

ELEVATION (m)

120

110

100

90

80

70

60

50

ELEVATION (m)

120

110

100

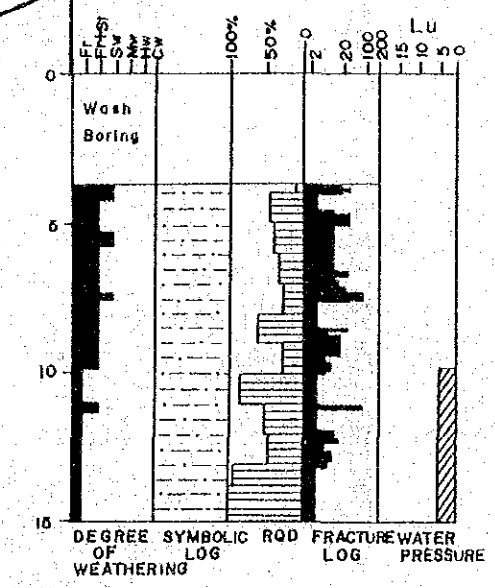
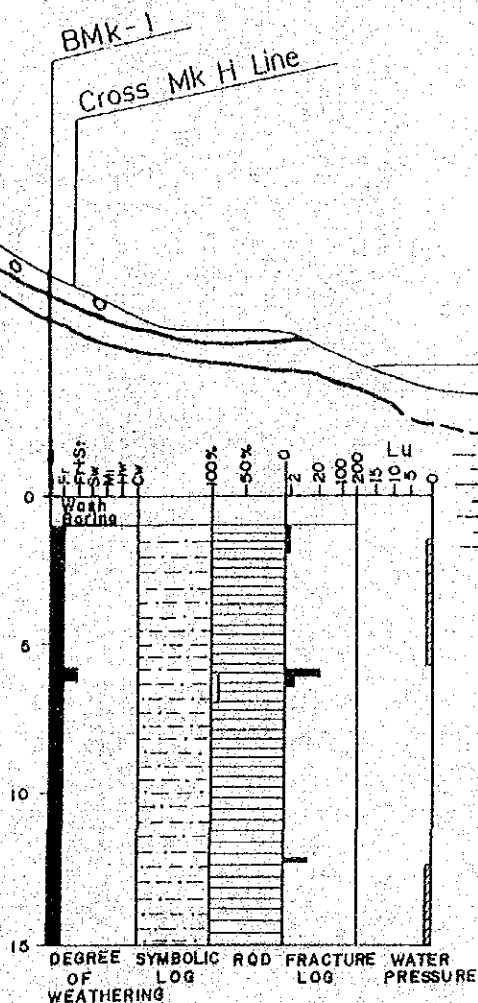
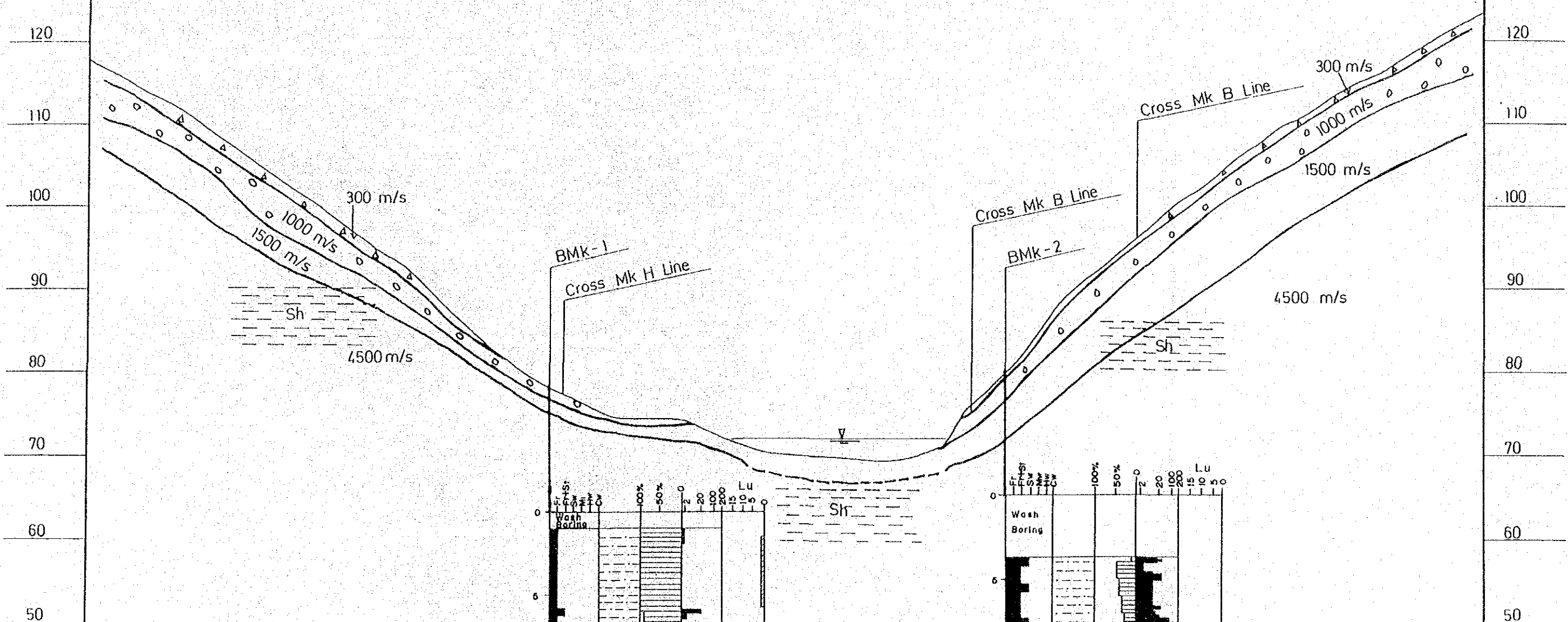
90

80

70

60

50



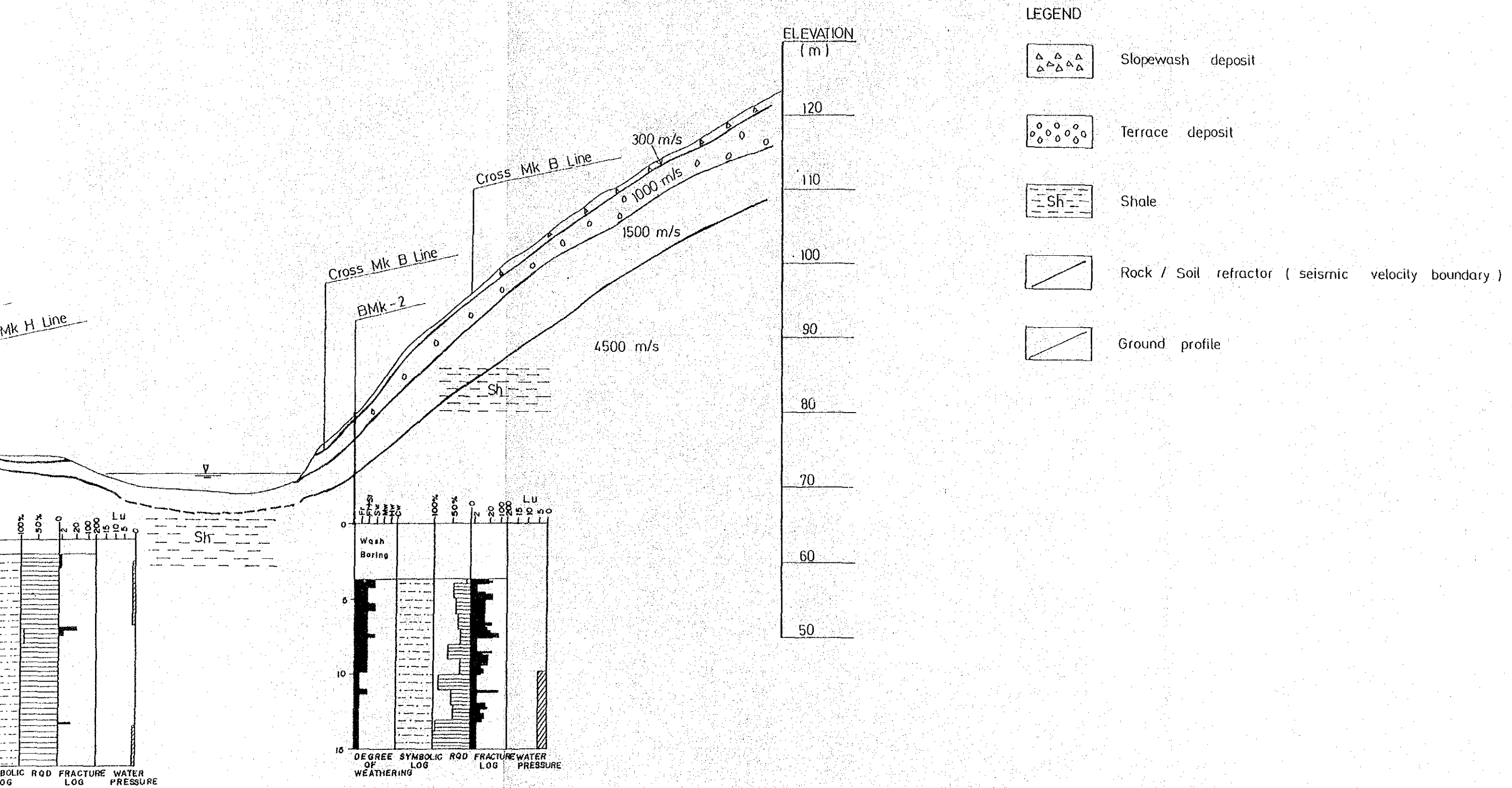


図 1-6 ダム軸の地質断面図

付 録 - II

材 料 調 査

目 次

	頁
第1章 概 要	II - 1
1.1 調査の内容	II - 1
1.2 材料採取予定地について	II - 1
1.3 室内材料試験	II - 2
第2章 コンクリート骨材	II - 3
2.1 現地調査	II - 3
2.2 室内試験	II - 3
2.3 評価と結論	II - 4
2.3.1 ムコ川の河床砂れき堆積物	II - 4
2.3.2 テカリット川の河床砂れき堆積物	II - 4
2.3.3 採石場候補地の砕石試料	II - 5
第3章 結論と勧告	II - 6

添 付 表 一 覧 表

表番号		頁
Ⅱ-1	材 料 調 査 の 数 量	Ⅱ-7
Ⅱ-2	テ ス ト ピ ッ ト お よ び 試 料 採 取 個 所	Ⅱ-8
Ⅱ-3	室 内 材 料 試 験 結 果 の 要 約	Ⅱ-9
Ⅱ-4	室 内 材 料 試 験 結 果	Ⅱ-10

添 付 図 一 覧 表

図番号

頁

Ⅱ-1 材料試験の試料採取箇所 Ⅱ-11

第1章 概 要

1.1 調査の内容

ムコ水力発電計画は、ラジャン川の南側支流域に属するテカリット川の上流ムコ川に位置し、コンクリート重力ダムおよび発電所のダム式発電計画である。

材料調査は、コンクリートダムおよび発電所等の主要材料であるコンクリート骨材調査を実施した。現地調査はダム地点付近のムコ川およびテカリット川に敷在する河床砂れき堆積物および採石場とした。まず、コンクリート骨材の採取候補地点の選定および採取可能量の推定を行った。採取候補地点にはテストピットを掘り、室内試験用の試料を採取した。そして、その試料の物性を把握し、コンクリート骨材としての適否を判断するために室内試験を実施した。室内試験はSESCOよりクチン市内にあるGeotechnique East Malaysia Sdn. Bhd. に委託して実施した。

1.2 材料採取予定地について

ムコ計画で必要とするコンクリート総量は、ダムおよび発電所等を合わせて、約20,000 m³である。したがって、コンクリート骨材の砂、砂利の量は約26,000 m³を必要とする。

調査は、これらの所要量を十分に採取可能な場所と量および室内試験用の試料採取を実施した。

ムコ川は山間を流れる幅わずか20~30mの溪流であり、河床砂れき堆積箇所は少ない。河床砂れき堆積物は、粒径が30~100cmの大きな玉石や岩石を多く含み砂、砂利は少ない。

ダム地点から約15km下流よりテカリット川となるが、この付近から河床砂れき堆積箇所も多くなり、最大粒径も20cm程度となる。しかし、それぞれの1箇所の堆積量は少ない。

その結果、ダムサイト付近の河床砂れき堆積物から得られるコンクリート骨材の全量は所要量に大幅に不足するので、ダム直下流左岸にある砂岩山腹に採石場を設ける。この場合は岩石を砕いた砕砂、砕石をコンクリート骨材として用いる。ダムサイト付近の岩質は、主に頁岩であり、砂岩が部分的に存在する。

現地調査および室内試験に用いる試料の採取は、1987年6月中旬に実施した。

1.3 室内材料試験

室内材料試験は、河床砂れき堆積物および採石場候補地点の露頭より採取した試料の諸物性値を室内材料試験より得て、コンクリート骨材として適切で使用可能かどうかの判定をするために実施した。また、地質調査用のボーリングコアについても物性および強度を知るために実施した。

試料は、採取した河床砂れき堆積箇所および採石場候補地点より、クチン市内まで運搬し室内材料試験を行った。

テストピットの掘削、試料採取および室内材料試験は、JICA専門家の技術指導のもとにSESCO専門技術者によって、1987年6月下旬より8月中旬の間に実施した。材料調査の試験項目と数量については、表II-1に示すとおりである。

第2章 コンクリート骨材

2.1 現地調査

河床砂れき堆積物の調査は、ムコ川のおよび下流のテカリット川について、ダムサイトより、上流は3km付近から、下流は35km付近までの区間で実施した。試料採取箇所は、500m²以上の河床砂れき堆積箇所とし、最大粒径も20cm以下の所とした。

調査の結果、6箇所の採取候補地点を選んだ。試料採取はそれぞれの河床砂れき堆積箇所に1箇所のピットを掘り、室内試験用として最大粒径80mm以下の砂、砂利を採取した。試料は、30kgを1袋としてビニール袋に密封し、クチン市まで運んで試験を行った。試料採取箇所、数量、最大粒径および採取重量を図Ⅱ-1および表Ⅱ-2に示す。

2.2 室内試験

河床砂れき堆積物の6箇所の全試料について、次の項目の室内試験を実施した。

- 1) 細、粗骨材のふるい分析試験
- 2) 細、粗骨材の比重、含水比試験
- 3) 砂の有機不純物含有試験
- 4) 粗骨材の軟石ひっかき試験

全試料6箇所の河床砂れき堆積箇所の中から、相対的に堆積量の多い箇所の3試料については、さらに、次の試験を実施した。

- 5) 細、粗骨材の安定性試験
- 6) 粗骨材のすりへり試験
- 7) 細、粗骨材の単位重量

採石場候補地点より採取した砕石に関するも次の試験を実施した。

- 8) 粗骨材の比重、含水比試験
- 9) 粗骨材の軟石ひっかき試験
- 10) 粗骨材の安定性試験
- 11) 粗骨材のすりへり試験

4箇所のボーリングコアの試料については次の試験を実施した。

12) 圧縮強度試験

13) 比重、含水比試験

各試験の方法は、“ASTM標準仕様1986”に基づいて実施した。それぞれの試験項目と数量は表Ⅱ-1に示し、表Ⅱ-3および表Ⅱ-4に試験結果を示す。なお、結果の評価については次節2.3の中で述べている。

2.3 評価と結論

2.3.1 ムコ川の河床砂れき堆積物 (TMK-6)

(1) ダムサイト近傍の河床砂れき堆積物は自然粒度状態ではコンクリート骨材として不適切である。最大粒径も約50cmと大きい。ダムのコンクリート骨材は一般的に最大粒径が100mm以下であるので、これより大きい粒径の砂利、玉石および岩石を取り除く必要がある。

ダムサイト付近の河床砂れき堆積物の全量は約3,000m³であるが、この中でコンクリート骨材として適用できる砂、砂利の量は全量の2分の1以下であるので、採取可能な総量は所要量に不足する。

(2) ムコ川の砂利はかなりの軟石と軽い石が含まれているので、比重も軽く、含水比も高く、軟石量も多いしすりへり率も高く、安定性も悪い。したがって、これらの砂利はコンクリート骨材として不適切である。砂は含水比が高く、安定性も悪い。

試験結果は1試料のみから得られたものであるから、今後、ムコ川の砂、砂利をコンクリート骨材として使用する場合は、再調査して他の数箇所を試料による試験が必要である。

2.3.2 テリカット川の河床砂れき堆積物 (TMK-1、2、3、4、5)

(1) 砂利は軟石を含んでいるものの、すりへり率はそれほど高くなく、他に問題もないのでコンクリート骨材として使用できる。

(2) 河床砂れき堆積物の最大粒径が約20cmであり、ムコ川と比較すれば小さくなっている。

しかし、10cm以上のものが堆積量の30%以上を占めている。

現地調査を実施した約20kmの間の河床砂れき堆積物の総量は約 6,800m³であるが、コンクリート骨材として使用できる量は約 4,700m³である。したがって、採取可能量はコンクリート骨材の所要量約26,000m³には甚だ不足する。

その上、この調査範囲の河川沿いには道路がなく、骨材採取地点とダムサイトの間の運搬距離が長いので、このプロジェクトのためのコンクリート骨材運搬は、難しく経済的に不利である。

2.3.3 採石候補地点の砕石試料 (TMK-7)

砂岩の砕石試料の品質を得るために、室内試験を実施した。表Ⅱ-3に示すように、この砕石試料はコンクリート骨材として使用できる品質である。

採石候補地はコンクリート骨材の所要量を十分に有し、運搬距離も短く最良である。

第3章 結論と勧告

(1) 河床砂れき堆積物の量について

ムコ川およびテカリット川の河床砂れき堆積物の採取可能量は、コンクリート骨材の所要量に対して甚だ不足している。骨材の運搬も、ダムサイトから遠いにもかかわらず搬出道路もないので、難しく経済的にも不利である。

(2) ダム地点の採石場候補地について

採石候補地は最良の場所と考えられるが、コンクリート骨材としての岩質と採石可能性を確認するために、今後さらに詳しい調査試験が必要である。

(3) 砂、砂利の特性について

ムコ川およびテカリット川の砂、砂利の岩質は主に頁岩と砂岩であり、頁岩は比重が軽く、含水比も大きく、軟石であり、すりへり抵抗も弱い傾向がある。したがって、これらの骨材を使用する場合は、コンクリート構造物の設計には十分な考慮が必要である。

表 II-1 材料調査の数量

Work Item	Quantity
1. Field investigation	
a. Test pitting	7
b. Sampling	7
2. Laboratory test	
2.1 River deposits	
a. Sieve analysis (ASTM C136)	6
b. Specific gravity and absorption (ASTM C128 & C127)	6 (Gravel) 7 (Gravel)
c. Organic impurities of sand (ASTM C40)	6
d. Scratch hardness of soft particulars in gravel (ASTM C235)	7
e. Soundness (ASTM C 88)	3 (Sand) 4 (Gravel)
f. Abrasion of gravel (ASTM C131 & C535)	4
g. Unit weight (ASTM C29)	4 (Sand) 4 (Gravel)
2.2 Drilled core sample	
a. Unconfined compression (ASTM D2938)	4
b. Specific gravity and absorption (ASTM C127)	4

表 II - 2 テストピットおよび試料採取個所

Sampling No.	Distance from dam site	Volume of river deposit (m ³)	Maximum size of particules (cm)	Sampling weight (kg)
TMK-1	15 km downstream (left bank)	600 (400)	10 - 20	90
TMK-2	22 km downstream (right bank)	2,000 (1,500)	10 - 20	180
TMK-3	25 km downstream (right bank)	1,200 (800)	10 - 20	180
TMK-4	27 km downstream (left bank)	1,500 (1,000)	10 - 20	90
TMK-5	32 km downstream (right bank)	1,500 (1,000)	10 - 20	90
TMK-6	2.5 km upstream (right bank)	3,000 (1,500)	30 - 50	180
	Total Volume	9,800 (6,200)		
TMK-7 (Rock samples from quarry)	left bank of dam site			50

Notes: 1; Figures in parantheses show the estimated volume of grain size under 10 cm.

2; Rock type of TMK-1 to TMK-6 are shale and sandstone and that of TMK-7 is sandstone.

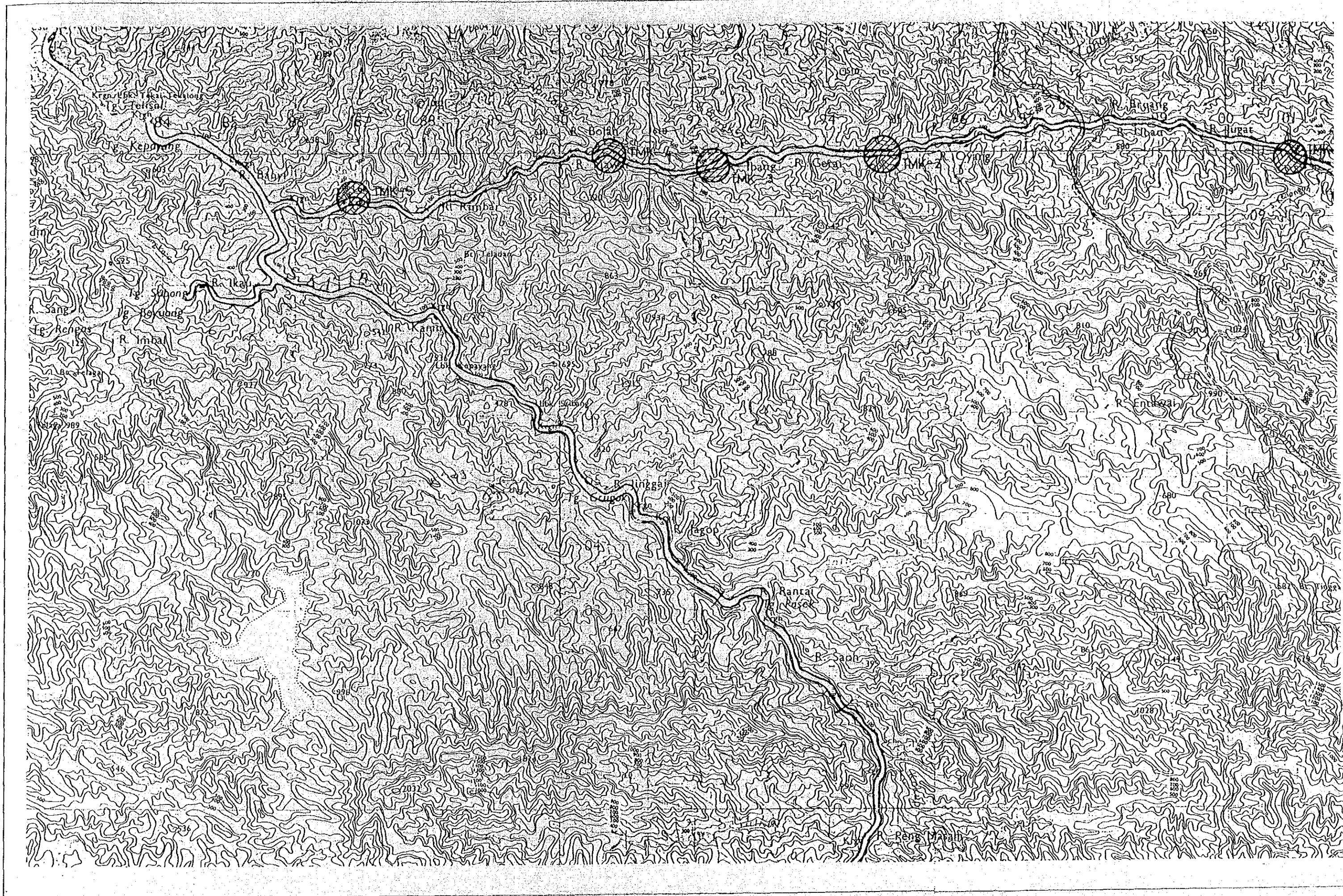
表 II - 3 室内材料試験結果の要約

Item of tests	Places			Value in general
	Mukoh River (TNK-6)	Tekalit River (TMK-1 - TMK-5)	Quarry (TMK-7)	
a. Fineness Modulus of gravel (F.M)	8.29	8.00	-	6.5 - 9.0
sand (F.M)	2.95	3.10	-	2.3 - 3.5
b. Specific gravity of gravel	2.484	2.529	2.500	2.5 - 2.7
sand	2.602	2.516	-	2.5 - 2.7
c. Absorption of gravel (%)	3.53	1.34	2.49	less than 3.0
sand (%)	4.02	1.35	-	less than 3.0
d. Organic impurities of sand	passed	passed	-	
e. Scratch hardness of gravel (%)	38.1	7.8	2.4	less than 5.0
f. Soundness of gravel (%)	15.3	6.4	1.9	less than 12.0
sand (%)	16.6	8.1	-	less than 10.0
g. Abrasion of gravel (%)	35.4	24.1	25.1	less than 40.0
h. Unit weight of gravel (t/m ³)	1.759	1.775	-	1.5 - 1.9
sand (t/m ³)	1.761	1.590	-	1.4 - 1.8

表 II - 4 室内材料試驗結果

Place and Sample No.	Sieve Analysis (Percentage Passing)												Specific Absorption			Scratch			Unit			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	(SSD)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(t/m ³)		
River bed deposit																						
Coarse	100	95	85	71	40	17	0	64	45	31	10	3	0	7.72	2.492	1.99	-	8.1	-	-	1.744	
TMK-1 Fine	100	96	88	77	52	33	20	13	0	6	2	1	0	3.47	2.505	1.19	-	-	-	-	1.735	
Original	100	91	75	59	32	14	0	77	62	50	13	3	0	7.95	2.535	1.74	-	10.4	7.2	-	1.791	
Coarse	100	92	79	66	43	28	17	13	11	7	3	1	0	2.95	2.521	1.09	-	-	-	-	1.518	
TMK-2 Fine	100	95	69	47	25	11	0	84	62	43	12	2	0	7.09	2.533	1.02	-	-	-	23.6	-	
Original	100	97	75	58	41	30	22	18	13	9	2	0	0	2.97	2.499	2.04	-	93	5.6	-	1.791	
Coarse	100	95	80	58	31	14	0	76	50	34	10	4	0	7.07	2.535	0.99	-	-	-	-	1.518	
TMK-3 Fine	100	96	84	67	46	32	21	17	11	7	2	1	0	3.26	2.570	1.00	-	6.8	-	-	-	
Original	100	87	69	51	21	7	0	88	73	44	8	2	0	6.96	2.550	0.96	-	-	-	-	-	
Coarse	100	89	74	60	35	23	17	15	12	7	1	0	0	8.21	2.486	1.44	-	4.3	-	-	-	
TMK-4 Fine	100	85	65	44	19	8	0	79	62	42	18	4	0	7.30	2.484	3.53	-	-	-	-	-	
Original	100	88	71	53	33	24	17	13	10	7	3	1	0	8.29	2.602	4.02	-	38.1	15.3	-	1.759	
TMK-5 Fine	100	88	71	53	33	24	17	13	10	7	3	1	0	2.95	-	-	-	-	-	-	1.761	
Original	100	88	71	53	33	24	17	13	10	7	3	1	0	7.39	-	-	-	-	-	-	-	
TMK-6 Fine	100	88	71	53	33	24	17	13	10	7	3	1	0	7.39	-	-	-	-	-	-	-	
Original	100	88	71	53	33	24	17	13	10	7	3	1	0	7.39	-	-	-	-	-	-	-	
TMK-7 (Crushed Rock)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.50	2.49	-	-	2.4	1.9	-	25.1

Drilled Core	Depth (m)	Condition of Sample Cores				Diameter (cm)	Height (cm)	Specific Absorption		Compressive Strength (Kg/cm ²)	Remarks
		Ground Water	Rock Type	Specific gravity (SSD)	Absorption (%)						
BMK-1A	5.55 - 5.75	Saturated	Shale	5.4	10.2	2.590	0.74	-	345.48		
BMK-1C	12.70 - 12.95	Saturated	Shale	5.4	10.4	2.620	0.40	-	323.86		
BMK-2A	10.70 - 10.95	Saturated	Shale	5.4	9.8	2.760	0.83	-	214.34		
BMK-2B	11.60 - 11.85	Saturated	Shale	5.4	9.9	2.710	2.87	-	214.34		



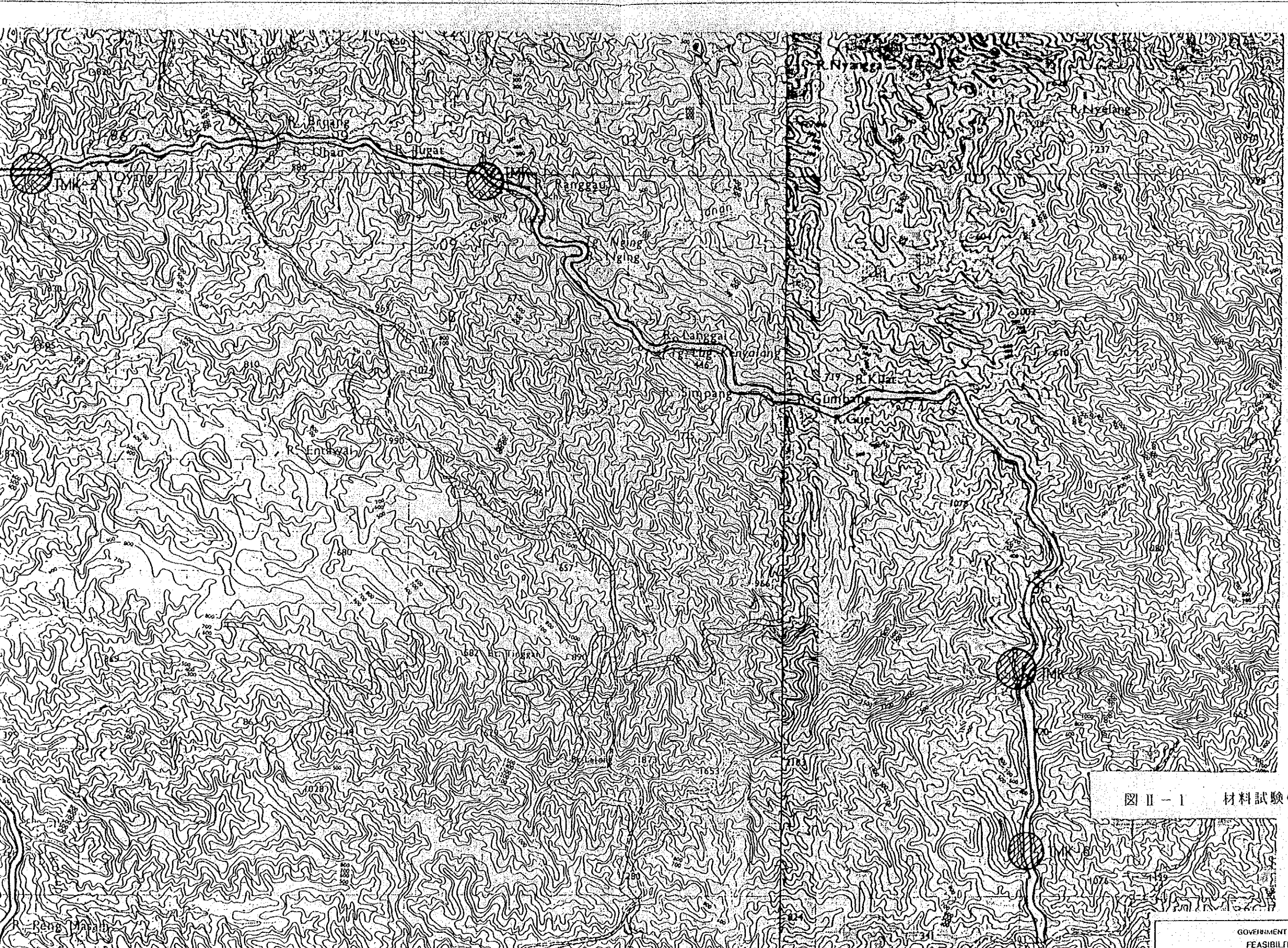


図 II - 1 材料試験の試料採取箇所

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

付 録 - III

水 文 解 析

目 次

	頁
第1章 概 説	Ⅲ-1
第2章 気 象	Ⅲ-2
2.1 気 候	Ⅲ-2
2.1.1 サラワク州の気候	Ⅲ-2
2.1.2 計画対象区域	Ⅲ-3
2.2 降 雨	Ⅲ-3
2.2.1 サラワク州	Ⅲ-3
2.2.2 計画対象区域	Ⅲ-3
第3章 水 文	Ⅲ-5
3.1 低水解析	Ⅲ-5
3.1.1 概 説	Ⅲ-5
3.1.2 タンクモデル	Ⅲ-5
3.1.3 タンクモデルの定数	Ⅲ-6
3.1.4 取水口予定地点における流況曲線	Ⅲ-7
3.1.5 年平均流量	Ⅲ-7
3.2 高水解析	Ⅲ-8
3.2.1 降雨解析	Ⅲ-8
3.2.2 高水解析	Ⅲ-10
3.3 堆砂および水質	Ⅲ-13
3.3.1 堆 砂	Ⅲ-13
3.3.2 水 質	Ⅲ-13

3.4 水利權	III - 13
---------------	----------

参考文献

添 付 表 一 覧 表

表 番		頁
表Ⅲ-1	気象観測所リスト	Ⅲ-15
表Ⅲ-2	代表雨量観測所における年降雨量	Ⅲ-16
表Ⅲ-3	ナンガ・バンキットにおける月降雨量	Ⅲ-17
表Ⅲ-4	取水口地点における日流量データ (1972)	Ⅲ-18
表Ⅲ-5	取水口地点における日流量データ (1974)	Ⅲ-19
表Ⅲ-6	取水口地点における日流量データ (1975)	Ⅲ-20
表Ⅲ-7	取水口地点における日流量データ (1984)	Ⅲ-21
表Ⅲ-8	取水口地点における日流量データ (1985)	Ⅲ-22
表Ⅲ-9	取水口地点における日流量データ (1986)	Ⅲ-23
表Ⅲ-10	降雨確率解析	Ⅲ-24
表Ⅲ-11	クチンにおける豪雨記録	Ⅲ-24
表Ⅲ-12	24時間降雨に対する3時間降雨の割合	Ⅲ-25
表Ⅲ-13	計 画 降 雨	Ⅲ-25
表Ⅲ-14	類似プロジェクトにおける損失雨量	Ⅲ-26
表Ⅲ-15	確率洪水ピーク流量と洪水量	Ⅲ-26
表Ⅲ-16	ムコ河における水質分析結果	Ⅲ-27

添 付 図 一 覧 表

図 番		頁
図Ⅲ-1	貿易風の吹送パターン	Ⅲ-28
図Ⅲ-2	月平均、最大および最低気温	Ⅲ-29
図Ⅲ-3	月平均相対湿度	Ⅲ-30
図Ⅲ-4	月平均日照時間	Ⅲ-31
図Ⅲ-5	月最大地上風速	Ⅲ-32
図Ⅲ-6	カピットにおける月平均蒸発量	Ⅲ-33
図Ⅲ-7	等雨量線図(年平均降雨量)	Ⅲ-34
図Ⅲ-8	代表雨量観測所における年降雨量	Ⅲ-35
図Ⅲ-9	等雨量線図(1月降雨量)	Ⅲ-36
図Ⅲ-10	等雨量線図(2月降雨量)	Ⅲ-37
図Ⅲ-11	等雨量線図(3月降雨量)	Ⅲ-38
図Ⅲ-12	等雨量線図(4月降雨量)	Ⅲ-39
図Ⅲ-13	等雨量線図(5月降雨量)	Ⅲ-40
図Ⅲ-14	等雨量線図(6月降雨量)	Ⅲ-41
図Ⅲ-15	等雨量線図(7月降雨量)	Ⅲ-42
図Ⅲ-16	等雨量線図(8月降雨量)	Ⅲ-43
図Ⅲ-17	等雨量線図(9月降雨量)	Ⅲ-44
図Ⅲ-18	等雨量線図(10月降雨量)	Ⅲ-45
図Ⅲ-19	等雨量線図(11月降雨量)	Ⅲ-46
図Ⅲ-20	等雨量線図(12月降雨量)	Ⅲ-47
図Ⅲ-21	計画区域位置図	Ⅲ-48
図Ⅲ-22	ナンガ・パッキットにおける月平均、最大および最小降雨量	Ⅲ-49
図Ⅲ-23	水文観測所位置図	Ⅲ-50
図Ⅲ-24	タンクモデル(カンボン・ギット)	Ⅲ-51
図Ⅲ-25	代表流量曲線(カンボン・ギット)	Ⅲ-52

図 番		頁
図Ⅲ-26	タンクモデル (ブアン・ビディ)	Ⅲ-53
図Ⅲ-27	代表流量曲線 (ブアン・ビディ)	Ⅲ-54
図Ⅲ-28	タンクモデル定数と流域面積との関係	Ⅲ-55
図Ⅲ-29	カピットにおける年降雨量の正規分布	Ⅲ-56
図Ⅲ-30	取水口予定地点における流況曲線	Ⅲ-57
図Ⅲ-31	比較的小流域における代表流量観測所の流況曲線	Ⅲ-58
図Ⅲ-32	流域平均雨量への変換係数	Ⅲ-59
図Ⅲ-33	時間雨量分布曲線	Ⅲ-60
図Ⅲ-34	取水口地点における確率洪水ハイドログラフ	Ⅲ-61
図Ⅲ-35	発電所予定地点における水位流量曲線	Ⅲ-62

第 1 章 概 説

昭和61年度に実施された予備的調査に引き続き、ムコ水力発電計画に対する気象・水文調査を行った。

今年度の気象・水文調査の目的は以下の通りである。

- 一 ムコ河流域およびその周辺における気象・水文データの収集整理。
- 一 ムコ計画地点近傍における水文観測所の新設および流量観測所地点における水位・流量曲線の推定。
- 一 ムコ計画（取水口地点）における平均流量の算定
- 一 ムコ計画（取水口地点）における計画高水の推定
- 一 ムコ計画（取水口地点）における堆砂量の推定
- 一 ムコ河における水質調査

第 2 章 気 象

2.1 気 候

2.1.1 サラワク州の気候

サラワク州は熱帯雨林気候帯に属し、一年を通じて湿度は高い。一般に北東貿易風が10月中旬から4月中旬まで、また、南西貿易風が4月中旬から10月中旬まで発生する。それぞれの発生パターンを図Ⅲ-1に示す。

一般的に、南西貿易風は北東貿易風に比べ活発でないため、サラワク州の雨期は北東貿易風の発生時期と一致している。サラワク州南西地域ではこの北東貿易風の影響で雨期と乾期が季節的に顕著であるが、サラワク州の北東部（特に、サバ州との境界付近）では南西貿易風の影響をも受けるため雨期と乾期の区別は明確ではない。

サラワク州での気象データはマレーシア気象局により4観測所において比較的長期にわたって観測されている。各観測所の位置および緯度を表Ⅲ-1に示す。

日平均気温は年間を通じて約26℃と一定しており、その変化は日変化に起因している。各観測所における各月の日平均、最高および最低気温を図Ⅲ-2に示す。また、日平均相対湿度も季節的に微かな変化はあるものの図-3に示すように85%から87%で一定している。

日平均日照時間は5.7時間である。年間総日照時間は2,080時間と推定される。日照時間の月平均変化を図Ⅲ-4に示す。

地上最大風速は1964年9月にクチン空港において31.8m/sを記録している。日平均地上風速は0.9m/sから1.3m/sである。各月における最大地上風速を図Ⅲ-5に示す。

2.1.2 計画対象区域

計画対象区域およびその周辺に気象観測所はなく、カピットにおいて蒸発量データが記録されているのみである。月平均蒸発量は図Ⅲ-6に示すように10月に最大値 148.3mmを示し、2月に最小値 121.1mmを示す。年平均蒸発量は 1,652mmと推定される。

2.2 降 雨

2.2.1 サラワク州

1986年に発行された「Sarawak Hydrological Year Book (1981-1982)」では 136箇所の雨量観測所のデータが収集されている。比較的長期の記録の存在する代表的雨量観測所における年降雨記録を表Ⅲ-2に示す。また、図Ⅲ-7には年降雨量の等雨量線図を示す。

過去20年間におけるサラワク州の年平均降雨量は 3,700mmと推定される。年最大降雨量は1970年の 4,310mmであり、年最小降雨量は1972年の 3,272mmである。図Ⅲ-8にはサラワク州を代表する3箇所の雨量観測所の年降雨量を示す。図中のクチンは南西部、カピットは中央部またウコンは北東部の代表観測所である。

図Ⅲ-9から図Ⅲ-20に示した月平均等雨量線図から判断して、第1行政区から第4行政区、第6行政区および第7行政区においては10月から2月にかけて雨期となるが、第5行政区では年間を通じて一定の降雨量が発生している。

2.2.2 計画対象区域

136箇所の雨量観測所のうち、ナンガ・バックセットがムコ計画に最も近傍の雨量観測所である。計画対象区域近傍における雨量観測所網を図Ⅲ-21に示す。

カピットにおいて記録された31年間（1956-1986）のデータをもとにナンガ・バックセ

トにおけるデータとの相関解析を実施し、計画対象区域における年降雨量を 4,038mm と推定した。表Ⅲ-3 に相関解析後のナンガ・バッキットの月雨量データを示す。なお、カピットとナンガ・バッキットとの相関係数は 0.702 であった。

年最大降雨量は1966年の 5,233mm であり年最小降雨量は1972年の 2,408mm であった。特に、1972年7月から8月における総降雨量84.6mmは 100年確率渇水年をも超過するものである。

計画対象区域における乾期は6月から8月と定義される。月降雨量は7月に 237.2mm と最小値を示し、12月に 432.9mm と最大値を示す。図Ⅲ-22に、月平均、月最大および月最小降雨量を示す。

第3章 水 文

3.1 低水解析

3.1.1 概 説

流れ込み式発電計画は一般に10年間の日流量データを吟味して計画される。しかしながら、取水口予定地点における流量データは数ヵ月のみしか存在しない。今回の解析ではタンクモデル法によりナンガ・バッキットの日雨量データをもとに6年間の流量データを生成した。タンクモデル法における各流出孔の定数はサラワク州第1行政区のカンボン・キットおよびブアン・ビディの同定結果を用いた。

流れ込み式発電計画の開発規模の算定にあたっては、日流量を大きい順に並び換えた流況曲線を利用した。

3.1.2 タンクモデル

タンクモデルは雨量データを用いて基準地点の流量データを推定する一つの有効な手法である。タンクモデルは一般に直列に連なった3個あるいは4個のタンクからなり、各タンクの側壁にはその流出量を河川の流量と見なす流出孔がある。

タンクモデルの基本方程式を以下に示す。

$$Q_n = 0 \quad (X_n < H_1)$$

$$Q_n = A_1 (X_n - H_1) \quad (H_1 < X_n < H_2) \quad (\text{式 III. 1})$$

$$Q_n = A_2 (X_n - H_2) + A_1 (X_n - H_1) \quad (H_2 < X_n)$$

$$Z_n = b X_n \quad (\text{式 III. 2})$$

$$X_n' = X_n - Q_n - Z_n - E_n \quad (\text{式 III. 3})$$

$$X_{n+1} = X'_n + I_{n+1} \quad (\text{式 III.4})$$

- ここに、
- X_n : n日目の貯留高
 - Q_n : n日目の側壁からの流出量
 - Z_n : n日目の浸透孔からの浸透量
 - E_n : n日目の蒸発量
 - X'_n : n日目終了時の貯留高
 - I_{n+1} : (n+1)日目の流入量
 - A_1 、 A_2 : 側壁流出孔の流出係数
 - H_1 、 H_2 : " の高さ
 - b : 浸透孔の浸透係数

3.1.3 タンクモデルの定数

今回の解析では直列4段モデルを採用し、各孔の係数を算定するため、カンボン・ギット（流域面積 440km²）およびブアン・ビディ（流域面積 217km²）の日流量データ、また各観測所の流域内の日雨量データを用いた。各観測所の位置を図III-23に示す。

雨量データの記録年数から判断して、ブアン・ビディに対してクロコンおよびカンボン・ギットに対してスグ・ブタック、カンボン・エンバンおよびパダワンのデータを利用した。後者の流域平均雨量算定にはティーセン法を用いた。実測流量との同定を行った期間はブアン・ビディに対して7年間およびカンボン・ギットは2年間である。

両観測所ともに高水流量に対する水位・流量曲線の信頼性が低いため低水流量での同定作業に主眼を置いた。カンボン・ギットにおける解析結果を図III-24および図III-25に示し、ブアン・ビディの解析結果を図III-26および図III-27に示す。

上述の結果を計画対象区域に応用するため、両観測所における浸透孔定数を流域面積比で示したものが図III-28である。結果として、取水口予定地点におけるタンクモデルの浸

透孔定数を0.0016と算定した。

3.1.4 取水口予定地点における流況曲線

ムコ河流域には雨量観測所が無いため、サラワク州の136雨量観測所のうち対象流域に最も近いナンガ・バッキットの雨量データをタンクモデルへ適用した。

ナンガ・バッキットにおける雨量観測は1964年以来実施されているが欠測値も少なくない。したがって、一年の連続した雨量データの存在する6年間、即ち1972、1974、1975、1985および1986を用いた。算定した日流量データを表Ⅲ-4から表Ⅲ-9に示す。また、生成した日流量データを大きい順に並び換えて得られた流量曲線を図Ⅲ-30に示す。

3.1.5 平均流量

代表流況曲線の算定にあたって、カピットにおける年降雨量の変化は正規分布にしたがうと仮定し、加重平均法を採用した。年降雨量の正規分布を図Ⅲ-29に示す。

各流況曲線に適用した加重は、それぞれの年降雨量の代表面積が正規分布総面積に占める割合とした。加重平均法によって求めた代表流況曲線を図Ⅲ-30に示す。

また、各流況曲線における平均流量へも加重平均法を適用し、年平均流量 $19.1\text{m}^3/\text{s}$ を得た。

指定した取水口地点における代表流況曲線と、サラワク州における比較的小流域面積をもつ流量観測所の流況曲線を比較したものを図Ⅲ-31に示す。

3.2 高水解析

3.2.1 降雨解析

(1) 確率降雨

ナンガ・バンキットにおいて記録された毎年の日最大降雨量をもとに確率計算を行った。1日、2日、3日および5日年最大降雨量について2年、5年、10年、20年、50年、100年および200年確率降雨を算定した。

計算手法として(i)ガンベル法、(ii)岩井法および(iii)対数ピアソンⅢ型を採用し、降雨記録のプロットングホジションとの整合性を検証した。表Ⅲ-10に確率降雨を示す。

上記3手法ともに整合性は良いので、マレイシアかんがい局で推奨するガンベル法を採用した。

(2) 流域平均雨量への変換係数

一般に、流域平均雨量は、その流域面積が増加するにつれ減少する傾向にある。一方、地点雨量から流域平均雨量を推定するにはDAD解析が必要であるが、ムコ流域には統計的手法で変換係数を推定する十分なデータはない。

したがって、図Ⅲ-32に示すマレイシアかんがい局の推奨する変換係数を採用した。ムコ流域に対する変換係数を0.93と推定した。

(3) 雨量継続時間曲線

ナンガ・バンキットでは時間雨量データがないため、クチン空港での集中豪雨記録をもとに時間雨量分布曲線を推定した。

今回の解析で採用した4個の降雨累加曲線を表Ⅲ-11に示す。データによれば24時間総降雨量のうちその80%が前期15時間以内に生起していることが判明した。

雨量継続時間曲線は図Ⅲ-33に示すように上述した4個の降雨累加曲線の算術平均をもって代表値とした。表Ⅲ-12には3時間雨量分布の24時間雨量に対する割合を示す。

(4) 計画降雨

計画降雨の算定にあたっては、バタンアイ水力発電計画における計画高水を参考とした。

上記計画ではダム地点で観測した5個の洪水記録をもとに確率洪水を算定している。確率洪水波形から判断して洪水の直接流出は30時間程度であり、洪水到達時間を減じると24時間降雨が確率洪水を生起させると考えられる。バタンアイ水力発電計画の対象流域面積は、1,200km²であり、ムコ発電計画（流域面積 292km²）の計画降雨継続時間を24時間と推定することは十分安全といえる。

したがって、ムコ計画における計画降雨継続時間を24時間とし、流域平均雨量を下式で算定した。

$$R_{24} = C_t \times R_t \dots\dots\dots (式Ⅲ・5)$$

ここに R_{24} : 24時間計画降雨 (mm)

C_t : 流域平均雨量の交換係数 (0.93)

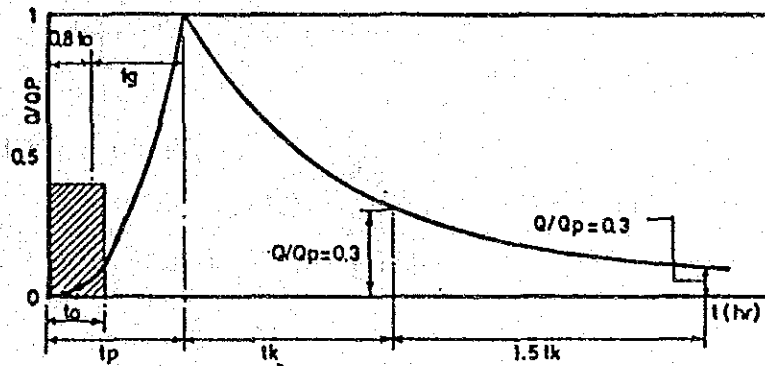
R_t : 確率日雨量 (mm)

算出した24時間計画降雨は8個の3時間雨量に分割した。計画降雨を表Ⅲ-13に示す。

3.2.2 高水解析

(1) 単位図の作成

ムコ計画対象流域における単位図を中安総合単位図法により算定した。単位図の推定は下式による。



(1) ピーク遅れ時間

$$t_q = 0.5 + 0.058L \quad (L < 15\text{km}) \quad \dots\dots\dots (式 3.6)$$

$$t_q = 0.21 \times L^{0.7} \quad (L > 15\text{km}) \quad \dots\dots\dots (式 3.7)$$

ここに、 t_q : ピーク遅れ時間 (hr)

L : 河道長 (km)

$$t_k = 0.47 (AL)^{0.25} \quad \dots\dots\dots (式 3.8)$$

ここに、 t_k : ピーク発生時間 (t_p) から

ピーク流量の30%流量になるまでの時間 (hr)

A : 流域面積 (km²)

(2) ピーク流量

$$Q_p = AR_o / [3.6 (0.3 t_p + t_k)] \quad \dots\dots\dots (式 3.9)$$

ここに、 Q_p : ピーク流量 (cms)

R_o : 単位有効雨量 (mm)

(3) 到達時間

$$t_p = T_1 = 0.8 t_o + t_q \dots\dots\dots (式 3.10)$$

$$t_1 = T_2 = t_p + t_k \dots\dots\dots (式 3.11)$$

$$t_2 = T_3 = t_p + t_k + 1.5 t_k \dots\dots\dots (式 3.12)$$

(4) 単位図

—洪水増水期

$$Q_r = (t / t_p)^{2.4} \quad (0 < t < t_p) \dots\dots\dots (式 3.13)$$

—洪水減水期

$$Q_r = 0.3 \exp [(t - t_p) / t_k] \quad (T_1 < t < T_2) \dots\dots (式 3.14)$$

$$Q_r = 0.3 \times 0.3 \exp [(t - T_2) / 1.5 t_k] \quad (T_2 < t < T_3) \dots\dots (式 3.15)$$

$$Q_r = 0.3 \times 0.3 \times 0.3 \exp [(t - T_3) / 2 t_k] \quad (t > T_3) \dots\dots\dots (式 3.16)$$

(2) 損失雨量

先行降雨による土壌の飽和を考慮し、初期損失雨量は考慮しなかった。一方、時間損失雨量を毎時 2.5mm と仮定した。

この時間損失雨量は表 III-14 にまとめたサラワク州およびマレーシア半島部での発電水力計画を参考に推定した。

時間損失雨量は一般に流域面積の増加に伴い増加する傾向にある。従って、ムコ流域が急峻な山岳地形を形成しており流域面積も比較的小さいこと、また上流域での木材伐採が将来損失雨量を減ずるであろうことを考慮し、上表中の最小値である毎時 2.5mm を採用した。

(3) 確率洪水ハイドログラフ

確率洪水ハイドログラフは下記の手順により推定した。

(イ) 単位図を中安総合単位図法により推定する。

(ロ) 種々の再現期間に対する24時間計画ハイエトグラフをもとに洪水ハイドログラフ(直接流出分)を推定する。

(ハ) 損失雨量として毎時 2.5mmを計画ハイエトグラフより減じる。

(ニ) 基底流出量として年平均流量を採用する。

それぞれの再現期間に対応する取水口地点での確率洪水ハイドログラフを図Ⅲ-34に、また、ピーク流量および洪水流出高を表Ⅲ-15に示す。

(4) 発電所予定地点における水位・流量曲線

発電所予定地点における水位・流量曲線をマンシングの等流公式により算定した。

$$Q = n^{-1.49} A R^{0.667} I^{0.5} \quad (\text{式Ⅲ-17})$$

ここに、Q：流量 (m³/s)

n：マンシングの粗度係数 (=0.050)

A：流積 (m²)

R：径深 (m)

I：水面勾配

なお、計算に使用した水面勾配の値 (1/100) は5万分の1の地形図より推定した。計画高水位は計画高水 (200年確率洪水) に対し77.900mと算定された。

3.3 堆砂および水質

3.3.1 堆 砂

河川流水中に含まれる堆砂量測定は1987年6月24日から29日かけて発電所予定地点において5回実施された。しかしながら、流量堆砂量曲線を推定するには不十分であるため、取水口予定地点における堆砂量をバクンおよびバタン・アイの両水力発電計画で推定された崩壊土砂量をもとに推定した。

上記計画においては50年堆砂量としてバタン・アイ計画では1.0mm/年に相当する1.25百万m³およびバクン計画では0.5mm/年に相当する7.60百万m³をそれぞれ推定している。

取水口予定地点における堆砂量は、安全側の計画値として年崩壊土砂量1.0mmとし、取水堰地点での通過堆砂量を0.29百万m³と推定した。

3.3.2 水 質

水質サンプリングを上述した堆砂量測定と同時期に実施した。検査結果を表Ⅲ-16に示す。

3.4 水 利 権

ムコ計画予定地点から上流に住居は存在しない。ロングハウス（現地人住居）の最上流位置は発電所放水口予定地点より約2万km下流である。

また、木材の伐採事業は尾根づたいに走る木材搬出道路が利用され、ムコ河はその搬出作業には利用されていない。

参 考 文 献

1. Drainage and Irrigation Department, Sarawak Hydrological Year Book, 1962 - 1982
2. Drainage and Irrigation Department, Estimation of the Design Rainstorm (Hydrological Procedure No. 1), 1973
3. Drainage and Irrigation Department, Estimation of Design Rainstorm in Sabah and Sarawak (Hydrological Procedure No. 26), 1982
4. ENEX Mini-Hydro Consultants, Final report on Hydrological Study in Sarawak, March 1982
5. L. Linsley, Hydrology for Engineers (Third Edition), McGraw-Hill, 1982
6. M+R International, Prefeasibility Study Limbang River Basin, January 1980
7. SAMA Consortium, Feasibility Report on Bakun Hydro-electric Project, November 1983
8. Snowy Mountains Engineering Corporation, Feasibility Report on Batang Ai Hydroelectric Project, December 1978
9. Toshio Takenouchi (JICA), Hydrological Characteristics of Sarawak, October 1982
10. WMO, Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation (Operation Hydrology Report No. 1), WMO-No.332, 1973
11. M. Sugawara, On the Analysis of Runoff Structure about Several Japanese Rivers, Japanese Journal of Geophysics Vol. 2, No. 4, March 1961

表 III - 1 気象観測所リスト

No	Name of Station	Location		Altitude (a.m.s.l.)	Recording period
		Latitude	Longitude		
1	Kuching aerodrome	01° 29'N	110° 20'E	21.7	1954-1986
2	Sibu aerodrome	02° 20'N	111° 50'E	7.5	1968-1986
3	Bintulu aerodrome	03° 12'N	113° 02'E	3.1	1968-1986
4	Miri aerodrome	04° 20'N	113° 59'E	17.0	1968-1986

表Ⅲ-2 代表雨量観測所における年降雨量

(Unit:mm)

Year	Rainfall Gauging Station		
	Kuching	Kapit	Ukong
1950	3,951		
1951	3,873		
1952	4,404		
1953	4,220		
1954	3,884		
1955	4,677		
1956	3,529	3,405	
1957	3,861	3,004	
1958	3,722	3,000	
1959	3,553	3,808	
1960	3,872	4,025	
1961	4,160	4,022	
1962	4,516	3,237	
1963	4,909	3,767	4,402
1964	4,792	3,535	4,374
1965	3,329	3,659	4,362
1966	3,696	4,529	3,804
1967	3,654	3,630	4,201
1968	4,441	3,706	5,150
1969	4,277	3,672	3,729
1970	4,262	4,714	3,592
1971	4,988	4,353	3,609
1972	3,099	3,178	3,801
1973	4,521	4,571	4,327
1974	3,325	3,479	4,395
1975	4,520	3,574	4,022
1976	3,770	3,151	3,268
1977	5,296	2,870	3,549
1978	4,236	3,558	3,533
1979	4,365	3,901	3,839
1980	4,651	4,633	4,519
1981	3,869	3,224	3,668
1982	3,327	4,473	3,252
1983	4,118	4,021	3,616
1984	4,488	4,170	4,469
1985	3,772	3,500	3,424
1986	4,264	3,530	3,122
Maximum	5,296	4,714	5,150
Minimum	3,099	2,870	3,122
Average	4,104	3,739	3,903

表Ⅲ-3 ナンガ・パンキットにおける月降雨量

(Unit : mm)

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
1956	378.5	353.2	336.9	194.8	394.3	394.1	288.7	288.7	262.3	419.3	207.5	264.8	3783.1
1957	242.6	224.3	339.1	297.7	486.0	312.7	263.1	127.1	239.2	334.0	224.8	398.6	3489.2
1958	275.1	177.2	398.6	162.0	281.0	363.4	133.6	331.4	345.4	410.0	336.7	271.5	3486.0
1959	527.6	384.3	277.5	354.4	308.4	380.8	198.1	256.5	305.3	488.7	322.0	312.2	4115.7
1960	525.9	329.8	192.9	419.2	348.8	335.8	266.1	217.7	419.9	413.8	338.9	429.0	4237.8
1961	375.2	648.4	498.0	331.1	252.4	245.2	242.4	250.4	379.7	227.7	391.7	393.5	4235.6
1962	372.0	351.5	408.2	360.0	292.4	259.6	202.2	248.9	237.3	402.3	241.1	284.2	3659.7
1963	529.5	428.1	420.0	272.2	330.3	238.9	235.5	227.5	258.4	318.7	310.4	482.6	4052.1
1964	364.2	406.0	380.8	371.0	238.1	317.3	433.2	221.3	591.6	241.1	504.2	277.4	4346.2
1965	292.5	253.5	313.4	247.2	279.7	283.0	161.7	352.7	311.3	356.1	333.2	809.5	3993.8
1966	759.0	511.6	492.5	386.8	352.6	433.6	180.3	447.8	407.4	277.4	508.8	475.5	5233.3
1967	542.8	334.5	290.3	324.1	550.7	278.4	317.8	226.7	302.0	485.1	514.1	497.3	4663.9
1968	248.3	247.1	655.1	360.1	222.4	323.1	243.8	231.0	277.6	443.5	418.1	493.6	4163.8
1969	294.0	328.4	414.0	269.4	455.9	179.8	280.9	366.1	254.0	431.0	261.1	419.0	3953.7
1970	471.2	316.0	414.0	334.4	339.4	161.0	307.3	6.6	451.4	469.9	375.1	522.9	4169.2
1971	437.9	387.3	358.1	281.0	265.2	332.2	127.8	634.7	357.4	351.5	838.7	989.8	5361.6
1972	258.8	372.6	88.9	165.4	236.7	216.2	6.6	78.0	310.9	146.3	291.1	236.5	2408.0
1973	350.7	190.8	452.1	373.4	357.9	358.1	285.2	345.9	512.8	299.5	334.8	469.6	4320.8
1974	199.1	202.2	169.2	255.3	207.3	137.9	240.5	292.1	554.2	481.6	178.1	181.9	3099.4
1975	381.3	299.0	347.7	315.5	487.9	189.2	269.2	349.8	352.6	255.8	213.6	441.5	3903.1
1976	213.1	243.1	133.4	382.0	116.8	149.4	200.2	323.9	114.3	340.9	345.9	326.6	2889.6
1977	292.4	388.4	374.9	258.2	252.7	204.7	188.2	183.8	275.1	304.8	339.7	327.6	3390.3
1978	366.1	309.2	435.0	315.8	456.3	201.7	248.0	225.6	326.5	325.0	303.1	382.9	3895.2
1979	321.3	339.3	354.6	279.5	248.0	392.1	305.9	243.5	445.0	319.5	516.1	222.3	3987.2
1980	269.3	217.2	215.0	624.0	340.1	325.0	300.8	153.9	332.0	627.0	546.5	531.6	4482.4
1981	460.0	154.8	195.3	238.6	107.0	286.5	156.0	110.3	148.5	452.0	455.2	442.0	3206.2
1982	492.6	363.5	347.0	312.5	428.8	228.1	162.8	202.1	208.7	297.8	245.8	369.7	3659.5
1983	396.2	235.5	222.6	287.6	322.1	253.1	292.0	90.9	834.0	585.5	279.4	846.0	4644.7
1984	617.0	700.5	467.5	516.0	235.0	412.5	394.0	183.5	137.1	367.0	233.0	436.5	4699.6
1985	340.0	461.9	592.5	255.2	328.5	157.5	258.3	290.0	350.0	460.5	487.5	519.0	4500.9
1986	785.5	219.8	802.5	458.5	340.0	568.5	162.5	193.5	295.5	405.5	536.0	365.5	5133.3
AVE.	399.3	334.5	367.3	322.7	318.2	287.7	237.2	248.5	341.9	378.7	368.8	432.9	4037.6