

4. 地形および地質

4. 地形および地質

4.1 計画地域の地形・地質の概要

4.1.1 地形概要

FIG. 3-1に示すごとく、ダムサイト付近は東側山脈が低平地帯に向かい徐々に高度を下げる地域にあたり、標高 400 ～ 500m の定高性を有する山地に囲まれている。主稜線はマレイ半島の一般的地形・地質傾向である北北西－南南東方向に走っている。詳細にみると、FIG. 4-1に示すようにレビル川は波長数kmの蛇行を繰り返しており、主ダムサイト地点はS字形蛇行部の下流側末端部に計画されている。兩岸の低標高部（比高約20m）には、河岸段丘性の緩傾斜面が断続的に存在する。主ダム付近における河床標高はおよそBL. 24 ～ 30m程度であり、河床幅が150mにもおよぶU字形の谷である。

原石山、サドルダムはすべてレビル川の右岸側に計画されており、主ダムサイトからは直線距離で北へ2km（原石山）および北東へ2km（サドルダム）の位置にある。また、花崗岩系土取場はサドルダム地点からさらに東へ直線距離で約3kmの位置にある。土取場周辺には北北西－南南東方向に延びる稜線があり、これを境界とし、東側に花崗岩、西側の中・古生界が分布する。

ダムサイトから上流側では谷は極めてゆるやかとなり、良好な貯水池地形を形成している。

4.1.2 地質概要

計画地域周辺の地質分布をFIG. 4-1およびFIG. 4-5の地質平面図（ $S = 1/10,000$ ）に示す。これによると主ダム、サドルダム、原石山は火山砕屑岩類（Pyroclastic rocks）に属する緑色岩類（green rock group）の分布域にある。この緑色岩類とは主として凝灰岩からなるが、構成粒子が細粒から粗粒まで変化するとともに色調も緑青色から紫色まで変化し、岩相の変化が著しいのが特徴である。またこれら凝灰岩の形成環境は浅海性域にあたったと推定され、陸源の混入物である石英粒子からなる砂、礫を含む箇所が多い。この部分は今回の調査では特に、凝灰質砂岩あるいは凝灰質礫岩と称している。その他、石英砂岩（quartzite）や頁岩の薄層が局所的に介在、混入している箇所が認められる。緑色岩類の中には溶岩起源と推定される部分も存在するが量的には少ない。

地質構造は広域の地質構造と調和的であり、地層は全体には北北西－南南東走向であるが局所的に擾乱している箇所は頻繁に認められる。

土取場(A)は花崗岩類分布域にある。花崗岩類は中粒の黒雲母-角閃石-花崗岩が主体である。凝灰岩類との境界は花崗岩体の進入による交代変成岩が形成されている。本岩石は交代作用により凝灰岩が脱色・珪化されたもので、周辺の岩盤に比べると堅硬であり、花崗岩と凝灰岩の境界に相当する北北西-南南東方向に延びる主稜線部を構成する。

被覆層としてはレビル川沿いに断続的に分布する低位段丘堆積物と沢部やガリーの裾部にコルビウム(colluvium)堆積物が存在する。いずれの堆積物も淘汰度は悪く、マトリックスが粘性状であるのに対し、礫は径が大きく、硬い。ただし、層厚は厚い部分でも5m程度であると推定される。

4.1.3 レビル断層

レビル断層は、マレーシア北東部における代表的な構造線である。FIG. 4-2、およびTable. 4-1によるとレビル断層は主として中・古生代の堆積岩類と花崗岩類との境界に沿って北北西-南南東方向に延長する。Tjia 1969^(注)、1972およびAW 1971^(注)によると長さは32.0kmでKuala Kelai付近での構造線の幅は2kmにもおよび、その変位は20~40kmの左横ずれであるとしている。

断層露頭が最も良く認められるのは、アリン川で少なくとも4条の断層が雁行状に配列しており、これらの断層の方向は北北西-南南東走向であるとしている。

調査地域内では、レビル断層系に属する断層露頭の確認には至っていないが、地層の微褶曲構造は頻繁に認められ、このような箇所では岩盤は細片化している事が多い。

また、地震歴を見てみるとFIG. 4-3に示されるように、スマトラ島西縁部に沿うゾーンにはマグニチュード6以上の深発地震が多発しているが、マレー半島ではほとんど認められない。これはスマトラ島を含むスンダ列島がオーストラリアプレートとアジアプレートからなるベニオフゾーンの北端にあるためである。即ち、スマトラ付近は深発地震の多発する不安定なベニオフゾーンの上にあるのに比べてマレー半島は安定なスンダ陸棚にあり、深発地震は極めて少ない地域であると言える。

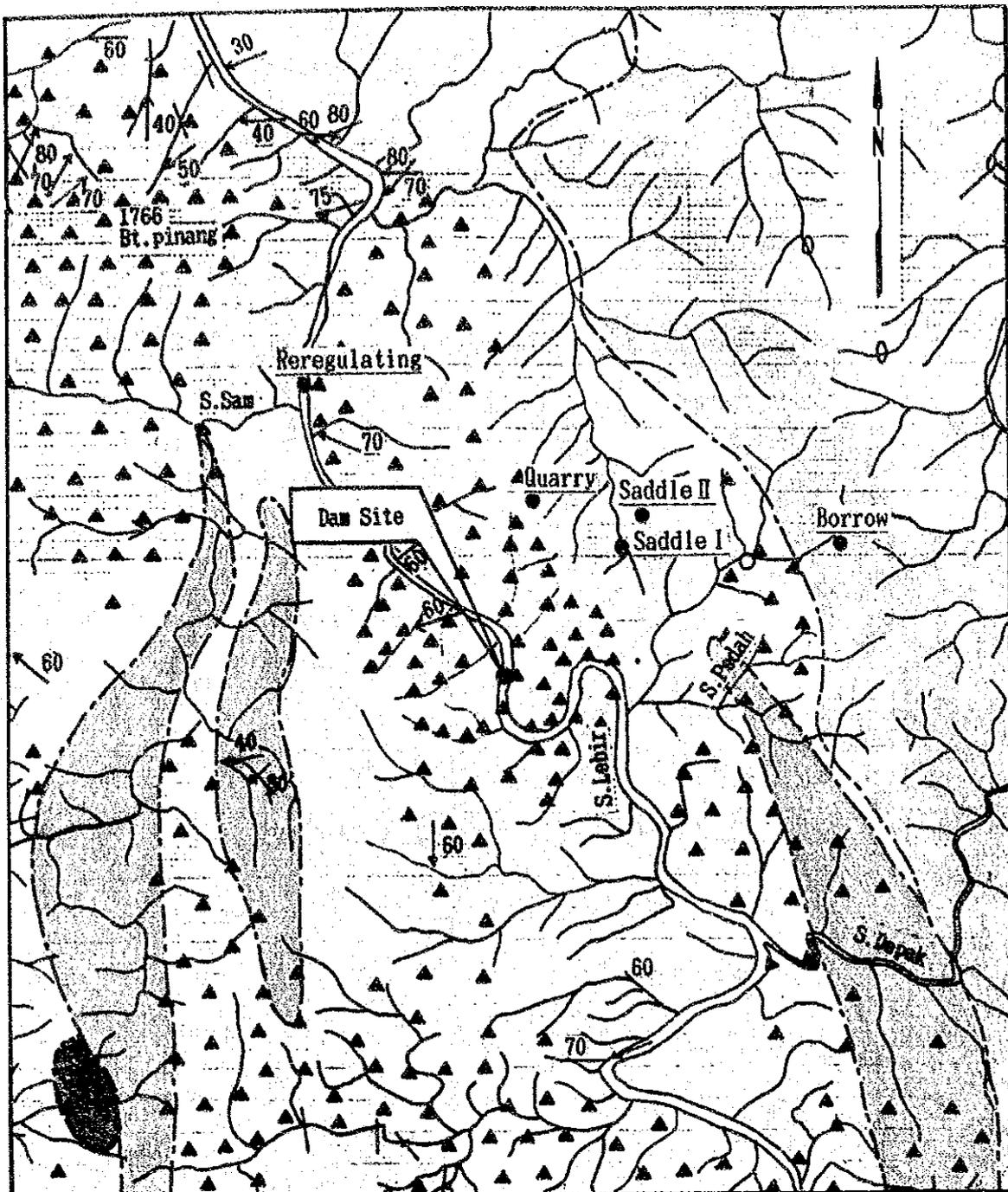
マレーシア内ではクアラルンプールの東南東方においてマグニチュード3.8の地震が1976年に起こっている他、トレンガヌ州のケニールダムの貯水池周辺ではマグニチュード2.5から4.6の微小地震が1984年以降30回起こっている。

(注)・Tjia, H. D., 1969, Regional implications of the Lebir zone;

Geol. Soc. Malaysia, News letter no. 19, P. 6-7.

・Aw, P. C., 1971, Sungai Aring area, South Kelantan;

Geol. Surv. Malaysia Ann. Rept. for 1969, P. 103-107.



- (Km) 0 1 2 3 4
- Segimentary Rocks, mainly argillaceous with interbedded Limestone, Quartzite and Volcanic rocks. Brown dots indicate distribution of Tuff and Lava.
 - Tuffaceous conglomerate and sandstone including quartzite.
 - Granite, Granodiorite and related rocks.
 - Massive crystalline Limestones.
 - (a) Geological Boundary accurate to within 100 yards.
(b) More doubtful boundary.
 - Arrow indicating dip of bedding on schistosity.

Fig 4-1 Geological Map Of Damsite Region
(S=1/63.360)

1958 edition published by director of Geological Survey.

4
45

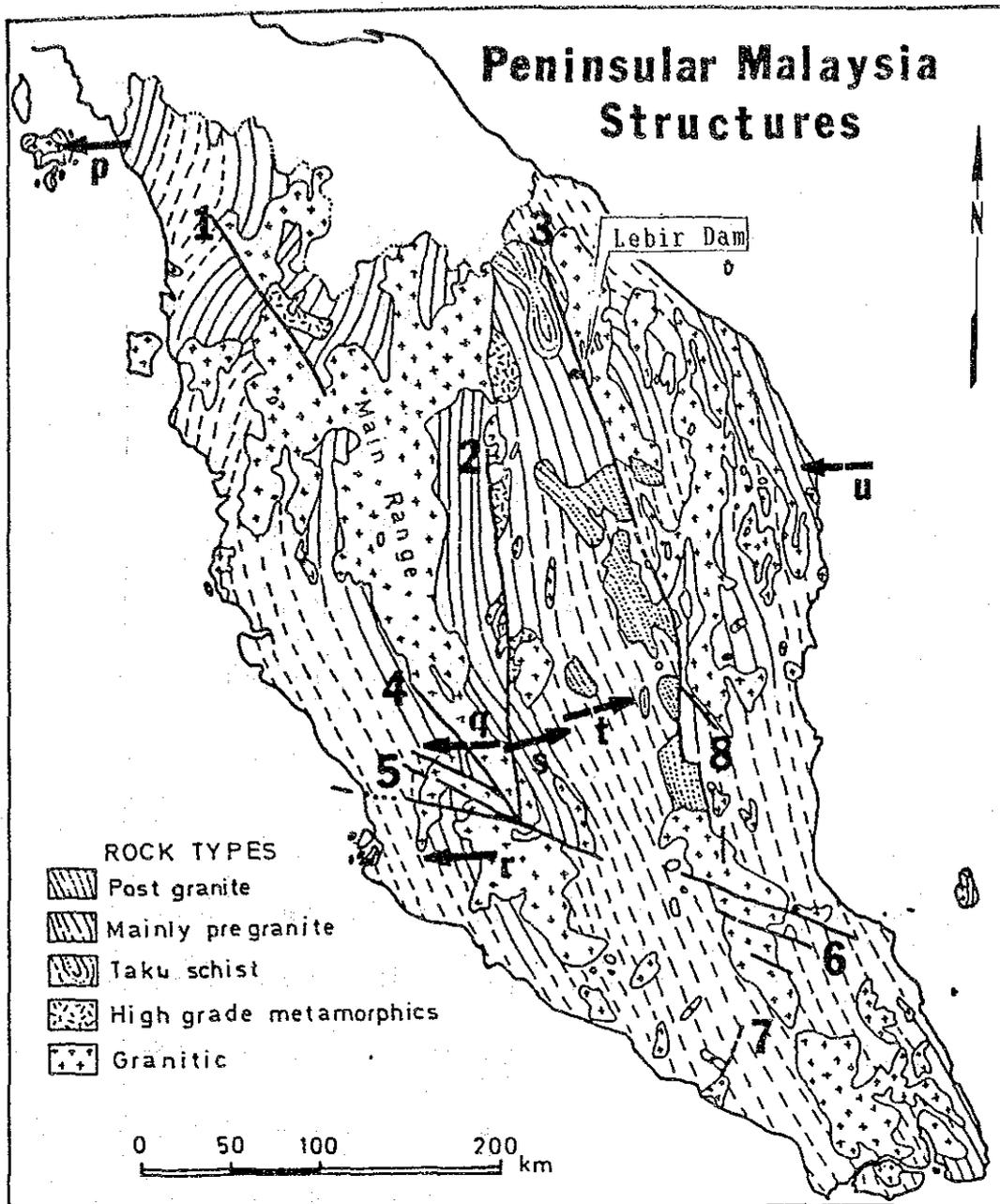


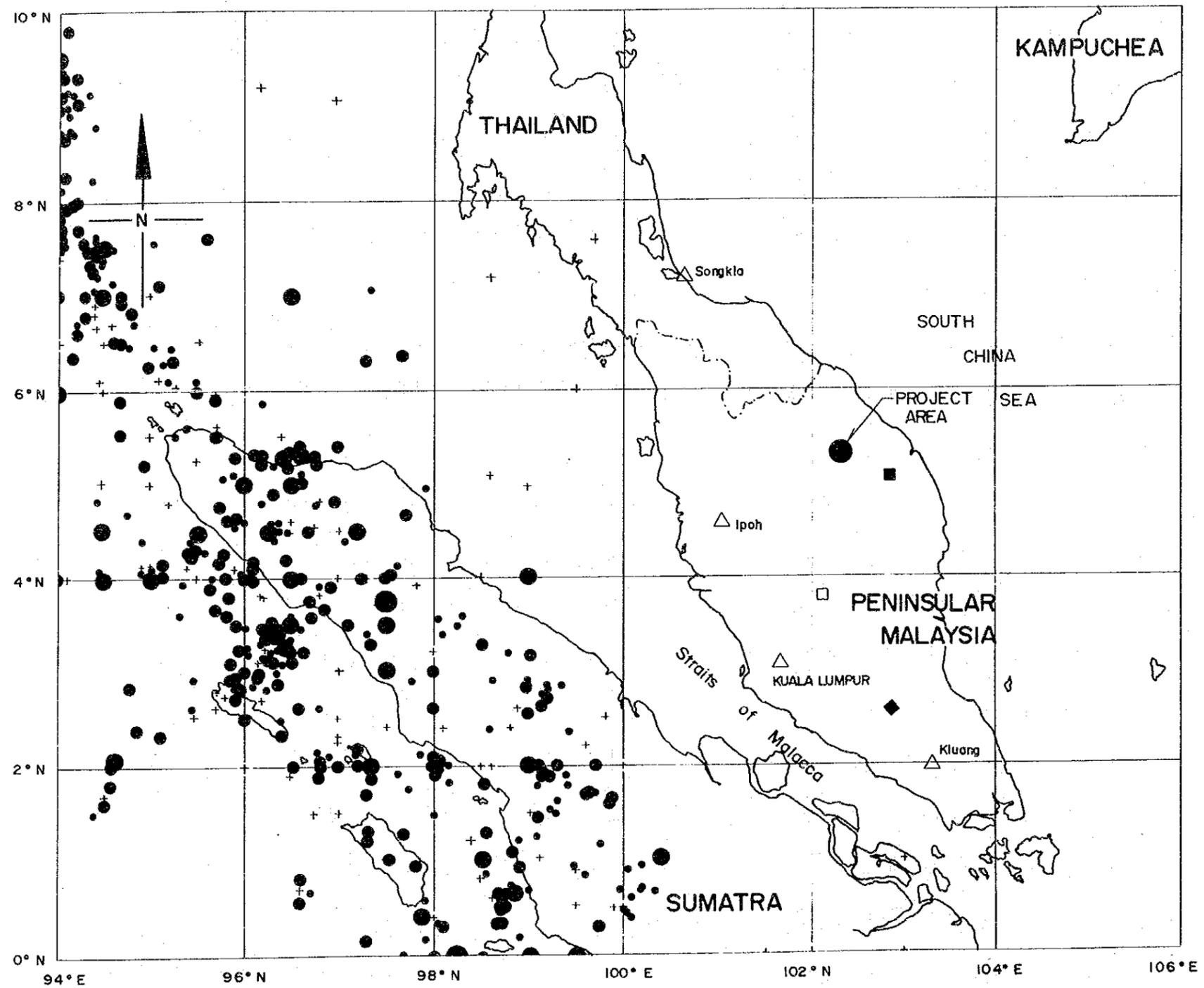
Figure 5. Structural trends in post-granitic rocks (post Early Jurassic), pre-granitic rocks (pre Late Triassic) and problematical Taku Schist, and the distribution of granitic and high-grade metamorphic rocks. Solid lines (dashed where uncertain, dotted where concealed) indicate major strike-slip faults: 1 = Bok Bak; 2 = Kelau-Karak; 3 = Lebir; 4 = Bukit Tinggi;

5 = Kuala Lumpur; 6 = Mersing; 7 = Ma Okil; 8 = Lepar zones. Arrows indicate the dominant directions of tectonic transport by the main and youngest period of intense deformation during Late Triassic-Early Jurassic time.

Fig 4-2 Major tectonic lines in Peninsular Malaysia (S=1/400,000)

Table 4.1. Characteristics of major tectonic lines in Peninsular Malaysia

Name, locality, fault trend	Fault length Fault width	Sense and length of displacement	References
Bok Bak fault zone Kedah — Perak N 30 W	80 km long 10 km wide	55 km aggregate left lateral	Burton, 1965
Kelau-Karak fault zone Pahang Approx. north-south	180 km long	5 to 10 km right lateral	Jaafar Ahmad, 1965; Khoo, 1968; Tjia, 1972
Lebir fault zone Trengganu — Pahang N 10-20 W	320 km long 2 km wide near Kuala Kerai	20-40 km (?) left lateral	Tjia, 1969, 1972; Aw, 1969;
Bukit Tinggi fault zone Selangor — Pahang N 35 — 40 W	70 km long	6 km left lateral	Shu, 1969, 1970
Kuala Lumpur fault zone N 60 — 70 W	100 km long 15 km wide	20 km left lateral	Gobbett, 1964; Stauffer, 1968, 1969; Tjia, 1975
Selangor-Negeri Sembilan Mersing fault zone Johro N 70 W	130 km long 30 km wide	20 km left lateral	Stauffer, 1968; Suntha- ralingam, 1969; Chong and others, 1970
Ma' Okil fault Johor N 35 E	A few tens of kilometers	20 km right lateral?	Burton, 1965
Lepar fault zone Pahang N 45 W	At least 40 km long and at least 160 m wide	left lateral	Lee, 1974; Tjia, 1976



LEGEND

- 7.0-7.9 Magnitude earthquakes
- 6.0-6.9 Magnitude earthquakes
- 5.0-5.9 Magnitude earthquakes
- Less than 4.9 Magnitude earthquakes
- + Magnitude not known
- Event reported by Soetadi (1962)
- ◆ ML3.8 event on 06 Jan 1976
- ML2.5 to ML4.6 events reported between May 1984 and January 1987
- △ Seismic Station

Equatorial scale
1:5,800,000

Fig. 4-3 Regional Seismicity

4.2 現地調査

現地調査は主ダム、サドルダム、原石山、土取場および逆調整池を対象とし、地表地質踏査、地形測量、ボーリング調査、弾性波探査および試験室材料試験の5項目が実施された。

各サイト位置をFIG. 4-4に示す。

4.2.1 地表地質踏査

地表地質踏査は、縮尺1/10,000の航測図をもとに主ダムサイトを中心として上流側 5.5km, 下流側 4.5kmとサドルダム、原石山および土取場周辺の約30kmについて行われた。

踏査の目的は、(i) 露頭観察により地質分布を確認し、地質図を作成するための地質情報を収集する、(ii) 現地地形を調査し、斜面の安定状況や特徴を確認する、(iii) 露岩分布状況や露岩の規模、性状から地山の風化状況を推定する、の3点である。地質踏査結果はFIG. 4-5に表示している。

(1) 主ダムサイト

主ダムサイトは、調査範囲内ではレビル川が最も狭窄した箇所位置し、河床の露岩状況は良好である。しかし、兩岸斜面における露頭は皆無であり、わずかに硬い岩石としては左岸側低標高部の段丘面に小礫(cobble)サイズの円礫が認められるに過ぎない。このダムサイト周辺はゴムの植林が広く行われており、取水口、鉄管路、発電所、開閉所の計画箇所もほとんどはゴム園範囲内にある。

右岸のやせ尾根の稜線部では現在樹木の伐採が盛んに行われており、伐採により現れたガリーには風化残留堆積物の間にわずかに褐色の強風化岩がみられる。

現在の尾根の地形状況は、S = 1/10,000航測図に示されるものよりも薄い印象を受ける。本サイトから上流側で谷は大きく開き、ダムサイトとして適する箇所(狭窄部や大きな山体)は認められない。また、下流側では河床の露岩状況が悪い他、岩盤に強い異方性が認められ、現計画サイトに比較すると良好な地質状況は期待できないと考えられる。

(2) 原石山

原石山は、林道切取面と沢沿いに硬質な岩盤露頭が認められ、他地域に比べると風化は全体に浅い模様である。

(3) サドルダムⅠ

サドルダムは、林道切取面に強風化岩盤露頭が認められる他は、両岸とも岩盤露頭は認められない。右岸は上下流方向に延びるやせた尾根状地形部である。また、左岸はダム軸方向に延びる小さな尾根部に当る。

(4) サドルダムⅡ

ダム軸は、最も谷が狭くなる沢の分水嶺（谷頭）に計画されている。右岸側には貫入岩と考えられる硬質な岩盤露頭が点在する。

(5) 土取場（A）

計画地周辺の林道切取面には強く風化した花崗岩マサが認められるが、山腹斜面には露岩は認められない。

4.2.2 地形測量

(1) 1979年調査時作製の航測図面

1979年にレビルダム計画調査が実施された時、レビル川下流 Manek Urai から上流約EL. 100m地点までを含む約3.46km²の範囲をカバーする縮尺1/10,000の航測図面（28葉）が作製された。同図面は、レビル川本流および各支流沿いの標高100mないし120mまでの地形をカバーしている。また同図面をもとにして、Jeram Panjang ダムサイトを含む縮尺1/5,000の航測図面（3葉）も作製された。

(2) 1987年調査における地形測量

(i) 1987年レビルダム計画調査において実施された地形測量は次のとおりである。

- a) 基準点設置（8点）
- b) Jeram Panjang ダムサイト地形図
（縮尺1/500, 2m等高線）1.9km²
- c) サドルダムサイト地形図（縮尺1/500, 2m等高線）0.4km²
- d) 原石山地形図（縮尺1/500, 2m等高線）0.9km²
- e) ダム下流河川横断図（縮尺 縦 1/100, 横 1/500）30断面
- f) 土取場（A）追加航測図（縮尺1/10,000）4.2km²

測量位置を APPENDIX FIG. 4-1に示す。

(ii) 参照水準点

上記(i)の測量作業に当って、参照した既設水準点は次のとおりである。

<u>NO.</u>	<u>M. S. L. (m)</u>	<u>位 置</u>
BM 0225	40.203	Kuala Kerai-Gua Musang国道
BM 0226	39.951	— " —
BMD 0060	28.831	Kuala Kerai

また、本水準測量中、1979年調査時にJeram Panjang ダムサイト下流右岸に設置された2個の水準点のチェックを行なった。

その結果は僅少差であった。

<u>NO.</u>	<u>1987年結果M. S. L. (m)</u>	<u>1979年結果M. S. L. (m)</u>
T B M- 2	43.263	43.248
T B M- 2 -1	43.202	43.178

(iii) 参照基準点

今回設置する基準点の座標(ケランタン州システム)を決定するためKg. Manjorにおける既設地籍基準点3点を参照しトラバース測量によって、Jeram Panjang ダムサイトに結び付けられた。

使用した地籍基準点は次のとおりである。

<u>NO.</u>	<u>S. S. K. (m)</u>	
	<u>N</u>	<u>E</u>
NO. 1	589,822.136	474,700.189
NO. 2	589,878.912	474,668.199
NO. 4	589,928.065	474,757.323

(iv) 基準点座標と若干の仮水準点データ

今回の測量の成果として得られた基準点(8点)および若干の仮水準点のデータを次頁に示す。

また、概略位置を APPENDIX FIG. 4-2に示す。

(V) 測量図面成果品

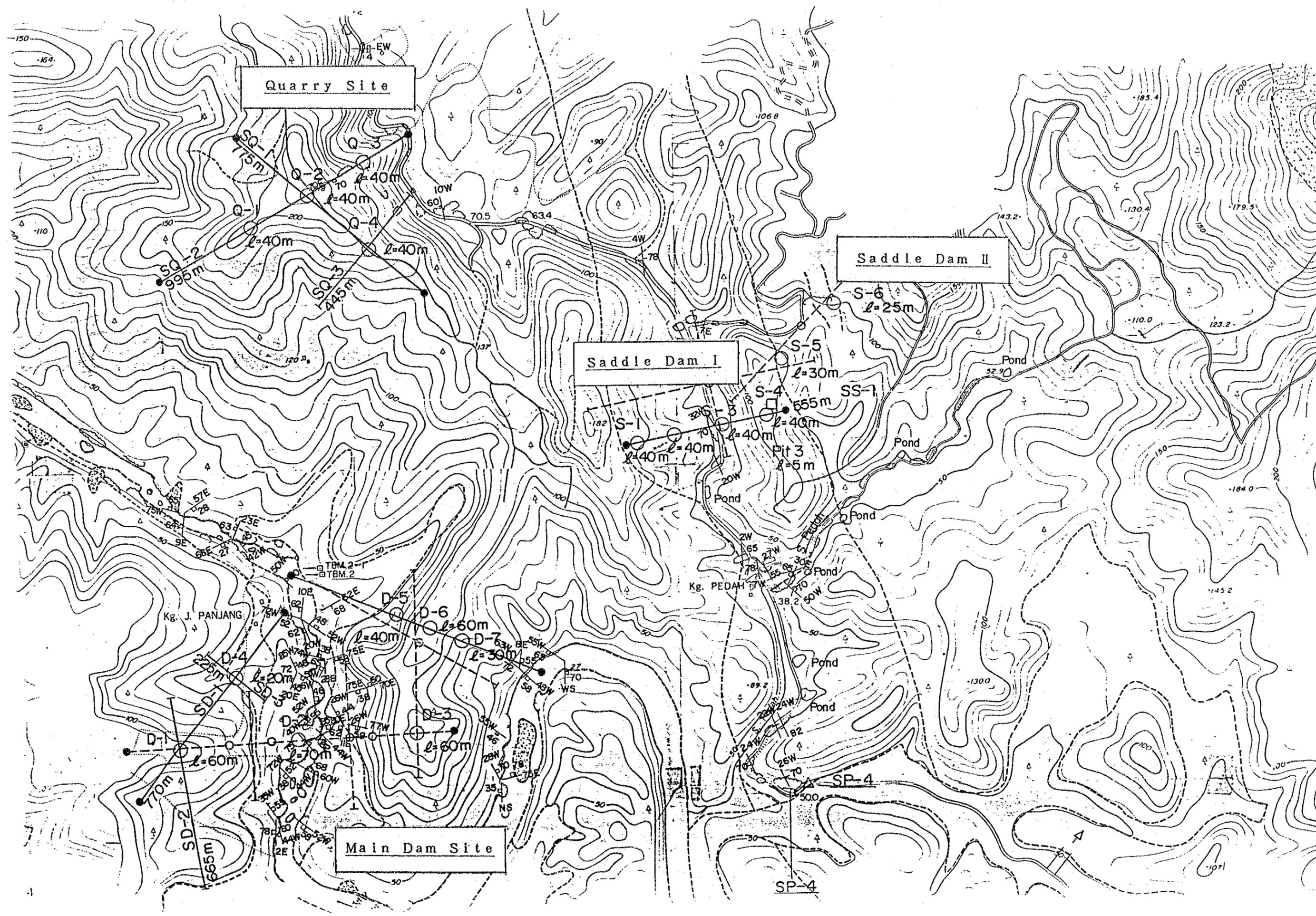
上記(i)の測量図面成果品は次のとおりである。

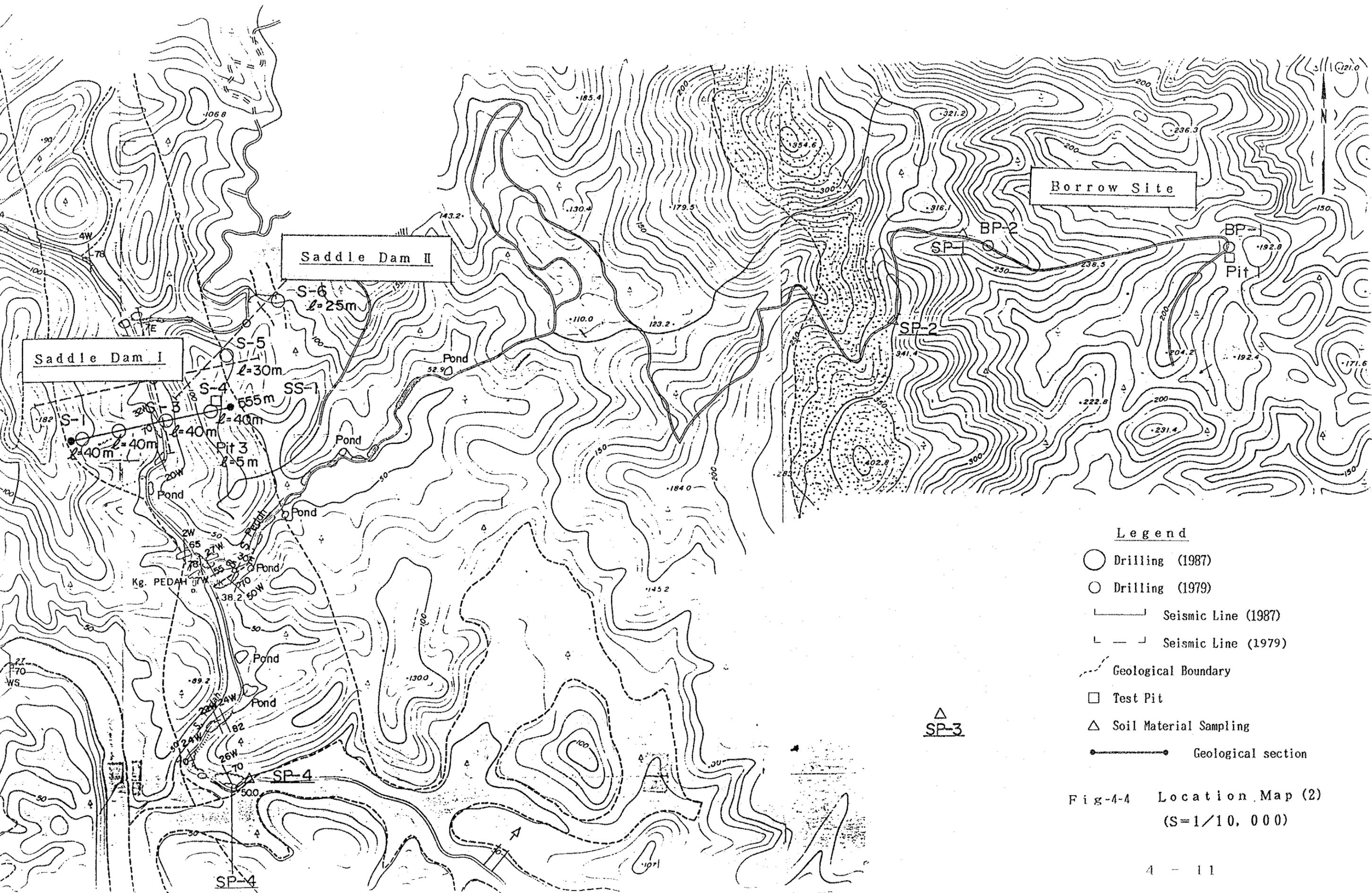
	図面タイトル	図面番号	図面枚数
a)	Main Dam Site	LDP-DS-01~30	30
b)	Saddle Dam Site	LDP-SD-01~08	8
c)	Quarry Site	LDP-QS-01~17	17
d)	River Cross-section along Sg. Lebir	LDP-RS-01~30	30
e)	River Cross-section at Main Dam Site	LDP-RSDS-01~58	58
f)	Additional Aerophoto Map Borrow Area	LDP-BR-01	1

各測量図面のインデックスマップを APPENDIX FIG 4-3 に示す。

Table 4-2 1987年測量成果一覧表

No.	種 類	座 標 (S. S. K. m)		標 高 (M. S. L. m)	位 置
		N	E		
C 1	基準点	581,532.675	476,601.079	65.172	ダムサイト左岸
C 2	基準点	581,154.920	476,496.894	108.478	ダムサイト左岸
C 3	基準点	581,181.428	477,203.041	108.972	ダムサイト右岸
C 4	基準点	581,565.152	477,345.303	115.970	洪水吐地点
P 3	基準点	582,527.036	478,360.480	100.837	サドルダムⅡ右岸
P 4	基準点	582,145.077	477,799.128	169.758	サドルダムⅠ左岸
B 16	基準点	582,301.857	478,302.413	135.319	サドルダムⅠ右岸
QS 6	基準点	582,772.404	477,013.672	206.258	原石山
TBM 2	仮水準点	581,646.875	476,963.980	43.263	ダムサイト下流右岸
TBM 2-1	仮水準点	581,661.963	476,959.664	43.202	ダムサイト下流右岸
TBM 19	仮水準点	581,376.328	476,200.181	136.688	ダムサイト左岸
TBM 22	仮水準点	581,676.687	477,193.365	42.617	ダムサイト下流右岸
P 2	境界杭	582,575.000	478,288.548	95.369	サドルダムⅡ右岸
QS 2	境界杭	582,764.899	477,435.123	68.635	原石山





Legend

- Drilling (1987)
- Drilling (1979)
- Seismic Line (1987)
- - - Seismic Line (1979)
- · - · Geological Boundary
- Test Pit
- △ Soil Material Sampling
- ● — Geological section

Fig-4-4 Location Map (2)
(S=1/10, 000)

4.2.3 ボーリング調査

ボーリング調査としては、1979年にTualang サイト、Jeram Panjang サイト（現ダムサイト）およびKiakサイトに総計14本、 $\Sigma = 326\text{m}$ が実施されている。これを受けて今回はJeram panjang サイトの主ダム、サドルダム、原石山および土取場(A)に合計22本、 $\Sigma = 785\text{m}$ のボーリングが実施された。

原石山と土取場を除く各サイトのボーリングでは5m区間毎に透水試験（ルジオンテスト）を合せて行った。また、土取場のボーリングでは標準貫入試験（S.P.T.）を1.5m区間毎に行った。

ボーリングコア観察の結果を Appendix Fig. 4-16 ~ 4-12に整理するとともに、代表的なボーリングコアの写真を Fig. 4-20に示す。

(1) 数量

本サイトで実施されたボーリング数量をTable 4-3 に示す。

Table 4-3(1) ボーリング数量（1979年度）

調査位置	ボーリング名	孔長 (m)	孔口標高 (EL. m)	ルジオンテスト回数	
主ダム	A-1	19	70	—	
	A-2	20	56	—	
	A-3	30	75	—	
	A-4	30	101	—	
	サドルダム	A-5	15	41	—
		A-6	23	68	—
主ダム	B-1	20	87	—	
	B-2	26	42	—	
	B-3	18	43	—	
	B-4	20	62	—	
	洪水吐	B-5	25	112	—
	サドルダム	B-6	20	42	—
		B-7	30	80	—
主ダム	C-1	30	56	—	
合計	14	326	—	—	

Table 4-3 (2) ボーリング数量 (1987年度)

調査位置		ホーリング	孔長 (m)	孔口標高 (BL. m)	ルジオンテスト 回数	施工月・日 (1987)	座標位置 **
主 ダム	ダム軸	D-1	60	107.889	10	8/9 ~ 8/27	N: 581152.320 E: 476511.710
		D-2	70	28.423	12	9/7 ~ 9/30	N: 581147.817 E: 476845.944
		D-3	60	115.109	10	9/7 ~ 10/12	N: 581156.440 E: 477246.595
	発電所	D-4	20	42.113	2	7/26 ~ 7/31	N: 581363.726 E: 476682.812
	洪水吐	D-5	40	66.073	6	8/23 ~ 9/8	N: 581507.743 E: 488186.195
		D-6	60	107.552	10	8/22 ~ 9/19	N: 581476.228 E: 477259.727
		D-7	30	61.392	* 4	9/3 ~ 9/12	N: 581435.288 E: 477387.775
サマダI	S-1	40	103.306	6	7/11 ~ 7/30	N: 582123.006 E: 477912.774	
	S-2	40	73.026	6	7/12 ~ 7/29	N: 582132.118 E: 478014.334	
	S-3	40	43.108	6	7/6 ~ 7/18	N: 582171.246 E: 478192.132	
	S-4	40	108.789	6	7/13 ~ 7/31	N: 582187.504 E: 478323.159	
サマダE	S-5	30	84.838	* 4	7/12 ~ 7/21	N: 582364.236 E: 478399.249	
	S-6	25	70.532	3	7/14 ~ 7/26	N: 582500.487 E: 478538.094	
原石山	Q-1	40	204.201	—	8/10 ~ 8/23	—	
	Q-2	40	222.495	—	8/10 ~ 8/21	—	
	Q-3	40	145.203	—	8/10 ~ 9/5	—	
	Q-4	40	186.548	—	8/10 ~ 8/22	—	
土取場 (A)	Bp-1	20	185	S. P. T 10	7/27 ~ 7/30	—	
	Bp-2	20	280	S. P. T 10	7/31 ~ 8/11	—	
逆調整池	R-1	10	41.438	1	9/29	—	
	R-2	10	27.570	1	9/23 ~ 9/26	—	
	R-3	10	35.495	1	9/20 ~ 9/21	—	
合 計	22	785	—	88 (S. P. T20)		—	

* D-7(15~20m), S-5(20~25m) 区間のルジオンテストは注入圧が 6kgf/cm² 時点でケーシングと孔壁の間からの漏水があり、昇圧 6kgf/cm²にて試験を中止した。

** 縮尺 1:500地形平面図における座標値

(2) ボーリング機材

使用されたボーリング機材は次のとおりである。

- ・ボーリングマシン；KOKEN OE 21 ロータリーボーリングマシン
- ・ポンプ；MARUYAMA MS 1503（最大吐出量 150ℓ/min, 30kgf/cm²）
- ・コアバレル；土）φ 76 mm シングルコアチューブ（無水掘り）
岩盤）φ 76 mm トリプルコアチューブ（有水掘り）
- ・ロッド：φ 40.5 mm × ℓ = 13m
- ・ケーシング：φ 88.9 mm（Nサイズ）

(3) 透水試験（ルジオンテスト）

透水試験はボーリング孔を利用し 5m 区間毎に行われた。（岩盤が悪くパッカー装着が困難な場合は多少区間長を変更）。パッカーはφ76mm×1.34mのエアーパーッカー、もしくはφ76mm×0.5mメカニカル（パーカッション）パッカーを岩質に応じて使用した。注入圧力パターンは 0 1 2 3 4 6 8 10（kgf/cm²）を原則とし、データの解析にあつたては日本の「ルジオンテスト技術指針、同解説」（建設省河川局開発課監修、1984）に基づいて行われた。

透水試験結果を Appendix Fig. 4-13 ~ 4-19に整理する。

4.2.4 弾性波探査

(1) 探査の概要

探査は24成分の屈折法によって行われた。

受振点は原則として5m間隔で配置し、発破点は1展開内に4点(25～30m間隔)と、測線の両端から各々1展開分離れた位置に遠隔発破点を設けた。

各発破点で使用したダイナマイトの量は、展開内で通常2～3本(1本0.14kg)、測線の両端で3～4本、遠隔では6～8本である。電気雷管は瞬発のものを用いた。使用した測定器は24成分アンプ記録装置(OYO MCseis - 1500 seismic system)である。

(2) 数量

探査の数量を以下の表にまとめる。

Table 4-4 弾性波探査数量表

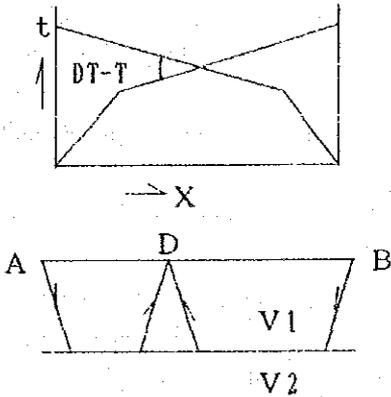
地 域	測 線 名	測 線 長		展 開 数
		斜 距 離	(水平距離)	
主ダム地点	SD-1	770m	(747m)	7
	SD-2	665m	(650m)	6
	SD-3	225m	(224m)	2
サドルダム地点	SS-1	555m	(506m)	5
原 石 山	SQ-1	775m	(742m)	7
	SQ-2	995m	(957m)	9
	SQ-3	445m	(410m)	4
合 計	7 測 線	4,430m	(4,236m)	40

(地震計間隔 5m)

(2) 解析方法

現地で測定した記録から初期の到達時間を読み取り、横軸に距離を、縦軸に時間を取った図に、その時間をプロットし、各測線ごとに走時曲線図を作成した。また、この走時曲線の解析にはMean-Minus T method と ABC method を用いた。

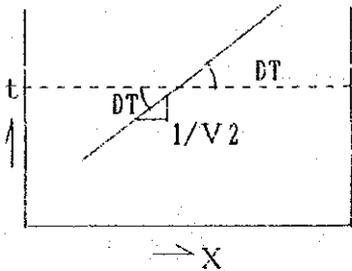
(i) Mean-Minus T method



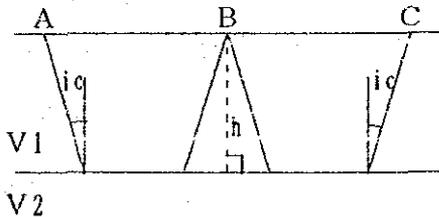
TAおよびTBを点Aおよび点Bからの観測点Dにおける到達時間とし、その時間差をDTとすると、DTは

$$DT = TB - TA$$
 と表わされる。

今、1/2 DTを距離に対して相当する各観測点位置に下図のようにプロットすれば、その傾きの逆数が屈折層の速度をあらわす。



(ii) ABC method



左図の点A, Cを発破点, Bを観測点とする。また ic は臨界角である。(即ち $\sin ic = V1/V2$)

この時、点Bにおける下層 (V2 層) までの深さ (h) は次式で求められる。

$$h = \frac{1}{2} \frac{(T_{AB} + T_{CB} - T_{AC}) V_1}{\cos ic}$$

T_{AB} : A B間の走時
 T_{CB} : C B間の走時
 T_{AC} : A C間の走時

(4) 結果の要約

(i) 主ダム地点

主ダム地点の探査結果概要をTable 4-5 に示す。

Table 4-5 主ダム地点の探査結果

速度層名	速度値 (m/s)	層厚 (m)	対象岩盤
第 1 層	260 ~ 500	1 ~ 3 (第 7展開部は 5 ~ 6)	表土 ~ 堆積物
※ 第 2 層	700 ~ 1,700	7 ~ 10 (第 1 ~ 2, 第 15展開 部は 2 ~ 3, 第 7展 開部は 15 ~ 17)	堆積物 ~ 風化岩盤
第 3 層	4,000 ~ 5,000	深度 10 ~ 15 (第 12 ~ 15展開部の 一部で 10 m 以浅, 第 7展開部で 20 m 以深)	ほぼ新鮮な岩盤

※ 第 1 ~ 2 展開部に $V = 2,300 \sim 2,500$ m/s の層が、また第 6 ~ 7 展開部に沿って $V = 2,500 \sim 3,000$ m/s のブラインドレイヤーが存在する可能性がある。

これによると、主ダム地点では速度層は 3 区分される。また、断層破砕帯等に相当する低速度帯は検出されなかった。

(11) サドルダム I 地点

サドルダム I 地点の探査結果概要をTable 4-6 に示す。

Table 4-6 サドルダム I 地点の探査結果

速度層名	速度値 (m/s)	層厚 (m)	対象岩盤
第 1 層	300~400	1~3 (第 4~5展開部 は 6~8)	表土~堆積物
第 2 層	700~1,100 (一部 1,300)	尾根部で 20~30, 河床部で 3~10	堆積物~強風化岩盤
第 3 層	1,400~1,600	20~30	風化岩盤
※ 第 4 層	3,100~4,300	深 度 10~15 (河床部) 40~50 (右岸部) 30~35 (左岸部)	弱風化岩盤 ~ ほぼ新鮮な岩盤

※ 新鮮な岩盤が、この下位に分布することが推定されるが、解析上は確認されていない。

これによると、サドルダム地点では速度層は4区分される。また、第1展開部と第3~4展開部に周辺の速度より低い値(2,800~4,000m/s)を示すゾーンが存在するが、これが低速度帯かどうかは解析上、有意な記録が不足しており、確認できなかった。

(iii) 原石山地点

原石山地点の探査結果概要をTable 4-7 に示す。

Table 4-7 原石山地点の探査結果

速度層名	速度値 (m/s)	層厚 (m)	対象岩盤
第1層	300 ~ 400	1 ~ 3	表土~堆積物
第2層	800 ~ 900 (SQ-3 第18展開部) 1000 ~ 1700 (その他)	5 ~ 6 SQ-1 第12~14 展開部 SQ-2 第1, 4, 19 展開部 SQ-3 第15~16, 18 展開部 15 ~ 20(その他)	強風化岩盤
第3層	3600 ~ 6000	深度 5 ~ 10 (第2層の薄い箇所) 深度15~20(その他)	弱風化岩盤~ ほぼ新鮮な岩盤

※ 他の主ダムサイトやサドルダムサイト地域で認められたように、当地域においても岩盤風化岩層（第2層）と下位の硬質岩盤層（第3層）との間にブラインドレイヤー（中間層…速度2000~2500 m/s程度）が部分的に存在する可能性が高いと判断される。

これによると、原石山地点では速度層は3区分される。堆積物、風化岩盤とされる第1、第2速度層の層厚は最大でも20m未満であり、全体に浅いと言える。また、低速度帯は検出されなかった。

4.2.5 材料試験

材料試験は、ロックフィルダムのロック材およびコンクリート骨材について調査・確認のために行われた岩石試験と、ロックフィルダムのコア部に使用する土質材料の物理特性、力学特性および透水性の確認のために行われた土質試験を含む。試験は日本工業規格（JIS）に基づき行われた。

(1) 岩石試験

(i) 試験項目

岩石試験は、サンプルとしてボーリング・コアを使用（径 5.2cm、長さ約10cm）し、次のような試験項目が実施された。

- ・物理試験 … 比重、吸水（JISA1109, 1110）
- ・一軸圧縮試験（JISA1108-76）
- ・安定性試験（JIS A 1122-76）

(ii) サンプル

サンプル数は物理試験、一軸圧縮試験用に18個（原石山ボーリングから13個、主ダムサイトボーリングから5個）、安定性試験用に3個（すべて原石山ボーリングから）を採取した。サンプルの採取箇所を Table 4-8に示す。

Table 4-8 岩石サンプル採取箇所一覧表

試験項目	原石山		主ダム	
	ボーリング名	深度 (m)	ボーリング名	深度 (m)
物理・ 一軸圧縮	Q-1	16.0, 20.3	D-1	56.0
		31.0, 36.7		
		37.2		
	Q-2	18.4, 23.1	D-2	41.0, 44.3
Q-3	26.6, 30.0			
安定性	Q-4	20.4, 32.0	D-5	16.8, 20.8
	Q-4	27.85, 35.7		
	Q-1	38.7~39.75		
	Q-3	27.4~27.95		
	Q-4	36.6~37.45		

(2) 土質試験

(i) 試験項目

土質試験は、次のような試験項目について実施した。

- ・物理試験 … 比重、含水比、アッターベルグ、単位体積重量、間隙比飽和度 (JIS A 1201, 1202, 1203, 1205, 1206)
- ・粒度試験 (JIS A 1204-80)
- ・突固め試験 (JIS A 1210-80)
- ・圧密試験 (JIS A 1217-80)
- ・透水試験(変水位法) (JIS A 1218)
- ・三軸圧縮試験(CU) (日本土質工学会基準、実験室装置に合わせて一部変更した。)

このうち、圧密試験、透水試験、三軸圧縮試験は、物理試験、粒度試験、突固め試験結果からコア材として適当であると判断された2サンプル(花崗岩、凝灰質礫岩)について行われた。

(ii) サンプル

サンプルは、3箇所のテストピットと6箇所の道路切取面から計16個を採取した。サンプル採取箇所の位置を FIG. 4-4 および FIG. 4-5 に示す。

Table 4-9 土質サンプル採取箇所一覧表（テストピットならびに法面の位置についてはFIG. 4-5を参照の事）

採取箇所	深度 (m)	サンプル名	位 置	材料の種類
テストピット1	2	TP-1-2	調査地東方端にあり、ボーリングBP-1に近い。	花 崗 岩 マ サ
	3.5	TP-1-3.5		
	5	TP-1-5		
	5.4	TP-1-5.4		
テストピット2	2	TP-2-2	主ダム上流側900m左岸低標高部緩傾斜面にある。	段丘（氾濫原） 堆積物
	3.5	TP-2-3.5		
	5	TP-2-5		
テストピット3	2	TP-2	サドルダムIの右岸天端部分にありボーリングS-4に近い。	強風化 凝灰質礫岩
	3.5	TP-3.5		
	5	TP-5		
道路法面	法面表面から50cmカットした箇所	SP-1	土取場（A）に近づく林道の法面。主ダムから約4km。	花 崗 岩 マ サ
		SP-2	〃	
		SP-3	バライト採石場へ近づく林道の法面。主ダムサイトから約3.6km。	
		SP-4	ダム右岸林道沿いの法面。Kg Pedahから南方へ約700m。	強風化 凝灰質礫岩
		SP-5	ダム左岸林道沿いの法面。主ダムサイトから約2.5km。	強風化凝灰岩 （紫色）
		SP-6	〃	強風化凝灰岩 （暗紅色）
合 計		16サンプル		

4.3 主ダム地点の地形・地質

4.3.1 地形

主ダム地点は、トワラン橋 3 km 上流の S 字型蛇行部に計画されている。

(1) 河床部

レビル川流域では最も露岩状況が良好である。ダム軸付近にて川はわずかに左岸側へ曲流しており、また、河床勾配もわずかに急となっている。ダム軸における河幅は約 150 m である。

(2) 右岸部

右岸山体は全体として北北東から南南西に延びるやせ尾根状の地形をなすが、ダムが取りつく尾根の末端部付近では尾根は南北の方向を示す。尾根状地形部は EL. 110 ~ 117 m の定高性を有する。山体は極めて薄く、EL. 95 m における最小厚さはわずか 25 m、EL. 90 m では 42 m である。また、EL. 45 m 付近（河床比高約 20 m）には低位段丘面に相当する緩傾斜面が断続的に存在する。

(3) 左岸部

左岸部は右岸部に比べると全体に山腹斜面は起伏に富んでおり、ダム軸は東方へ突出する小尾根部にある。右岸部と同様に EL. 50 m 付近までの山腹斜面は低位段丘面に相当する緩斜面であり、これより上方では徐々に急になるが、右岸に比べるとやや緩い（約 16°）。

4.3.2 地質

主ダム地点の基盤岩は、古生代末期から中生代初期にかけて形成した緑色岩類（緑青色凝灰岩、紫色凝灰岩）、緑青色凝灰質砂岩および頁岩を主体とし、まれに凝灰岩質礫岩の薄層を介在する。各岩種間の境界面、即ち層理面は良く密着しているか、あるいは漸移的であり、火山砕屑岩あるいは堆積岩においてよく見られる堆積面方向の異方性は小さく全体に塊状である。

各岩石の特徴を Table 4-10 に示す。

Table 4-10 主ダム地点を構成する岩石類

岩石種	特 徴
緑青色凝灰岩	主ダム地点を構成する岩石の中では最も分布面積が大きい。 細粒凝灰岩から粗粒凝灰岩まで粒度にはバラツキがある。 系統的でシャープな節理群を有する。 新鮮なものは硬質、緻密であり割れ目には方解石を付着していたり、蛇紋石あるいは緑泥石フィルムを付着し油肌を示すことが多い。
紫色凝灰岩	緑青色凝灰岩の次に分布面積が大きい。 緑青色凝灰岩に比べると細粒で節理は密でまたシャープであることが多い。
凝灰質砂岩	緑青色凝灰岩との境界面は漸移的であることが多い。 ダムサイト右岸に分布する。中粒のアルコース砂岩である。 灰～灰緑色を呈する。 粗粒の緑青色凝灰岩に岩相は似ており、漸移的に変化するものと考えられる。D-3 ボーリングにて認められる。
頁 岩	凝灰岩質砂岩と互層するが量比は小さく厚いもので数m程度である 黒色を呈し、砂岩に対しインコンピート層として働くためクラックが密に入り細片化していることが多い。割れ目は油肌を呈する。 D-3 ボーリングにてみられる。
凝灰質礫岩	凝灰岩の中に数m厚程度の薄層として挟在する。緑青色凝灰岩、紫色凝灰岩、チャート、頁岩、および暗青緑溶岩なるgranule, pebbleサイズの円～亜円礫を50%以下の含有率で含む。

ダム軸から下流350m地点の河床露頭には、N62°E/68°S方向の凝灰質礫岩の薄層が認められる。この方向は調査地域における一般的な地質構造である北北西-南南東方向と調和はしない。これから推定されることは、堆積面の方向は局所的に大きく変化し、小地質構造としてはかなり地層は擾乱され、スランピングや小褶曲構造が頻繁に存在するものと推定されるが、大構造としては先に述べた北北西-南南東方向に支配され、地層はこの方向に延びるものと考えられる。また、岩相変化が著しく、凝灰岩系の岩石と陸源碎屑岩（砂岩、礫岩）あるいは頁岩が互層をなすが、各岩層の連続性は悪く、また側方変化が著しいことから、本岩石類の堆積場は浅海性の環境下にあり、火山灰の堆積の際に陸源碎屑物の混入が頻繁にあった地域と推定される。

4.3.3 土木地質

主ダム地点において実施されたボーリング結果の概要をTable 4-11に示すとともに、これに基づき作成されたダム軸地質断面図を FIG. 4-7 に示す。ここにおいて使った岩級区分はTable 4-12の通りであるとともに、ダム軸ルジオンマップを Appendix Fig. 4-4 に示す。この表の右欄に土木地質的な評価を記しておく。

Table 4-11 主ダム地点ボーリング結果の概要

ボーリング	位置	孔口標高 (E.L. m)	風化帯の 深度 (m)	高透水ゾーン の範囲 (m)	孔内水位 (m)
D-1	ダ 左岸高標高部	107.889	7	0~15	7.2
D-2	ム 河床部	28.423	5	0~20	0.9
D-3	軸 右岸高標高部	115.109	21	0~25	28.5

Table 4-12 岩盤分類基準

岩級	特 徴	土木地質的な評価
A	きわめて新鮮なもので造岩鉱物および粒子は風化、変質を受けていない。きれつ、節理はよく密着し、それらの面にそって風化の跡はみられないもの。ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。	ロックフィルダムのコア材の基礎としては非常に優良である。
B	岩質堅硬で開口した(たとえ1mmでも)きれつあるいは節理はなく、よく密着している。ただし造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化、変質がみられる。ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。	上記同様大変良好である。
CH	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は比較的堅硬である。一般に褐鉄錆などに汚染せられ、節理あるいはきれつの間からの粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目にそって岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。	上記同様良好である。
CM	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。節理あるいはきれつの間からの粘着力は多少減少しておりハンマーの普通程度の打撃によって、割れ目にそって岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。	上記同様おおむね良好である。
CL	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており、岩質も軟らかくなっている。節理あるいはきれつの間からの粘着力は減少しておりハンマーの軽打によって割れ目にそって岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質が残留する。ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。	一般的にロックフィルダムのコア部の基礎として不適であるが、トランジション部またはロック部の基礎として使用不可能である。
D	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており、岩質も著しく軟らかい。節理あるいはきれつの間からの粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剥脱面には粘土質物質が残留する。ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。	——— ” ———

以下に主ダム地点基盤岩の風化状況、断層・節理そして透水性について記述する。

(1) 風化

①河床部

河床部の砂礫層の厚さは最大で3m前後と推定される。風化帯は極めて浅く、深度5m前後にてCM級、深度7m前後にてCH級の岩盤が現出し、ダム高に相当する深度70mまで、CH級主体の良好な岩盤が連続する。ただし、岩盤は全体に弱い熱水変質を受けており、ヘアークラックに沿ってやや割れ易い傾向にある。河床部の露岩状況から判断すると、コア部の基盤としては7m程度の掘削で十分良好なものが得られると判断される。

②左岸部

左岸天端付近の基盤岩は深度5mまでが強く風化して、土砂の状態に近いD級岩盤であり、深度5mから7mまでがCL級の風化岩盤である。CM級岩盤は深度7mから10m付近まで連続する。CH級以上の堅岩は10m以深、地山深部まで連続する。天端標高にてこのように浅部にてCM級以上の堅岩が現出することから、全体に風化は浅いことが予想される。

③右岸部

右岸部の風化状況は左岸部・河床部とは大きく異なり、かなり深い。深度7mまではD級の強風化岩盤、深度21mまでがCL級の風化岩盤が連続する。D級の岩盤は無水掘削が可能な土砂に近い性状を示す岩盤であり、CL級岩盤は岩片は硬質であるもののクラックが密に入っている上、岩盤が緩んでおり、割れ目に沿う褐色化が進んでいる。CM級の岩盤が現出するのは深度21m以深であり、CH級の岩盤に至っては深度56mまで認められない。また、岩石は凝灰質砂岩が主体であるが、頁岩の薄層をまれに介在しており、この薄層は細片化、脆弱化していることが多い。

(2) 断層・節理

①断層

ボーリングおよび地表踏査結果では、断層粘土を混じえる規模の大きな断層破碎帯を確認するには至っていない。凝灰岩中にはまれに数十cm程度のクラッキーなゾーンがあるが、岩片は硬質で粘土は含まれない。また、1979年度調査の弾性波探査においてもほぼダム軸に当る測線では低速度帯は確認されていない。

従って、ダム地点において、大規模な断層が存在する可能性は極めて小さいと考えられる。

②節理

凝灰岩、凝灰質砂岩とも3系統以上のシャープな節理面を有するが、踏査結果によると特にダム地点より下流部において系統的な節理群が認められるのに対し、ダム軸あるいはダム地点上流部では不規則で割れ目間隔が密な節理群が卓越する。Table 4-13は、ダム地点におけるボーリングの最大コア長と R. Q. Dの平均値を示したものであるが、これによると全体に割れ目間隔は小さい傾向にあると言える。

Table 4-13 ダムサイトにおける R. Q. Dと
最大コア長の平均値 (CM級以上の岩盤を対象)

ボーリング	R. Q. D			最大コア長		
	CM	CH	B	CM	CH	B
D-1	12	56	70	12	27	34
D-2	36	66	84	16	26	36
D-3	27	55	-	14	26	-

また、ボーリング・コア観察によると、割れ目には方解石フィルム、緑泥石あるいは蛇紋石フィルムを付着することが多い。これにより割れ目のせん断抵抗力が減少し、割れ目に沿う剥離破壊を起こし易い傾向にあると言える。このような充填物の介在は、本サイトを構成する岩盤が全体に弱い熱水変質を受けたためと考えられる。節理面の方向性は FIG. 4-6 のシュミットネットに示すとおり、全体にばらついているが、北西-南東走向で北東または南西へ40°~70°程度傾斜している割れ目が比較的多い他、北北東走向で西へ急傾斜する割れ目群も認められる。

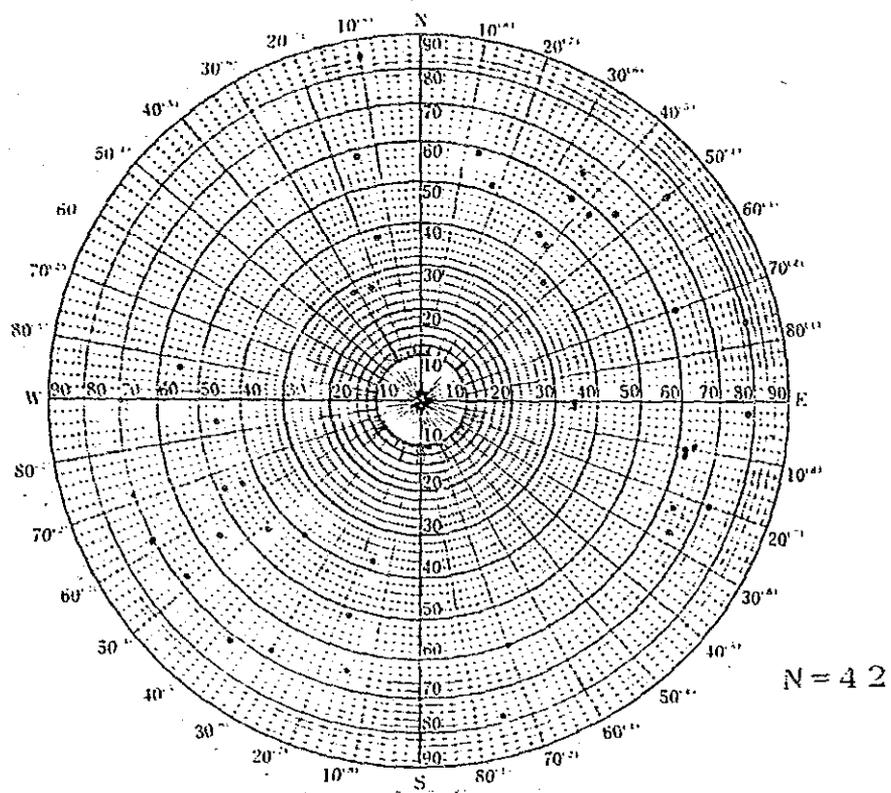
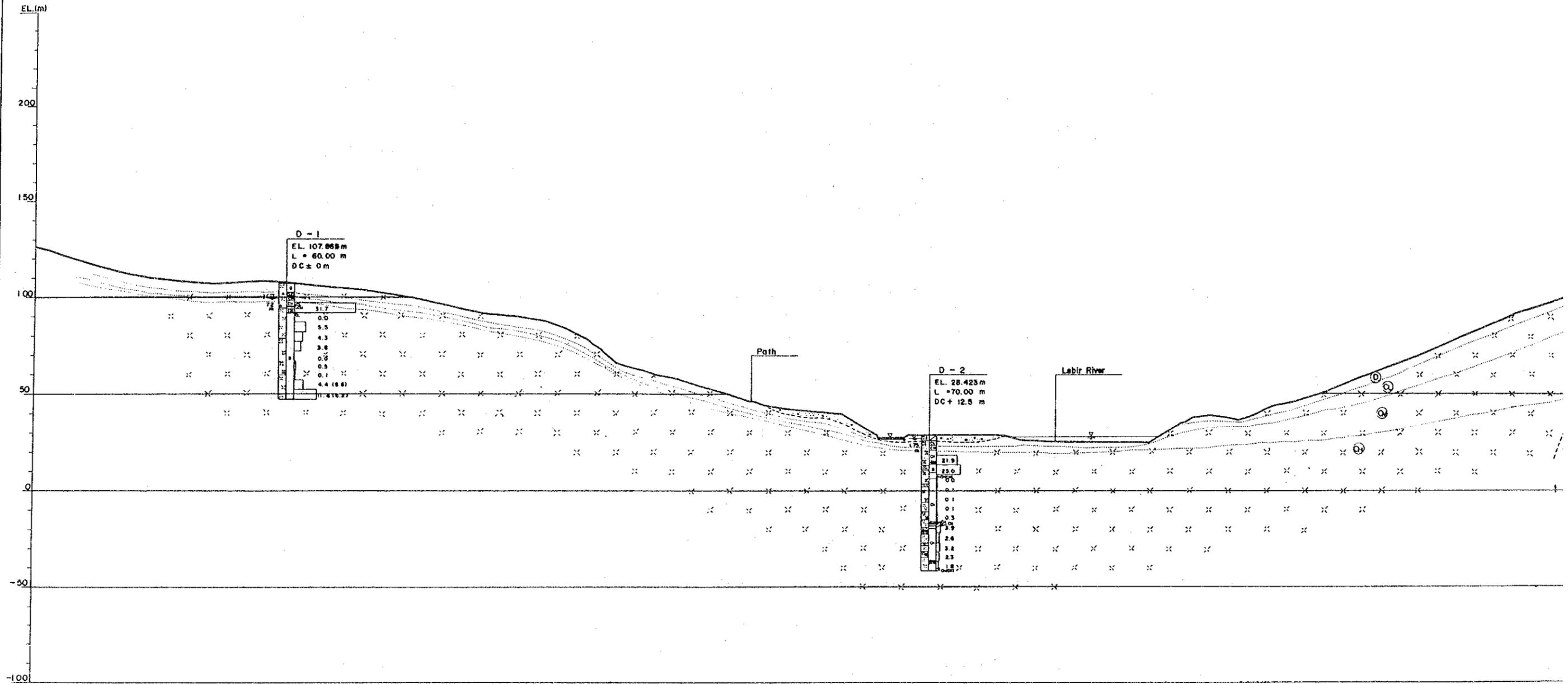


FIG. 4-6 ガムサイトにおける節理・方向
シュミットネット南半球投影

MAIN DAM AXIS

S = 1:2,000



Legend		Drillings NO.	
	River Sediment		Level of drilling mouth
	Green rock group		Length of drilling
	Tuffaceous sandstone		Distances from dam axis
	Boundary of lithologic character		Lugeon Value (Critical pressure)
	Boundary of rock grade classification		Top soil or Residual soil
	D class rock		River sediment
	CL class rock		Tuff (Greenish blue, fine)
	CM class rock		Tuff (Greenish blue, coarse)
	more than CH class rock		Tuff (Purple, fine)
			Tuff breccia
			Shale
			Tuffaceous Sandstone

(3) 透水性

①河床部

D-2 ボーリングによると、深度20mまでは20Lu以上の高透水性を示すが、20m以深では急激に小さくなり、数Lu以下となる。

②左岸部

D-1 ボーリングによると、深度15mまでは20Lu以上の高透水性を示すが、15m以深にて急激に小さくなる。ただし、深部50~60m区間では4.4Lu, 11.6Luとやや高い透水性を示すを部分がみられる。この区間の岩盤状況は方解石を付着するクラックが多く、しかもこの方解石に溶脱された虫食い状の跡が認められることから、このようなクラックを通る透水が原因と考えられる。(天端標高より上方(EL.107.889m)に位置するD-1における孔内水位は深度7.2m(EL.100.689m)にあるので、地下水位は全体に高い位置にあるものと考えられる。

③右岸部

D-3 ボーリングによると、深度25mまでがおおよそ15Lu以上の高透水性を示す緩んだ岩盤である。25m以深においては急激に透水性が小さくなり、深度60m付近まで5Lu以下のゾーンが続く。地下水位は左岸に比べると低く、おおよそ深度28.5m(EL.86.609m)にある。

4.4 洪水吐地点の地形・地質

4.4.1 地形

洪水吐は、主ダム地点から北に400m離れた右岸尾根部に計画されており、南西方向に延びるやせ尾根を直角に開削する形状である。このやせ尾根は、EL. 100 ~ 117 mの頂部標高を有する極めて薄い尾根でEL. 90mにおける山体の厚みは、洪水吐センターラインで約60mである。洪水吐の呑口は稜線の鞍部にあり、洪水吐が設置される北西斜面は崩壊跡とみられる小規模なガリーが認められ、小さな起伏に富んでいる。斜面の平均傾斜は21°と調査地周辺の斜面としては、比較的急であるが、EL. 50mよりも低い箇所では段丘面に相当する緩傾斜面となる。

4.4.2 地質

洪水吐付近の地質は、主ダム地質付近と同様に緑色岩類を主体とする。被覆層は薄い。

4.4.3 土木地質

洪水吐付近において行われたボーリング結果の概要をTable 4-14に示すとともに、これに基づいて作成された洪水吐センターライン沿いの地質断面図を FIG. 4-8 に示す。

Table 4-14 洪水吐地点ボーリング結果の概要

ボーリング名	位置	孔口標高 (EL. m)	風化帯の 深度 (m)	高透水ゾーン の範囲 (m)	孔内水位 (m)	
D-5	洪水吐	北西側 斜面部	66.073	10	0~10	4.0
D-6		稜線部	107.552	23	0~25	13.7
D-7		南東側 斜面部	61.392	6.5	0~10	6.8

(1) 風化の状況

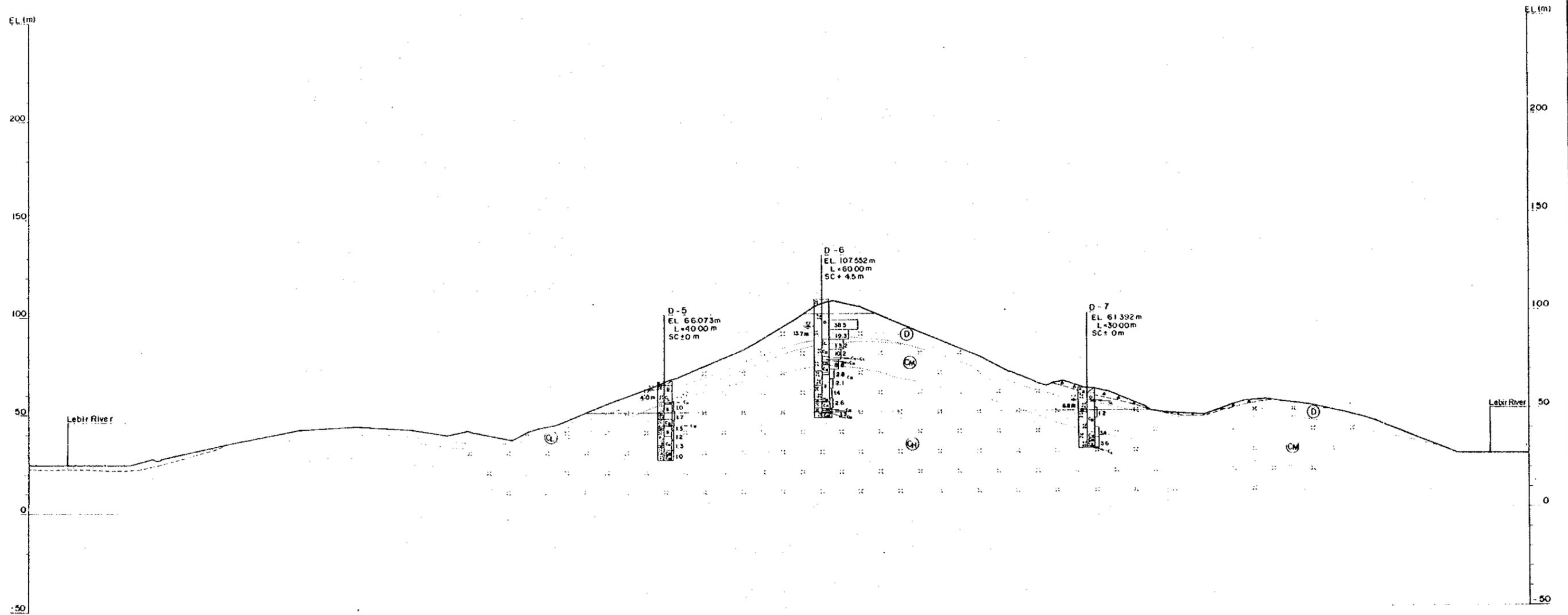
尾根状山体の頂部は深度20mまで土砂に近い性状を示すD級岩盤であり、深度23mまでが亀裂が多く緩んだCⅡ級岩盤である。CⅢ級岩盤が、深度23m以深にみられるように風化は比較的深い。CⅣ級岩盤は、深度29mにて現出する。尾根の北西側は、深度5mまでが土砂に近い性状を示すD級の強風化岩で深度10mまでが岩片は硬いが、亀裂に富み緩んだCⅡ級の風化岩である。深度10mから岩盤は急激に良くなり堅岩となる。これに対し、尾根の南東側における強風化岩、風化岩の深さはおよそ7mと北西側よりも浅いが、これよりも深い箇所においても岩盤は亀裂に富んでおり、深度22mに至るまではCⅣ級以上の堅岩は認められない。

(2) 透水性

尾根状山体の頂部の深度30m以浅は、10Lu以上の透水性を示すが、深部では確実に小さくなり、深度35m以深にて数Luとなる。また、両斜面部では風化岩盤を除くCⅢ級以上の岩盤は数Lu程度の低透水性をしめす。地下水位は、ダム軸の右岸部と同様に尾根頂部で深度20m (EL. 86 m付近)にある。

SPILLWAY

S = 1:2000



Legend	
<ul style="list-style-type: none"> Top soil or residual soil River bed sediment Green rock group Boundary of lithologic character Boundary of rock grade classification D class rock CL class rock CM class rock more than CH class rock 	<p style="text-align: center;">Drilling NO.</p> <p style="text-align: center;">Level of drilling mouth</p> <p style="text-align: center;">Length of drilling</p> <p style="text-align: center;">Distance from center line</p> <p style="text-align: center;">Lugeon Value (Critical pressure)</p> <ul style="list-style-type: none"> Top soil or residual soil Tuff (greenish blue, fine) Tuff (greenish blue, coarse) Tuff (purple, fine) Tuff breccia

LEBIR DAM PROJECT FEASIBILITY STUDY KELANTAN, MALAYSIA	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
GEOLOGICAL SECTION (2)	
SPILLWAY	
DATE Mar. 1989	DRAWING NO. LDP-G-003

Fig4-8

4.5 仮排水路トンネル・ルート of 地形・地質

4.5.1 地形

仮排水路トンネルは洪水吐と同じく南西に延びるやせ尾根状地形部の下部を貫通する計画である。すなわち、洪水吐地点から50～90m南西側を洪水吐とほぼ平行に尾根の延び方向とほぼ直角に計画されている。尾根の南東側斜面は旧崩壊地形と考えられるガリーでEL. 60～70mまでが滑落崖に相当する急斜面(22°)であり、これより低い位置では小さな起伏はあるものの、全体として凸地形である。一方、北西側斜面は中・高標高部が起伏の少ない急な斜面(30°)であるのに対し、EL. 50m付近を遷急点とし、これより低い位置では緩くなり、沢状の地形となる。

4.5.2 地質

主ダム地点や洪水吐地点の地質と同様、緑色岩類とする。山腹斜面にはほとんど被覆層はないが、低標高部(仮水路の呑口、吐口の位置する)には段丘堆積物(北西坑口付近)や崩壊性堆積物(南東坑口付近)が分布すると考えられる。

4.5.3 土木地質

トンネルの標高はほぼ河床レベル(EL. 25 m付近)にあり、地山の被りは最大で75m程度である。ルート of 大半はCⅢ級以上の硬岩よりなることが予想される他、1979年度の弾性波探査結果によると規模の大きな断層と推定される低速度帯は確認されていないので、ルート沿の岩盤状況は良好であると考えられる。呑口、吐口付近はともに堆積物が被覆しているものと推定されるが、特に呑口付近での地山被りの小さい箇所は崩壊性堆積物および強風化岩盤からなり、地盤はやや不安定であることが予想される。

4.6 取水口地点の地形・地質

4.6.1 地形

取水口は、主ダム地点の左岸尾根状山体の上流側から南方に延びる小さな尾根上に計画されている。この尾根は南側（上流側）へと高度を下げるが、斜面傾斜は 13° ～ 15° と緩く、また一様である。BL.70 mまで下がると鞍部があり、これより南側では頂部標高85mの独立峰状となる。

4.6.2 地質

主ダム地点と同様、古生代末期から中生代初期にかけて形成した緑色岩類を基盤岩とする。被覆層は全体に薄いものと推定される。

4.6.3 土质地質

弾性波探査結果および D-1 ボーリング結果から、斜面の風化状況は全体に一様で、軟質で土砂に近い性状を示すD級の強風化岩盤は深度5 m前後であり、緩みの著しいCⅡ級の風化岩盤は深度7～8 mまでと推定される。このように風化帯は浅く、現斜面は安定していることから、取水口付近で土质地質的な問題はないと考えられる。

4.7 鉄管路ルート上の地形・地質

4.7.1 地形

鉄管路は、主ダムの左岸尾根状山体の下流側斜面に計画されている。斜面には小さな起伏が認められるが、これらは崩壊跡から発達したガリーであると考えられる。斜面はほぼ一様に傾斜（ 16° ）する。

4.7.2 地質

基盤岩は主ダム地点と同様の緑色凝灰岩類が主体である。被覆層は薄いものと推定される。

4.7.3 土木地質

鉄管路沿いには斜面には露頭はまったく存在しないが、弾性波探査結果からD級、CⅡ級岩盤に相当する強風化帯、風化帯の深さは最大でも約10m程度であり、比較的浅い位置に堅岩が現出すると考えられる。また、小崩壊跡は認められるものの、これらは小規模な表層崩壊であり、構造物の設置には大きな問題とはならないため、鉄管路ルート沿いの土木地質的な問題は特に存在しないものと考えられる。

4.8 発電所・開閉所地点の地形・地質

4.8.1 地形

発電所・開閉所はレビル川の左岸側段丘面に相当する河床比高20mの緩傾斜面に計画されている。この緩傾斜面には集落 Kg. J. Panjanがあり、周辺はゴム園となっている。

4.8.2 地質

主ダム地点と同様の緑色凝灰岩類を基盤岩とする。また、被覆層として4m厚の低位段丘堆積物が緩傾斜面に分布する。

4.8.3 土木地質

発電所・開閉所地点において行われたボーリング結果の概要をTable 4-15に示す。

Table 4-15 発電所地点ボーリング結果の概要

ボーリング	位置	孔口標高 (EL. m)	風化帯の 深度 (m)	高透水ゾーン の範囲 (m)	孔内水位 (m)
D-1	発電所	42.113	9	0~15	3.5

これによると、深度約9mで風化帯から堅岩へと変わり、岩盤状況は急激に良くなる模様である。9m以浅は段丘堆積物や強風化岩盤であり、発電所基礎とはなり得ないが、9m以深の岩盤は基礎として十分に適するものである。このような岩盤状況は緩傾斜面全体に一様であることが予想されるので、発電所・開閉所の基盤岩盤における問題点は特に認められない。

4.9 放水路ルート of 地形・地質

4.9.1 地形

発電所・開閉所と同様に河床比高15～20mの段丘面にある。
レビル川河岸の露岩は放水路出口から上流側にて卓越して分布するが、放水路付近では少ない。

4.9.2 地質

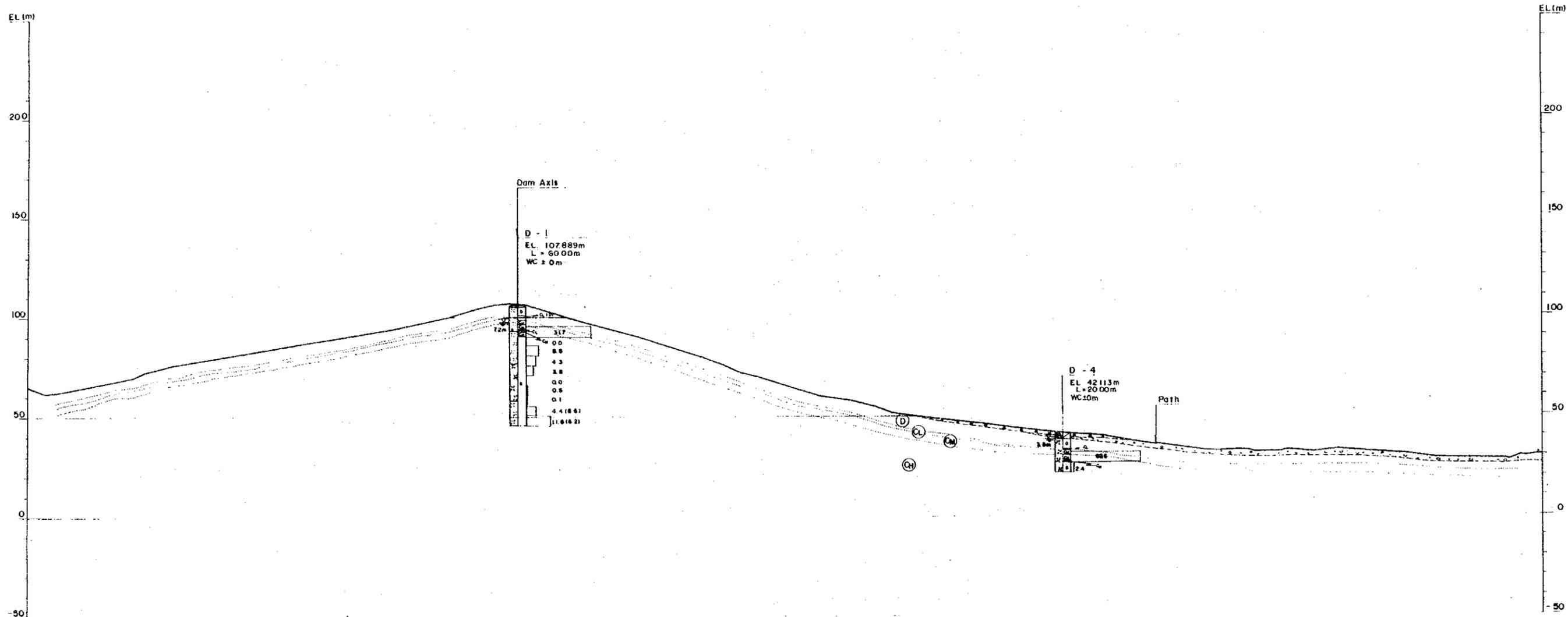
放水路ルート付近の地質は緑色凝灰岩類を主体とする。
被覆層として層厚4m程度の段丘堆積物が分布する。

4.9.3 土地地質

発電所・開閉所地点とほぼ同様の岩盤状況にあり、浅部にて堅岩が現出することが予想され、特に土地地質的に問題となる点は認められない。鉄管路、発電所および放水路を通る地質断面図を FIG. 4-9 に示す。

PENSTOCK - POWERHOUSE - OUTLET

S:1: 2000



Legend		Drilling NO.	
	Top soil or residual soil	Level of drilling mouth	
	River Sediment or Terrace sediment	Length of drilling	
	Green rock group	Distance from center line	
Boundary of lithologic character		Lugeon Value (Critical pressure)	
Boundary of rock grade classification		2.7	0.613.9
	D class rock	Rock grade classification	
	CL class rock		Top soil or residual soil
	CM class rock		River sediment or Terrace sediment
	more than CH class rock		Tuff (purple, fine)
			Tuff (greenish, fine)
			Tuff breccia

LEBIR DAM PROJECT FEASIBILITY STUDY KELANTAN, MALAYSIA	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
GEOLOGICAL SECTION (3)	
PENSTOCK - POWERHOUSE - OUTLET	
DATE Mar. 1989	DRAWING NO. LDP - G - 004

Fig4-9

4.10 サドルダムⅠ地点およびサドルダムⅡ地点の地形・地質

4.10.1 地形

(1) サドルダムⅠ

① 右岸部

ダム軸は、北北西から南南東に延びるやせ尾根にほぼ直交するように計画されている。やせ尾根は南へゆくに従い細くなるが、EL. 90 mにおける山体の厚みはダム軸付近で65mである。やせ尾根の西側（ダム側）斜面は起伏が少なく単調であるが、ダム軸付近では小さなガリーが認められる。

② 左岸部

右岸部と同様、北北西－南南東方向に主稜線をもつ尾根にあるが、山体の厚さ、高さとも右岸部に比して大きい。この尾根の東側（ダム側）斜面は起伏に富んでおり、ダム軸はこのうち東側へ突出する小尾根に計画されている。この小尾根は EL. 70 m付近に緩斜面をもち、右岸に比べると斜面は全体になだらかである。

(2) サドルダムⅡ

サドルダムⅡ地点はサドルダムⅠ地点の東側の谷筋にある。ダムは、南方へ流下し Sg. Pedah に合流する沢と西方へ流下しサドルダムⅠ地点の谷筋へ通じる沢との分水嶺地点に計画されており、両谷筋はこの分水点で屈曲している。ダム軸線での谷形は、河床幅が比較的広いのに対し、両岸の山腹斜面傾斜は急であり、全体としてはU字形を呈する。

4.10.2 地質

(1) サドルダムⅠ

サドルダムⅠ地点の基盤岩は主として凝灰質礫岩、凝灰質砂岩からなり、量的には少ないものの凝灰岩も存在する。各単層の厚さは数m程度であるが、凝灰岩は1m以内と薄い。各地層は一般的には北北西-南南東性の走向で西へ70°~90°で傾斜する同斜構造をなすが、局所的にスランピングや微褶曲によって地層が擾乱された箇所が頻繁に認められる。各岩石の性質は下記のとおりである。

Table 4-16 サドルダムⅠ地点を構成する岩石類

岩石種	記 事
凝灰質礫岩	全体に淡紫色~紫色を呈し、Pebbleサイズの紫色tuff、暗青緑tuffからなる亜円~亜角礫を50%以上含む。マトリックスはgranuleサイズの石英、長石粒子からなる。
凝灰質砂岩	全体に淡紫色を呈する。アルコース系の中粒~粗粒砂岩で部分的には円磨された石英粒子のみで構成され、石英砂岩(Quartzite)と称すべき箇所も認められる。
凝灰岩	紫色を呈する細粒凝灰岩である。風化されると乾湿の繰り返しによって鱗片状のクラックが顕著となる。

被覆層は全体に浅く、沢部においても数m厚程度である。

(2) サドルダムⅡ

サドルダムⅡ地点の基盤岩は、凝灰岩~凝灰質砂岩とこれに貫入したメタデイサイトである。凝灰岩~凝灰質砂岩は細互層しており、粒径や色調は局所的に変化する。地層の方向は調査地域の一般的な方向である北北西-南南東性に調和的であると言える。メタデイサイトはダムの右岸側に分布する。斜面には十数mにわたり硬質の露岩が連続する。現場露頭からは貫入方向は不明であるが、調査地の一般的な方向である北北西-南南東である可能性が大きい。また、貫入岩体の規模は数十m程度であると考えられる。各岩石の性質はTable 4-17にまとめる。

Table 4-17 サドルダムⅡ地点を構成する岩石類

岩石種	記 事
凝灰岩 ～凝灰質砂岩	色調、粒径、粒子組成は局所的に変化する。色調は灰紫色から紅色に変化し、粒径はシルト質で粘性分を多く含む箇所から砂質の箇所まで変化する。また、粒子は石英砂岩様の石英粒子を多量に含む部分から細粒凝灰岩まであり、岩相変化は極めて著しい。
メタデイサイト	灰緑～緑色を呈し、径 1mm 前後の他形の長石類、輝石等の斑晶を含む非完晶質岩石である。本岩石の分布域では谷は急崖を作っており、硬質な露岩が露出する。

被覆層はサドルダムⅠ地点と同様に極めて薄い。

4.10.3 土地地質

サドルダム地点において行われたボーリング結果の概要をTable 4-18に示すとともに、これに基づいて作成されたサドルダムⅠのダム軸地質断面図を FIG 4-10 に示すとともに、ルジオンマップをAppendix Fig. 4-5に示す。

Table 4-18 サドルダム地点ボーリング結果の概要

ボーリング名	位 置	孔口標高 (E.L. m)	風化帯の 深度 (m)	高透水ゾーン の範囲 (m)	孔内水位 (m)
S-1	サ ド ル ダ ム Ⅰ 左岸 高標高部	103.306	27	35 m まで高透性 35～40 m 7.7Lu	31.7
S-2	左岸 中標高部	73.026	27	0～15	21.3
S-3	河床部	43.108	10	0～30	4.5
S-4	右岸 高標高部	108.789	23	0～15	28.35
S-5	サ ド ル ダ ム Ⅰ 左岸部	84.838	26	0～15	22.7
S-6	右岸部	70.532	7	0～10	—

(1) サドルダムⅠ

ダム高60m程度のロックフィルダムを想定した場合に土木地質的に問題となる点はFIG. 4-10 ダム軸地質断面図に示すように兩岸の風化帯が深いことと、局所的に透水性の高いゾーンが存在することである。

① 兩岸山体の風化岩盤

地表地質調査によると河床部近くの林道法面および階面に風化岩盤が露出している他は、山腹斜面には岩盤露頭や大径の転石は皆無である。また、ボーリング調査からは強風化岩盤であるD級岩盤の深さが約20m前後と深く、堅岩とされるCⅡ級以上の岩盤は深度約27mまで認められない。このように、サドルダムⅠの兩岸山体は強風化ゾーンが深いことと、このゾーンを構成する岩片が強い指圧またはハンマーの軽い打撃で割れる程度にもろくなっているため、止水性の改良が難しいとみられ、ダム・コア部の基礎としては十分な検討が必要である。

② 透水性

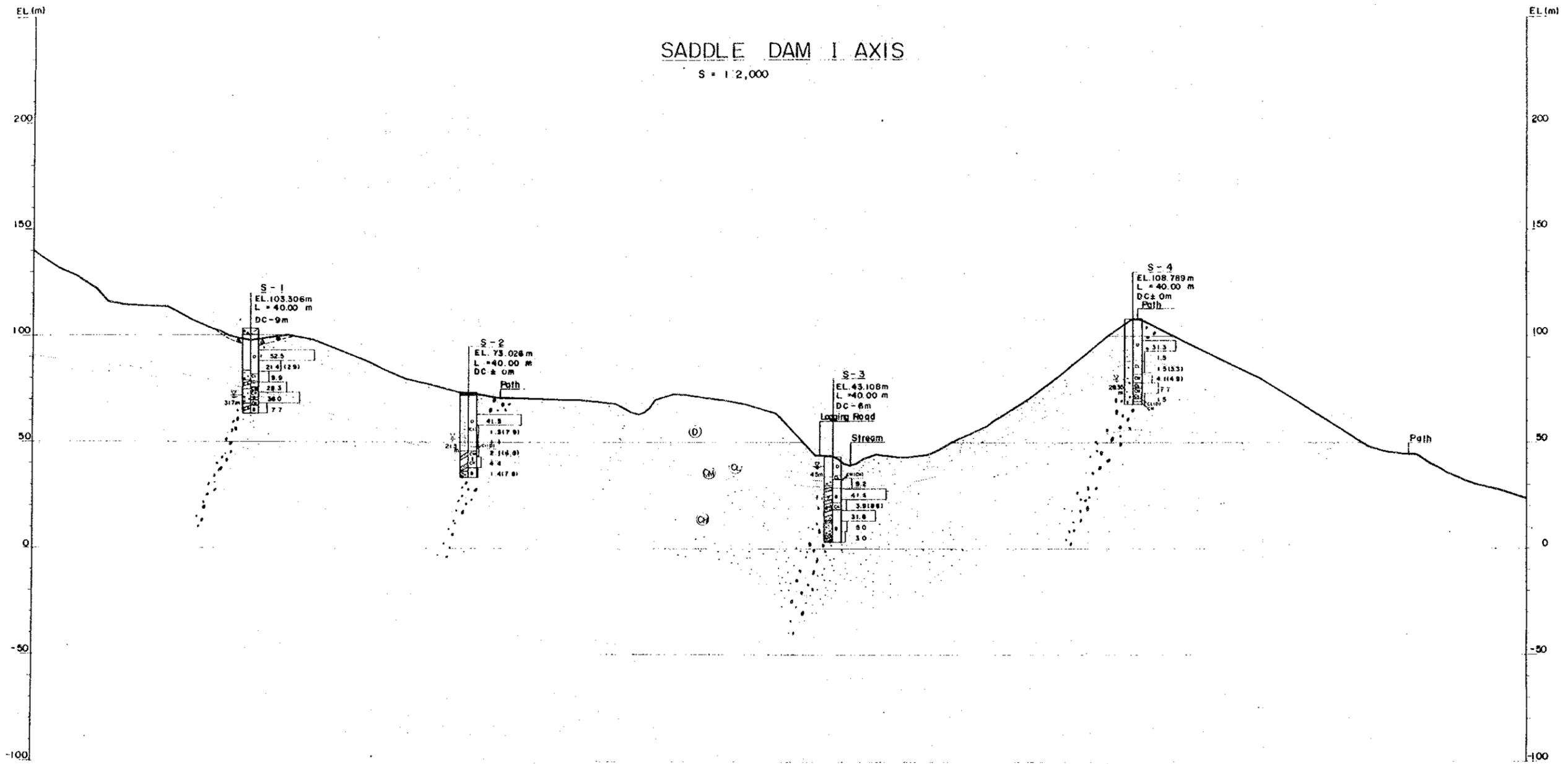
河床部の近くで行われたS-3ボーリングのルジオンテスト結果によると、CⅡ～B級に相当する堅岩部で局所的に30Luを越す高い値を示す箇所がある。この傾向は左岸高標高部のS-1ボーリングにも現われている。この高透水性を示すゾーンは、左岸高標高部と河床部に限られており、深度30～35m付近まで連続する。この事から本山体には岩盤のやや緩んだゾーンが局所的に存在すると考えられる。地下水位は天端標高で右岸が深度28m (EL. 80 m)、左岸が深度 32m (EL. 72 m) にあり、河床レベルから30～40m程度上昇している。

(2) サドルダムⅡ

サドルダムⅡ地点の左岸山体は、サドルダムⅠ地点の右岸山体と同一の山体である。ボーリング結果からは深度26m付近まで脆いD級の岩盤である。これと対照的に右岸山体はメタディサイトの貫入岩体が存在するため、深度7m付近でCⅡ級の堅岩が現出する。地下水位は兩岸とも低く、山体の高標高部においても地下水位線は上昇せず、ほぼ河床レベルにあるものと考えられる。

SADDLE DAM I AXIS

S = 1:2,000



Legend

- [] Top soil or residual soil
- [] Tuffaceous Sandstone
- [] Tuffaceous Conglomerate
- Boundary of lithologic character
- Boundary of rock grade classification
- Boundary of seismic velocity
- [D] D class rock
- [CL] CL class rock
- [CM] CM class rock
- [CH] more than CH class rock

Drilling NO.

- Level of drilling mouth
- Length of drilling
- Distance from dam axis
- Lugeon Value (Critical pressure)

Rock grade classification

- Top soil or residual soil
- Tuffaceous Sandstone
- Tuffaceous Conglomerate
- Alternation

LEBIR DAM PROJECT
FEASIBILITY STUDY
KELANTAN, MALAYSIA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

GEOLOGICAL SECTION (4)
SADDLE DAM I AXIS

DATE: Mar. 1989
DRAWING NO.: LOP-g-005

4 - 44

Fig4-10

4.11 原石山の地形・地質

4.11.1 地 形

原石山は主ダムサイトから北方へ約1.5m地点にあり、主ダムの右岸側を構成するやせ尾根の北側への延長部にある。原石山付近の稜線は、北西-南東方向に延びており、最高標高は約EL.227mである。現原木運搬道路はEL.85 m付近にあるため、原木運搬道路と原石山山頂部との標高差は約140mである。稜線から北東側の山腹斜面、即ち、原石採取側の斜面は比較的急であるのに対し、南西側は緩く、非対称的な斜面を有する。

4.11.2 地 質

原石山を構成する地質は、ダムサイトと同様、緑色岩類である。緑色岩類は岩相変化に富んでおり、緑色細粒凝灰岩、紫色粗粒凝灰岩、紫色細粒凝灰岩および紫色凝灰角礫岩～凝灰円礫岩の互層からなる。単層の厚さは、薄いものが数mで平均的には数十m以上あるのが一般である。地層の方向は露頭が乏しいため明らかではないが、調査地の一般的な地質構造である北北西-南南東方向に調和的である可能性が大きい。各岩の特徴をTable 4-19に示す。

Table 4-19 原石山を構成する岩石の特徴

岩石種	特 徴
緑色細粒凝灰岩	主ダムサイトにみられる岩石と同一種。 緑色～緑青色を呈する塊状・緻密な岩石。割れ目に方解石や暗緑色を呈する緑泥石～蛇紋石フィルムを付着していることが多く、後者の場合、油肌を呈する。
紫色粗粒凝灰岩	紫色を呈し、部分的に凝灰質礫岩また凝灰角礫岩～凝灰円礫岩と称すべき箇所もみられ岩相変化は著しい。初生的な凝灰岩と未固結時に陸源碎屑物の混合し形成した二次的な岩石をも含むものと考えられる塊状・緻密であるが、熱水変質を受けている箇所がみられ、この部分はもろい。
紫色細粒凝灰岩	紫色を呈する細粒凝灰岩で陸源碎屑物の混入はほとんどない。シャープで系統的な節理を有し部分的に異方性がみられる。岩片は硬質で緻密である。
紫色凝灰角礫岩 ～紫色凝灰円礫岩	上記の岩石種の中で陸源碎屑物の混入が最も多い部分である。granule gravel～pebble gravel sizeの異質礫を50%以下の含有率で含む。岩石の物性は上記の岩石類と同じ。

4.11.3 賦存量・岩質

原石山において行われたボーリング結果の概要をTable 4-20に示す。
また、原石山で行われた弾性波探査測線沿いの地質断面図を FIG. 4-11.12に示す。
これに基づくロック材およびコンクリート用骨材の賦存量・材質について考察を
以下に述べる。

Table 4-20 原石山ボーリング結果の概要

ボーリング	位置	孔口標高 (El. m)	風化帯の 深度 (m)	高透水ゾーン の範囲 (m)	孔内水位 (m)
Q-1	原石山	204.201	10	——	5.34
Q-2		222.495	9	——	20.43
Q-3		145.203	14	——	——
Q-4		186.548	10	——	8.95

(1) 賦存量

Table 4-20に記すとおり、コンクリート用骨材あるいはロック材としての使用が不可能とされる被覆層あるいはD～CⅡ級岩盤の深さは平均10～15m程度と想定される。この深度は調査地域の山体の中では最も浅く、原石山候補地の選定は妥当であると考えられる。原石山の山体形状は前述したとおり、北西—南東方向に延びる尾根で現原木運搬用道路はこの尾根の北東側斜面を平行に走っている。北東側斜面には小さな起伏はあるものの、全体には単調な斜面であるので採石法面の間口を広くとることには何ら支障のない地形である。また、風化の状況は高標高部と低標高部の間でさ程差がなく、全体に一樣であることが予想されるので、このような点を勘案すると貯存量に関する問題は特に存在しないものと考えられる。

(2) 岩 質

原石山および主ダムサイトのボーリング・コアを使って行われた岩石試験結果を Table 4-22に示す。これによると、平均の物性値は比重2.76、一軸圧縮強度443.3 kgf/cm²、吸水率 0.38 % および安定性 2.9(%) である。日本の「ダムコンクリート標準示方書（昭和55年度版）」によると、骨材に対する耐久性に関しては次のように規定されている。

- ・比重 …2.60程度以上
 - ・硫酸ナトリウムによる安定性試験 …12%以下
 - ・ロスアンゼルス試験機によるすりへり試験 …すりへり減量40%以下
- また、JIS A 5005「コンクリート用砕石基準」では、
- ・比重 …2.50以上
 - ・吸水量 …3%以下
 - ・安定性 …12%以下
 - ・すりへり減量 …40%以下

となっており、本原石山での岩石はコンクリート骨材としての所要値を満足するものである。

しかし、一軸圧縮強度についてはコアの見かけの形状よりも低い値が出ている。

これは、一軸圧縮試験用サンプル（ボーリング・コア）の表面に細かいヘアクラックが入っており、しかもその面に方解石フィルムや油肌をもつ暗緑色の蛇紋石～緑泥石フィルムが付着しているため、ヘアクラック面のせん断抵抗が小さくなり、割れ易くなっているものと考えられる。また、本地域に分布する凝灰岩は全体にクラッキーであり、3系統以上の鋭い節理面を有する。

Table 4-21に原石山ボーリングにおけるR. Q. Dと最大コア長の平均値を示す。

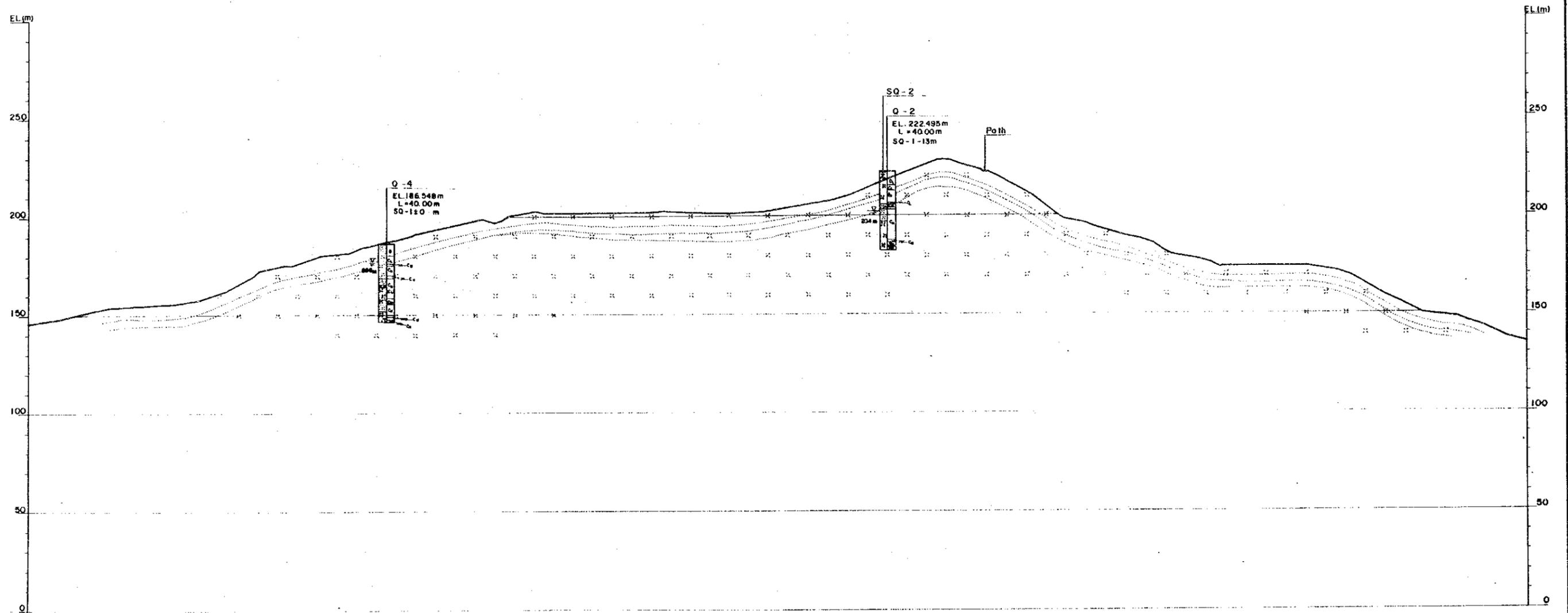
Table 4-21 原石山ボーリングのR. Q. D
と最大コア長の平均値

ボーリング名	R. Q. D		Max Core	
	CM	CH	CM	CH
Q-1	15	35	15	18
Q-2	47	40	21	19
Q-3	41	66	21	30
Q-4	22	43	16	20

※ 対象となる岩盤はCM 級以上の岩盤である。

このデータから判断すると、原石山のCⅡ級以上の岩盤についてはクラックは密であり、目が細かい傾向にあると言える。このように、本原石山の岩盤は割れ目が細かく割れ易い傾向にあり、大径のロック材は採りにくいと考えられるが、ロック材、骨材としての諸物性には特異なものはなく、また、今回のボーリング調査では深度40mまでの岩盤をとらえているのみであり、さらに深部ではB級に相当する堅岩が存在すると推定されるので骨材あるいはロック材原石山候補地として、特に問題はないものと考えられる。

QUARRY (SQ-1)
S = 1:2000



Legend

- [Green box] Green rock group
- [Dashed line] Boundary of lithologic character
- [Dotted line] Boundary of rock grade classification
- [Dashed line] Boundary of seismic velocity
- [D] D class rock
- [CL] CL class rock
- [CM] CM class rock
- [CH] more than CH class rock

Drilling NO.

- Level of drilling mouth
- Length of drilling
- Distance from seismic line
- Logan Value (Critical pressure)
- Rock grade classification
- Geological Symbol
- Ground water Level

[Symbol]	Top soil or residual soil
[Symbol]	Tuff (purple, fine)
[Symbol]	Tuff (purple, coarse)
[Symbol]	Tuff (greenish blue, fine)
[Symbol]	Tuff breccia

LEBR DAM PROJECT
FEASIBILITY STUDY
KELANTAN, MALAYSIA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

GEOLOGICAL SECTION (5)

QUARRY (SQ-1)

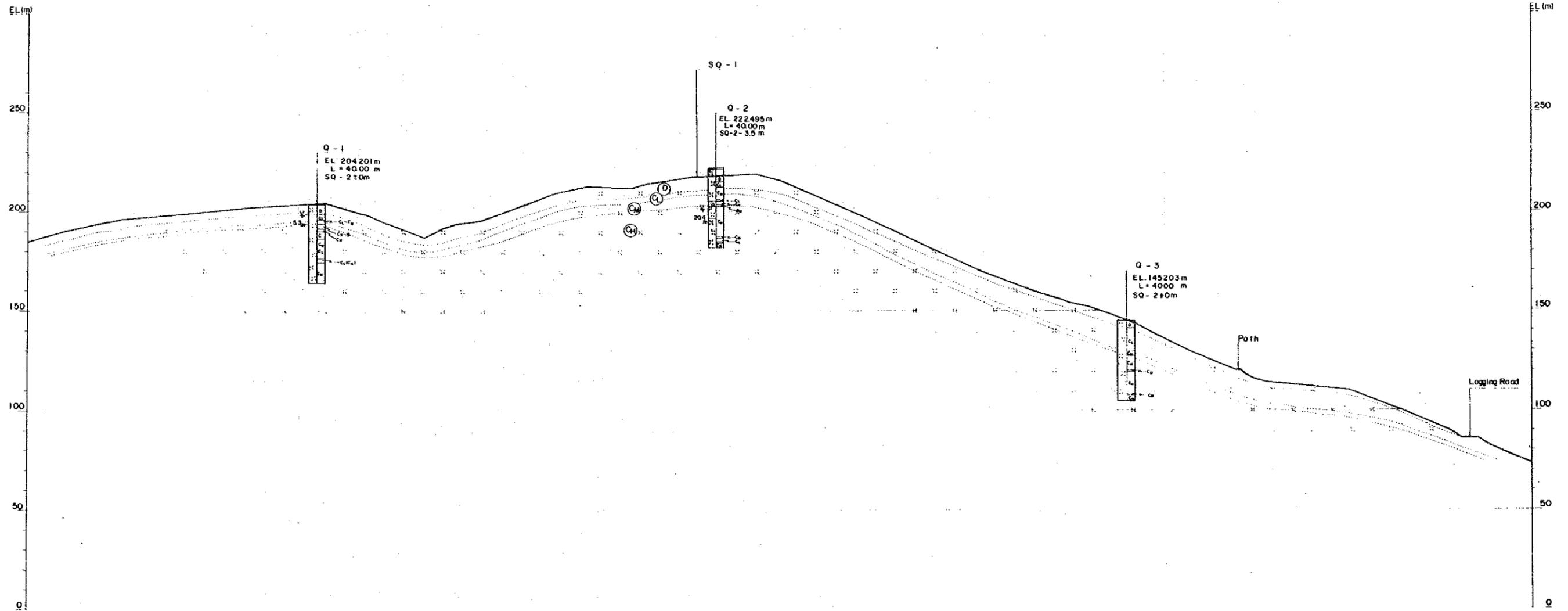
Fig4-11

DATE Mar. 1989 DRAWING NO. LDP-G-006

4 - 49

4
1
SS

QUARRY (SQ-2)
S = 1:2000



Legend	
[Green box]	Green rock group
[Dashed line]	Boundary of lithologic character
[Dotted line]	Boundary of rock grade classification
[Wavy line]	Boundary of seismic velocity
[D]	D class rock
[CL]	CL class rock
[CH]	CH class rock
[CH]	more than CH class rock

Drilling NO.	
[Symbol]	Level of drilling mouth
[Symbol]	Length of drilling
[Symbol]	Distance from seismic line
[Symbol]	Lugeon Value (Critical pressure)

Rock grade classification Geological Symbol	
[Symbol]	Top soil or residual soil
[Symbol]	Tuff (purple, fine)
[Symbol]	Tuff (purple, coarse)
[Symbol]	Tuff (greenish blue, fine)
[Symbol]	Tuff breccia

LEBIR DAM PROJECT FEASIBILITY STUDY KELANTAN, MALAYSIA	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
GEOLOGICAL SECTION (6)	
QUARRY (SQ-2)	
DATE Mar. 1989	DRAWING NO. LDP - G - 007

Fig-12

4
56

Unconfined Compressive Strength, Absorption & Durability

Drilling No.	Depth of Sampling (m)	Rock Name	Rock Classification	Bulk Density (g/cm ³)	Relative Density (g/cm ³)	Relative Density on an oven dry basis (g/cm ³)	Absorption (%)	Unconfined Compressive Strength (kgf/cm ²)
Q-1	16.0	Coarse Tuff (Purple)	CH	1.59	2.69	2.71	0.5	686.5
	20.3	Coarse Tuff (Purple)	CH	1.61	2.92	2.70	0.8	192.0
	31.0	Coarse Tuff (Purple)	CH	—	—	2.70	0.9	Out
	36.7	Coarse Tuff (Purple)	CH	1.56	2.79	2.82	0.2	585.7
	37.2	Coarse Tuff (Purple)	CH	1.55	2.79	2.88	0.1	762.1
Q-2	18.4	Tuff Breccia (Purple)	CH	1.58	2.71	2.77	0.4	163.2
	23.1	Fine Tuff (Purple)	CH	1.59	2.75	2.75	0.1	177.6
	26.6	Fine Tuff (Greenish Blue)	CH	1.58	2.75	2.76	0.2	153.6
	30.0	Fine Tuff (Greenish Blue)	CH	1.59	2.71	2.78	0.5	211.2
Q-3	20.4	Coarse Tuff (Purple)	CH	1.56	2.76	2.82	0.7	456.1
	32.0	Fine Tuff (Greenish Blue)	CH	1.57	2.72	2.78	0.2	398.5
Q-4	27.85	Fine Tuff (Greenish Blue)	CH	1.58	2.77	2.81	0.1	1089.8
	35.7	Fine Tuff (Greenish Blue)	CH	1.56	2.82	2.81	0.2	Out
D-1	56.0	Fine Tuff (Purple)	B	1.57	2.74	2.80	0.6	691.3
D-2	41.0	Fine Tuff (Greenish Blue)	CH	1.61	2.74	2.71	0.4	1195.4
	44.3	Fine Tuff (Purple)	CH	1.58	2.74	2.86	0.9	489.7
D-5	16.8	Tuff Breccia (Purple)	B	1.56	2.77	2.82	0.1	969.8
	20.8	Tuff Breccia (Purple)	CH	1.75	2.74	2.80	0.1	984.2

Durability

Drilling No.	Depth of Sampling (m)	Rock Name	Durability (%)
Q-1	38.7 ~ 39.75	Fine Tuff (Purple)	4.6
Q-3	27.4 ~ 27.95	Coarse Tuff (Purple)	2.8
Q-4	36.6 ~ 37.45	Fine Tuff (greenish blue)	1.3

Table 4-22
The result of rock material test

4.12 土 取 場

4.12.1 地 形

(1) 土取場（A）---花崗岩

土取場（A）は、主ダムサイトから東北東へ直線距離で約 4kmの花崗岩分布域にある。周辺は花崗岩と中・古生層の境界をつくる北北西－南南東に延びる標高 300～400m級の主稜線とこの東側斜面である。

主稜線は不規則に曲がり、頻繁に鞍部が認められる他、東側斜面は起伏に富んでおり、小崩壊性または浸食性のガリーが多く、花崗岩地域特有のバッドランド地形が認められる。

(2) 土取場（B）---凝灰質礫岩

土取場（B）は、サドルダム地点から上流側約 1 kmの右岸の西方および西南西へ延びるやせ尾根状の山体であり、稜線部は緩斜面を形成する。

4.12.2 地 質

(1) 土取場（A）

土取場（A）周辺を構成する地質は、中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（一部、花崗閃緑岩）である。

本地域は、花崗岩侵入岩体の西縁部にあたり、中・古生層との境界に近いことから凝灰岩系統の捕獲岩が多い。

(2) 土取場（B）

土取場（B）周辺は、凝灰質礫岩が分布する。

4.12.3 土木地質

土取場（A）において行われたボーリングの結果の概要をTable 4-23に示す。これによると、賦存量の推定について下記のような評価がなされる。また、土取場（B）にはボーリングは行われていないが、踏査あるいはサドルダムIでのテストピットのデータから賦存量の推定を行った。

Table 4-23土取場（A）地点 ボーリング結果の概要

ボーリング名	位置	孔口標高 (EL. m)	風化帯の深度 (m)	N値50以上の 範囲 (m)	孔内水位 (m)
Bp-1	土取場	約 185	15	13~14	—
Bp-2		約 280	16	16~17	—

(1) 賦存量

① 土取場（A）

ボーリング調査によると風化は深く、深度15~20mまではD級の強風化岩盤であり、コア材として適用し得るものと考えられる。このような風化状況は、土取場周辺地域について同様であると予想される。また、花崗岩は広い範囲にわたり分布することから勘案すると、賦存量に関する問題はないと考えられる。

② 土取場（B）

サドルダムIの右岸部での強風化岩盤の厚さが20mを越えるように土取場（B）周辺の凝灰質礫岩の風化は全般に深い傾向にあるが、礫岩の分布は帯状でせまいことと、各尾根部はやせており、山体が小さいことから、所要量を充分満足するとは言い難いが、今後の調査が必要である。

(2) 土質

コア材としての材質の適否を判定する資料として土質試験を行った。この結果をTable 4-25にまとめる。

これによると、材料の性質について下記に示すような傾向が判明した。

本表に示される各試料は大きくは次の4種類がある。

- ① 花崗岩試料 ———→ 土取場（A）
- ② 凝灰質礫岩試料 ——→ 土取場（B）
- ③ 段丘堆積物試料
- ④ 凝灰岩（粗粒、細粒）試料

土質試験のうち、物理試験と突固め試験は①~④の全試料に対して行われており、その結果から、コア材料として適当であると判断された試料に対して力学試験、透水試験および圧密試験が実施された。

これによると、花崗岩、堆積物および凝灰質礫岩の間では、一般的な物理特性には大差が認められないものの、突固め特性と含水比を見ると地質別に特定の傾向が認められる。即ち、Fig. 4-13の突固め試験結果に示されるように、乾燥密度が大きく、含水比の小さい③の凝灰質礫岩グループとその逆で乾燥密度が小さく、含水比が大きい②の段丘堆積物グループ、およびその中間的な性質を示す①の花崗岩グループの3つに分けられる。Table 4-24に示すように、一般に日本におけるダムのコア材料としては自然含水比、最適含水比が30%を超える例は少ないのであるが、今回の段丘堆積物試料はこの種の材料であり、コア材としては適当ではないと言える。なお、花崗岩試料のうちテストピットの試料は、自然含水比が最適含水比に比して6%程度高い結果となっていることも注意しておく必要がある。

Table 4-24 日本国内ロックフィルダムにおけるしゃ水材料一般的な性質
(ダムの地質調査〈土木学会〉)

ダム名	材 質	比重	最大乾燥密度 γ _{dmax} (t/m ³)	含 水 比 %			アッターバーグ限界			透水係数 cm/s	c.u.の 試験方 法	設計値 %
				自 然	最 適	施工目標	LL	PL	PI			
十 勝	凝灰堆積物およびシルト	2.73	1.88	15.4	9.5	Wopt +0~2	30.2	18.4	11.8	8.7×10 ⁻⁶	三 軸	2.05
高 見	凝灰と風化頁岩の混合 (1:1~1:3)	2.75	2.19	9.2	8.3	Wopt +0~2.5	36 35	20 22	16 13	1.7×10 ⁻⁷	三 軸	1.90 2.00
白 川	花崗岩の風化したもの	2.65	2.03	10	9.3	9~12	27	15	12	5×10 ⁻⁶	三 軸	2.00
御 所	凝灰岩が風化したものと河床礫の混合 1:3	2.536	1.766	17.5	16.4	17~20	47.9	28.3	19.6	5×10 ⁻⁷	三軸CU	1.66
寒河江	安山岩の凝灰と玄武岩層の混合	2.75	1.89	20	14.9	Wopt -1~+3	52.9	35.5	27.4	1.2×10 ⁻⁷	三 軸	1.65
四 時	片岩の風化したもの	2.69	1.96	7~27	17~25	Wopt -1~+2.5	38	27	11	4×10 ⁻⁶	三 軸	1.75
七北田	玄武岩の風化残留土と泥炭堆積物の混合 (4:1)	2.84	1.79	28	26	Wopt +0~3	80	45	35	1×10 ⁻⁶	三 軸	1.70
手取川	風化岩および凝灰	2.72	1.90	6~22	14.2	Wopt +1~3	42	21	21	3×10 ⁻⁶ 以下	三 軸	1.96
岩 屋	石英斑岩がまさ状凝灰堆積岩	2.63	1.75	15.3	17.2	Wopt +0~3	41.2	25.6	15.6	6.7×10 ⁻⁶	三 軸	1.762
瀬 戸	頁岩および砂岩風化堆積岩	2.74	1.96	12.4	11.5	Wopt +0~3	34	20	14	1×10 ⁻⁶	三 軸	1.87
黒 川	古生層の粘板岩とチャートの互層からなる風土化	2.68	1.83		15.5	Wopt +0~2	31	21	10	0.2~10 ×10 ⁻⁶	三 軸	1.75
稲 村	緑色片岩風化残留土 (混合)	2.85	2.00	7~14	11.7	Wopt +0~3	34	22.4	11.6	3.1×10 ⁻⁷	三 軸	1.89
下 野	凝灰岩およびチャートの混合 (1:1)	2.68	2.01	10.2	11.4	Wopt +0~2.5	38.6	20.1	18.3	1×10 ⁻⁶	三軸CU	1.90

次に、粒度特性をみるとFig 4-14のようになる。

これによると、やはり②の段丘堆積物試料と一部の花崗岩試料は粘土分以下が21~66%、シルト分以下が37~78%とかなり細粒側にあり、細粒分の含有比がやや高すぎる傾向にある。このデータから判断すると②の段丘堆積物は適当な材料であるとは判断しにくい。ただし、花崗岩試料の場合はテストピット試料のうち深度2mで採取されたものであり、表層に近いものであることを留意しておく必要がある。

また、SP-5、SP-6にみられるように凝灰質岩石のうち、細粒分で構成される凝灰岩や凝灰質砂岩は粒径加積曲線が不規則に屈折する傾向がある。

これらの結果から、コア材として最も適切であると判断されるのは花崗岩からなるSP-3と凝灰質礫岩からなるTP-3-2である。

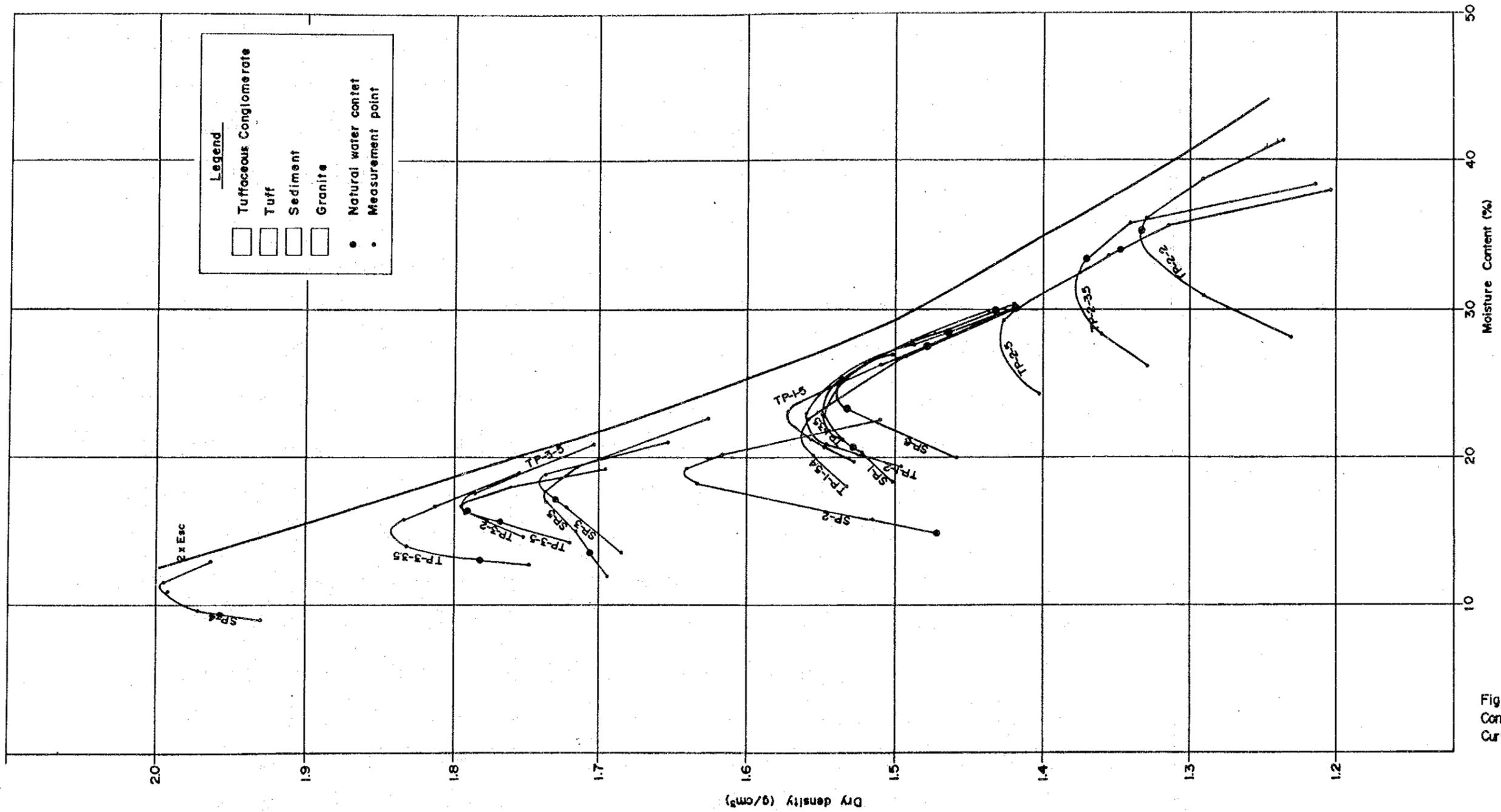


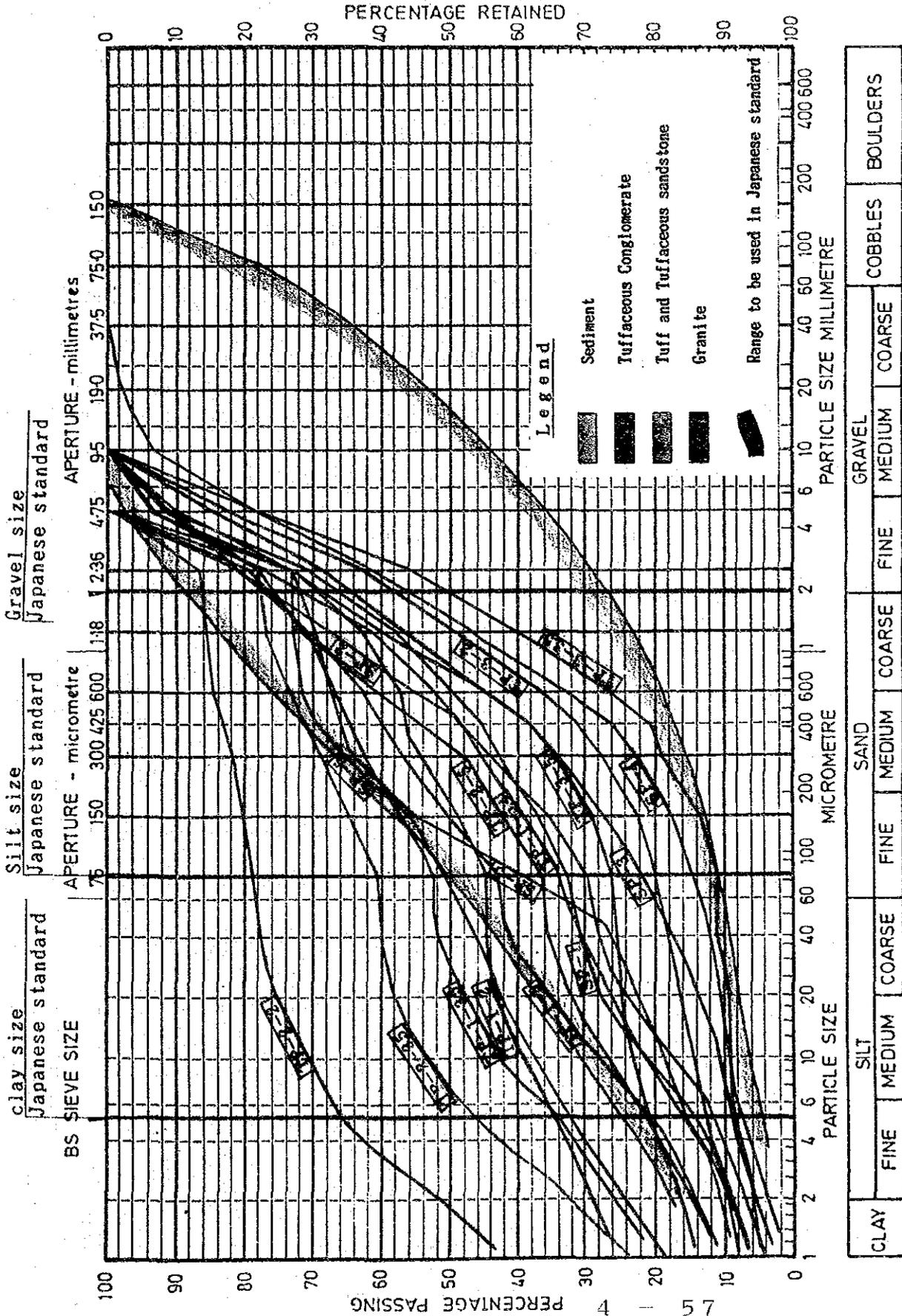
Fig 4-13
Compaction
Curve

Fig 4-14 PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CHART

Structure: Zone:

Tested by Plotted by Checked by SAMPLE NO.

Date Date Date REGISTRATION



D₁₀ D₃₀ D₆₀ C_u C_c D₁₅ D₈₅ Classification

Description of material

Form No MLT - S5

Lab. Superintendent

Location of sampling		Test Pit 1				Test Pit 2			Test Pit 3			Slope					
Sample No.		TP-1-2	TP-1-3.5	TP-1-5	TP-1-5.4	TP-2-2	TP-2-3.5	TP-2-5	TP-3-2	TP-3-3.5	TP-3-5	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5	SP-6
Sample depth (m)		2	3.5	5	5.4	2	3.5	5	2	3.5	5	—	—	—	—	—	—
Condition of sample		Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed	Disturbed
Natural water content (%)		28.5	29.9	(30.2) 30.1	27.5	(32.9) 35.2	(32.1) 33.4	(37.8) 34.0	(24.9) 16.5	13.1	15.6	20.8	14.9	17.2	9.4	13.6	23.3
Specific gravity		2.68	2.74	2.68	2.67	2.74	2.74	2.75	2.76	2.72	2.72	2.68	2.68	2.67	2.68	2.76	2.70
Wet density (g / cm ³)		1.415	—	1.396	—	1.416	1.292	(1.286) 1.396	1.382	—	—	—	—	—	—	—	—
Dry density (g / cm ³)		1.101	—	1.072	—	1.047	0.969	1.046	1.110	—	—	—	—	—	—	—	—
Natural void ratio		1.433	—	1.500	—	1.572	1.082	1.947	1.494	—	—	—	—	—	—	—	—
Degree of saturation		53.3	—	54.0	—	58.2	48.8	48.0	46.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Atterberg limits	Liquid Limit (%)	78	61	42	39	82	62	43	34	28	37	46	40	34	27	29	44
	Plastic Limit (%)	36	35	34	34	37	36	32	23	11	23	37	31	29	21	23	27
	Plasticity index	42	26	8	5	45	26	11	11	7	14	9	9	5	6	6	17
Grain size analysis	(more than 2000 μ m) Gravel (%)	31	23	23	28	15	22	24	42	50	37	35	24	33	44	29	27
	(74-2000 μ m) Sand (%)	24	25	34	38	7	16	39	38	39	37	33	46	45	41	33	22
	(5-74 μ m) Silt (%)	8	18	23	17	12	16	16	8	2	5	17	19	13	8	22	19
	(less than 5 μ m) Clay & colloid (%)	37	34	20	17	66	46	21	12	9	21	15	12	9	7	16	32
	Max. diameter (mm)	4.75	4.75	4.75	9.5	4.75	4.75	4.75	9.5	9.5	4.8	4.75	4.75	4.75	19.0	4.75	4.75
	Diam. at 60 (%)	0.80	2.0	0.40	1.2	0.32	0.075	0.060	0.025	3.4	1.7	1.4	0.85	1.2	2.3	2.4	0.22
	Diam. at 10 (%)	—	—	—	0.0014	—	—	—	—	—	—	0.003	0.004	0.010	0.011	0.002	0.004
Visual soil description		C'H	C'H	CL	CL	C'H	C'H	C'H	CL	ML	CL	CL	CL	CL	CL-ML	CL	CL
Unified soil classification AASHTO method		A-7-5	A-7	A-4	A-4	A-7-5	A-7	A-7	A-6	A-4	A-6	A-4	A-4	A-4	A-4	A-4	A-7-6
Compaction test	Optimum moisture content (%)	22.3	23.0	22.5	21.5	35.0	31.5	28.0	16.7	15.0	16.3	22.7	18.8	18.2	11.3	17.4	24.2
	Dry density (g / cm ³)	1.562	1.555	1.575	1.562	1.335	1.378	1.435	1.795	1.844	1.792	1.549	1.642	1.738	1.998	1.738	1.540
Permeability test	Falling head (cm/min)	—	—	—	—	—	—	—	0.364 $\times 10^{-6}$	—	—	—	—	1.596 $\times 10^{-6}$	—	—	—
	Constant head	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Triaxial compression test	Angle of internal friction (degree)	—	—	—	—	—	—	—	32.8	—	—	—	—	34.8	—	—	—
	Cohesion (kgf/cm ²)	—	—	—	—	—	—	—	0.27	—	—	—	—	0.12	—	—	—
	Condition of drainage	—	—	—	—	—	—	—	CU	—	—	—	—	CU	—	—	—
Consolidation test	Preconsolidation Pressure (kgf/cm ²)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Compression index	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Rock Name		Granite	Granite	Granite	Granite	Secliment	Secliment	Secliment	Tuffaceous Sand stone	Tuffaceous Sand stone	Tuffaceous Sand stone	Granite	Granite	Granite	Tuffaceous Conglomera-te	Tuff	Tuffaceous Sand stone
remark:		* The measurement of L.L & P.L is done only for the material less than 0.42mm diameter. ** The value of () at the column of natural water content is calculated based on the sample for the in-situ density measurement.															

Table 4-25
The result of soil material test

4.13 逆調整池地点

4.13.1 地 形

逆調整池地点は、トワラン橋から約 300m の下流側地点に計画されている。

兩岸とも河床比高10～15m 河岸段丘面に相当する緩傾斜面があり、これより下部での谷の断面形状は底幅の広いU字形を示す。

河床部、特に右岸河床部の露岩状況は良好であるが、兩岸における露頭は皆無である。また、右岸側段丘面に集落Kg. LEBUTがある。

4.13.2 地 質

逆調整池付近を構成する岩盤は主ダムサイトと同様、古生代末期から中生代初期にかけて形成した緑色岩類であるが、弱い異方性または剥離性が認められることや、頁岩の薄層を介在する等の特徴がある。

兩岸緩斜面に分布する段丘堆積物、河床堆積物等の被覆層は未固結のシルト混じり砂および細礫からなり、右岸側で10m 前後、左岸側で数m 程度の厚さを有すると推測される。

4.13.3 土地地質

逆調整池地点において実施されたボーリング結果の概要をTable 4-26示す。

Table 4-26 逆調整池地点ボーリング結果の概要

ボーリング名	位 置	孔口標高 (El. m)	基盤岩の深度 (m)	高透水ゾーンの 範囲 (m)	孔内水位 (m)
R - 1	左岸部	41.438	3.9	10 m 以上	9.7
R - 2	右岸河畔部	27.570	8.3	10 m 以上	3.3
R - 3	右岸部	35.495	10m 以上	10 m 以上	7.1

河床部における露岩分布から判断すると、河床部では深度数m 程度で硬岩が現出するものと考えられるが、ダムの兩岸裾部はほぼ河床レベルまで河床堆積物または強風化岩盤が連続するものと推定される。

ダム高から考えると、ダムはこの堆積物もしくは強風化岩盤に乗座させられることになるが、この部分におけるルジオンテストでの口元圧力は 4kg f/cm²までしか上がらず、また、ルジオン値は30Lu程度の値となっており、透水性の改良が容易でないことを示している。

5. 水 文

5. 水 文

5.1 ケラントン川流域の概要

ケラントン川流域は南側に、標高2,207mのグヌン・タハン山を最高峰とする1,000mないし2,000m級の連山からなる中央山脈があり、東側には1,000m級の高山を含む南北方向の海岸山脈がトレンガヌ州との境界を作り、西側を500m級の山脈が張り出してゴロック川との流域界をなし、ただ北側のみが南シナ海に開口している東西60km、南北130km程の地域である。

ケラントン川水系は、一般に、山地部流域と平地部流域に分けられるが山地部流域は本川のガラス川の他にベルガウ川とレビル、ネンギリ川の3つの主要支川流域で占められる。平地部流域では、上記のガラス川とレビル川とが合流した後、河川の呼称がケラントン川と変えられて、広大な堆積平原の中をゆるやかな蛇行を繰返しながら北端のコタバル市の近くで南シナ海に流入する。

レビル川は、山地流域の東縁部を占める河川で、中央山脈の北麓に広がるタマンネガラを原流として本流のレビル川の他に、アリン川、レイイ川、チャリー川、デバック川、サム川等の主要支流から成り立っている総流域面積約3,400km²の山地河川である。流域の東側は既述の海岸山脈であり西側は標高300m程度のドーム状小山体の連山によってガラス川と分離されている。

山地河川とは言うものの、レビル川の河川勾配はきわめて緩慢で平均の河床勾配は、流路総長約120kmのうち下流部の100kmの範囲で1/2,600程度を示し、谷巾は広く、兩岸の山腹斜面もきわめて緩やかである。

ケラントン川水系の流量観測所の位置はFig. 5-1であり、その流域面積は、下表のとおりである。

水位—流量観測所流域面積

観測所名	地点河川名	流域面積 km ²
トワラン	レビル	2480
ベルタム	ネンギリ	3950
ダボン	ガラス	7480
ギルマード	ケラントン	12100

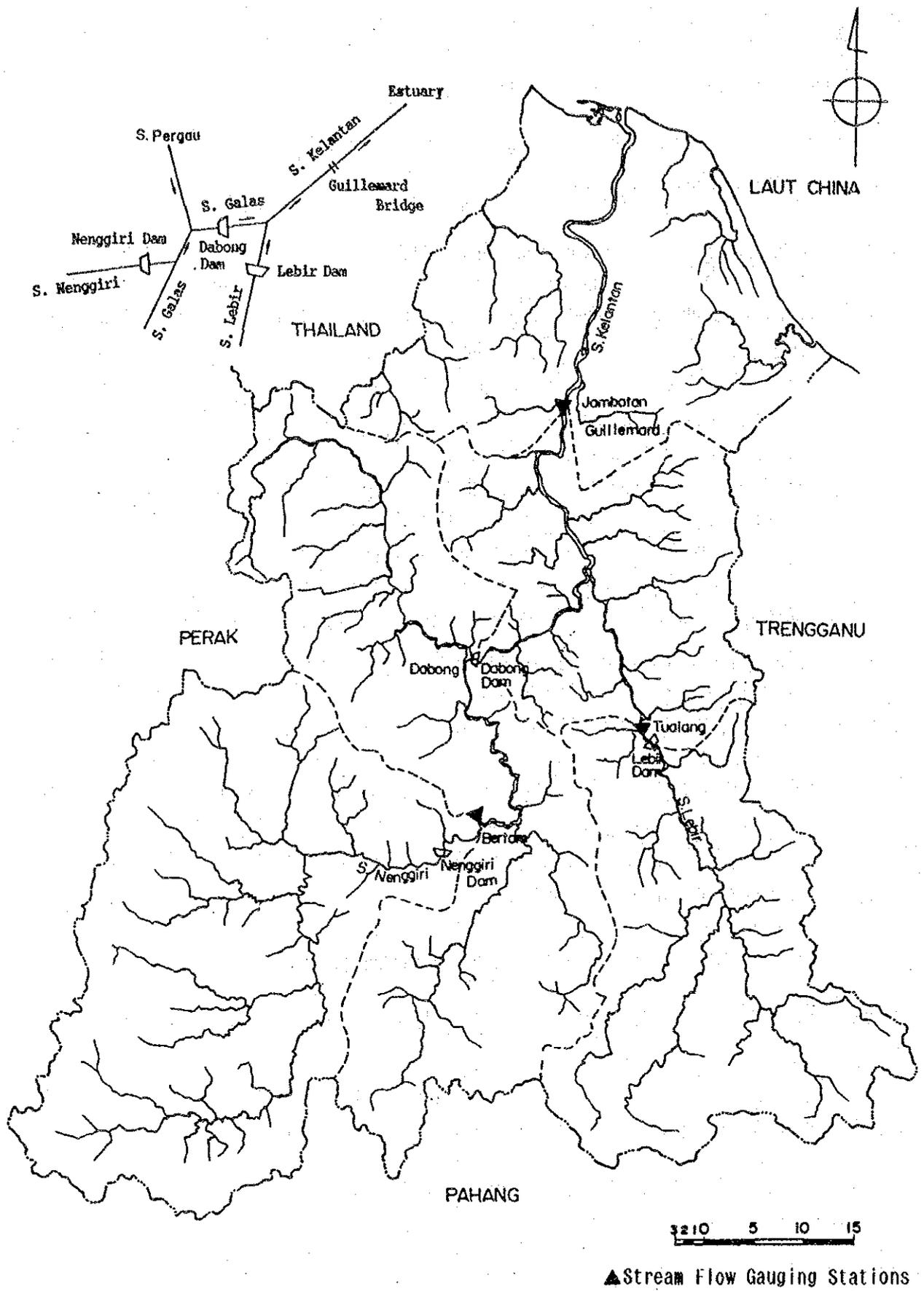


Fig.5-1 Map of Kelantan River Basin

5.2 水文資料

5.2.1 低水に関する資料

ケラントン川およびレビル川に関して、次のような資料を入手した。

	日 流 量	月平均流量
ギルマード橋 流量観測所	1958-1984 年間	1950-1984 年間
トワラン 流量観測所	1976-1984 年間 (1982-1984年間欠測多い)	同 左

5.2.2 洪水に関する資料

a) 洪水量の観測記録

ケラントン川水系の洪水量の観測所は、本流および支流に位置し、次の4カ所である。

ケラントン川のギルマード橋地点
レビル川のトワラン地点
ネンギリ川のベルタム地点
ガラス川のダボン地点

観測所の位置を Fig. 5-1 に示す。本調査で収集されたデータは、“ピーク洪水位の記録”と“時間的な洪水位を観測した記録”の二種に分類される。

まず、ピーク洪水位の記録から述べる。

ギルマード橋のこれまでの観測値の中での最大の洪水量は、1967年1月6日の16000 m^3/s である。(なお信頼性には欠ける点もあるが、1926年に27000 m^3/s という記録もある。)

ピーク洪水位の観測データが最も多数観測されている地点は、ギルマード橋地点であり、収集されたデータの期間は1940年以後、1986年までの毎年の記録である。

一方、トワラン地点は1926年以後の観測記録があるが、欠測データが多く、ギルマード橋地点と相関がつく同一の洪水に対する記録数は16個である。

これらのデータをAppendix Table 5-4とTable 5-5 に記す。なお表中の洪水量は洪水位から変換された値である。

次に、収集された洪水位の時間記録は、1965年から1986年の記録である。これらの記録はAppendix Fig. 5-4からFig. 5-13の10洪水である。この時間記録を4個所の観測所について見ると、下表の如くなる。

洪水期間	観測所			
	トワラン	ベルタム	ダボン	ギルマード
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
1965 Dec. 1 ~ 6	—	—	—	5770
1967 Jan. 2 ~ 6	—	—	—	16000
1969 Nov. 29 ~ Dec. 4	—	—	—	6140
1973 Dec. 5 ~ 9	—	—	5540	9600
1974 Dec. 26 ~ 1975 Jan. 7	—	—	2510	4320
1981 Nov. 30 ~ Dec. 4	570	—	1640	1870
1982 Dec. 12 ~ 16	2810	1080	3630	7120
1983 Dec. 3 ~ 7	3900	—	5950	12010
1984 Dec. 21 ~ 25	3430	—	4220	7740
1986 Nov. 25 ~ Dec. 3	—	—	3380	6900

注) —印は欠測

なお、表中の水位から流量の変換値は、DIDが作成した水位と流量の関係曲線表 (Appendix Table 5-6~5-9) を基に、ここでは高水位の値においても流量の変換が出来るよう検討を加え、水位-流量曲線を修正している。すなわち、ギルマード橋地点の水位-流量曲線 (Appendix Fig. 5-14) には、DID が作成した曲線を次のように修正している。高水位20m以上の曲線はギルマード橋地点の河川横断形状 (Appendix Fig. 5-18) および上下流の河川縦断勾配 (Appendix Fig. 5-19) を用い、マンニングの粗度係数に $n = 0.033$ 、河川勾配 $1/6,000$ を採用し、等流計算によって修正を加える。

Appendix Fig. 5-14 ~ Fig. 5-17に前述の4流量観測所の水位-流量曲線を示す。

なお、Appendix Fig. 5-4 ~ Fig. 5-13の変換に当っては、修正前のDID関係曲線が使用されていることに注意を要する。

b) 雨量の観測記録

収集された雨量記録は、日雨量記録と時間雨量記録である。日雨量データの収集された観測所の総数は72箇所であり、これらは全てケラントン川の流域内の観測所である。この収集された観測データの期間は1947年から1987年までである。

一方、時間雨量記録は、1980年以後、4箇所の観測所のデータが収集されているが、検討対象が広領域であるのに対し、非常に少ない。この4つの観測所の内、レビル川に位置する観測所は“カンボン・レビル”，“ジャランパンジャン”の2ヶ所であり、ネンギリ川に位置する観測所は“カンボン・クアラ・ビデラ (No. 17)”，“セガラ・アタス (No. 19)”の2ヶ所である。

以上の収集されたデータの各観測所名およびその期間はAppendix Table 5-10のとおりである。

c) 河川断面形記録

ケラントン川に収集河川断面数は19断面であり、その区間はレビル川の合流点より下流の、86km間を約5km間隔に1976年に測量されたものである。さらにレビルダム計画地点周辺の河道断面形である。(Appendix Fig. 5-20 に測量位置図を示す。)

5.3 低水解析

5.3.1 ダム地点月平均流量

発生電力量を計算するためには、ダム地点の長期流出量が必要である。しかしながら、当該ダム地点での実測記録はなく、トワラン地点で、1976年～1984年間の日流入量の実測記録があるだけである。これだけでは、長期流出量を推定するには十分でない。他の適当な地点における実測記録との相関により推定するのが望ましい。幸い、レビル川とガラス川との合流点により下流約30kmのギルマード橋では、1950年～1984年間の実測記録がある。そこで、トワラン地点とギルマード橋の月平均流入量について相関関係を調べたところ、両者の相関は良好であるので、ギルマード橋の実測記録を基に一次回帰式にてトワラン地点の月平均量を求めた。

(Appendix Fig. 5-1 ～5-3、Table 5-1-2)

ジャラパンジャン・ダム地点での月平均流出量の推定値は、トワラン地点とジャラパンジャン・ダム地点との流域面積比で換算した。

なお、ギルマード橋の月平均量に欠測がある場合はペラ川のイスカンダラ橋の月平均量と良好な相関関係 (APPENDIX Fig. 5-21) があることより、一次回帰式にてその欠測を補った。ギルマード橋およびイスカンダラ橋共に欠測となっている月については、ラロック地点の日流量に基づいてタンクモデルによってトワラン地点の流量を合成した結果を用いた1981年3月の中間報告書の流量を用いた。

このようにして推定したジャラパンジャン・ダム地点の年平均流量は112.57 m³/sである。また、ギルマード橋においては567.13 m³/sである。(Table 5-1-1, Table 5-1-2 参照)

5.3.2 ダム下流地点の日流量

農業灌漑計画には10日平均日流量が必要である。

農業灌漑計画に用いる日流量の基準点は、ギルマード橋であるが、ダム完成後の流況を推定するには、ダム下流地点 (トワラン地点) の日流量の推定を行なわなければならない。

ギルマード橋においては、1958年～1984年間の日流量が実測記録としてあるが、トワラン地点においては1976年～1984年間の (1982年～1984年間は欠測が多い。) 日流量しか実測記録がない。

月平均流量同様にギルマード橋とトワラン地点の日流量の相関は良好であるので、一次回帰式にてトワラン地点の日流量を推定した。(Appendix Fig. 5-22 ～5-24)

なお、ギルマード橋の日流量に欠測がある場合は今回推定は行っていない。
Appendix Fig. 5-25には、ギルマード橋の現況10日間平均流量を示した。

(Appendix Table 5-21)

Appendix Fig. 5-26, 5-27にはダム完成後、ダムから70 m³/s、80 m³/sの放流があった場合のギルマード橋の10日間平均流量を推定したものを示した。(Appendix Table 5-22)

5.3.3 水位～流量曲線（トワラン地点、ジャラパンジャン・ダム地点）

トワラン地点において水位に対応する流量観測が1974年9月から実施されているが、流量が1,000 m³/sを超えるものはほとんどなく、1979年11月29日に浮子観測で得られた3,900 m³/sが唯一の資料である。

これらの実測記録を最小二乗法により結び、4,000 m³/s付近までの水位～流量曲線を作成した。4,000 m³/sをこえる流量については、トワラン地点の自記量水標が設置されている河川実測横断面図を基に各流量に対応する等流水深を求めて推定した。

ジャラパンジャン・ダム地点においては実測記録はないのでトワラン地点の水位～流量曲線と、1987年10月現地で実測した河川横断面図に不等流計算を実施して推定した。(Appendix Fig. 5-28)

($\mu^2/s/DAY$)

TABLE 5-1-1-1 STREAMFLOW RECORDS AT GUILLMARD BRIDGE MONTHLY AVERAGE

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	MEAN
1950	829.5	914.2	472.7	420.6	630.3	472.7	407.6	371.1	553.5	661.5	729.3	806.1	605.8
1951	1733.0	698.0	372.4	325.6	332.1	311.2	296.9	280.0	561.3	754.0	1005.3	988.4	642.8
1952	1122.5	642.0	586.0	395.9	616.0	401.1	333.0	307.3	369.7	730.6	823.0	567.8	573.0
1953	763.1	536.5	483.1	387.2	614.7	505.3	429.7	265.7	442.8	609.5	789.2	903.8	559.2
1954	1472.9	496.2	339.9	334.7	403.7	445.4	436.3	497.5	492.2	774.8	642.0	1782.8	676.5
1955	985.8	496.2	312.5	317.7	341.2	358.1	399.8	440.2	326.9	661.5	829.5	600.3	505.8
1956	437.6	428.4	356.8	480.5	427.1	509.2	395.9	431.0	765.7	1229.3	1492.4	1517.1	705.9
1957	1130.4	523.5	582.1	616.6	367.3	813.9	509.2	660.2	918.1	812.6	890.7	2152.6	873.3
1958	1027.5	759.2	487.0	243.5	394.6	388.1	171.9	471.4	341.2	632.9	863.4	449.3	519.2
1959	321.7	209.7	145.8	169.3	315.1	250.0	287.8	294.3	416.7	601.6	927.2	1013.2	412.7
1960	763.1	479.2	251.3	195.3	312.5	208.4	224.0	179.7	415.4	352.9	669.4	922.0	414.4
1961	1208.5	541.7	307.3	377.7	363.3	259.1	197.9	169.3	307.3	509.2	754.0	994.9	499.2
1962	1116.0	407.6	441.5	302.1	367.2	263.1	307.3	321.7	339.9	561.3	592.5	948.0	497.4
1963	946.7	376.3	283.9	147.2	160.2	170.6	173.2	253.9	282.6	513.1	914.2	1071.8	441.1
1964	493.6	552.2	420.6	239.6	411.5	381.6	406.3	323.0	461.0	398.5	458.4	690.2	436.4
1965	324.3	253.9	165.4	234.4	333.4	247.4	273.5	350.3	523.5	750.1	859.5	1754.1	505.8
1966	1315.3	593.8	496.2	339.4	358.1	381.6	393.3	418.0	441.5	1715.1	1472.9	1526.2	789.3
1967	3151.5	1026.2	1226.7	530.0	578.2	350.3	406.3	346.4	345.1	463.6	1362.2	1142.1	910.7
1968	464.9	225.3	182.3	140.6	269.6	339.9	339.9	199.2	424.5	655.0	411.5	640.7	357.8
1969	618.6	238.3	141.9	104.2	207.1	231.8	187.5	237.0	227.9	419.3	992.3	1554.9	430.1
1970	1087.4	451.9	306.6	364.6	302.1	304.7	370.0	410.0	570.0	850.0	810.0	1150.0	581.4
1971	2480.0	570.0	800.0	320.0	330.0	330.0	407.8	418.8	540.0	420.0	638.0	2909.0	847.0
1972	410.0	356.0	189.0	235.0	505.0	435.6	286.0	250.0	620.0	520.0	790.0	2160.0	558.9
1973	780.0	390.0	260.0	220.0	310.0	410.0	350.0	380.0	570.0	630.0	800.0	3970.0	755.8
1974	690.0	510.0	330.0	520.0	580.0	370.0	487.0	378.0	545.0	657.0	898.0	640.0	567.1
1975	1540.0	646.0	444.0	365.0	540.0	403.0	486.0	351.8	647.5	574.3	1429.2	1544.4	748.4
1976	592.6	302.9	231.4	248.1	395.7	407.9	328.6	441.0	457.2	675.3	1031.4	1136.2	520.9
1977	851.4	445.9	261.1	177.2	178.9	206.8	285.9	390.1	266.4	715.5	908.4	665.3	446.1
1978	698.0	297.6	182.6	181.9	314.2	327.8	390.1	245.2	472.2	484.6	759.1	1084.4	453.2
1979	463.0	339.8	240.5	272.2	305.5	348.3	287.4	229.2	431.4	333.2	2078.7	912.8	524.3
1980	363.1	287.9	157.4	245.2	288.5	280.7	212.4	488.6	583.5	928.2	1012.5	862.2	474.2
1981	410.8	263.0	157.4	254.7	482.3	213.6	226.5	130.2	285.8	446.2	547.2	646.5	332.0
1982	214.4	560.7	114.3	322.1	387.1	422.8	302.3	311.5	409.4	543.7	631.0	1345.2	463.7
1983	527.9	250.9	164.6	112.1	174.3	195.6	289.9	363.2	464.9	391.0	475.3	2690.8	508.4
1984	626.4	1808.8	755.3	536.7	634.5	518.0	458.7	359.5	460.5	533.3	438.1	1409.3	711.8
MEAN	914.78	510.86	361.44	305.17	398.61	356.10	334.17	341.27	464.90	644.54	877.88	1295.87	567.13

U

I

00

TABLE 5-1-2 STREAMFLOW ESTIMATE AT LEBIR DAM SITE MONTHLY AVERAGE

($m^3/s/DAY$)

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	MEAN
1950	143.1	158.6	77.6	79.5	131.1	92.4	76.3	67.3	112.2	119.7	143.6	170.6	114.3
1951	318.9	119.0	59.2	56.1	57.7	52.6	49.1	44.9	114.2	152.3	249.8	234.8	125.0
1952	196.8	108.7	98.4	73.4	127.6	74.7	55.5	51.6	64.8	144.0	176.6	86.7	104.9
1953	130.9	89.3	79.6	66.4	127.3	100.4	81.8	41.4	85.0	101.4	164.7	205.0	106.1
1954	261.1	81.9	53.3	58.4	75.4	85.6	83.4	98.4	97.2	159.6	112.8	514.6	140.1
1955	171.8	81.9	48.3	54.2	60.0	64.1	74.4	84.3	56.4	119.7	178.9	98.2	91.0
1956	71.2	69.5	56.4	94.3	81.1	101.3	73.4	82.1	164.5	319.7	412.3	421.0	162.2
1957	198.3	87.0	97.7	128.3	189.5	176.4	101.3	138.5	202.0	172.9	200.4	644.8	194.8
1958	179.4	130.2	80.3	35.9	73.1	71.5	18.3	92.0	60.0	109.6	190.8	45.0	90.5
1959	49.9	29.4	17.7	17.6	53.6	37.5	46.8	48.4	78.6	98.6	213.3	243.5	77.9
1960	130.9	78.8	37.0	24.1	52.9	27.3	31.1	20.2	78.2	11.0	122.5	211.4	68.8
1961	212.6	90.3	47.3	68.9	65.4	39.8	24.7	17.6	51.6	66.1	152.3	237.1	89.5
1962	195.6	65.7	71.9	50.4	66.4	40.7	51.6	55.2	59.6	84.4	95.4	220.6	88.1
1963	164.6	60.0	43.0	12.2	15.4	18.0	18.6	38.5	45.5	67.4	208.7	264.2	79.7
1964	81.5	92.2	68.1	35.0	77.3	69.9	76.0	55.5	89.5	27.1	48.2	128.8	70.8
1965	50.4	37.5	21.3	33.7	58.0	36.9	43.3	62.2	104.9	150.9	189.4	504.5	107.7
1966	232.2	98.9	61.9	64.5	64.1	69.9	72.8	78.9	84.7	490.7	405.4	424.2	180.8
1967	569.0	179.2	216.0	106.5	118.3	62.2	76.0	61.3	60.9	50.0	366.5	288.9	179.6
1968	76.2	32.3	24.4	10.6	42.3	59.6	59.6	25.0	80.5	117.4	31.7	112.4	55.0
1969	104.4	34.6	17.0	1.6	26.9	33.0	22.1	34.3	32.1	34.4	236.2	434.3	84.3
1970	190.4	73.8	47.2	65.7	50.4	51.0	67.1	76.9	116.3	165.1	172.0	291.7	115.7
1971	445.8	95.5	137.7	54.8	57.2	57.2	76.4	79.1	108.9	34.6	111.4	911.2	180.8
1972	66.1	56.2	25.6	33.8	100.3	83.2	34.1	37.5	128.6	69.9	165.0	647.4	120.6
1973	134.0	62.5	38.6	30.1	52.3	76.9	62.1	69.5	116.3	108.6	168.5	1284.9	183.7
1974	117.5	84.5	51.5	104.0	118.8	67.1	95.9	69.0	110.1	118.1	203.0	182.6	110.2
1975	273.4	109.4	72.4	65.8	108.9	75.2	98.1	62.6	135.4	89.0	390.1	430.6	159.2
1976	99.6	46.5	33.4	37.1	73.4	76.4	56.9	84.5	88.5	124.6	250.0	287.9	104.9
1977	147.1	72.7	38.8	19.6	20.0	26.9	46.4	72.0	41.6	188.7	206.6	121.0	79.3
1978	119.1	45.5	24.4	20.8	53.3	56.7	72.0	36.3	92.2	57.4	154.1	268.6	83.4
1979	75.9	53.3	35.0	43.0	51.2	61.7	46.7	32.4	82.2	21.7	618.6	208.2	110.8
1980	57.5	43.7	19.8	36.3	47.0	45.1	28.3	91.3	119.6	213.6	243.3	190.4	94.7
1981	66.3	39.2	19.8	38.7	75.0	28.6	31.7	8.0	46.3	43.9	79.4	114.4	49.3
1982	30.3	93.8	11.9	55.3	71.3	80.1	50.4	52.7	76.8	78.2	109.0	360.5	89.2
1983	87.8	37.0	21.2	3.6	18.9	24.1	47.3	65.4	90.4	24.4	54.1	834.4	109.0
1984	105.8	322.7	128.5	108.6	132.2	103.5	88.9	64.5	89.3	74.5	41.0	383.1	137.0
MEAN	158.73	84.64	57.23	51.10	74.11	63.64	58.24	59.99	90.43	113.72	195.90	343.11	112.57

5.4 洪水解析

5.4.1 検討の流れ図

本検討では、レビルダム地点と、ギルマード橋地点の確率洪水量を求めることを目的とする。即ち、レビルダム地点は、本計画のダム地点およびギルマード橋地点は、ケラタン川の洪水制御を論ずる基準点であると考えられるためである。

まず確率洪水量を求めるためには、雨量から流出量を算定するモデルを作成した後、この流出モデルの中で確率雨量を降らせ、その洪水量を求めるシミュレーションの方法がある。この方法を取れば、洪水流出量の時間変動を洪水の立ち上がりから終了までを把握することが出来る。しかし、この方法には、十分な雨量データと、洪水の立ち上がりから終了までの洪水量一時間観測記録が十分に存在しなければならないと同時に、雨量から流量への変換モデル自体の優劣が問題となる。

一方、ギルマード橋地点でのピーク洪水量の観測記録が多いことから、このピーク洪水量記録を確率計算の中に直接に導入することが考えられる。この方法は、一般に、流域内の土地利用の状況が、データの存在期間中に急変するような場合や、今後の変化が予想されるような場合、特に流域内の保水機能を広領域に亘って、変化させるような場合には、精度の劣る方法であるが、もし、雨量データが少なく、かつ保水機能のあまり変化しない範囲内での土地利用の変化の流域にあつては、非常に精度の高い算定方法であると考えられる。レビルダムおよびギルマード橋流域内は、ゴム、パームオイルの植林開発によって、土地利用状況が変化した地帯であるが、保水機能を根本的に変化した地域ではない。このため本流域は、ピーク洪水量の観測値を確率計算の中に導入することの出来る地域である。

なお、この方法の欠点は、確率洪水量の時間変化を算定出来ない点である。しかし、この方法による確率ピーク洪水量の算定値と、先述した雨量からの流出解析によるピーク洪水量を比較し、この値が一致すれば、雨量からの流出解析モデルの精度を高く評価することが出来ると考えられる。

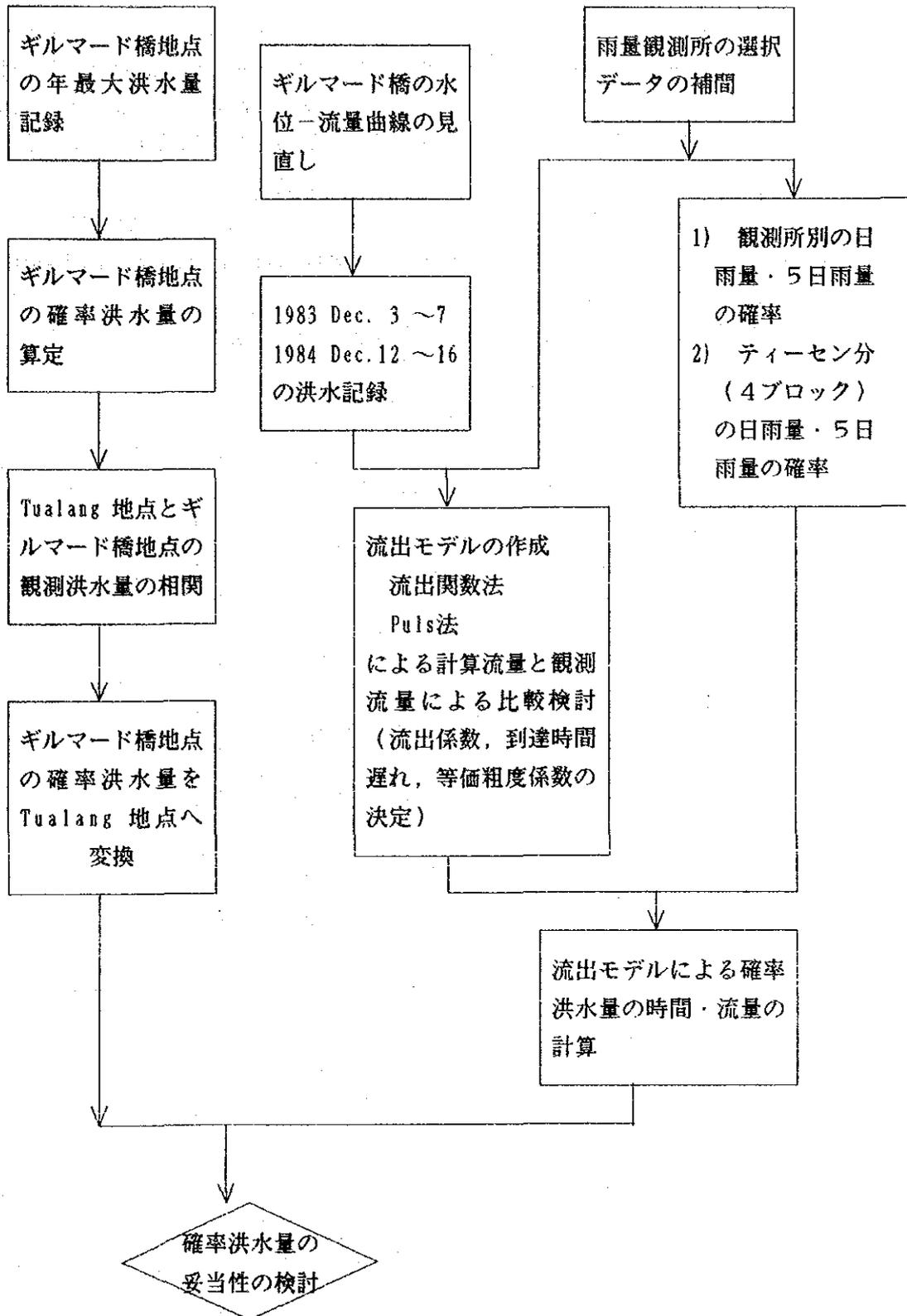
ここでは、このような考えを基本とし、次のフローに従った検討を行っている。

検討の流れ図

ピーク洪水量記録

洪水流量・時間記録

雨量記録



5.4.2 ピーク洪水量観測値からの確率洪水量の算定

ギルマード橋地点で、1940年から1986年まで毎年、観測されたピーク洪水量 (Appendix Table 5-4) を確率紙にプロット (Fig. 5-2) し、ガンベル・チョーによる確率計算式を用いれば下表の如くなる。一方、レビルダム計画地点の下流に位置するトワラン地点の観測流量が少ないことから、このデータを確率計算の中に直接導入するのではなく、ここでは、ギルマード橋地点で観測されたピーク洪水量と同一の洪水のトワラン地点のピーク洪水量 (Appendix Table 5-5) の関係曲線を用いる (Fig. 5-3)。即ち、ギルマード橋地点のピーク洪水量とトワラン地点のピーク洪水量の関係曲線に Fig. 5-3 の如く、トワラン地点のピーク洪水量が、過大に評価されるように包絡線として描くと、トワラン地点のピーク洪水量は、ギルマード橋地点のピーク洪水量の半分という関係が得られる。

この関係を用いると、ギルマード橋地点の確率洪水量とトワラン地点の関係は下表の如くなる。

ピーク洪水量観測記録による確率洪水量の結果表
(ガンベル・チョー法を採用)

確率年	ギルマード橋 m ³ /s	トワラン m ³ /s
10,000	31,320	15,660
1,000	24,503	12,252
200	19,730	9,865
100	17,671	8,834
50	15,604	7,801
20	12,845	6,423
10	10,714	5,357
5	8,493	4,247

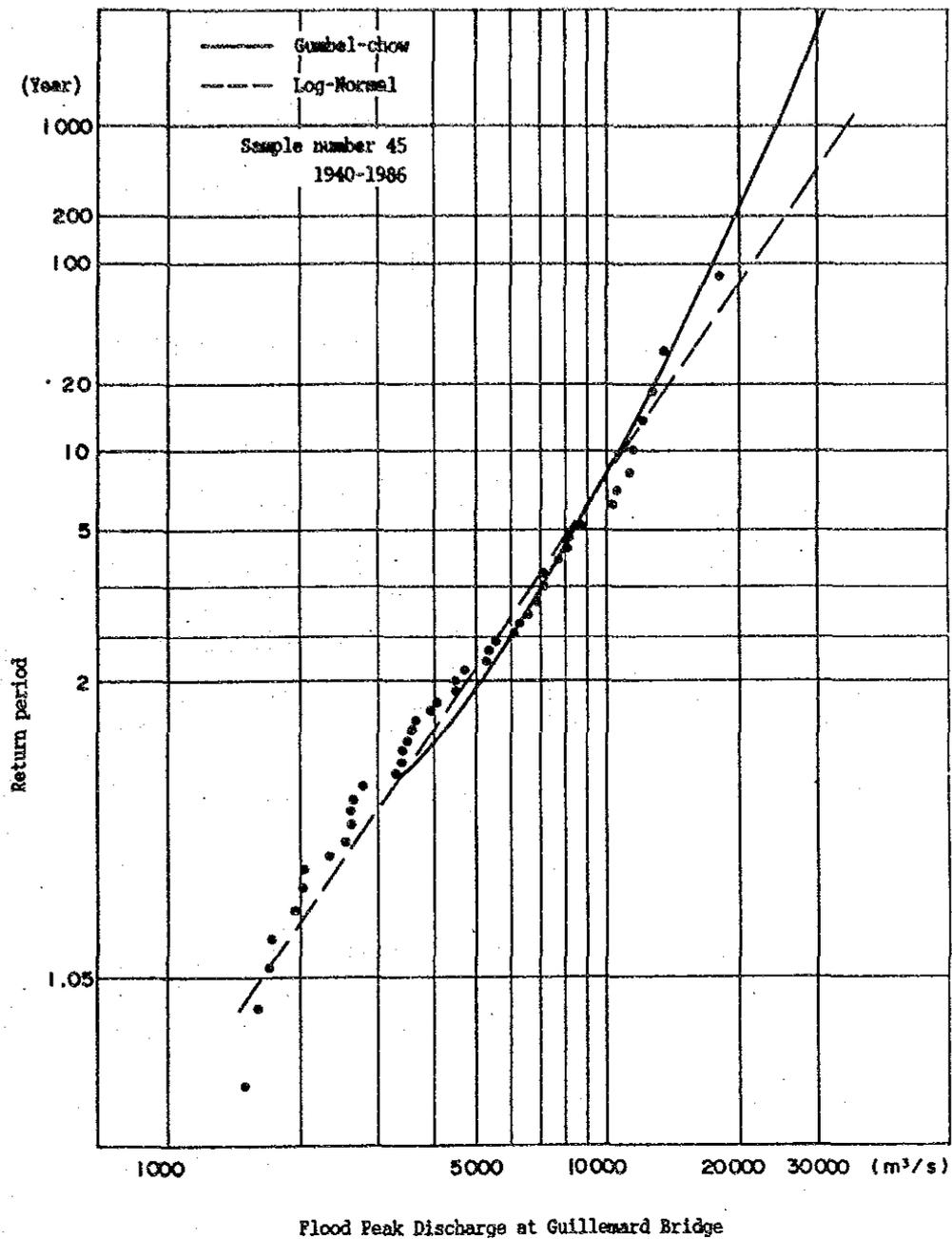


Fig.5-2 Relationship between Flood Peak Discharge at Guillemard Bridge and Its Return Period

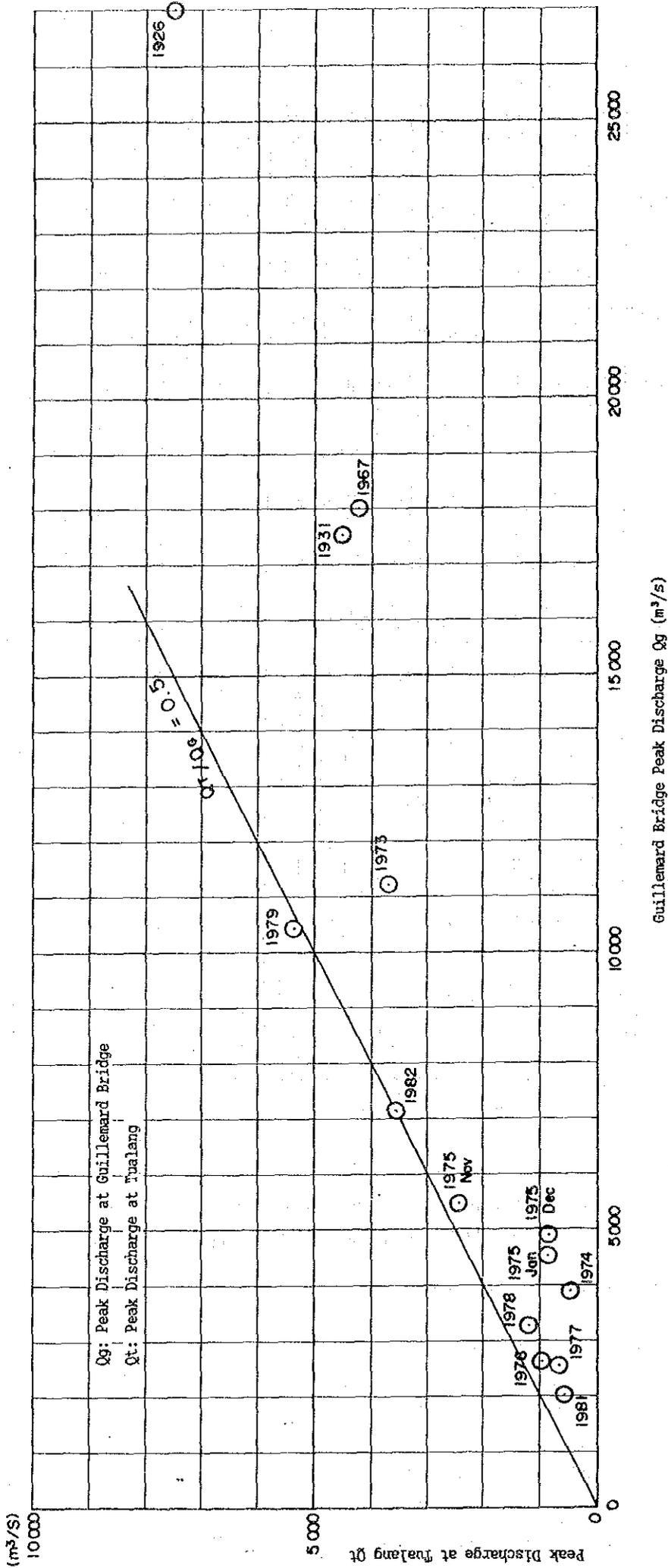


Fig. 5-3 Relationship of Flood Peak Discharge at Guillemard Bridge and Tualang

5.4.3 雨量からの流出解析に基づく確率洪水量の算定

5.4.3.1 雨量データの整理・検討

a) 雨量観測所の選択

ケラタン川流域内で収集された雨量観測所の総数は72ヶ所であるが、検討の対象雨量観測所の選択を2度に亘って行っている。まず第一段階の選択の理由を

- ・ギルマード橋地点より上流流域に観測所が位置すること。
- ・観測所の位置が地形図上で確認できること。
- ・データの期間が長いこと。
- ・各観測所間の距離が、ほぼ一定であること。

とすると、72ヶ所から20ヶ所に絞り込まれる。第二段階では、欠測データの補間を行うための

- ・各観測所間のデータ相関が、欠測補間を行うに当り有意性を持っていること。

を調べ、先の20ヶ所の観測所から14ヶ所の観測所に絞り込んでいる。検討に用いた雨量観測所の位置を、Fig. 5-4に示す。

なお、各観測所間の相関係数の有意性の検討資料をAppendix Fig. 5-29に示す。

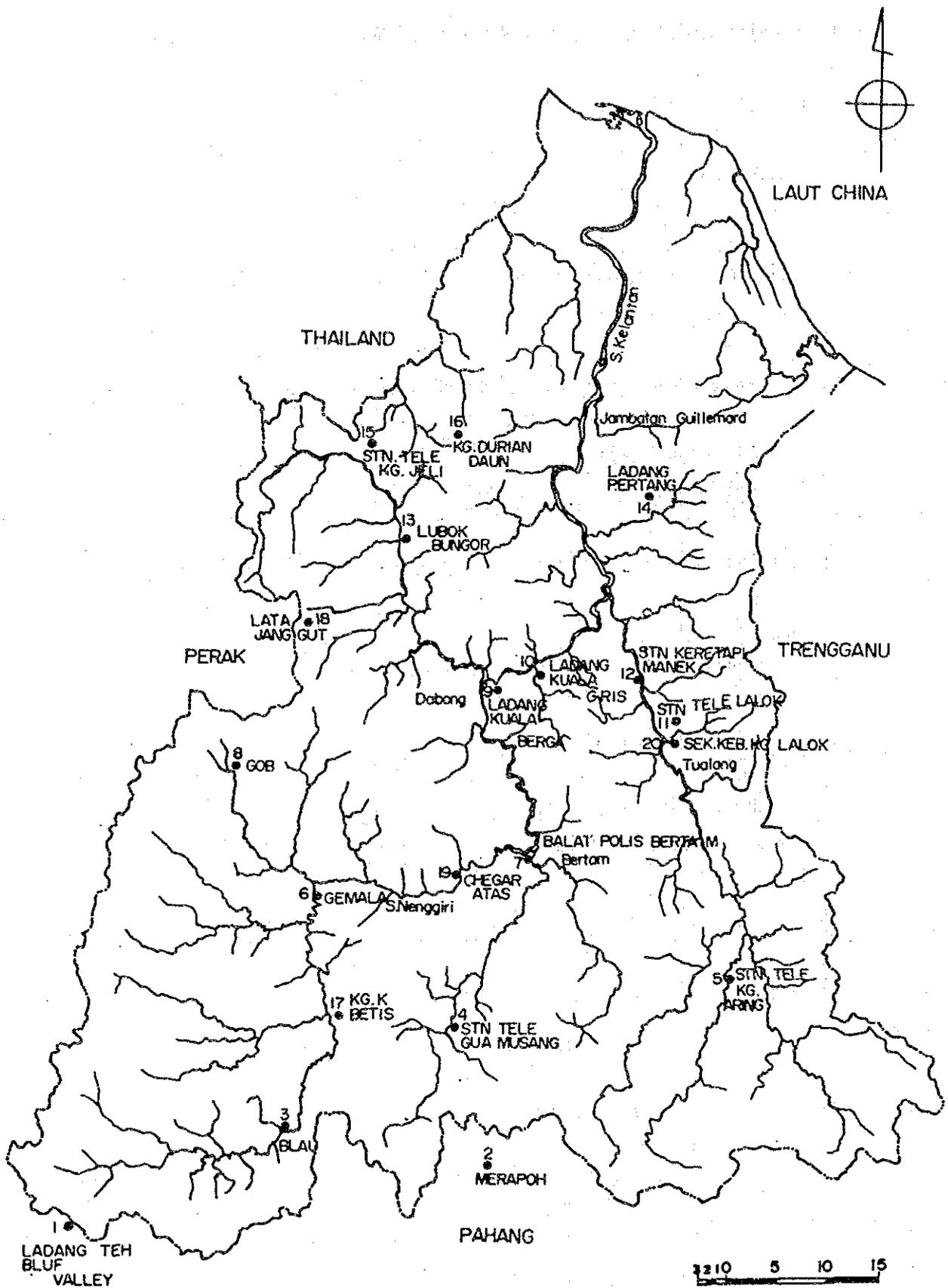


Fig.5-4 Location Map of Rainfall Gauging Station used in the study

b) 洪水時の雨量と欠測雨量の補間

過去の大洪水時の降雨の継続性を見ると約5日間以内である。ギルマード橋地点で、洪水位-時間曲線が、観測されたデータの中から洪水の継続時間が長く、かつ降雨データの存在するものを選び出すと、1983年12月の洪水となる。この1983年12月の洪水は、5日間の降雨が継続していることから、1947年から1985年までの洪水期の10月、11月、12月、1月の月間の最大日雨量記録と、5日間雨量記録を調べる。

まずピーク日雨量の発生日は、各観測所が同一日とは限らない。このため5日間雨量の調査数は各月内で平均2グループがあるため、調査総数は約5,000程度である。またピーク日雨量の各観測所間の相関性は、相関係数0.709

(Appendix Table 5-11)と悪い。しかし、ピーク日雨量を含む前後の5日間雨量(5日間雨量が最大となる如く、その都度期間の範囲を移動した。)の各観測所間の相関係数は、0.908 (Appendix Table 5-12)と幾分良くなる。

一方、任意の観測所自身のピーク日雨量と5日間雨量の相関係数は、0.921 (Appendix Table 5-14)と良好であることから欠測データの補間を次の手順によって行う。

i) 各観測所間の5日間雨量の相関から欠測の5日間雨量を求める。

ii) 観測所自体の5日間雨量とピーク日雨量の相関関係に、i)によって求められた5日間雨量を代入することで欠測のピーク日雨量を求める。なお、この5日間雨量とピーク日雨量の相関関係に平均曲線を採用する。なお、補間に当たっての各観測所間の優先順位を、相関係数の関係から定めた。(Appendix Table 5-16)

これによって1947年から1985年までの各年毎の年最大の5日間雨量と最大日雨量は、Appendix Table 5-17 ~5-19の如く求められる。

この表から、日雨量記録と洪水量の観測記録が存在する1983年12月の洪水時の雨量を1947年から1985年までの中で上位から順位付けすると、次表の如くなる。

1983年12月の各雨量観測所における最大5日合計雨量と最大日雨量

観測所 No.	最大5日合計雨量		最大日雨量		観測所 No.	最大5日合計雨量		最大日雨量	
	雨量 (mm/5days)	順位	雨量 (mm/day)	順位		雨量 (mm/5days)	順位	雨量 (mm/day)	順位
2	315.0	2	89.0	4	12	237.4	5	108.1	6
4	188.2	4	104.2	3	13	370.7	7	173.2	8
5	241.9	8	122.2	8	14	561.6	3	254.4	4
7	324.7	4	194.4	4	15	254.7	17	128.5	13
8	173.1	3	121.0	4	16	382.3	9	220.9	9
9	280.0	8	125.5	12	17	286.0	14	133.0	2
10	266.0	4	113.1	5	20	740.8	1	292.0	1
11	342.6	4	342.6	4					

注) ・順位は、各観測所における1947年～1985年の39年間の年間最大値との比較を示すものであり、39データの上位からの順位を示す。

c) ティーセン分割

雨量観測所の観測雨量の支配する面積をティーセン分割によって設定する。

ティーセン分割に当っては、まず流出量を求める地点の分水嶺を地形図から設定し、さらに各雨量観測所を中心とする支配領域をFig. 5-5の如く描く。

即ち、流出量を求める地点は、4ヶ所の流量観測所地点であり、かつ、ダム計画地点である。ケラントン川のダム計画地点は、レビルダム地点であり、ネンギリダム、ダボンダムの3地点である。しかし、後述する d) 項の検討の結果、レビルダムの流域を代表する雨量観測所地点は、Fig. 5-5中の KG.

ARING (No.5)ではなく、Fig. 5-4中のTualang (No. 20)に変更している。

なお、4ヶ所の流量観測所を対象とするティーセン分割による重み表と、ダム地点を対象とするティーセン分割の重み表はAppendix Table 5-20 のとおりである。

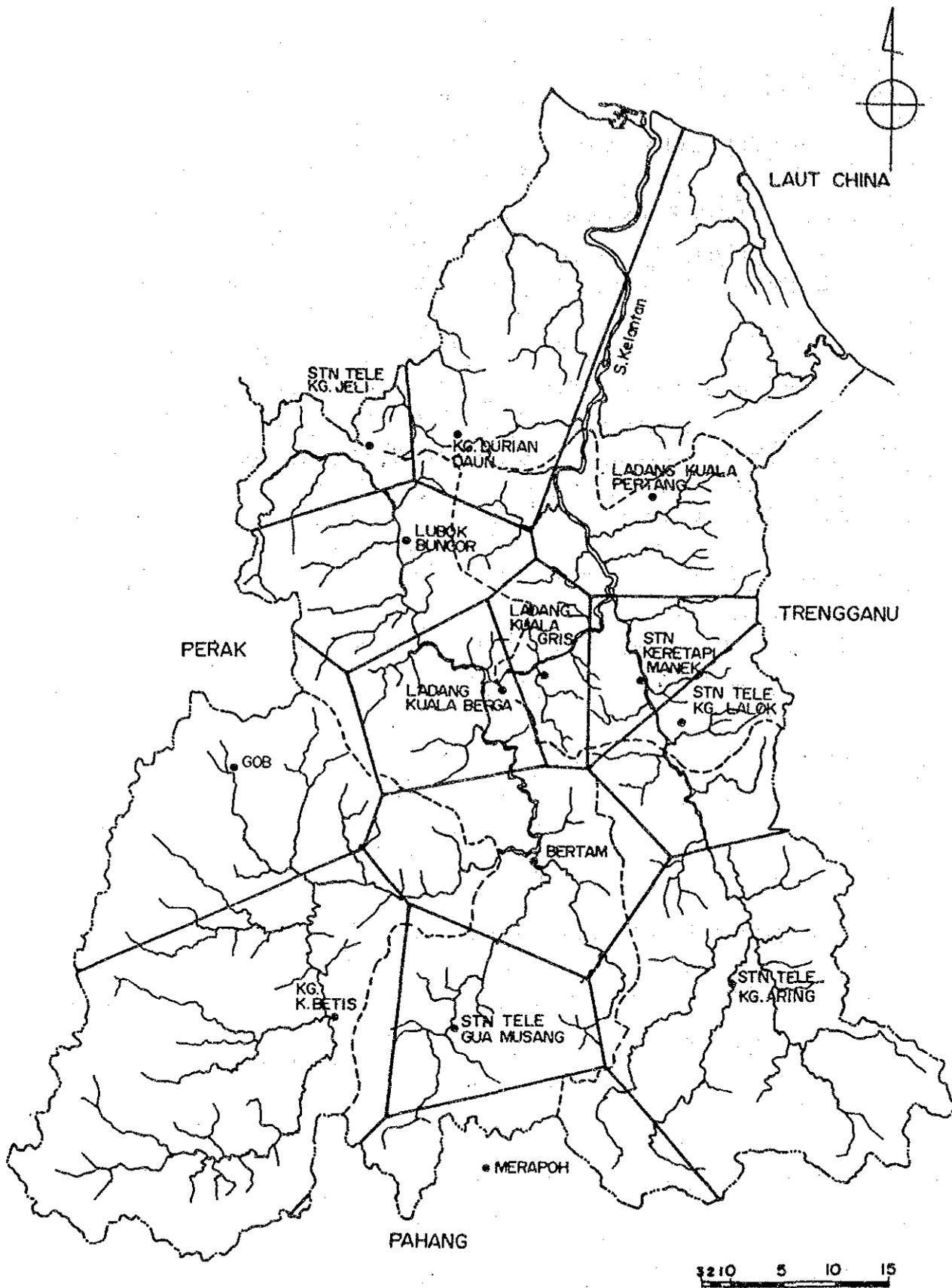


Fig. 5-5 Diagram of Area Division in Thiessen Method

d) 確率5日雨量と確率日雨量

レビルダム流域の代表雨量として雨量観測所No. 20 地点(トワラン地点)の確率雨量を求めると下表の如くなる。なお、他のダム計画地点については、ティーセン分割の重みを用い各観測所の5日雨量、または日雨量をティーセン雨量に変換した後、ガンベル・チョーによる確率計算を行っている。

確率ティーセン5日雨量の計算値
(ガンベル・チョー法を採用)

流域 確率年	レビルダム	ネンギリダム	ネンギリダム から ダボンダム間	レビルダム、 ダボンダムから ギルマード間
	mm	mm	mm	mm
10,000	1624	498	786	865
1,000	1257	400	625	695
200	1000	333	513	576
100	890	304	464	525
50	778	274	416	473
20	630	235	351	404
10	515	205	301	351
5	396	174	248	296

確率ティーセン日雨量の計算値
(ガンベル・チョー法を採用)

流域 確率年	レビルダム	ネンギリダム	ネンギリダム から ダボンダム間	レビルダム、 ダボンダムから ギルマード間
	mm	mm	mm	mm
10,000	743	277	394	409
1,000	575	222	314	329
200	458	184	258	273
100	402	167	234	250
50	356	150	210	226
20	288	128	178	194
10	236	111	153	169
5	181	93	127	143

e) 日雨量と時間雨量の関係

流出計算に当り、時間雨量が必要となるが、検討地域の時間雨量の観測データが少なく、観測値を十分に反映した検討を行うことが出来ない。しかし、日本で一般に用いられている日雨量から時間雨量への変換は物部によって、

$$r_T = R_{24} (T/24)^{1/3}$$

とされている。ここに

r_T : T時間降雨量

R_{24} : 日雨量 (単位: mm)

である。ここでは、数少ないピーク時間雨量と日雨量の観測データを用いて

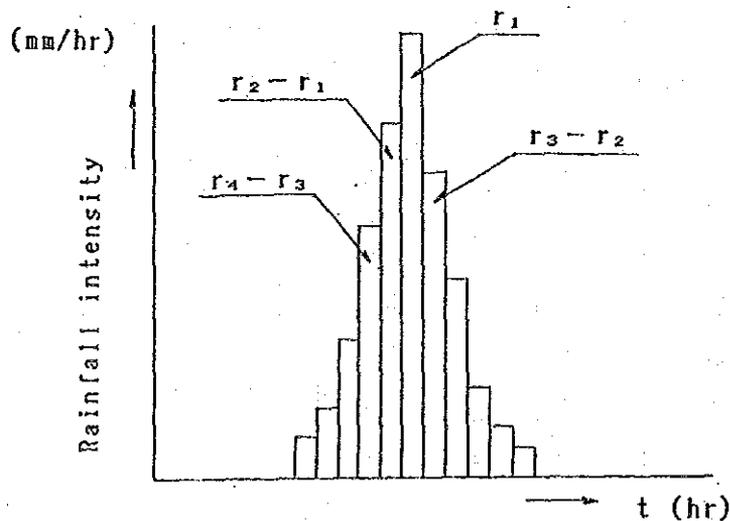
$$r_1 = R_{24} (T/24)^K$$

のK値を求めるとAppendix Fig. 5-30の如き関係がある。K値が小なるほどピーク時間雨量は大となる。ここでは、日雨量の大なる場合のK値を図から読み取ると $K = 0.5$ が妥当である。よって、

$$r_T = R_{24} (T/24)^{1/2}$$

から時間雨量に変換する。

また、時間雨量の降雨パターンが不明の場合は、上式により $T = 1, 2, 3, \dots, 24$ hr に対する降雨量を計算し、時間降雨量を、 $r_1, r_2 - r_1, r_3 - r_2, r_4 - r_3, \dots$ として求め、下図のような中央集中型のハイレトグラフを作成し、用いることとした。



5.4.3.2 流出モデルの作成

a) 計算式

ここでは、降雨による流出過程を大きく二つに分類し、流出モデルを作成する。即ち、河川へ達するまでの状態と、河道の流下状態を取り扱う二つである。まず降雨から主要河川に達するまでの過程を流出関数法を用い、さらに河道内の流下状態を貯留関数法の一つであるパルス法を用いることとした。

流出関数法の計算式は、

$$Q = (r/3.6)Af \alpha^{-3} t \cdot \text{EXP}(-\alpha t) \text{-----}(1)$$

- ここに A : 流域面積 (Km²)
f : 流出係数
 α : $1/t_a$, r: 時間雨量
 t_a : 降雨開始からピーク流出量が現われるまでの遅れの時間
t : 時間経過 (hr)

である。これを降雨パターンの時間経過に従って、かさね合せることで流出量が得られる。

次にパルス法の特徴は、河道への貯留量(S) は流出量(Q) のみの関数であるとし、貯留方程式を

$$S = KQ \text{-----}(2)$$

とすることが特徴である。また流量の連続方程式は、

$$t(l_1 + l_2)/2 = t(o_1 + o_2)/2 + S_2 - S_1 \text{-----}(3)$$

である。ここに

- l_1 : 時間 t の始めの流入量 (m³/s)
 l_2 : 時間 t の後りの流入量 (m³/s)
 o_1 : 時間 t の始めの流出量 (m³/s)
 o_2 : 時間 t の後りの流出量 (m³/s)
 $S_2 - S_1$: 区間貯留量の変化
K : パルスの定数

である。このパルスの定数 K は、貯留量 S は近似的に次のように、

$$S = BL_n (h_{n-1} + h_n) / 2 \text{ ----- (4)}$$

表わされるとする。ここに

- B : 河 巾
- L_n : 河道断面番号 $n-1$ から n までの区間距離
- h : 水 深

であり、(2) 式と (4) 式から、 S を消去すると

$$\begin{aligned} K &= L_n B h_n / Q \\ &= L_n / V \text{ ----- (5)} \end{aligned}$$

である。ここに

- V : 流 速

であり、(5) 式の V に、河川の流れが等流状態であるとして、

$$V = i^{3/10} Q^{2/5} / B^{2/5} n^{3/5} \text{ ----- (6)}$$

ここに

- i : 河川勾配
- Q : 河川流量 (m^3/s)
- n : マニングの粗度係数

を (5) 式に代入することで、 K は、

$$K = i^{3/10} / B^{2/5} n^{3/5} \text{ ----- (7)}$$

と設定される。

即ち、パルス法では、河川断面形とマニングの粗度係数 (n) を設定することで、時間的な河道の流下状態をシミュレーションすることが出来る方法である。

b) モデル作成のために比較される実績洪水の選択

流出モデルの作成に当って比較される実績洪水は、多数の観測データの中でも、

- ・対象地点の洪水量が観測されていることであり
- ・そのピーク洪水量が最大の記録であり
- ・洪水観測を時間的に行なったハイドログラフを持つ記録であり
- ・上流域の各雨量観測所のデータが把握できる。

等が必要である。

ギルマード橋地点でハイドログラフが観測されている洪水は、5.2.2 節に記す如く10洪水である。しかし、本検討地点の一つであるレビルダム地点の下流に位置するトワラン観測所、ギルマード橋の同時刻に観測されている洪水は4洪水である。

さらに、他の観測所ダボンでのデータの存在の有無についても配慮し、1983年12月の洪水を選択する。

1983年12月洪水は、ギルマード橋地点で12,010 m^3/s のピーク洪水量であり、ハイドログラフを持つ洪水の中で比較すれば1967年1月洪水に次ぐ記録である。さらに洪水の継続時間は8日間であり、上位から第1位に位置する洪水である。また、トワラン地点では、3,900 m^3/s を観測し、他の観測値と比較すれば、上位から第1位の洪水となっている。

一方、洪水ピーク流量の1940年から86年の記録から最大洪水量を順位付ければ1983年12月洪水は、上位から第4位である。なお、1983年12月洪水は、雨量記録が存在し、ピーク洪水量および継続時間の長い記録である。

また、治水計画に重きを置くギルマード橋地点では洪水量の少ない場合についても適合性のあるモデルが必要である。そこで、1984年12月洪水を選定する。この洪水のギルマード橋のピーク洪水量は7,740 m^3/s でありトワラン地点では3,430 m^3/s である。

以上から、モデル作成のための実績洪水は1983年12月洪水と1984年12月洪水の二つとした。

なお、参考までに日本国の建設省が規定している「河川砂防技術基準」書の中の洪水防御計画に関する規定の中で、計画基準点において計画の基本となる洪水のハイドログラフのピーク流量について次の如き「解説」を加えており、上記1983年12月洪水を比較し、1983年12月洪水の重要性を以下に意味付けする。

「解説」の中で、計画の基本となる洪水のハイドログラフの決定に当って、『そのピーク洪水量は多数の既往洪水のピーク流量を大きさの順に並べた時、その群の中で、どの程度充足するかを検討する必要がある。

この充足度を一般にカバー率という。このカバー率は、ほぼ同一の条件の河川においては全国的にバランスがとれていることが望ましい。

上述の方法によればこのカバー率は50%以上となるが、1級水系の主要区間を対象とする計画においては、この値が60~80%程度となった例が多い。』

としている。そこで、1940~1986年の観察されたピーク洪水量データからカバー率を求めると

カバー率	ギルマードの流量
80% (上位から 9位のもの)	8,800 m ³ /s
60% (上位から18位のもの)	6,050 m ³ /s
50% (上位から22位のもの)	4,630 m ³ /s

となる。また1983年12月洪水量は1940年から1986年の洪水の中にあって、第4位であり、これをカバー率に表現すれば、91%となる。なお、1940~1986年のピーク洪水量のデータ数は45ヶである。

c) 流域と河道のモデル

流出量を求める地点を

- ・レビル川ではトワラン流量観測所
- ・ネンギリ川ではベルタム流量観測所
- ・ガラス川ではダボン流量観測所
- ・ケランタン川ではギルマード橋流量観測所

の合計、4地点とする。これら地点の位置および河川をFig. 5-1 (Appendix Fig. 5-31) に示す。

このため、流域の区分は、

- ・トワラン地点から上流域 (2,480 km²)
- ・ベルタム地点から上流域 (3,950 km²)
- ・ベルタム地点からダボン地点間の流域 (3530km²)
- ・トワラン地点とダボン地点の両地点からギルマード橋間の流域
(2,140 km²)

の4つである。このため、シミュレーションモデルの中では、トワラン地点から上流域の集水を流出関数法によって直接にトワラン地点まで解析される。ベルタム地点より上流域の集水についても同様である。

しかし、トワラン地点およびベルタム地点から下流のギルマード橋までは、河道を流下する状態と下流域の集水を合成する方法が取られている。即ち、河道の流下状態は、パルス法によっているため、河道をほぼ等間隔に区分する河川幅と河川勾配が必要となる。さらに、ベルタム地点からダボン地点間の流域から集水される量（流出関数法による）を河道に合流させる地点を、本検討ではダボン地点としている。またトワランとダボンの両地点からギルマード橋間の流域から集水される量（流出関数法による）をレビル川とガラス川の合流点に流入させている。

なお、河道の断面数は、レビル川のトワラン地点からガラス川の合流点間の36km間を17断面数である。また、ベルタム地点からダボン地点間のネンギリ川とガラス川の50km間は25断面数である、ダボン地点からレビル川の合流点間の36km間は18断面数、この合流点からギルマード橋間の34km間を8断面数としている。

これらの河川縦断図と河幅の変化をAppendix Fig. 5-32に示す。

以上の実績洪水との比較に用いられるモデルであるが、ダム計画による洪水制御の効果を調べるためのモデルの作成に当っては、トワラン地点に代る地点としてレビルダム計画地点がレビル川の上流端地点である。また、ネンギリ川では、ベルタム地点に代ってネンギリダム計画地点が上流端地点となる。このため、ダム計画の洪水制御の検討に当っては、トワラン地点から2.6km上流にレビルダムを位置させ、河川断面数を1個増している。また、ベルタム点から

20km上流にネンギリダムを位置させ、河川断面数を10個増している。

また、降雨から集水点まで、水が集まる到達時間は、流域の地形に影響を受ける。この到達時間を、西ドイツ国のバイエルン地方で用いられているルチャの式

$$W = 20(h/L)^{0.6}$$

ここに

W : 洪水の到達速度 (m/s)

h : 流域上流端と貯水池との標高差 (m)

L : 流域上流端から貯水池までの距離 (m)

から洪水の到達速度を求める。さらに、洪水の到達時間は、

$$T_a = L/W$$

から求める。

ここに、4つの流域分区内の到達時間を求めると次のようになる。

	h (m)	L (km)	W (m/s)	T _a (hr)
トワラン上流域	1350	115	1.4	23
ベルタム上流域	1730	130	1.5	24
ベルタムからダボン間	720	94	1.1	24
ダボン、トワランからギルマード間	560	61	1.2	14

である。一方、流出係数は、検討の結果

トワラン上流域	0.8
ベルタム上流域	1.0
ベルタムからダボン間	1.0
ダボン、トワランからギルマード間	0.7

と定め、さらに、河川のマニングの粗度係数を0.04と定めた。なお、これらの値は、一般的な範囲内のものである。

d) シミュレーションによる結果と実績洪水量の比較

1983年12月洪水と、1984年12月洪水を5日間の雨量から流出量をシミュレーションした結果と、同洪水の観測記録を比較すると、Fig. 5-6, Fig. 5-7であり、ピーク洪水量は、下表の如くなる。

1983年12月洪水の実測値と計算値のピーク洪水量は、トワラン地点、ダボン地点およびギルマード地点共に良好な一致である。しかし、実測値と計算値のピーク洪水量の発生時刻を比較すると、相違が生じている。トワラン地点での計算におけるピーク洪水量の発生時刻は、6時間速く生じ、ダボン地点では3.6時間速く、ギルマード橋地点では、13.2時間速く生じている。一方、1984年12月洪水の実測値と計算値の比較では、トワラン、ダボン共にピーク洪水量は、良好な一致であるが、ギルマード橋地点では、実測値の21%増の計算ピーク洪水量となっている。また、発生時刻では、トワラン地点では計算値が1.2時間速く、ダボン地点では8.1時間遅く、ギルマード橋地点では、7.8時間速く生じている。両洪水からトワラン、ダボン地点の観測値と計算ハイドログラフは良好な一致である。しかし、ギルマード橋地点では、計算値のピーク洪水の発生時刻が遅まっている。

観測所名	1983Dec. 洪水量		1984Dec. 洪水量	
	観測値	計算値	観測値	計算値
	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
トワラン	3,900	4,057 (54)	3,430	2,665 (41)
ベルタム		2,553 (173)		2,292 (163)
ダボン	5,950	5,407 (328)	4,220	4,944 (309)
ギルマード	12,010	11,287 (476)	7,740	9,397 (438)

注) カッコ内の数値は基底流量(前月の月平均流量)

また、計算に用いられた5日間の4区分の流域のティーセン雨量は、Table 5-1, 5-2の如くである。1983年12月洪水の雨量として No.17地点（時間雨量記録）、No.2地点（日雨量記録）、No.20地点（日雨量記録）のデータは有るが、他の観測所はデータなしのため、補間値を採用する。また、No.17地点の時間雨量パターンを全域のパターンに採用している。

しかし、1983年12月洪水のトワラン上流域のティーセン雨量は、トワラン地点の日雨量（観測所番号 No.20）記録のみが用いられ、上流域の中心に位置する観測所番号No.5の記録が用いられていない。これは、観測所No.5を用いたティーセン雨量を求めると

	第1日	第2日	第3日	第4日	第5日	合計
観測所No. 5	123mm	52	62	15	14	266
観測所No.20	342	145	172	42	39	740

(トワラン)

であり、非常に異った量の降雨であったことを示している。特にNo.20地点の降雨量は、他の地点に比べ、際立って多い。

この両者によるトワラン地点の流出量を別々にシミュレーションによって求めると

観測所No. 5 を用いたとき	1,824 m ³ /s
観測所No.20 を用いたとき	4,057 m ³ /s

であり、トワラン地点の観測値 3,900 m³/sを比較すれば、No.20の観測所が、この洪水を代表した観測所となっている。

また、1984年12月洪水の日雨量パターンは、観測所番号No.2, 10, 13, 14, 17, 20で存在するが、他は補間値である。また、トワラン上流域のパターンに、No.17の時間雨量パターンを採用している。一方、他の3ブロックの時間雨量パターンがないことから $r_T = R_{24} (T/24)^{1/3}$ から中央集中型のパターンを仮定し、作成している。

Table 5-1 1983年12月洪水シミュレーションに入力された
ティーセン日雨量

	Tualang 上 流	Bertam 上 流	Bertam から Dabong 間	Dabong, Tualang から Guillemard 間
	mm	mm	mm	mm
第1日目	342 (31.7)	103 (9.6)	133 (12.3)	181 (16.7)
第2日目	145 (25.0)	43 (7.5)	56 (9.6)	81 (13.9)
第3日目	172 (16.8)	53 (5.1)	66 (6.4)	99 (9.7)
第4日目	42 (6.1)	8 (1.2)	14 (2.0)	14 (2.0)
第5日目	39 (8.9)	5 (0.8)	13 (2.0)	10 (1.5)
合 計	740	212	282	385

注) カッコ内の値はピーク時間雨量を示す。

Table 5-2 1984年12月洪水シミュレーションに入力された
ティーセン日雨量

	Tualang 上 流	Bertam 上 流	Bertam から Dabong 間	Dabong, Tualang から Guillemard 間
	mm	mm	mm	mm
第1日目	0	18 (3.7)	7 (1.4)	24 (4.9)
第2日目	110 (28.6)	17 (3.5)	55 (11.2)	94 (19.2)
第3日目	218 (20.4)	106 (21.6)	121 (24.7)	185 (37.8)
第4日目	18 (7.4)	13 (2.7)	29 (5.9)	34 (6.9)
第5日目	68 (29.6)	14 (2.9)	34 (6.9)	57 (11.6)
合 計	414	168	246	394

注) カッコ内の値はピーク時間雨量を示す。

Fig. 5-6 Simulation of Flood in December, 1983

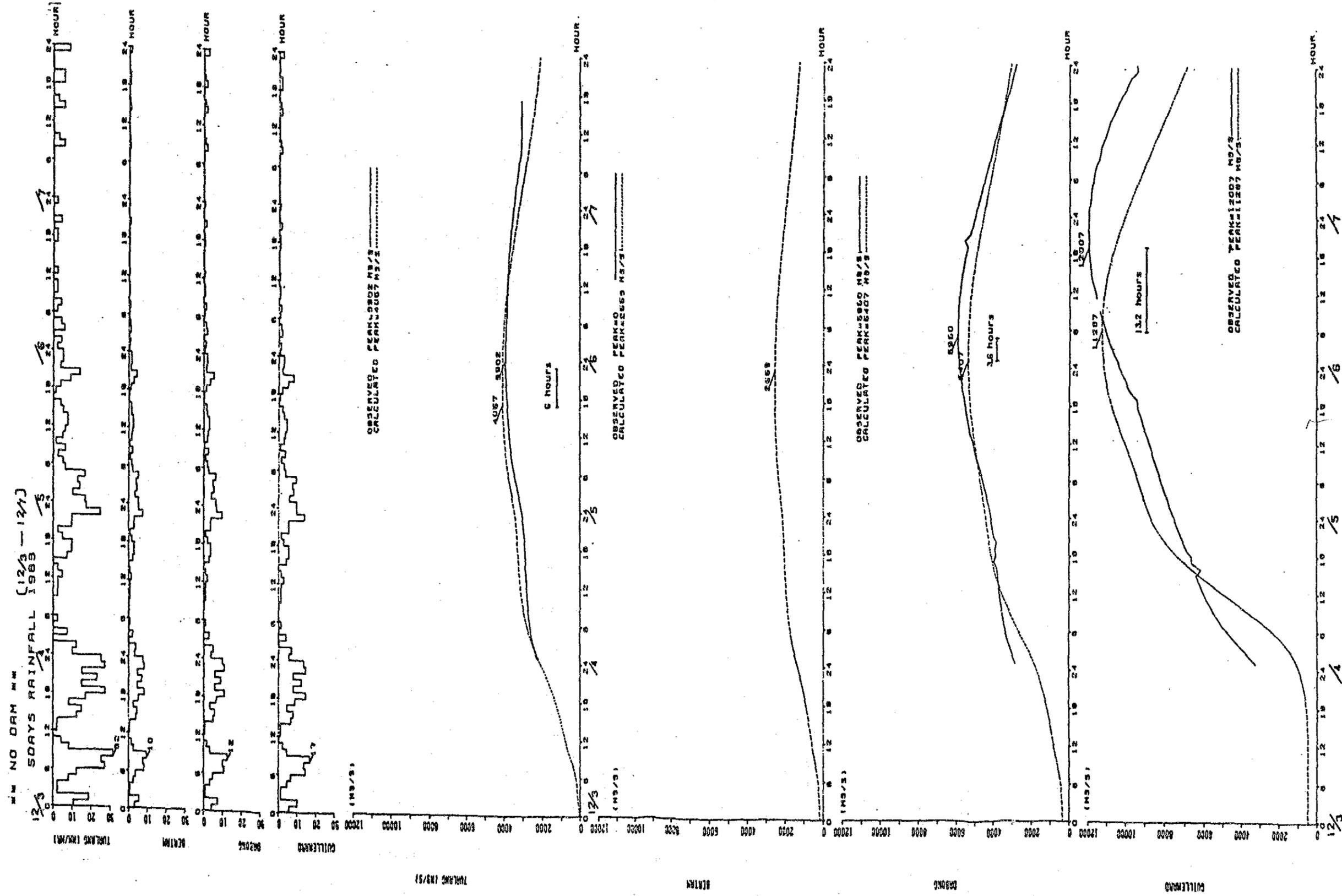
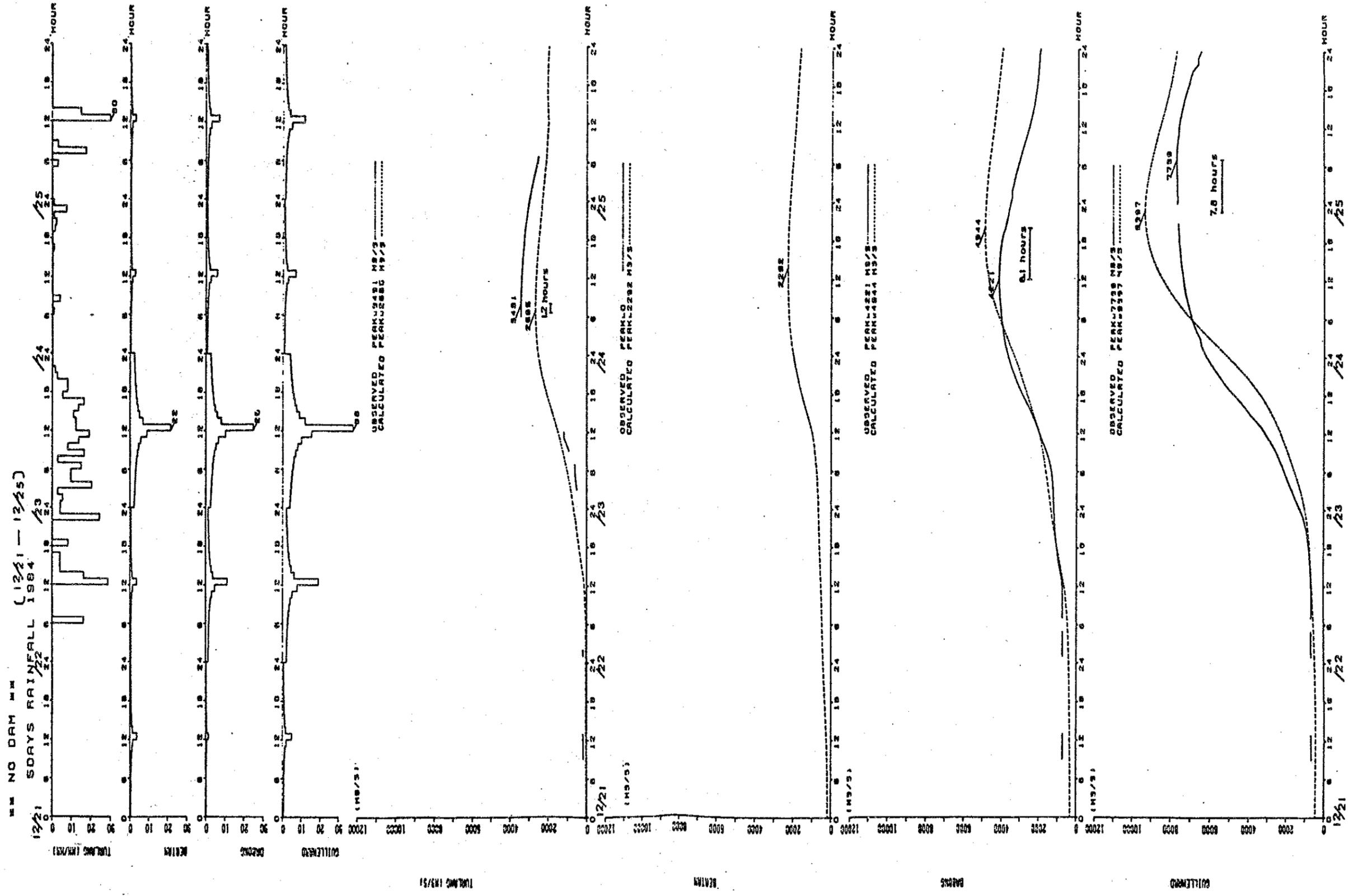


FIG. 5-7 SIMULATION OF FLOOD IN DECEMBER, 1984



5.4.3.3 流出モデルによる確率洪水量

ここでは、5.3.4.1 節の (d) 項で求められた確率雨量をギルマード橋より上流域に降らせ、この流出量を前節のシミュレーションモデルによって求めたものである。

5日間の雨量パターン（ハイトグラフ）は、第3日目に最大日雨量を置く中央集中型とし、さらに前後の4日間は1983年12月のピーク日雨量を除く、他の4日間の状態を参考に、日雨量を配分している。

即ち、ピーク日雨量を除いて1983年12月の洪水の5日間のハイトグラフを中央集中型に変更している。

以上のことから、確率洪水のピーク流量は次の如くなる。

欠測雨量の推算に平均曲線を使用時の確率洪水量

確 率 年	トワラン	ベルタム	ダ ボ ン	ギルマード
10,000	10,604	6,876	16,081	31,413
1,000	8,282	5,600	12,985	25,078
200	6,663	4,730	10,835	20,679
100	5,951	4,339	9,902	18,752
50	5,260	3,944	8,965	16,851
20	4,323	3,439	7,715	14,315
10	3,595			
5	2,846			

(m^3/s)

5.4.4 ピーク洪水量観測値による確率洪水量と流出解析による確率洪水量の比較

ギルマード橋地点の観測ピーク洪水量の確率値(5.4.2節)と確率雨量からの流出解析による確率ピーク洪水量(5.4.3.3節)を比較すると下表の如くなる。トワラン地点についても同様に下表に示す。

なお、100年から1000年の確率に対するギルマード地点での洪水量を両手法により比較すると、良好な一致をみる。一方、トワラン地点では、観測値によるピーク洪水量が流出解析によるピーク洪水量よりも大となっている。これはギルマード橋地点とトワラン地点の観測洪水量の関係式(Fig. 5-3)の包絡線が過大となっているためであり、流出解析による値を採用しても十分に安全である。10,000年確率、1,000年確率、50年確率洪水量の各地点への流下状態をAppendix Fig. 5-33 ~ 5-35に示す。

(m^3/s)

確率年	ピーク洪水量観測データに基づく検討		雨量から流出解析に基づく検討		
	ギルマード	トワラン	ギルマード	トワラン	トワラン/ギルマード
10,000	31,320	15,660	31,413	10,604	0.338
1,000	24,503	12,252	25,078	8,282	0.330
200	19,730	9,865	20,679	6,663	0.322
100	17,671	8,834	18,752	5,951	0.317
50	15,604	7,801	16,851	5,260	0.312
20	12,845	6,423	14,315	4,323	0.302
10	10,714	5,357	12,340	3,595	0.291
5	8,493	4,247	10,294	2,846	0.276

5.5 堆砂量の推定

レビルダム流域の流砂量記録が収集されていないことから、ここでは、他の3例を参考に以下に記述する。

- i) ケラントンの流砂量特性については、1977年ENEXの“ケラントン川流域の研究”（ENEXのレポート第一編第5章）に検討されており、年間の流砂量は $10 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 程度とされている。
- ii) カメロン・ハイランドのレンゲットホール貯水池の堆砂量は1963年から1986年まで、Appendix Fig. 5-36, 5-37に示す如く、8回に亘って測量されている。この平均年堆砂量は $167.7 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ である。しかし、測量範囲は、貯水池の上流部のみであり、貯水池全体の堆砂量を示すものではない。一般に、上流部の堆砂は粒径の粗いものである。しかし、貯水池全体の底部に堆積するシルトは、その量も、粗い径に比べ、極めて多い事が普通であり、上記の量をさらに、大きく見積る必要がある。
なお、この地帯の1975年から1980年の年平均雨量はブルーバリーで 1592 mm/year 、カメロン・ハイランドでは 2102 mm/year である。
- iii) 吉良は、日本の157ヶ所の貯水池、米国の58ヶ所、インド47ヶ所、その他の国の14ヶ所の貯水池の比堆砂量 (q_s) と年平均流入量 (I)、ダム建造当初の総容量 (C) の関係について調査し、Fig. 5-8 の如き関係を得ている。この関係の平均曲線は、

$$q_s = 473.55(C/I)^{0.366}$$

ここに、比堆砂量 (q_s) とは1年間当りの堆砂量を流域面積の単位面積当りに変換したものである。

この関係式を用いると

$$C = 2.392 \times 10^9 \text{ m}^3$$

$$I = 112.15 \text{ m}^3/\text{s} \times 365 \text{ day} \times 24 \text{ hr/day} \times 3600 \text{ sec/hr} \\ = 3.537 \times 10^9 \text{ m}^3$$

から平均比堆砂量は、

$$q_s = 410.4 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$$

となる。

以上の i) ~ iii) 例から、ここでは、3例の最大値 $q_s = 410.4 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ の比堆砂量を算出すると

$$V_s = 2474 \text{ km}^2 \times 410.4 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year} \times 100 \text{ year} \\ = 101 \times 10^6 \text{ m}^3$$

となる。ここで、堆砂が貯水池に水平に堆砂すると仮定すると堆砂標高はBL 47 (容量 $115 \times 10^6 \text{ m}^3$) となる。(実際は、シルトのみが水平に堆積し、砂礫は上流部から段丘となって下流に徐々に進行・堆積する)

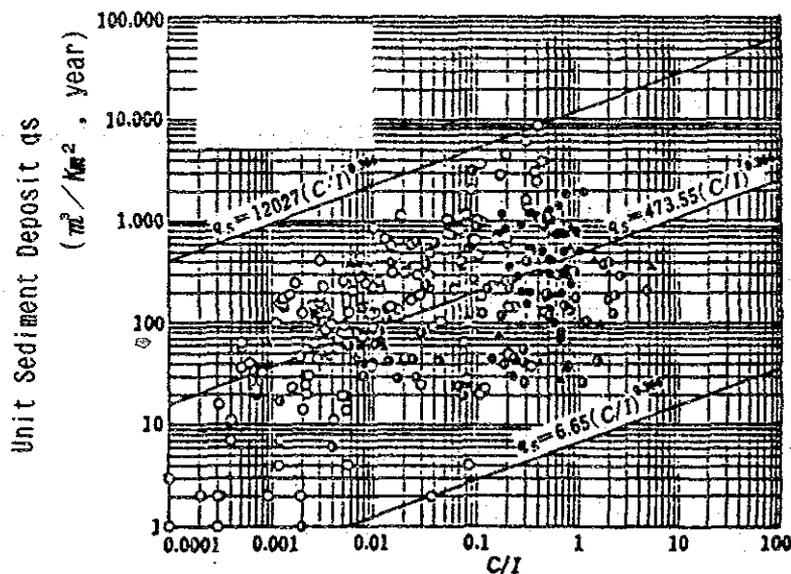


Fig. 5-8 Relation between C/I and q_s