に沿っては風化頁岩が露出し、一方砂岩は風化し開口節理が多く発達している。

アンカット川の付近のトンネルの土被りは 1 : 5,000 の地形図によれば 100m 程度と推定

されるが、実際の土被りはもっと薄いと思われ、かつそこには厚さが判然としない崖錐堆積物が分布している。

以上より、トンネルは風化岩中を通過し、アンカット川付近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。

(3) 水槽および水圧管路

水槽および水圧管路は傾斜40°の山腹斜面に計画され、地質は導水路トンネルと同じ風化した砂岩の薄層を挟む頁岩よりなる。従って、水槽は中程度～やや風化した砂岩の薄層を挟む頁岩を基礎とし、固定台は強風化した砂岩の薄層を挟む頁岩の粘性土が基礎となるものと考えられる。

5.2.2 発電所

発電所はムコ川の左岸の河岸に計画され、地質は風化した砂岩の薄層を頁岩よりなる。発電所の基礎としてこの砂岩の薄層を挟む頁岩は十分に耐力を有するものと考えられる。

5.3 代替案-3

本代替案のダムの地質は前述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り、取水口の地質は砂岩の薄層を挟む頁岩からなる。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より、ムコ川右岸の山腹斜面に位置する水槽までの約1,600m間に計画されている。このトンネルは山腹斜面を深く浸食するバンカー川を初め4つの溪流下を通過している。

現地調査は取水口側と水槽側の坑口付近の2ヶ所で行われ、取水口側では弾性波探査(MKB 測線)、水槽側ではボーリング(BMK-3)と弾性波探査(MKC, MKDおよびMKE 測

線)が実施された。弾性波探査(MKB測線)の結果によれば、取水口側の地質は以下に示す4つの速度層に区分できる。

MKB測線 : 取水口側

- 第一速度層 250m/s (厚さ 3m以下)
- 第二速度層 600m/s (厚さ 2.0~ 6.0m)
- 第三速度層 1,500m/s (厚さ 3.0~ 9.0m)
- 第四速度層 3,000~4,500m/s

この他、第四速度層中に 2,600と2,700m/sの低速度帯が確認された。この低速度帯は岩相の違いによる風化の程度の差と考えられる。

一方、水槽側の瘦せ尾根で実施されたボーリング地点(BMK-3)の結果を以下に要約する。

BMK-3 : 鉛直方向、深さ 24.80m.

- 0 ~ 6.5m 赤褐色粘土質シルトでラテライト化した脆い礫を含む。
N値 : 27~50
- 6.5~18.0m 強風化岩で固結状の暗灰色を呈す粘土質シルト~淡褐色を呈すシルト岩~頁岩
N値 : 50以上
- 18.0~24.8m 中程度風化~やや風化した頁岩でクラッキー。
地層の傾斜45°
コア採取率 : 75%
RQD : 22%
水位は認められない。

弾性波探査(MKC、DおよびE測線)の結果によれば、水槽付近の地質は以下に示す4つの速度層に区分できる。

MKC測線 : BMK-3地点を通る瘦せ尾根沿い

- 第一速度層 250m/s (厚さ 1.0~ 2.0m)
- 第二速度層 600m/s (厚さ 1.5~ 3.5m)

第三速度層 1,300m/s (厚さ 2.5~ 8.0m)

第四速度層 3,500m/s

MKD 測線 : BMK-3 地点を通る瘦せ尾根と直交方向

第一速度層 250m/s (厚さ 1.0~ 1.5m)

第二速度層 600m/s (厚さ 1.5~ 5.0m)

第三速度層 1,300m/s (厚さ 4.0~14.0m)

第四速度層 3,500m/s

MKE 測線 : 瘦せ尾根沿い

第一速度層 250m/s (厚さ 1.0~ 1.5m)

第二速度層 600m/s (厚さ 1.5~ 5.0m)

第三速度層 1,300m/s (厚さ 4.0~14.0m)

第四速度層 3,500m/s

MKC、DおよびE測線のこれらの速度層から判断して、第一、第二速度層はラテライト化した粘土質のシルト岩と頁岩の表土、第三速度層は中程度に風化した固結状~軟岩状のシルト岩~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。

導水路トンネルの地質は砂岩の薄層を挟む頁岩と2層の塊状な砂岩層およびシルト岩~頁岩よりなる。これらの岩相のなかで導水路トンネルには、主に砂岩の薄層を挟む頁岩が分布している。2つの塊状な砂岩層は取水口より水槽にかけての400~600mの区間と900~1,100mの区間の2区間に、傾斜70~80°の下流傾斜で分布している。

トンネル中央部の土被りは1:50,000の地形図によれば100~200m程度と推定されるが4つの渓流通過付近での実際の土被りはもっと薄いと思われる。また、取水口側や水槽側の坑口付近では40m以下の土被りとなっている。

以上より、トンネルは概ね3,000~4,500m/sの良好な岩盤中を通過するが、バンカー川より水槽にかけては第三速度層に対比される中程度に風化した岩盤中を通過する。また、取水口側の風化状況の差による低速度帯が分布していることから、この区間でも同様な地質状況と推定される。従って、バンカー川付近の砂岩分布域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傾斜30°の山腹斜面に計画されている。水槽および水圧管路では、ボーリング（BMK-4）と弾性波探査（MKF 測線）が実施された。ボーリングと現位置試験の結果を以下に要約する。

BMK-4 : 鉛直方向、深さ 20.30m

0 ~ 5.0m	赤褐色粘性土でラテライト化した脆い礫を含む N 値 : 19~22
5.0~11.7m	強風化した半固結状のシルト岩 N 値 : 30~50
11.7~17.5m	強風化した半固結~軟岩状のシルト岩
17.5~20.3m	中程度風化した砂岩の薄層を挟む頁岩でクラッキー。 コア採取率 : 75% R Q D : 18.0~19.0m、10% : 19.0~20.0m、50%

水位は認められない。

弾性波探査（MKF 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。

MKF 測線 : 水圧管路沿い

第一速度層	250m/s	(厚さ 1.0~ 2.0m)
第二速度層	600m/s	(厚さ 3.0~ 5.0m)
第三速度層	1,300m/s	(厚さ 7.0~12.0m)
第四速度層	3,500m/s、4,500m/s	

MKF測線のこれらの速度層から判断して、第一、第二速度層は表土、崖錐堆積物および風化粘土化したシルト岩、第三速度層は強~中程度に風化したシルト岩と段丘堆積物および第四速度層は中程度風化~新鮮岩であるがクラッキーな砂岩の薄層を挟む頁岩に対応するものと考えられる。

この測線では断層は幅も小さく、固結しているもので検出されなかった。

水槽の基礎は最も浅くて1,300m/s速度層でN値50以上の軟岩状のシルト岩で地表面下9～10mに求めることができる。固定台の基礎は最も浅くて1,300m/s速度層でN値30以上の半固結状のシルト岩で地表面下5m以深となるものと考えられる。

5.3.2 発 電 所

発電所はムコ河右岸の小規模な段丘に計画されている。段丘面は、崖錐堆積物に被覆され緩斜面を形成している。

発電所ではBMK-5、6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。

BMK-5 : 鉛直方向、深さ 19.30m

0～4.0m	中程度に風化した頁岩 コア採取率 : 100% R Q D : 20～40%
4.0～10.4m	やや風化した頁岩 コア採取率 : 100% R Q D : 100%
10.4～19.3m	やや風化～新鮮な頁岩 コア採取率 : 90～100% R Q D : 0～60%

BMK-6 : 鉛直方向、深さ 24.30m

0～8.2m	崖錐堆積物と巨礫を含む段丘砂礫層 N 値 : 50以上
8.2～11.0m	中程度～やや風化した頁岩 コア採取率 : 100% R Q D : 10%
11.0～24.3m	やや風化した頁岩 コア採取率 : 100%

R Q D : 60~90%

弾性波探査 (MKG 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。

MKG 測線 : ムコ川の河床沿い

第一速度層	250m/s	(厚さ 0.5~ 1.5m)
第二速度層	600m/s	(厚さ 3.0~ 4.0m)
第三速度層	1,300m/s	(厚さ 6.0~ 7.0m)
第四速度層	4,500m/s	

MKG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および崖錐堆積物、第二、第三速度層は段丘堆積物と中程度に風化したクラッキーな頁岩および第四速度層はやや風化した~新鮮な頁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 8.2mの崖錐堆積物と段丘堆積物に被覆された砂岩の薄層を挟む頁岩よりなる。

従って、発電所の基礎は段丘堆積物や強風化した砂岩の薄層を挟む頁岩を剥いで、その下位の地表面下より11m以深のやや風化した砂岩の薄層を挟む頁岩が妥当である。

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-1計画の基礎岩盤について以下に提言する。

(1) ダムと発電所の地質は性状の判然としない崖錐堆積物と河床堆積物が砂岩の薄層を挟む頁岩を被覆して分布している。従って、詳細設計段階でボーリングや弾性波探査でこれら末固結堆積物の分布や性状を把握するための調査が必要である。

(2) 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 800m 下流左岸の砂岩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. "Geology of the Mukoh Small Scale Hydro Electric Project Area, Kapit Division, Sarawak"
2. Malaysian Meteorological Service, 1983. "Micro-seismic of Malaysia and Adjacent Areas"
3. Geotechnique East Malaysia Sdn Bhd. Core drilling materials investigation report for Mukoh Small Scale Hydro Electric Project, August 1987
4. Strata Recon Sdn Bhd, Seismic Prefraction survey report for Mukoh and Medamit-2 Small Hydro Electric Project, 20 August 1987
5. Wolfender, E.B., (1960). The Geology and Mineral Resources of Lower Rajang and Adjoining Area. Sarawak, Memoir 11, Geological Survey Department, British Territories in Borneo.

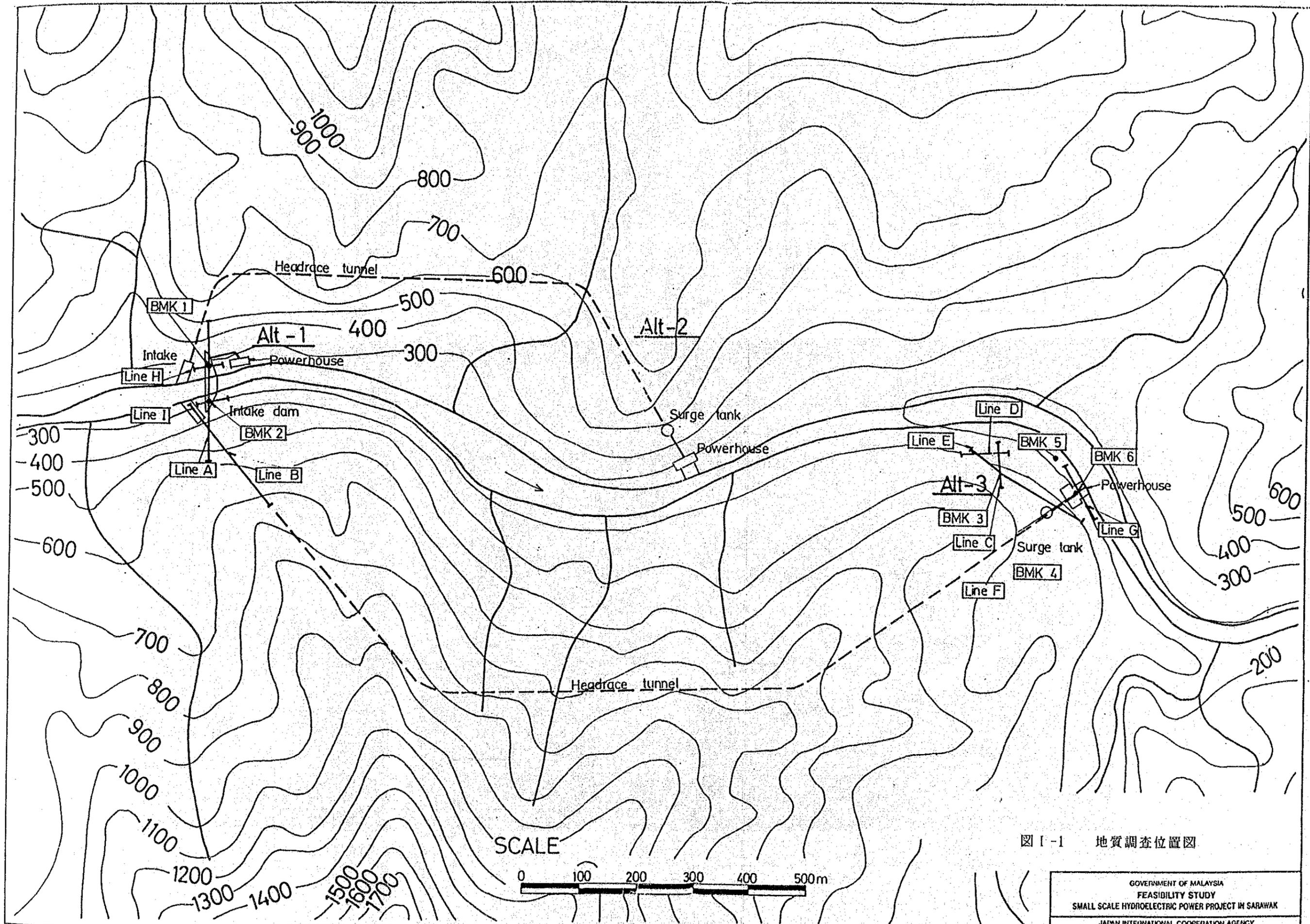
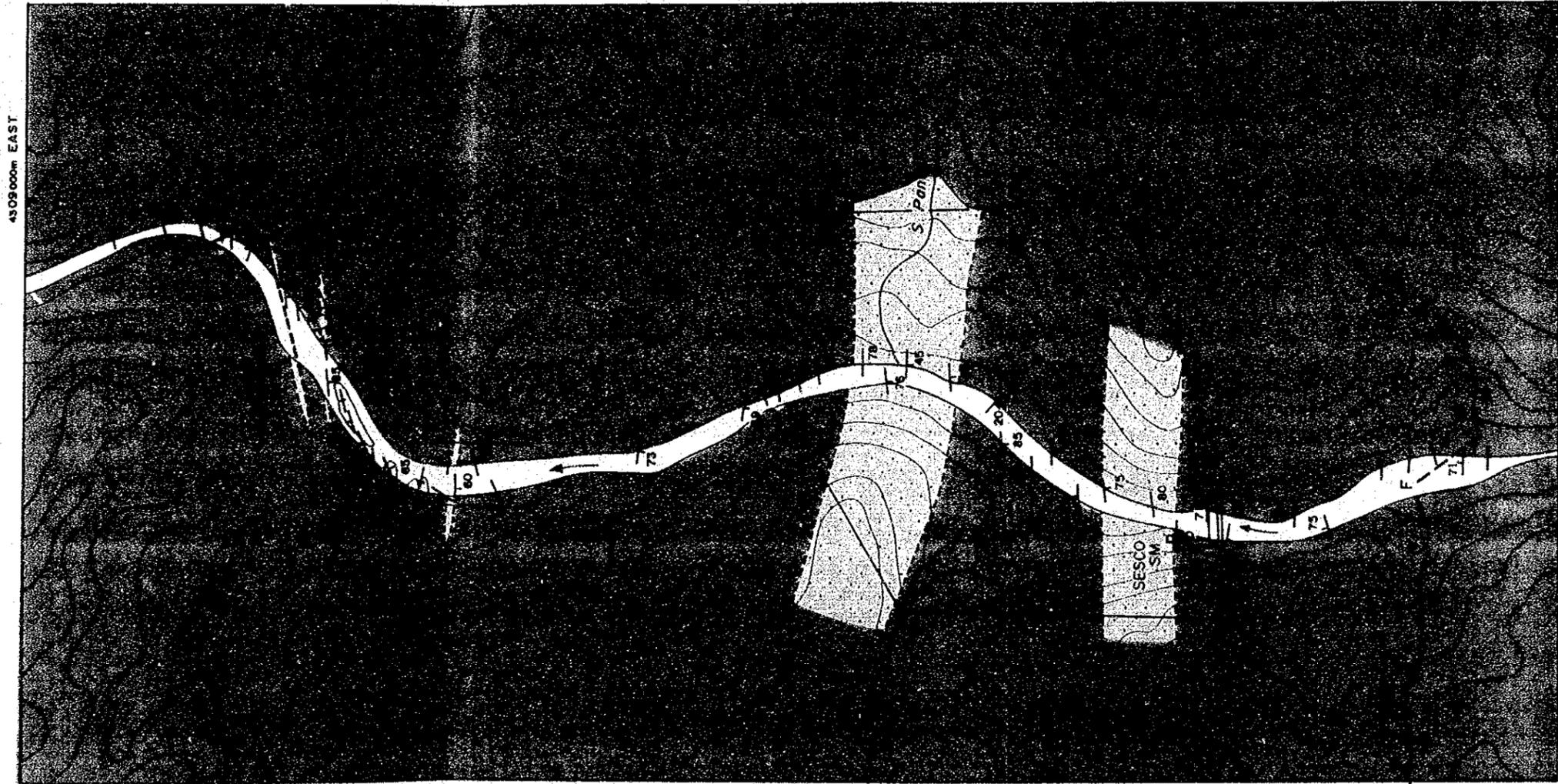


圖 I-1 地質調查位置圖

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



SCALE
0 250 500m

Shale : Hard, fresh, slightly metamorphosed, thinly and steeply bedded with a minor amount of thin sandstone intercalations. Tightly folded, faulted and fractured

Sandstone : Hard, fresh fine grained, slightly metamorphosed, thickly bedded, faulted and fractured

Attitude of beds in degrees

Vertical beds

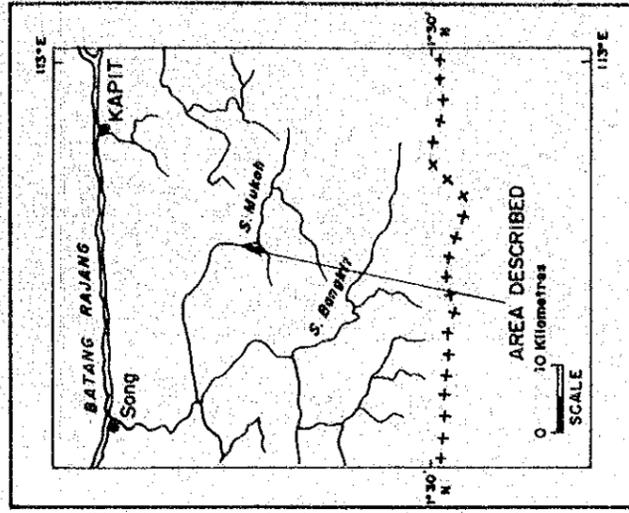
Landslide

Contour at 100 feet interval

F Fault

River flow direction

LOCALITY MAP



[Base Map (scale 1:10,000) is an enlargement of Topographic map sheet 1/112/4 (scale 1:50,000) published by the Director of Survey, Ministry of Defence, United Kingdom, 1968]

图 I-2 ムコ地点周辺の地質図

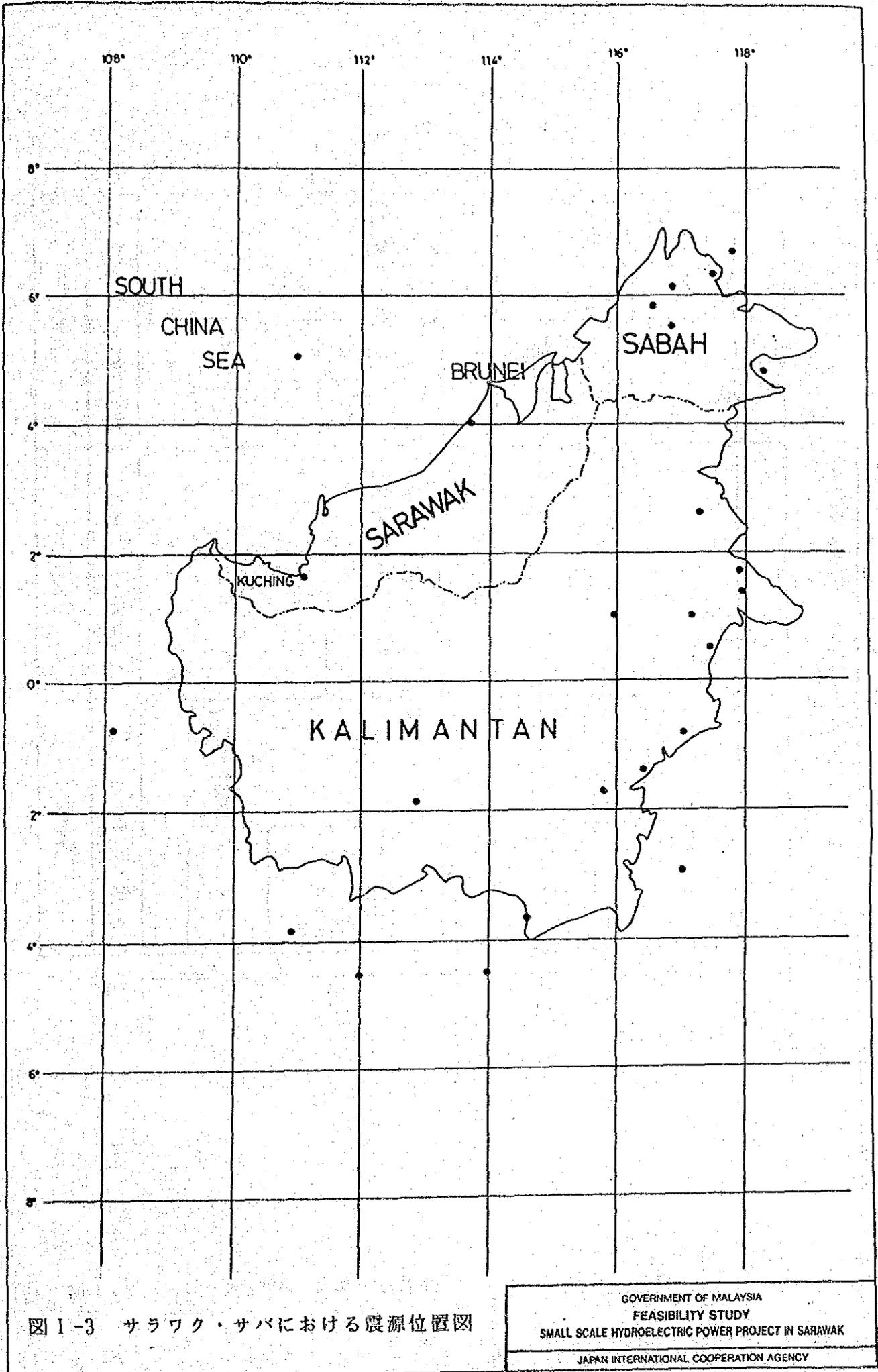
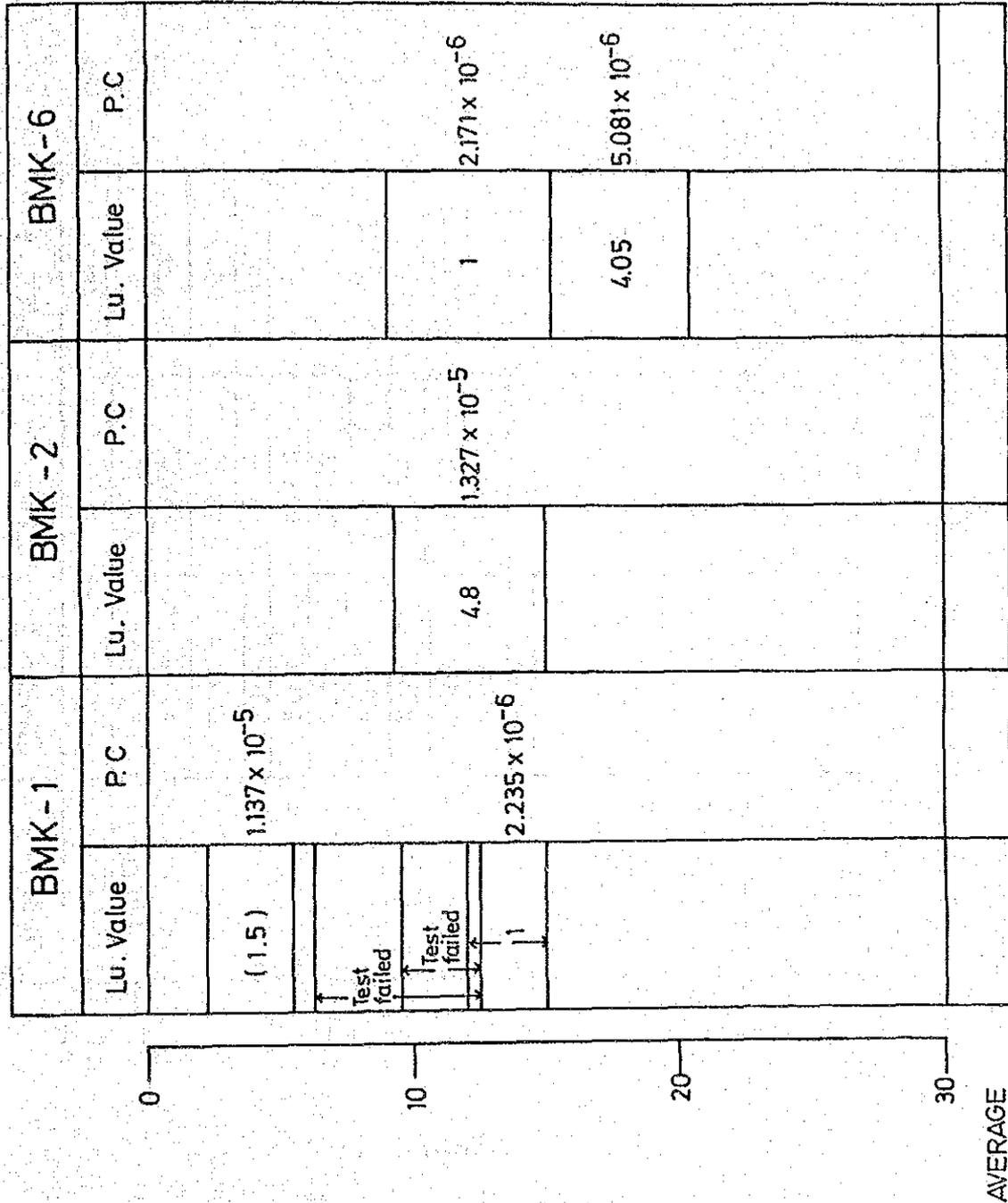


図 I-3 サラワク・サバにおける震源位置図

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



Note : P.C = Permeability Coefficient

図 1-4 ムコ地点のルジオン試験結果

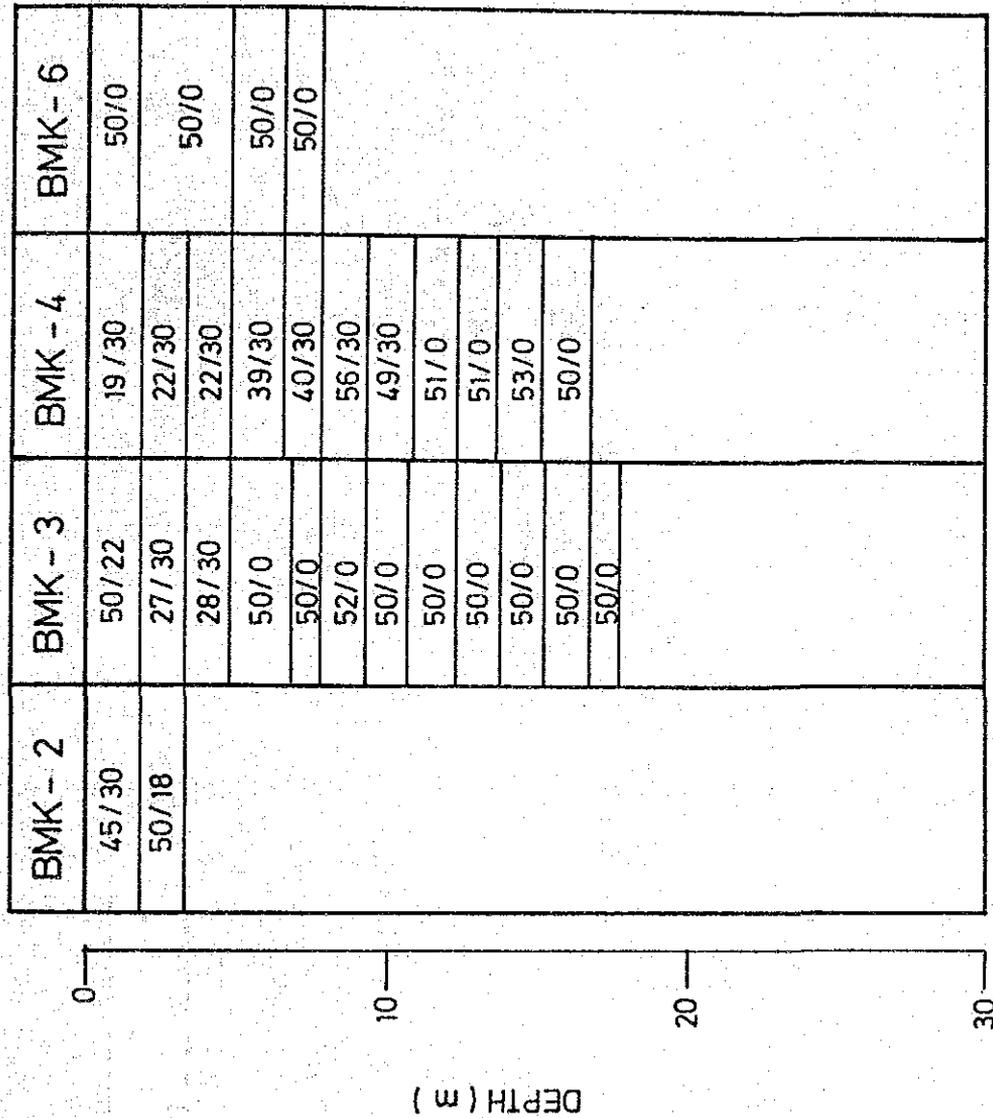


図 1-5 ムコ地点の標準貫入試験結果

NOTE. 1) S.P.T is the abbreviation of Standard Penetration Test .

2) Figures before and after slash are shown in the number of blows. (times) and the penetrated length (cm) respectively .