5.8 流出予測システム

5.8.1 システムの目的

流出予測（洪水予測）とは水文現象の将来の状況をリアルタイムで予測することで、単に水文技術としてでなく、多くの技術分野にまたがるものである。したがって流出予測システムを円滑に効率的に推進するには、水文解析、ネットワークデザイン、情報通信、コンピューターのオンライン及びオフライン等多岐にわたる技術を充分に習得、活用する必要がある。

Yuam川流域における流出予測システムの目的は以下のように整理される。

－Mae Lama Luang発電所及びNam Ngao発電所の運用を含めたYuam川開発の最適化

－洪水に対する地域住民の安全確保

－洪水によるかんがい設備の被害の最小化

－洪水対策の計画策定への寄与

5.8.2 Yuam川の流出予測システム

Yuam川の流出予測システムは、テレメータ監視計測システム、ダム洪水吐ゲート集中制御システム及び洪水警報システムより構成される。

これらのシステムの据付費は、概略以下の通りである。

テレメータ監視計測システム	50百万 Baht
ダム洪水ゲート集中制御システム	
Nam Ngaoダム	85百万 Baht
Mae Lama Luangダム	72百万 Baht
洪水警報システム	70百万 Baht

(1) テレメータ監視計測システム

雨量データは12箇所（新規設置5箇所）の雨量観測所、河川水位は5箇所の測水所で観測され、VHF回線を使用し2箇所の中継局を介して、ダム地点のテレメータ監視制御装置から定時に呼び出しNam Ngaoダム地点またはMae Lama Luangダム地点に伝達される。

雨量観測所、測水所及びVHF中継局の位置をFig.5-40に示す。

テレメータ監視計測システムの据付費は次表に示すように概略50百万Bahtである。

Installation Cost of Observatory Telemeter System

(Million Baht)

Item	Unit	Quantity	Unit Cost	Cost
1. Rainfall St. 1)	station	12	2.0	24.0
2. Gauging St. 1)	station	5	2.4	12.0
3. VHF Relay St. 2)	station	2	3.2	6.4
4. Main Terminal 3)	station	1	4	4.0
5. Others	L.S	1	-	3.6
Total				50.0

Note : 1) 雨量局及び水位局の据付費には、観測装置（雨量計、水位計）、無線装置、電源装置、予備品、付属品、局舎及び据付調整費を含む。

2) VHF 中継局の据付費には、中継局装置、無線装置、電源装置、予備品付属品、局舎及び据付調整費を含む。

3) Mae Lama Luang発電所内の監視局の据付費には、監視装置、印字装置操作パネル、予備品・付属品及び据付調整費を含む。

(2) ダム洪水吐ゲート集中制御システム

洪水吐集中制御システムには、流出予測モデルプログラムの開発及び運用、洪水吐ゲートの自動制御プログラムの開発及び運用、貯水池水位及び洪水吐ゲートの監視制御装置等が含まれる。システムの概要を Fig.5-41 に示す。

洪水吐ゲートの集中制御システムの据付費はNam Ngaoダム地点で概略85百万Baht、Mae Lama Luangダム地点で概略72百万Bahtである。

Installation Cost of Central Control System of Spillway Gates at Nam Ngao Dam

(Million Baht)

Item	Unit	Quantity	Unit Cost	Cost
1. Automatic Control Equipment of Gates	L.S	1	-	12.6
2. Water-level Meter	unit	2	2	4.0
3. Gate-opening Meter	unit	2	1.4	2.8
4. Gate-opening Board	unit	2	2	4.0
5. Relay Equipment of Rainfall & Water-level [1]	L.S	1	-	2.4
6. Cyclic Digital Telemeter	L.S	1	-	8.0
7. Installation	L.S	1	-	2.0
8. Industrial Television System [2]	L.S	1	-	46.0
9. Others	L.S	1	-	3.2
Total				85.0

Note : 1) 雨量データ及び Nam Ngao ダムの貯水位は Nam Ngao ダムから Mae Lama Luangダムへ伝送される。

2) Nam Ngaoダムの洪水吐ゲートはITVシステムによりMae Lama Luang ダム地点から遠隔制御及び監視が可能である。

Installation Cost of Central Control System of Spillway Gates at Mae Lama Luang Dam

(Million Baht)

Item	Unit	Quantity	Unit Cost	Cost
1. Automatic Control Equipment of Gates	L.S	1	-	11.2
2. Observatory Control Equipment	L.S	1	-	9.0
3. Computer Program for Control	L.S	1	-	9.0
4. Computer Program for Forecasting	L.S	1	-	10.0
5. Cyclic Digital Telemeter	L.S	1	-	8.0
6. Water-level meter	unit	2	2	4.0
7. Gate-opening meter	unit	4	1.4	5.6
8. Gate-opening Board	unit	4	2	8.0
9. Installation	L.S	1	-	4.0
10. Others	L.S	1	-	3.2
Total				72.0

(3) 洪水警報システム

Nam Ngaoダムの決壊解析によれば、決壊による洪水波の伝播による水位上昇の影響は Ban Huai Sai 付近まで及ぶ。そこでYuam川沿いの村落の点在状況を考慮して、Nam Ngaoダム決壊時のサイレンによる洪水警報は、Yuam川とNgao川の合流点より上流部(Ban Mae Suat ～Ban Huai Sai) の範囲に送られることとした。

洪水警報システムの据付費は、 5箇所のサイレン局と、サイレン制御装置で概略70百万Bahtである。(Fig.5-40参照)

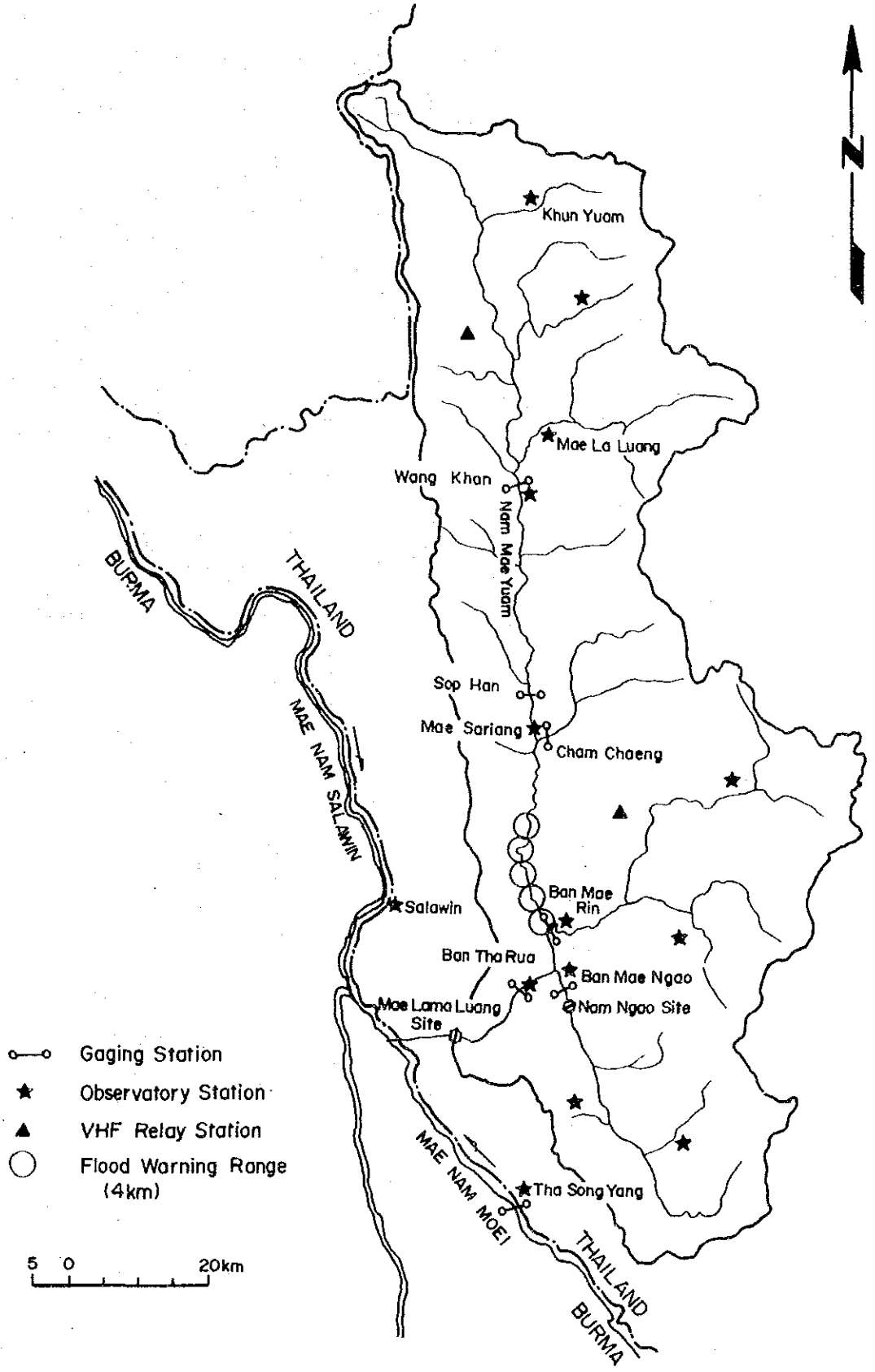


Fig. 5-40 Location Map of Hydrological Forecasting System

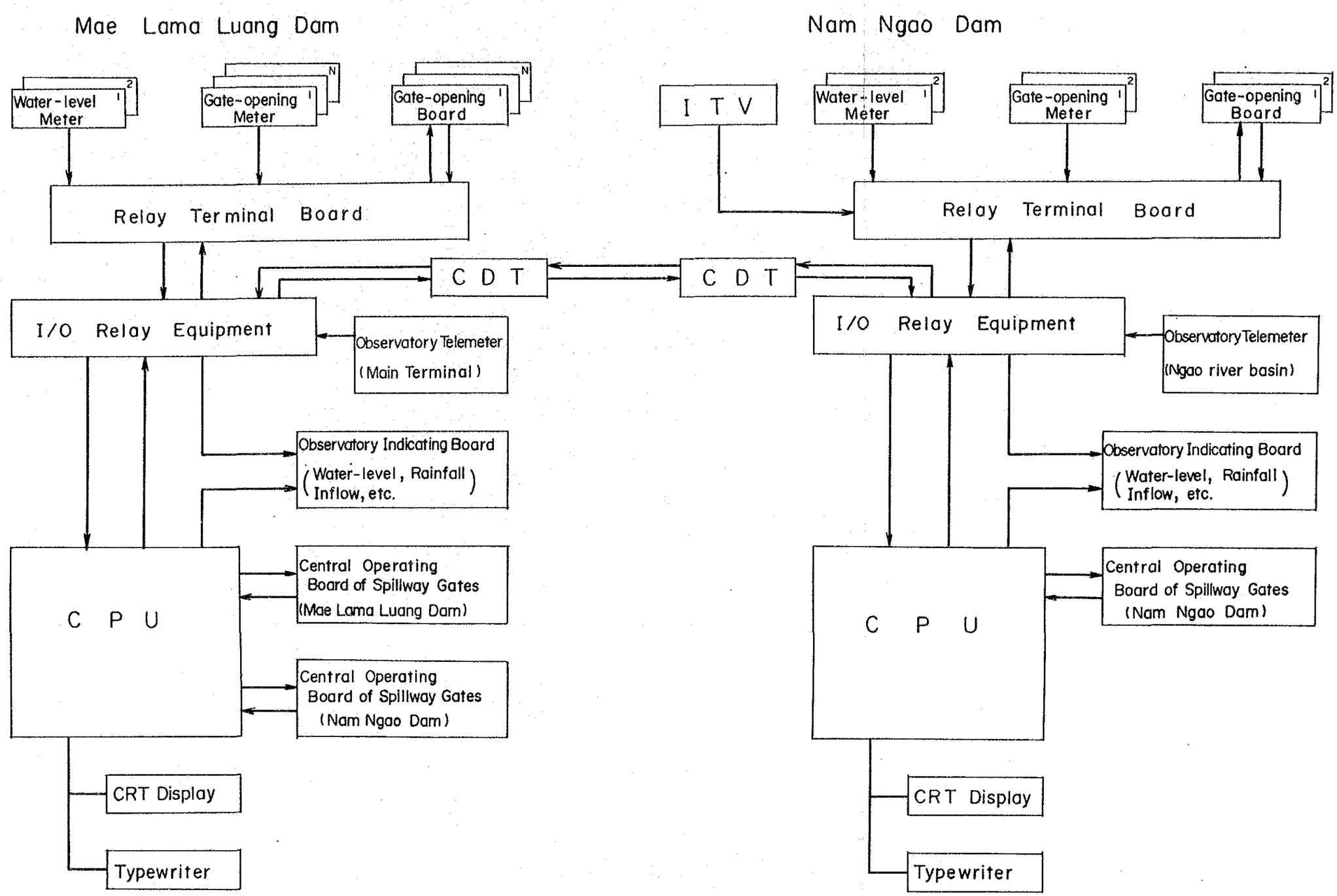


Fig. 5-41 Central Control System of Spillway Gates

第6章　地質および建設材料

第６章　地質および建設材料

目　次

頁

6.1　計画地域の地形および地質 …… 6－1

6.1.1　地　形 …… 6－1

6.1.2　地　質 …… 6－1

6.2　地質調査工事 …… 6－5

6.2.1　Nam Ngaoダム …… 6－5

6.2.2　Mae Lama Luangダム …… 6－6

6.3　計画地点の地質 …… 6－10

6.3.1　Nam Ngaoダム …… 6－10

6.3.2　Mae Lama Luangダム …… 6－21

6.4　建設材料 …… 6－61

6.4.1　Nam Ngaoダム …… 6－61

6.4.2　Mae Lama Luangダム …… 6－61

List of Tables

Table 6-1 Geological Investigation for Nam Ngao Dam Site

Table 6-2 Geological Investigation for Mae Lama Luang Dam Site

Table 6-3 Comparison of Nam Ngao Dam Sites

Table 6-4 Chemical Analysis of Rock (Nam Ngao Dam)

Table 6-5 Groundwater Level of Nam Ngao Dam Site

Table 6-6 Comparison of Mae Lama Luang Dam Sites

Table 6-7 Chemical Analysis of Rock (Mae Lama Luang Dam)

Table 6-8 Groundwater Level of Mae Lama Luang Dam Site

Table 6-9 Results of Soil Tests (Nam Ngao Dam Site)

Table 6-10 Results of Transition Material Tests (Nam Ngao Dam Site)

Table 6-11 Results of Soil Tests (Mae Lama Luang Dam Site)

Table 6-12 Results of Filter Material Tests (Mae Lama Luang Dam Site)

Table 6-13 Results of Rock Material Tests (Mae Lama Luang Dam Site)

List of Figures

Fig. 6-1 Geology of Yuam River Basin

Fig. 6-2 Geology Reservoir Area of Nam Ngao Dam Plan

Fig. 6-3 Geology Nam Ngao Dam Site Plan

Fig. 6-4 Geology Nam Ngao Dam Site Profile

Fig. 6-5 Geology Nam Ngao Dam Site Seismic Profile and Time Distance Curve

Fig. 6-6 Geology Reservoir Area of Mae Lama Luang Dam Plan

Fig. 6-7 Geology Reservoir Area of Mae Lama Luang Dam Profile

Fig. 6-8 Geology Mae Lama Luang Dam Site Plan

Fig. 6-9 Geology Mae Lama Luang Dam Site Profile

Fig. 6-10 Construction Material Nam Ngao Dam Site Borrow Area & Quarry Site

Fig. 6-11 Construction Material Mae Lama Luang Dam Site Borrow Area & Quarry Site

Fig. 6-12 Particle Size Distribution of Impervious Core and Transition Materials Nam Ngao Dam Site

Fig. 6-13 Particle Size Distribution of Impervious Core and Filter Materials Mae Lama Luang Dam Site

6.1 計画地域の地形および地質

6.2.1 地　形

Yuam川は、Fig.6-1 に示すように北緯19° 東経98° 付近のKhun Yuam 近くに源を発し、Mae Sariang 盆地内を蛇行しながら、南へ約 120km流れている。一方、 Yuam 川最大の支流であるNgao川は、北緯17° 40′ 東経98° 付近に源を発し北北西方向に約40km流下し、Yuam川と合流している。Yuam川はNgao川と合流したのち、その流れを西方に変化させ、約30km流れた後にタイ国とミャンマー連邦（旧ビルマ）国の国境をなすMoei川に合流している。

Yuam川沿いには、その源流付近から、Mae Sariang 南方約25km付近まで、盆地が発達しているが、それより下流及びNgao川沿いは、全般に急峻な峡谷となっている。

面積約 6,000km²のMae Lama Luangダムの集水域は、Fig. 6-1に示すように東西が約30～50km、南北が約 160kmの南北方向に細長く伸びた形をしている。集水域の西側の境界は、Wi Cho Lo 山（標高 1,056m)から直線的に南へ伸びる標高 1,000m前後の山地よりなり、東側の境界はPha Ti Do 山（標高 1,821m）より南方へ伸びている標高1,500m～1,800mの山地よりなっている。

6.1.2 地　質

計画地域は、Fig.6-1 に示す通り、主として古生代、中生代の堆積岩と中生代の花崗岩よりなる。

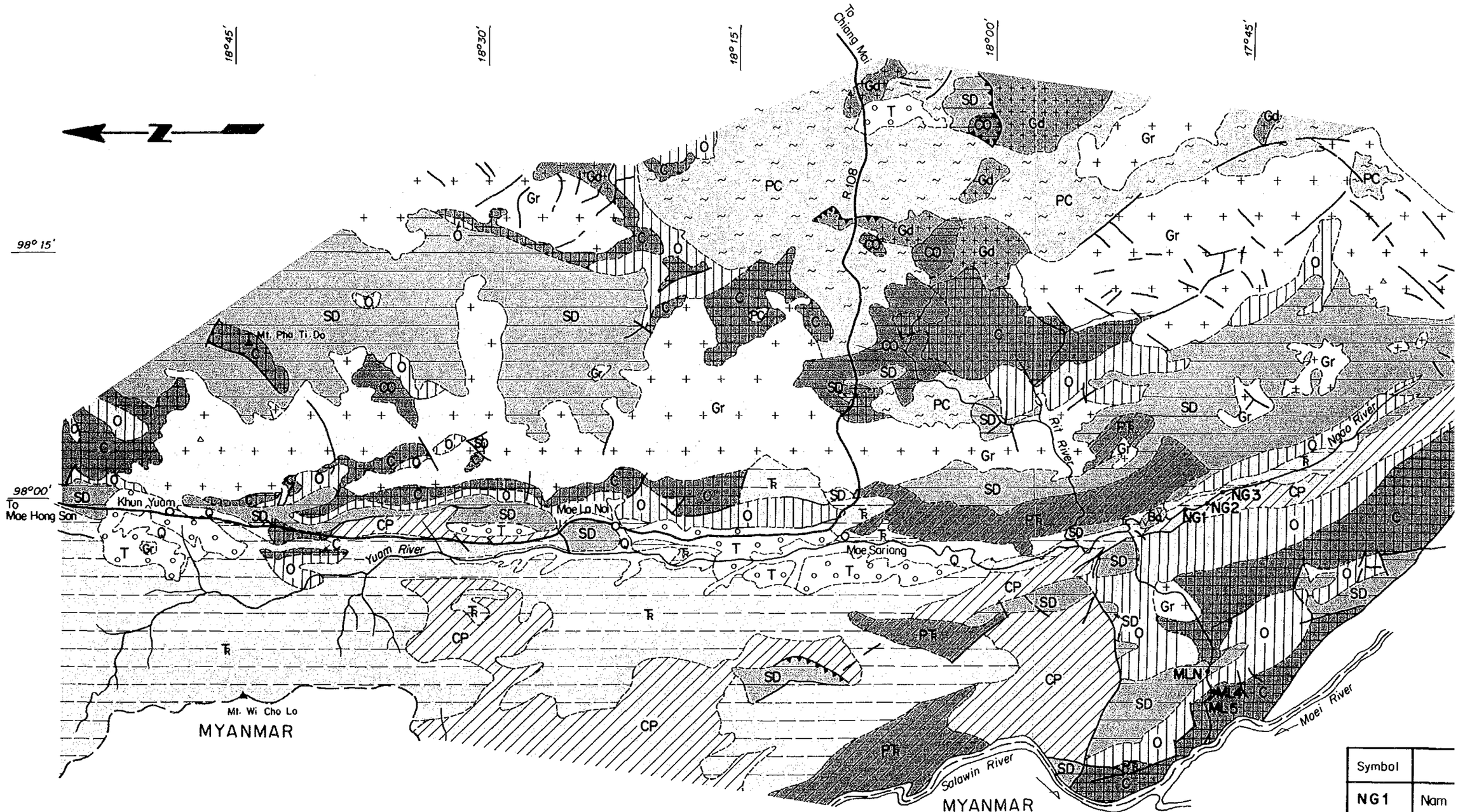
古生代のカンブリア紀～石炭紀の地層は、非石灰質岩石を主体とする地層と石灰岩を主体とするオルドビス紀の地層とに区分される。前者は計画地域南部及び東部を中心として広く分布しており、後者は非石灰質岩石を主体とする地層中に、南北方向に帯状に分布している。

古生代の石炭紀～二畳紀の地層と中生代三畳紀の地層は、おもに非石灰質岩石を主体としており、計画地域北西部の大部分を占めて分布している。

花崗岩は計画地域東部全体にわたり、古生層に貫入しており、巾10～20kmの南北に細長い岩体として分布している。

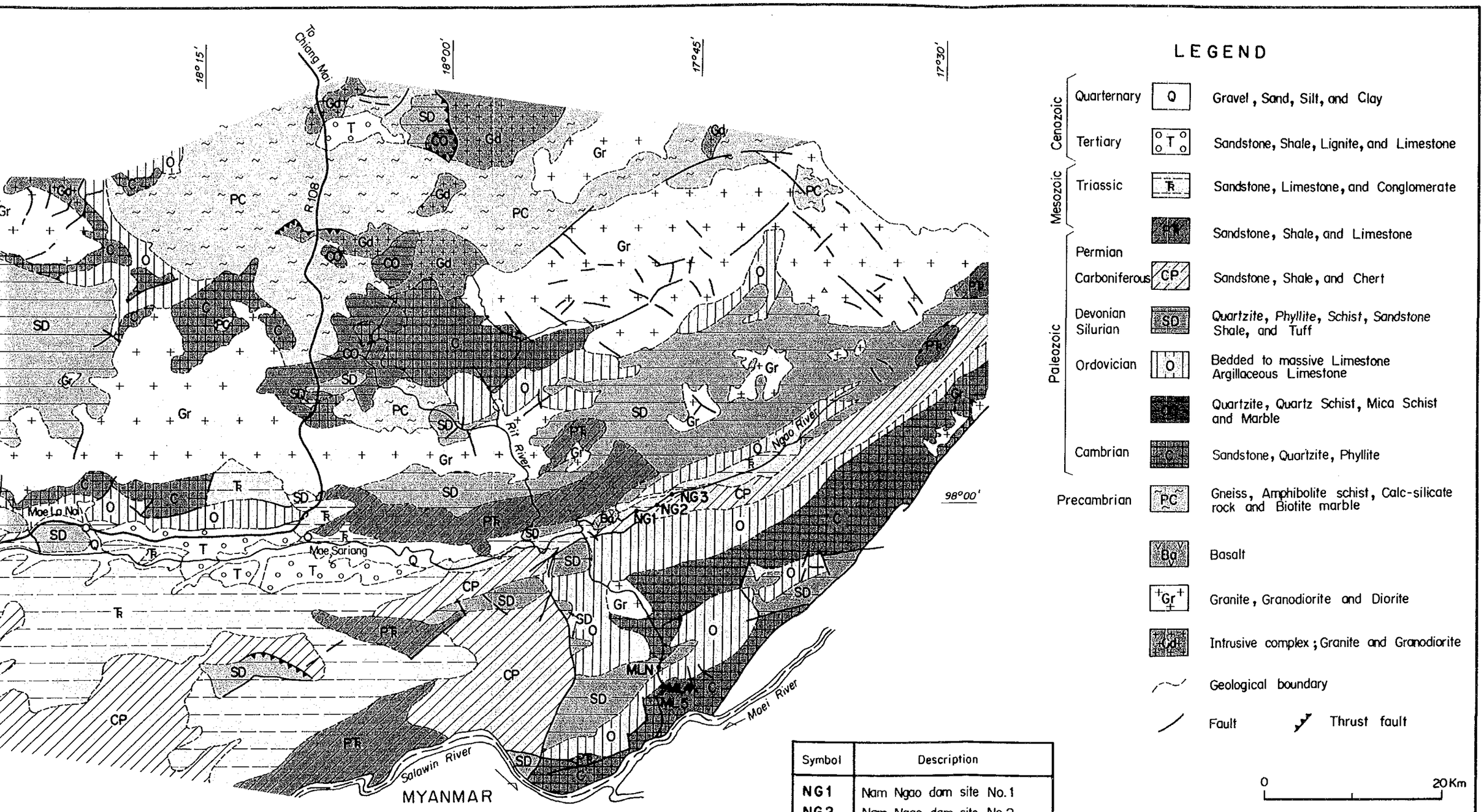
当地域を含むタイ北部には、三畳紀最上部～ジュラ紀、ジュラ紀～白亜紀の２つの時相を持つ中生代の造山運動が起こっており、現在の地質構造はこの造山運動に支配

され、南北ないし北西－南東の構造が顕著である。当地域もこの影響のため、地層の分布方向、褶曲の走向、顕著な断層の走向は、主として南北ないし北西－南東方向となっている。



Symbol	
NG1	Nam
NG2	Nam
NG3	Nam
MLN	Mae L
ML4	Mae L
ML5	Mae L

Note : This map is simplified from Geological Map of Thailand (1/500,000) published by Geological Survey Division Department of Mineral Resources, 1983 Edition.



Symbol	Description
NG1	Nam Ngao dam site No.1
NG2	Nam Ngao dam site No.2
NG3	Nam Ngao dam site No.3
MLN	Mae Lama Luang dam site NEA
ML4	Mae Lama Luang dam site No.4
ML5	Mae Lama Luang dam site No.5

his map is simplified from Geological Map of Thailand (1/500,000) published by
eological Survey Division Department of Mineral Resources, 1983 Edition.

NAM YUAM RIVER BASIN INTEGRATED HYDROELECTRIC DEVELOPMENT PROJECT

GEOLOGY OF YUAM RIVER BASIN

Fig. 6 - 1

6.2 地質調査工事

本計画では、以下の地点が計画案として検討された。

(1) Ngao川

① Nam Ngaoダム サイト No.1

② Nam Ngaoダム サイト No.2

③ Nam Ngaoダム サイト No.3

(2) Yuam川

① Mae Lama Luangダム サイト NBA

② Mae Lama Luangダム サイト No.4

③ Mae Lama Luangダム サイト No.5

上記地点のうち事前に行った比較検討によって、Ngao川ではNam Ngaoダムサイト No.2が、Yuam川ではMae Lama LuangダムサイトNo.5が有望であると判明した。従って、地質調査工事は両地点において実施した。なお、Nam NgaoダムサイトNo.2および Mae Lama Luangダムサイトでは1985年から1987年に地質調査工事が実施されている。

6.2.1 Nam Ngaoダム

Nam NgaoダムサイトNo.2を中心に以下の調査が実施された。

(1) 地表地質踏査（建設材料踏査を含む）

踏査地域 ： 計画貯水池内とその周辺の河川沿い、ダム地点及びその周辺

地形図縮尺 ： 1／5,000

1／1,000

(2) 弾性波探査

探査地域 ： Nam Ngaoダム サイトNo.2 ダム軸周辺と尾根部

数量 ： 14測線 4,565m (Table 6-1 参照)

(3) ボーリング

調査地域 ： Nam Ngaoダム サイトNo.2 ダム軸およびその周辺

数量 ： 10孔 645.6m (Table 6-1 参照)

透水試験 42 回

標準貫入試験 22 回

(4) 土質材料調査

立　　坑　：　4地区　18坑

道路法面トレンチ：　1地区　3ヵ所

オーガーボーリング　：　4地区　44孔

土質試験試料採取を含む

(5) トランジション（フィルター）材料調査

立　　坑　：　24坑　62.8m

フィルター材料試験試料採取を含む

(6) ロック材料調査

露頭からの岩石試験試料採取　1ヵ所

(7) 岩石化学分析

3試料

(8) 岩石薄片観察

6試料

6.2.2　Mae Lama Luangダム

Mae Lama LuangダムサイトNo.5を中心に以下の調査が実施された。

(1) 地表地質踏査

踏査地域　：　計画貯水池内とその周辺の河川沿い、Mae Lama LuangダムサイトNo.5からサイトNo.4まで

地形図縮尺　：　1／5,000

1／1,000

(2) ボーリング

調査地域　：　Mae Lama Luangダム　サイトNo.5

数　　量　：　25孔 1350.3m (Table 6-2 参照)

透水試験　190回

標準貫入試験　16回

(3) 土質材料調査

立　　坑　：　3地区　19坑

土質試験試料採取を含む

トレンチ　：　1地区　1ヵ所

ｵｰｶﾞｰﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ　：　1地区　62坑

(4) フィルター材料調査

立　　坑　：　1地区　35坑

フィルター材料試験試料採取を含む

(5) ロック材料調査

露頭からの岩石試験試料採取　4ヵ所

(7) 岩石化学分析

4試料

(8) 岩石薄片観察

6試料

Table 6-1 Geological Investigation for Nam Ngao Dam Site

Location		Line No.	Length (m)	Remarks
Left-Bank Side Ridge		S 1	600	
		S 2	200	
Dam Axis	Center	S 3 (1/2)	475	
		〃 (2/2)	450	
	Down-stream	S 4	225	
		S 4 a	200	
		S 4 b	200	
	Up-stream	S 8	330	
		S 9	275	
		S11	110	
Riverbed		S 5	350 / 110 } 460	
		S10	110	
Right-Bank Side Ridge		S 6	165	
		S 7	775	
Total		14 Lines	4,565	

Stage	Location	Hole No.	Coordinate		Elevation (m)	Angle from Horizontal	Length (m)	Permeability test	Standard Penetration Test (times)
			Northing	Basting					
Master Plan Study	Right Bank	DR-0	1,967.293	393.859	271.909	90°	35.0	-	-
		DR-1	1,967.249	393.920	271.250	90°	90.0	11	-
		DR-2	1,967.208	393.792	223.833	90°	35.0	-	-
		DR-3	1,967.177	393.669	180.650	90°	55.0	9	-
	Riverbed	DR-4	1,967.131	393.520	161.050	90°	90.0	15	-
	Left Bank	DL-1	1,967.084	393.344	220.380	90°	70.0	7	-
		DL-2	1,967.051	393.228	302.412	90°	92.0	3	-
		Sub Total (7 Holes)					467.0m	45times	-
Feasibility Study	River Bed	DR-5	1,966.999	393.602	166.110	60°, S70°W	56.2	2	-
	Right Bank	DR-6	1,967.049	393.774	201.725	90°	60.0	8	1
		DR-7	1,967.108	393.974	279.969	90°	100.0	10	2
		DR-7A	1,966.965	393.944	258.802	90°	27.0	-	-
		DR-8	1,967.001	394.033	293.682	90°	90.0	11	2
	Right Bank side ridge	Q-1	1,966.849	394.538	342.581	90°	59.4	-	-
	Left Bank	DL-3	1,966.937	393.509	202.043	90°	75.0	6	2
		DL-4	1,966.910	393.378	254.454	90°	92.6	5	7
		DL-4A	1,966.808	393.381	223.973	90°	9.0	-	-
		DL-6	1,966.685	393.017	309.496	90°	76.4	-	8
	Sub Total (10 Holes)						645.6m	42	22
Total 17 Holes							1042.3m	87	22

Table 6-2 Geological Investigation for Mae Lama Luang Dam Site

Location		Hole No.	coordirnate		Elevation (m)	Angle from Horizontal	Length (m)	Permeability Test (times)	Standard Penetration Test (times)
			Northing	Basting					
Dam	Right Bank	DR-1	1,966.276	372.243	176.99	90°	96	5	—
		DR-1A	1,966.262	372.279	174.27	90°	70	13	—
		DR-2	1,966.218	372.239	133.36	90°	45	6	—
		DR-3	1,966.140	372.259	88.99	90°	40	6	1
		DR-4	1,966.143	372.179	65.88	60°N40E	60	7	—
		DR-5	1,966.225	372.147	120.73	90°	40	6	1
		DR-6	1,966.340	372.328	236.59	90°	50	7	2
		DR-7	1,966.161	372.300	110.30	90°	50	8	—
		DR-8	1,966.053	372.303	72.51	90°	50	8	—
	River-bed	DH-1	1,966.126	372.166	61.93	90°	50.6	8	—
		DH-2	1,966.019	372.284	62.59	90°	45	7	—
	Left Bank	DL-1	1,965.981	372.061	166.49	90°	110	15	—
		DL-2	1,966.047	372.103	126.76	90°	50	6	—
		DL-3	1,966.006	372.172	107.94	90°	45	7	—
		DL-4	1,966.099	372.059	99.28	90°	60	10	1
		DL-5	1,965.936	371.960	201.93	90°	40	10	5
		DL-6	1,965.992	372.112	145.29	90°	50	10	—
		DL-7	1,965.976	372.244	91.43	90°	15	1	—
		DL-7A	1,965.975	372.260	76.03	90°	40	6	—
Spillway		SP-1	1,966.113	371.961	91.78	90°	50	9	4
Powerhouse & Penstock		PH-1	1,966.244	371.998	74.54	90°	50	9	1
		PH-2	1,966.316	372.101	127.24	90°	80	14	1
		DR-9	1,966.272	372.110	105.34	90°	55	7	—
Intake		DI-1	1,966.204	372.341	150.88	90°	56	5	—
Quarry Site		QSB-1	1,965.879	372.751	199.40	90°	52.7	—	—
Total 25 holes							1350.3	190	16

6.3 計画地点の地質

6.3.1 Nam Ngaoダム

(1) 計画ダム地点の比較

Nam Ngaoダムの比較検討地点であるサイトNo.1、No.2およびNo.3の3地点に関する地形、地質の比較をTable.6-3 に示しその位置をFig.6-2 に示す。

地形から見た場合、サイトNo.1, No.2, No.3のうちNo.1は右岸の尾根が下流から切れ込む沢によって浸食、開析されてる。その尾根の頂部の標高は260mであり、基岩の風化状態を考慮すると最高水位標高は240 ～ 250m が限界と考えられる。また、サイトNo.3の左岸部も上下流から切れ込む沢によって浸食を受けており、尾根頂部の標高は280mであり、最高水位は270m程度が限界である。EL.270m における左岸の尾根幅は70mである。一方、サイトNo.2では計画最高水位EL.270m における尾根幅は左岸で140m、右岸で150mである。なお、上記尾根を浸食しているいづれの沢部にも断層が分布するか、あるいはリニアメントが存在している。

地質からみた場合、サイトNo.1は地表地質踏査結果から、崖錐堆積物および基岩の砂岩および砂岩と頁岩の互層の風化帯が厚いことが推定される。サイトNo.3は、右岸のアバット部に上下流に連続して石灰岩が広く分布する。この石灰岩には、溶食が多く認められ、透水性が大きいものと推定される。サイトNo.2は砂岩および砂岩と頁岩の互層からなり、右岸の高標高部に石灰岩が分布している。砂岩および砂岩と頁岩の互層については透水性が低い。風化は左岸の高標高部が厚いものの、河床部および右岸は薄い。

このような地形・地質条件を勘案すると、サイトNo.2が最も有望と考えられる。従って以下には、Nam Ngaoダムサイト No.2について記す。以後ダムサイト No.2 は“No.2”の番号なしでダムサイトと称す。

(2) 貯水池の地質

－ 一般地質

貯水池の地質平面をFig.6-2 に示した。

貯水池地域は中～古生層およびこれを覆う第四紀の段丘堆積物、崖錐堆積物よ

りなる。

中～古生層は砂岩、砂岩と頁岩の互層および石灰岩が分布している。これらの地層は一般に北西～南東方向の走向を有し、30°～60°北東または南西へ傾斜している。

砂岩は、暗灰色～黒色を呈し、細粒～中粒の硬いものである。ただし、露頭では風化によって変色し、さらに堆積物によって覆われているので、互層中の砂岩との区分が困難である。従って、地質図においては互層として一括している。

砂岩と頁岩の互層は、灰色～暗灰色を呈する細～中粒の砂岩と頁岩からなり堅硬である。岩質は変化に富み、砂岩が卓越する部分と頁岩が卓越する部分がある。各単層の厚さは1cmから10m以上のものまで様々である。砂岩は灰色から一部灰白色となる凝灰岩状の部分が認められ、熱水による変質が考えられる。また、幅1～5mmの方解石脈が多く認められる。

石灰岩は、灰白色ないし灰色を呈し、緻密質・堅硬なものである。露頭としては、ダムサイト上流右岸のMae Lui 沢沿いや、サイトNo.3右岸側一帯にみられ、溶食あるいは径1m程度の溶解空隙が認められる。

第四紀層は、Ngao川沿いの低位部に段丘堆積物が、斜面中腹や沢の下部に崖錐堆積物が分布している。段丘堆積物は、礫径3～20cm大の硬い円礫ないし亜円礫と中粒ないし粗粒砂からなる。その分布は現河床から比高10～15m以下の低位部に局部的に分布している。崖錐堆積物は、砂岩や頁岩の角礫や亜角礫を多く混入するシルトないし粘土であり、赤茶褐色を呈するラテライト質土である。

貯水池内にみられるリニアメントとしては、Ngao川に沿う明瞭で連続性の良いものが河川方向に卓越してみられる。このリニアメントはYuam川の東側にも分布し、その連続性が確認されている。

既往資料"NAM MAE YUAM Hydroelectric Development Project Feasibility Report (JICA, March 1984)"によれば、Yuam川本流の東側にリニアメントに対応する断層が認められ、その断層は「NNW-SSE の走行で、ほぼ垂直な傾斜をなしており、破砕幅は数mである」と報告されている。また、今回の調査においてもNgao川沿いのいくつかの露頭において、幅2～3m程度の破砕帯が見られ、河川方向に雁行状に延びる断層破砕帯が認められる。

貯水池内の斜面は、広範囲に厚く分布する第四紀の未固結堆積物、あるいは滑

落崖や崩壊などは認められず、安定している。

－ カルスト現象

貯水池周辺に分布する岩石の炭酸塩鉱物（$CaCO_3$, etc）含有量を知る目的で岩石の定量化学分析を行った。分析試料は石灰岩が7試料、石灰質砂岩が1試料である。（マスタープランの際に実施した5試料を含む）

分析した成分は CaO、MgO、SiO_2、Al_2O_3 の4成分である。分析結果は、Table 6-4 に示すとおりである。

ダムサイトの右岸からMae Lui 沢に分布する石灰岩（Sample No.1,2,4,7）は $CaCO_3$ と $CaMg(CO_3)_2$ の2鉱物が62～93%、SiO_2とAl_2O_3 が5～20%（SiO_2 3～15%）で構成されている。この石灰岩中には、割れ目に沿って5～30cmの溶解空隙が認められ、とくにMae Lui 沢に沿う露頭では、緩みに沿って溶解空隙が多く観察される。

ダムサイトの上流Ngao川河床の石灰岩の薄層（Sample No.6）とダムサイトNo.3 の右岸側に広く分布する石灰岩（Sample No.8）は $CaCO_3$と$CaMg(CO_3)_2$ の2鉱物が79～82%、SiO_2、Al_2O_3 が7%（SiO_2 1～5%）で構成されている。ダムサイトNo.3の右岸側では、幅10～30cmの溶解空隙が多くみられる。

ダムサイト付近に広く分布する砂岩と頁岩の互層中の石灰質砂岩（SampleNo.3）は $CaCO_3$と $CaMg(CO_3)_2$の2鉱物が13%、SiO_2とAl_2O_3 が82%（SiO_2 69%）で構成されている。溶解空隙は全く観察されない。

以上のように、ダムサイトの右岸上流部に分布する石灰岩と、ダムサイトNo.3の右岸側に分布する石灰岩は、炭酸塩鉱物の含有量が多いため溶食に対しての抵抗力は弱い。

(3) 貯水池の保水性

貯水池の保水性に関係する要因としては、次の2つに分類できる。ひとつは、薄い尾根などの地形的要因と、他のひとつは連続性のある空洞の形成などの地質的要因である。

Nam Ngao貯水池においても、以下に述べる特徴がみられる。

－　地形から推定される貯水池の保水性

Fig.6-3 (1-2) に見られるようにNam Ngao貯水池内において漏水の恐れのある地形は、ダム左岸アバットメントより南西方向に約500m連続するやせ尾根部と、右岸アバットメント部である。右岸アバットメント部は石灰質岩石との関係もあるので、次項において詳しく述べる。左岸のやせ尾根の幅は、貯水池の満水位BL.270m において約150mである (Fig.6-4(2-3)、Section C-C)。

この尾根を構成する基盤岩は砂岩、頁岩、および石灰質岩石の互層よりなり、岩石の特性という見地からいえば、この尾根の基盤岩内に貯水池の保水性に影響するような溶解空隙を形成している可能性はほとんどない。しかし、この尾根に実施したボーリングDL-6 (深度 76.4m) の結果によると、この尾根の基盤岩の地表からの風化が孔口 (BL 309.4m)より孔底 (BL 233m)まで顕著に発達し、透水試験においても、パッカーをセットすることが出来ない程度の風化、および割れ目状態であった。

他方、このボーリング孔で観測した地下水位は、掘削後より約７ヵ月経過した1989年２月24日のデータでは、孔口よりの深度が58.8m (BL 250.6m)であった。

一般的にいって、上述したような地形、地質条件をもつダムサイトにおける湛水後の漏水量を推定することは極めて難しい。その最大の理由は、基盤岩石に発達する割れ目の数と性状を正確に把握出来ないことである。

例えば、このダムサイトの各条件を概略的にダルシーの法則で計算出来るように仮定して、漏水量を計算した場合、当貯水池の流入量や貯水池規模に比べておそらく問題にならない漏水量と予想される。

しかし、経験的にいえばこのような場所においては、地下水面までの止水処理を行って、貯水池の保水性を確保している。従って、Nam Ngao貯水池において、止水処理が必要か否かの最終的な判断は、将来より詳細な調査を行ったうえで決めなければならないが、可能性調査の段階では、この尾根部にはある程度の止水処理を行う必要があると結論したい。

－　地質から推定される貯水池の保水性

Fig.6-3(1-2)、6-3 (2-2) および 6-4 (3-3) に示したとおりNam Ngaoダム右岸アバットメントBL.270m以下には、砂岩と頁岩の互層（一部石灰質砂岩）が分

布し、BL.270m 以高には石灰岩が分布する。右岸ダムアバットメントの地形は、ほぼ NW-SE方向に延びる尾根を形成し、ダム軸に沿ったBL.270m における尾根の幅は約150mである。この場所における尾根の地形は、既述した左岸の地形と比べると、尾根の幅はほぼ同じであるが、右岸においては、左岸のような約500mものやせ尾根の連続は見られない。

しかしながら、上述した如く、右岸の尾根は溶食され易い石灰岩より構成され、地下水位はBL.221m (DR-1, Feb.24, 1989)～BL.227m (DR-7, Feb.24, 1989)である。これらボーリング孔のコアは、いずれも地下水位以上においては風化が著しく、コアが採取されない部分や溶食を受けた割れ目が多く見られる。

上記のように、ダム右岸アバットメントのBL.270m (貯水池満水位) 付近においては、地形はやせ尾根を形成しているうえに、尾根は溶食され易い石灰岩より構成されており、地表よりBL.220～230mまでには顕著な溶食が見られる。従って、この付近においては、地形的にも地質的にも漏水の恐れのある場所である。

ダム右岸アバットメントに分布する石灰岩は、ダムサイト上流の右岸に流入するMae Lui 沢の右岸に約1.8 km分布する。この石灰岩の地質調査は、浅いボーリング (Q-1, 深度 59.4m) 1孔と地表地質踏査以外はなされていない。ボーリングは、全長にわたり顕著な溶食が発達しているうえに孔底(BL.約 283m)においても地下水は確認されていない。地表の露頭において、ところどころ空隙は見られるが、シンクホールなどの大規模な溶食はまだ見つけられていない。

他方、この石灰岩は全体として貯水池の下流側方向に傾斜している (Fig.6-4 (3-3) 、Section B-E 、F-F)。従って、もしこの大きな石灰岩体が、ダム右岸のアバットメントと同じように地下水位が低く、しかもBL.220～230mまで顕著に溶食が発達している場合は、この石灰岩体を通じて貯水池の外側に漏水する恐れが予想される。しかし、Fig.6-4 でも判るとおり、この石灰岩は周辺を非石灰質岩石からなる地層で被覆されているため、この石灰岩が貯水池外側のどこかで露出していない限り、たとえ貯水池の水がこの石灰岩内に浸透したとしても、いずれは貯水池満水面迄充満され、漏水の恐れはないと云える。

現段階においては、漏水の可能性を最終的に結論づけるデータは収集されていない。既述の通り、ダムアバットメントにおいては、地形的、地質的見地から判断しても止水処理の必要性は認められるが、Mae Lui 沢沿いの石灰岩体について

は、今後より詳細な地質調査を行ったうえで最終結論を得るものとして、現段階では、安全側に判断すれば、止水処理を計画する必要を認める。

(4) 弾性波探査

弾性波探査（屈折法）はダム基礎部、左右岸のやせ尾根部について、その地質状態を把握することを目的として、ＥＧＡＴによって実施された。

－ 調査数量

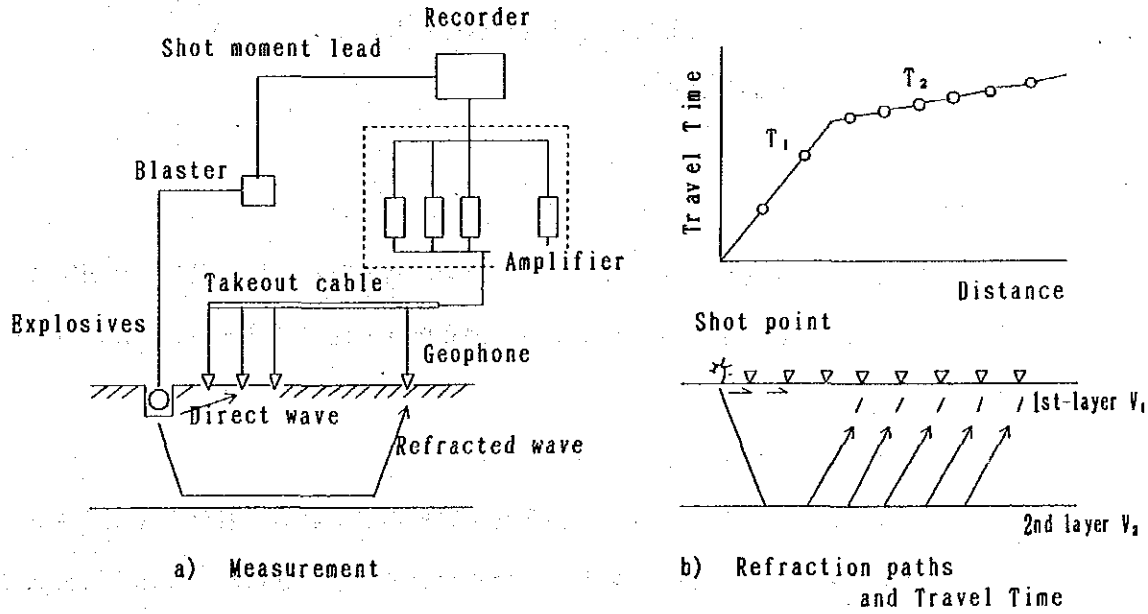
調査数量は測線数14本、総延長4,565mであり、測線配置をFig.6-3(2-2)に示した。また、詳細はTable 6-1 に示した。

－ 弾性波探査方法の概要

弾性波探査とは地表付近で人工的に弾性波を発生させ、その弾性波を地表で測定し、それを解析することにより地下の地質状態を解明する探査手法である。

本探査法は土木地質調査の有効な手法の１つとして頻繁に利用されている。

以下に弾性波探査概念図を示す。



a) Measurement

b) Refraction paths and Travel Time

Diagram of Seismic Prospecting Method

－　測定方法

測定は以下に示す測定機器を用いて行った。

Name	Specification	Note
Amplifier	No. of channels: 12	SIE Model RS-4AC U.S.A
Recorder	No. of channels: 12	
Geophone	Frequency　4.5Hz	Mark Products U.S.A
Blaster Source	Explosive	Minimum delay time detonater
Takeout cable	12 take outs	Mark Products, U.S.A

－　解析方法

弾性波探査の解析方法は種々あるが、本調査では土木地質調査で最も実績がある萩原の方法およびその拡張法を用いた。

しかし、地下に低速度層が存在する場合、地層を層構造として解析する上記の解析法ではその深度を解析することが不可能である。この場合、地層が層構造でなく、ミラージ層であるとして走時曲線を解析した。

萩原の方法をAppendixに付す。

－　調査結果

解析結果である走時曲線図および解析断面図の例をFig.6-5 に示し、全測線についてはAppendixに示す。解析結果から、調査地点の地下は以下の３層に区分された。

・　第１層　：　Vp　＝　0.3 ～ 0.6km/sec

本層は表土や崖錐堆積物、強風化岩に対応している。層厚は尾根部や斜面部において５～10m、斜面の下部においては０～５ｍ程度の厚さで分布している。

・　第２層　：　Vp　＝　0.8 ～ 1.8km/sec

本層は基盤の風化ゾーンに対応している。層厚は５～30m程度の厚さで分布している。

・　第３層　：　Vp　＝　1.5 ～2.0km/sec(左岸)　2.5 ～ 4.0km/sec(左岸

～右岸）

本層は基盤の最下層であり、右岸では新鮮堅硬な岩盤に、左岸の速度の低い部分では風化・変質あるいは破砕による劣化部に対応する。

－ 基盤岩の分布・性状の推定

・ ダムサイト右岸の山体に比べ、左岸山体の堆積物ならびに風化が厚いと推定され、概ねその層厚は左岸で30～40m、右岸で20m程度である。

・ 河床部における現河床堆積物と、基岩表層の風化部の層厚は約15mである。

・ とくに左岸の尾根に沿うS1測線の結果によると、他の測線にみられるような基盤速度は検出されず、1500～1800 m/sec程度の速度層が深部まで分布している。これは、風化帯が厚いかあるいは断層などの劣化帯が分布していることが推定される。

・ その他、低速度帯としては、S3(2/2) 測線の結果から、右岸の標高180m～190m間に分布している。

(5) ダムサイトの地質

－ 地　形

ダムサイトの右岸には幅200mの河岸段丘が発達している。段丘の上部斜面は、斜面の勾配が20°～30°である。一方、左岸側には段丘地形はみられず、河岸から上部は30°～35°の斜面となる。

ダムサイト右岸には、Ngao川に平行した沢が下流から切れ込み、右岸側の尾根はNNW - SSE 方向に延びたやせ尾根を形成している。また、左岸側にもN－Sから BNE - WSW に方向を変える沢が下流から切れ込み、ダム軸付近でほぼN－S方向に延びた尾根を形成している。

－ 地　質

ダムサイトの地質平面をFig.6-3 、地質断面をFig.6-4 に示した。ダムサイトの地質は主に砂岩と頁岩の互層および石灰岩からなる。これらの基盤岩を覆って段丘堆積物、現河床堆積物、崖錐堆積物が分布している。

砂岩と頁岩の互層は、ダムサイト右岸の高標高部からその上流尾根部の石灰岩

の分布域を除くダムサイト全般に広く分布している。その走向はNgao川の流下方向に平行なN10°～50°Wであり、走向方向に軸をもつ褶曲の影響によって北東あるいは南西へ50°～80°傾斜している。互層は新鮮部では暗灰色ないし黒色を呈し硬く、割れ目は50cmから1m程度である。表層の風化は、ダムサイトの右岸側および河床部では浅いが、左岸側では最大40mの厚い風化帯が認められる。この風化帯は、ダムのアバットメントから続く左岸側尾根部にわたって広くみられ、DL-6孔では深度31mまで風化が認められる。互層には、幅1～5mmの方解石脈が多くみられ、また脱色も認められることから、熱水変質を受けていることが考えられる。

石灰岩は、ダムサイト右岸の高標高部からMae Lui 沢に続く尾根部に分布している。互層とは断層あるいは不整合で接している。ダムサイト右岸においてはN20°Wの断層によって境しており、Mae Lui 沢周辺においても断層で接するところが多い。石灰岩は、6.3.1(2)で記したように、岩石化学分析の結果から炭酸塩鉱物に富み、溶解空隙も認められている。岩石そのものは硬く、割れ目の間隔は1～2mである。

破砕による細片化ないし粘土化した断層が、Ngao川に沿って河床に分布する。右岸の低標高部に分布する砂岩および頁岩の互層と石灰岩の境界部は断層である。また、Mae Lui 沢に沿う方向ならびにそれと直行する方向には、数条の断層が分布する。褶曲は、ダムサイト左岸において顕著にみられ、Ngao川と平行な軸をもっている。

段丘堆積物は右岸の低標高部に広く分布し、また左岸の斜面下部にも堆積物に覆われて局部的に分布している。礫径1～10cmの硬い円礫および砂から構成されている。

崖錐堆積物はダムサイトの左岸上流の緩傾斜地や、右岸の斜面部に分布している。主に砂岩と頁岩の互層起源の礫混り土からなる。

－ 地下水位

第(3)項「貯水池の保水性」において、地下水位の詳細について記載してある。

ボーリング孔の地下水位観測結果をTable 6-5 に示した。

－ 考　　察

地表の地質状況、透水試験を含むボーリングならびに岩石試験結果から判断するとNam Ngaoダムサイトに対して、以下のような土木地質的評価がなされる。

・ ダムサイトに分布する岩石は計画されているダムの基礎として充分な耐荷性を有している。ただし、左岸高標高部の風化帯や河床部などにみられる断層などについては処理が必要である。

・ 透水試験の結果から判断すると、風化部を除いた砂岩と頁岩の部分については低い透水性（0～5Lu）を示している。

・ 地下水位観測結果によると、左岸および右岸上流の尾根部の地下水位が計画満水位標高270mより低く、当該部分の透水性が高い。従って、左右岸の尾根部については、基礎処理によってしゃ水性を確保する必要がある。

(6) 主要構造物計画地点の地質

今回行われた弾性波探査や、主要構造物計画位置周辺におけるボーリング結果から地質は以下のように推定される。

－ 取水口および導水路トンネル

取水口の直下流部にボーリングDR-7A が位置している。地質は砂岩と頁岩の互層からなる。表層の風化帯の厚さは10mあり、その下部16mまでは新鮮で硬くなるが細片化が著しい。風化帯と細片化部の弾性波速度は1.0 ～1.2 Km/secである。

一方、導水路トンネルは砂岩と頁岩の互層および石灰岩中を通過すると推定される。導水路トンネル経過地では、全体に新鮮かつ塊状の岩盤が分布するが、破砕による細片ないし粘土化部が局部的にある。

－ 発 電 所

発電所の上流側にボーリングDR-3およびDR-4が位置している。新鮮で塊状、堅硬な砂岩と頁岩の互層であり、表層の風化帯の厚さは5ｍ以下である。

－ 洪 水 吐

地質は砂岩と頁岩の互層からなる。表層の風化帯の厚さは、DL-1孔で19mであり、深度 12.5mまでは細片状である。一方、DL-4孔の表層の風化帯の厚さは41mであり、深度23mまでは細片化が著しい。風化帯の下部の地質は割れ目は多いが硬く、弾性波速度が3km/sec以上となる。

以上、主要構造物計画地点では、風化がやや厚い所や破砕による局所的な劣化部はあるものの、特に土木地質的に大きな問題点はない。

6.3.2 Mae Lama Luangダム

(1) 計画ダム地点の比較

Mae Lama Luangダムの比較検討地点であるサイトＮＥＡ、No.4およびNo.5の３地点の位置をFig.6-6 に示し、地形、地質の比較をTable 6-6 に示した。地質の観点からこれらのサイトの地質条件の優劣はほぼ同等である。

ダムサイトの選定については、第８章開発計画で述べるダムおよび主要構造物の配置、施工性、および経済性の観点から、サイトNo.5が選定されている。以下にはダムサイトNo.5について記す。なお、以下“サイトNo.5”は“ダムサイト”と称するものとする。

(2) 貯水池の地質

－ 一般地質

貯水池の地質平面をFig.6-6 および6-7 に示した。

貯水池地域は古～中生層、第三紀層、沖積層および、古～中生層に貫入する花崗岩、玄武岩よりなる。

古生層は貯水池に広く分布している。一方中生層はほぼ南北方向でYuam川上流域に分布している。その構成岩石は、古生層が珪岩，石英片岩，千枚岩，泥質石灰岩および一部石灰質な砂岩であり、中生層が砂岩と頁岩の互層，頁岩，石灰質砂岩および薄い層状の石灰岩よりなる。これらは一般に南北ないし北北西－南南東の走向をなし、30～60°東、又は西へ傾斜している。

珪岩および片岩は、灰白色又はピンクがかった灰白色をなし、緻密で堅硬なものである。これらは、Fig.6-7 に示すように、ダムサイトNo.4からダムサイト付近とLa Cho Kra沢及び La Po Kra沢沿いにほぼ南北方向の褶曲軸をもつ背斜構造をなして分布している。

砂岩・頁岩互層は、灰色～暗灰色をなす、細～中粒の砂岩と頁岩よりなる。岩相は変化に富み、ほとんど頁岩よりなるものから、幅50cm～１ｍの砂岩中に厚さ１cm以下の頁岩が挟まれているものまで変化している。この互層は La Cho Kra沢より東側に繰り返し南北方向に帯状に分布している。

頁岩および石灰質頁岩は、灰～黒色を呈し、数cm～20cm間隔で帯状をなす堅硬なものである。

石灰質砂岩は、淡褐色の砂質な部分に、灰色の泥質なラミナを挟在している。

石灰岩には、暗灰色または灰白色塊状なものと、暗灰～灰色または淡褐色をなしたラミナが発達したものとが見られる。塊状な石灰岩には節理面に沿って幅5～40cm程度の溶解空隙が観察されることが多い。一方、ラミナの発達した石灰岩では溶解空隙は、径1cm以下のものが、わずかに見られる程度である。

第三紀層は、貯水池背水端付近より上流のYuam川両岸に分布しており、固結度の低い頁岩、砂岩、礫岩よりなる。これら第三紀層は、その地形的特徴により、航空写真判読で容易に中～古生層から区別される。

沖積層は、主としてYuam川沿いの段丘堆積物として存在しており、シルト、砂、礫よりなる。貯水池背水端付近より上流のYuam川沿いに最も広く発達している。

花崗岩は、貯水池内ではBan Tha Rua 下流のYuam川沿いに、長さ約6km、幅約3.5 kmの小岩体として中～古生層に貫入している。

玄武岩は、Ngao川沿いのYuam川との合流点より約1km上流に長さ約3.5 km、幅約1.2 kmの小岩体として分布している。

貯水池地域に見られる褶曲は、北北西－南南東方向に褶曲軸を持ち、波長は2～4kmをなしている。

顕著な断層は、Yuam川上流の東側に見られる。これはＮＮＷ－ＳＳＥの走向でほぼ垂直な傾斜をなしており、破砕幅は数mである。航空写真判読および地表地質踏査の結果によれば、この断層はNgao川右岸沿いに南へ延びていると考えられる。

－　カルスト現象

貯水池周辺に分布する岩石の炭酸塩鉱物（$CaCO_3$, etc）含有量を知る目的で岩石の定量化学分析を行った。分析試料は砂岩、石灰質砂岩、石灰質片岩、石灰岩がそれぞれ1試料ずつである。

分析した成分は、CaO 、MgO 、SiO_2、Al_2O_3 の4成分である。分析結果はTable 6-7 に示す通りである。

砂岩と石灰質砂岩は、ダムサイト右岸高標高部に位置するボーリングDR-6孔から採取された（Fig.6-8(2-2)参照）。サンプルNo.10の砂岩は $CaCO_3$と $CaMg(CO_3)_2$の2鉱物が1％以下、SiO_5が87%、Al_2O_3 が5％である。

サンプルNo.9の石灰質砂岩は $CaCO_3$と $CaMg(CO_3)_2$の2鉱物が25%、SiO_5が62%、Al_2O_3 が4%である。一方、ボーリングの掘削時における記録では、深度32mから40mを中心にして合計約10mの溶解空隙があると記録されている。

サンプルNo.11の石灰質片岩は $CaCO_3$と $CaMg(CO_3)_2$が33%、SiO_5が47%、Al_2O_3 が4%で構成されている。溶解空隙はボーリングコアや露頭において、全く観察されない。

サンプルNo.12の石灰岩は $CaCO_3$と $CaMg(CO_3)_2$が69%、SiO_5が14%、Al_2O_3 が3%で構成されている。露頭において、石灰岩の表面に僅かに溶食が観察される。

以上のように、右岸の高標高部に分布する石灰岩には炭酸塩鉱物が多く含まれるが、その他の岩石には少ない。

また、航空写真判読によると、石灰岩分布地域の標高500 ～600m以上の高地にカルスト地形が見られる。

(3) 貯水池の保水性

Mae Lama Luang貯水池において、地形上漏水の恐れのある所は認められない。

一方Fig.6-9 (1-2) に示すとおり、ダム右岸アバットメントは下部に石英片岩や石灰質片岩が分布するものの、上部に向かい石灰質砂岩や石灰岩へと漸移する。右岸のボーリング孔DR-1A の地下水位はEL.140m (December 26, 1988) である。地下水位より上部は、透水係数が10^{-3}～10^{-4}cm/secと高い透水性を示している。ダム右岸から上流貯水池側にかけての地層の走向はN20° ～50° W、40° ～55° NEである。

地層が山側へ傾斜し、その走向がダムを横断する方向であること、計画満水位165mに比較して地下水位が低く、この部分の透水性が高いこと、ボーリング孔(DR-6) で空隙が確認されていることなど、これらを勘案するとダム右岸部に止水処理を実施する必要があると判断される。

(4) ダムサイトの地質

－ 地　　形

ダムサイト周辺の地形はFig.6-6 に示すように、頂部の標高が 500～600mで北西～南東方向に延びる山体を主としており、ほぼそれに直交する方向にYuam川が

西へ流れている。計画ダムサイト周辺の河床標高は約65mであり、両岸の斜面はほぼ50°以上のV字状の急斜面となる所が多い。

河床付近の段丘および現河床堆積物の分布範囲は狭く、幅50m程度であり、明瞭な段丘地形は認められない。

ー 地　質

ダムサイトの地質平面をFig.6-8、地質断面をFig.6-9に示した。

計画ダムサイトの地質は、主に古生代の堆積岩から構成され、河床や斜面の一部に第四紀の堆積物が分布している。

基盤の堆積岩類は、カンブリア紀からオルドビス紀のものとされている。一般的な地層の走向はN－SないしNNW － SSEであるが、傾斜は走向とほぼ同一方向の軸をもつ褶曲の影響によって、東あるいは西に25°～70°と不規則な傾斜となっている。

ダムサイトに分布する基盤の堆積岩類は主に2つに区分される。ひとつは石英片岩および珪岩、一部石灰質片岩からなる非石灰質岩石、他のひとつは石灰岩、石灰質砂岩および一部砂岩を挟在する石灰質岩石である。非石灰質岩石は右岸のEL.250m以下および左岸のEL.225m以下に分布し、ダムサイトより1km上流のサイトNo.4において、右岸のEL.175m以下および砂岩のアバットメント全体に分布している。一方石灰質岩石は、上記の非石灰質岩石を覆う形で高標高部に分布している。ただし、前記の岩石化学分析の結果およびAppendixに示した顕微鏡観察結果によると、非石灰質岩石とした中に石灰質に富む片岩が多く、また石灰質岩石とした中に炭酸塩鉱物が少ないという事実がある。以上から判断すると、ダムサイト周辺では低標高部のやや石灰質分を含む片岩あるいは珪岩から両岸の高標高部に分布する石灰岩に漸移的に変化すると考えられる。

基盤岩類の表層の特徴として、河床部に露出する岩石は堅硬塊状であるが、ダム軸斜面のトレンチや直下流の沢部では風化しやや軟質化したものが多く認められる。また、ダム軸上のボーリングのうち、右岸のDR-1（孔口　EL.177m）では約30m、左岸のDL-1（孔口EL.167m）では約35mの風化帯があり、しかもこの部分の透水性が高い。

基盤岩類を覆う崖錐堆積物は、ダムサイト右岸下流の沢から下流域の緩斜面を中心に広く分布し、また、左岸側の下流沢沿い低標高部と左岸ダム軸上部に分布

している。その土質は、硬い礫混り粘土ないしシルトおよび小岩片である。現河床堆積物と段丘堆積物はYuam川沿いに僅かに分布している。両層とも中砂から粗砂を主体として円礫を若干含む砂礫であること、ならびに段丘地形の発達が悪いことによって両者の明瞭な区分は困難である。河床堆積物の層厚は、河床沿いの露頭状況から考えて、厚くないものと推定されるが、ボーリング（DR-4、DH-1）では層厚10mが確認されている。

－　地下水位

ボーリング孔の地下水位観測結果をTable 6-8 に示した。

－　考　　察

地表の地質状況、透水試験を含むボーリングならびに岩石試験結果から判断すると、Mae Lama Luangダムサイトに対して以下のような土木地質的評価がなされる。

・　ダムサイトに分布する岩石は新鮮、塊状、堅硬であり、計画されているダムの基礎として充分な耐荷性を有している。

・　表層の風化部および右岸高位部の石灰岩分布域を除いたダム基礎部は、3Lu以下の低い透水性を示しており、充分なしゃ水性を有している。

・　フィルダムしゃ水ゾーンの基礎における基盤岩の風化部については、掘削除去が必要となる。

・　ダム右岸部のしゃ水性を確保するために地下水位が満水位標高と同一標高になる所まで、あるいはほぼ5Lu以下の低透水部が分布する所まで改良する必要が考えられ、グラウチングによって基礎処理が可能である。

以上のとおり、Mae Lama Luangダムサイトについては、地質に関する重大な問題はないと判断される。

(5) 主要構造物地点の地質

ボーリング位置はFig.6-8 (2-2) およびFig.6-9(2-2)に示す。

－ 取水口、導水路トンネルおよび水圧鉄管

取水口の下流部にボーリングDI-1が位置している。地質は、砂質石灰岩、石灰質片岩および石灰岩からなる。表層の崖錐堆積物及び風化岩の厚さは2～3mと薄く、それより下部は新鮮で硬く、割れ目は少ない。

導水路トンネルと水圧鉄管の経過地にはボーリングDR-1、DR-1A 、DR-9が位置している。地質は上記の取水口地点と同様であり、一般に新鮮で硬い。しかし、DR-1孔の深度57～87mでは破砕によって割れ目が多くなっている。

－ 発 電 所

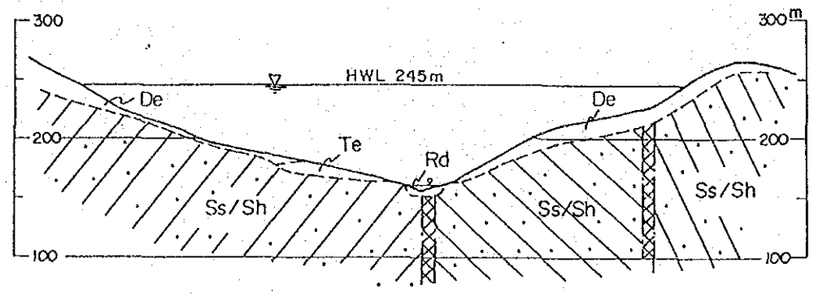
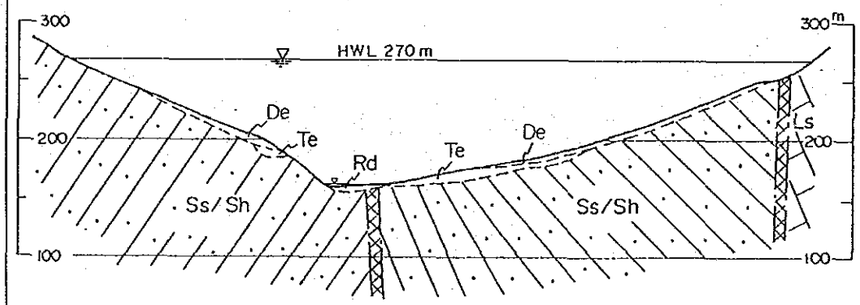
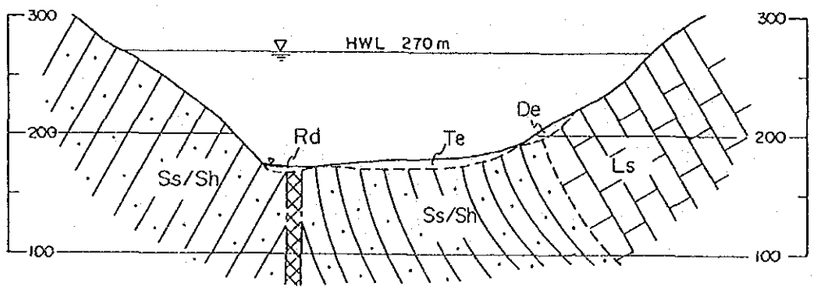
発電所地点にボーリングPH-1孔が位置している。地質は石英片岩および珪岩からなり、概ね堅硬、新鮮である。表層の崖錐堆積物および風化岩の厚さは5mであり、深度5～8mは風化し、細片化したものがみられるが、8m以深は割れ目が少なく硬くなる。また発電所背後の斜面の被りは5m前後と推定される。

－ 洪 水 吐

洪水吐ゲート計画位置にボーリングDL-1、シュート部にボーリングSP-1が位置している。地質は主に石英片岩および石灰質片岩からなる。DL-1孔においては表層の風化帯が厚く、36.3mまで細片化している。また、SP-1孔では、13.60mまで細片化している。これらの風化帯より下部は、概ね新鮮で硬くなる。

以上のとおり主要構造物計画地点では、洪水吐の上流部において厚い風化帯が認められるものの、その他については特に土木地質的に大きな問題点はない。

Table. 6-3 COMPARISON OF NAM NGAO DAM SITES

Damsite	※1 Location	Topography: Width of Ridge Left	Topography: Width of Ridge Right	Topography: Profile ※2	Geology: Foundation Rocks	Geology: Weathering, Faulting, Alteration	Geology: Overburden	Remarks
No. 1	7.5km	270m (EL. 245m)	120m (EL. 245m)		・Sandstone ・Alternation of sandstone and shale	・Weathered zone of both banks are thick ・Some lineaments (fault) are developed along the river	・Thick	
No. 2	9 km	140m (EL. 270m)	150m (EL. 270m)		・Sandstone ・Alternation of Sandstone and shale ・Limestone	・Weathered zone of left bank is thick ・Lineaments across the both banks	・Rather thick	Geological investigation work finished to date (1) Seismic prospecting explo - ration 14 lines, — 4,565m (2) Drilling 17 holes 1,042.3 m
No. 3	11.5km	70m (EL. 270m)	—		・Alternation of sandstone and shale ・Limestone	・Karstic limestone is distributed on right abutment ・Terrace deposit are widely dis - tributed on lower part of right bank	・Rather thick	

※1 Distance from confluence of the Yuam and Ngao river
※2 De:Topsoil, Residual soil and Detritus deposits Rd:River deposit Te:Terrace deposit Ls:Limestone
ss/sh:Alternation of sandstone and shale :shearedzone

Table 6-4 Quantitative Chemical Analysis of Rock (Nam Ngao Dam)

Sample No.	1/ Locality	Rock Type	Result of Analysis Composition % (Wt)	2/ Result of Norm Calculation Composition % (Wt)	3/ Result of Norm Calculation Composition % (Wt)	Remarks
1	NG2 Drill Hole DR-1 (Depth:18.85 - 18.95m)	Limestone	CaO 45.10 MgO 2.58 SiO_2 9.93 Al_2O_3 2.40 Total 60.01	CaO 80.49 MgO 5.40 SiO_2 9.93 Al_2O_3 2.40 Total 98.22	CaO 74.09 $CaMg(CO_3)_2$ 11.80 SiO_2 9.93 Al_2O_3 2.40 Total 98.22	
2	NG2 Drill Hole DR-1 (Depth:83.2 - 83.25m)	Limestone	CaO 51.89 MgO 0.47 SiO_2 3.37 Al_2O_3 1.30 Total 57.03	CaO 92.60 MgO 0.98 SiO_2 3.37 Al_2O_3 1.30 Total 98.25	$CaCO_3$ 91.43 $CaMg(CO_3)_2$ 2.15 SiO_2 3.37 Al_2O_3 1.30 Total 98.25	
3	NG2 Drill Hole DR-3 (Depth:45.9 - 46.0 m)	Calcareous Sandstone	CaO 4.11 MgO 2.85 SiO_2 69.25 Al_2O_3 12.32 Total 88.53	CaO 7.33 MgO 5.96 SiO_2 69.25 Al_2O_3 12.32 Total 94.86	$CaCO_3$ 0.26 $CaMg(CO_3)_2$ 13.03 SiO_2 69.25 Al_2O_3 12.32 Total 94.86	
4	NG2 Drill Hole DR-7 (Depth:53.0 - 53.15m)	Limestone	CaO 34.00 MgO 0.91 SiO_2 15.00 Al_2O_3 5.12 Total 55.03	CaO 60.08 MgO 1.90 SiO_2 15.00 Al_2O_3 5.12 Total 82.10	$CaCO_3$ 57.82 $CaMg(CO_3)_2$ 4.16 SiO_2 15.00 Al_2O_3 5.12 Total 82.10	Solution cavities are rare
5	NG2 Drill Hole DR-2 (Depth:75.2 - 75.3 m)	Argilla-ceous Band	CaO 18.41 MgO 1.34 SiO_2 53.53 Al_2O_3 6.19 Total 79.47	CaO 32.85 MgO 2.80 SiO_2 53.53 Al_2O_3 6.19 Total 95.37	$CaCO_3$ 29.52 $CaMg(CO_3)_2$ 6.13 SiO_2 53.53 Al_2O_3 6.19 Total 95.37	Argillaceous band in limestone
6	NG2 Right Bank Upstream of Dam axis	Limestone	CaO 38.29 MgO 0.91 SiO_2 26.96 Al_2O_3 1.86 Total 68.02	CaO 68.33 MgO 1.90 SiO_2 26.96 Al_2O_3 1.86 Total 99.05	$CaCO_3$ 66.07 $CaMg(CO_3)_2$ 4.16 SiO_2 26.96 Al_2O_3 1.86 Total 99.05	
7	NG2 Right Bank Upstream of Dam axis (Mae Lui stream)	Limestone	CaO 43.80 MgO 0.48 SiO_2 5.01 Al_2O_3 1.51 Total 50.80	CaO 78.17 MgO 1.00 SiO_2 5.01 Al_2O_3 1.51 Total 85.69	$CaCO_3$ 76.97 $CaMg(CO_3)_2$ 2.20 SiO_2 5.01 Al_2O_3 1.51 Total 85.69	Solution cavities are observid.
8	NG2 Right Bank Upstream of Dam axis	Limestone	CaO 43.40 MgO 2.07 SiO_2 4.79 Al_2O_3 0.93 Total 51.19	CaO 77.46 MgO 4.33 SiO_2 4.79 Al_2O_3 0.93 Total 87.51	$CaCO_3$ 72.32 $CaMg(CO_3)_2$ 9.47 SiO_2 4.79 Al_2O_3 0.93 Total 87.51	Solution cavities are observid.

1/ NG2; Nam Ngao dam site No.2 NG3; Nam Ngao dam site No.3

2/ All Cao are calculated as $CaCO_3$ and all Mgo are calculated as $MgCO_3$

3/ All Cao are calculated as $CaMg(CO_3)_2$ and remaining CaO are calculated as $CaCO_3$

Table 6-5 Groundwater Level of Nam Ngao Dam Site

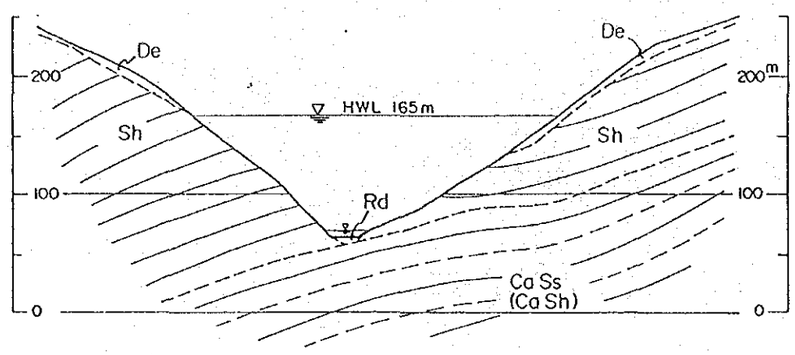
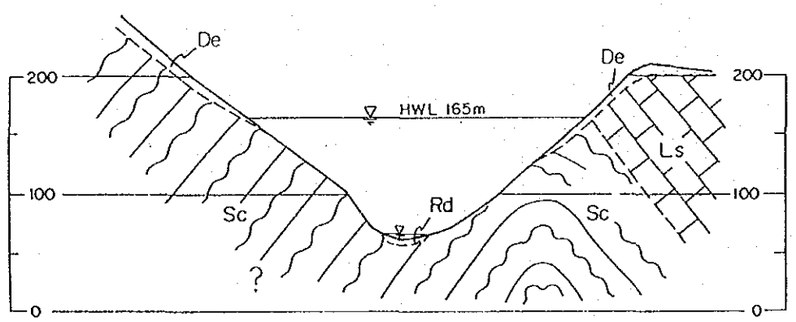
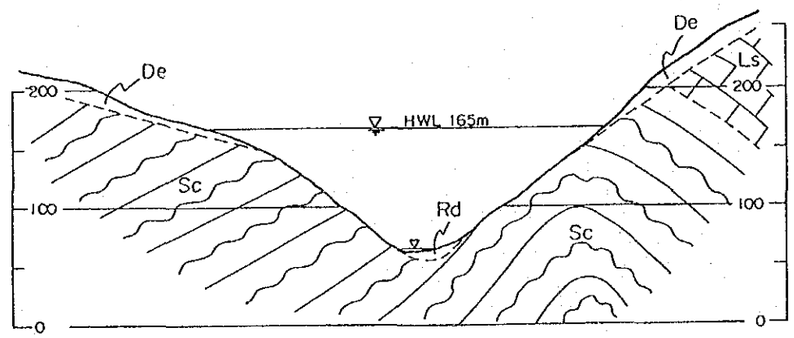
(a) Right Bank

Hole No.	Elevation (m)	Angle from Horizontal	Length (m)	Groundwater Level(m) Depth/Elevation	
				Nov. 20, 1988	Nov. 20, 1988
DR-0	271.906	90°	35.0	16.00 / 255.91	16.00 / 255.91
DR-1	271.250	90°	90.0	52.40 / 218.85	52.70 / 218.55
DR-2	223.833	90°	35.0	10.50 / 213.33	11.20 / 212.63
DR-3	180.650	90°	55.0	9.00 / 171.65	5.10 / 175.55
DR-4	161.050	90°	90.0	2.00 / 159.05	Can not be measured —
DR-5	201.725	90°	56.2	4.30 / 161 81	5.10 / 160.51
DR-6	279.969	60.S90.W	60.0	17.00 / 184.73	17.95 / 183.78
DR-7	258.802	90°	100.0	50.70 / 229.27	52.20 / 227.77
DR-7A	293.682	90°	27.0	No Water —	No Water —
DR-8	293.682	90°	90.0	14.00 / 279.68	17.65 / 276.03
Q -1	342.581	90°	59.0	No Water —	No Water —

(b) Left Bank

DL-1	220.380	90°	70.0	19.20 / 201.18	19.30 / 201.08
DL-2	302.412	90°	92.0	No Water —	No Water —
DL-3	202.043	90°	75.0	30.60 / 171.44	31.30 / 170.74
DL-4	254.454	90°	92.6	34.85 / 219.60	36.00 / 218.45
DL-4A	223.973	90°	9.0	No Water —	No Water —
DL-6	309.496	90°	76.4	56.50 / 253.00	58.80 / 250.70

Table. 6-6 COMPARISON OF MAE LAMA LUANG DAM SITES

Damsite	※1 Location	Topography: Profile ※2	Geology: Foundation Rocks	Geology: Weathering, Faulting, Alteration	Geology: Overburden	Remarks
NEA	8.5km		・Shale ・Calcareous Sandstone, Calcareous Shale, ・Limestone (upper part of left bank)	・Two faults extend across the river ・Soluble limestone is distributed from upstream to downstream on upper part of left bank	・Thin	Geological investigation work finished to date (1) Drilling 11holes 745.5 m
No.4	6 km		・Calcareous Schist ・Quartz Schist ・Quartzite ・Sandy Limestone ・Limestone	・Weathered zone is thin.	・Thin	
No.5	5 km		・Calcareous Schist ・Quartz Schist, ・Quartzite, ・Calcareous Sand-stone	・Strongly weather-ed zones are distributed on upper part of both banks	・Rather thick, especially at upper part of both banks	Geological investigation work finished to date (1) Drilling 25holes 1350.3m

※1 Distance from confluence of the Yuam and Moei river
※2 De:Topsoil, Residual soil and Detritus deposit Rd:River deposit Te:Terrace deposit Ls:Limestone Sh:shale Ss:Sandstone Sc:Schist, Quartzite, etc

Table 6-7 Quantitative Chemical Analysis of Rock (Mae Lama Luang Dam)

Sample No.	1/ Locality	Rock Name	Result of Analysis Composition % (Wt)		2/ Result of Norm Calculation Composition % (Wt)		3/ Result of Norm Calculation Composition % (Wt)		Remarks
9	NY5 Drill Hole DR-6 (Depth:32.10 - 32.20m)	Calcareous Sandstone	CaO	10.20	$CaCO_3$	18.20	$CaCO_3$	10.35	
			MgO	3.16	$MgCO_3$	6.61	$CaMg(CO_3)_2$	14.46	
			SiO_2	62.30	SiO_2	62.30	SiO_2	62.30	
			Al_2O_3	3.87	Al_2O_3	3.87	Al_2O_3	3.87	
			Total	79.53	Total	90.98	Total	90.98	
10	NY5 Drill Hole DR-6 (Depth:39.65 - 39.85m)	Sandstone	CaO	0.20	$CaCO_3$	0.36	$CaCO_3$	-	
			MgO	0.19	$MgCO_3$	0.40	$CaMg(CO_3)_2$	0.76	
			SiO_2	87.10	SiO_2	87.10	SiO_2	87.10	
			Al_2O_3	5.10	Al_2O_3	5.10	Al_2O_3	5.10	
			Total	92.59	Total	92.96	Total	92.96	
11	NY5 Drill Hole DL-5 (Depth:27.75 - 27.85m)	Calcareous Schist	CaO	12.30	$CaCO_3$	21.95	$CaCO_3$	8.44	
			MgO	5.44	$MgCO_3$	11.38	$CaMg(CO_3)_2$	24.89	
			SiO_2	47.20	SiO_2	47.20	SiO_2	47.20	
			Al_2O_3	4.36	Al_2O_3	4.36	Al_2O_3	4.36	
			Total	69.30	Total	84.89	Total	84.89	
12	NY5 Right Bank Downstream of Dam axis	Limestone	CaO	37.40	$CaCO_3$	66.75	$CaCO_3$	63.72	
			MgO	1.22	$MgCO_3$	2.55	$CaMg(CO_3)_2$	5.58	
			SiO_2	14.10	SiO_2	14.10	SiO_2	14.10	
			Al_2O_3	2.86	Al_2O_3	2.86	Al_2O_3	2.86	
			Total	55.58	Total	86.26	Total	86.26	

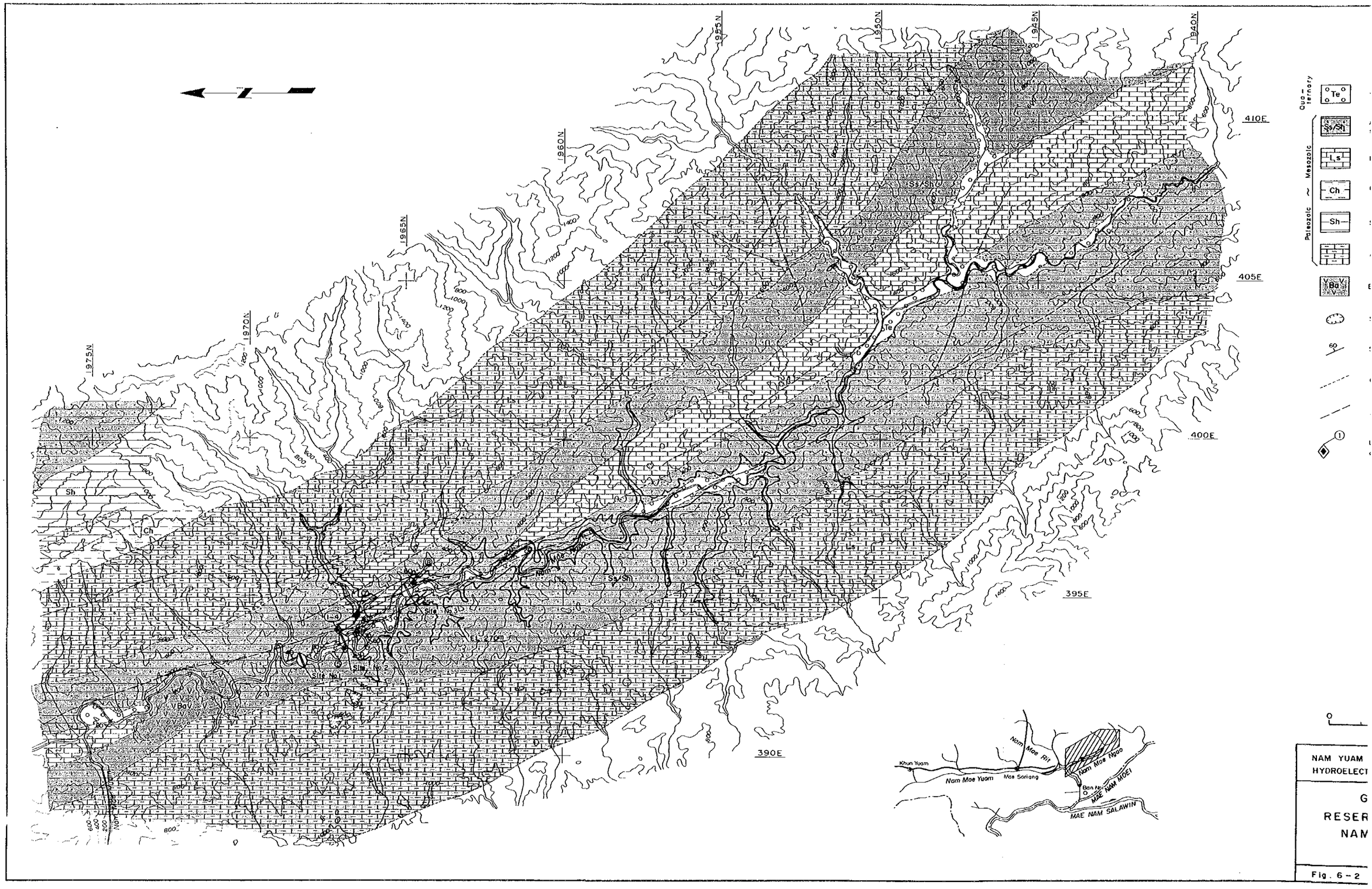
1/ NY5; Mae Lama Luang dam site No.5

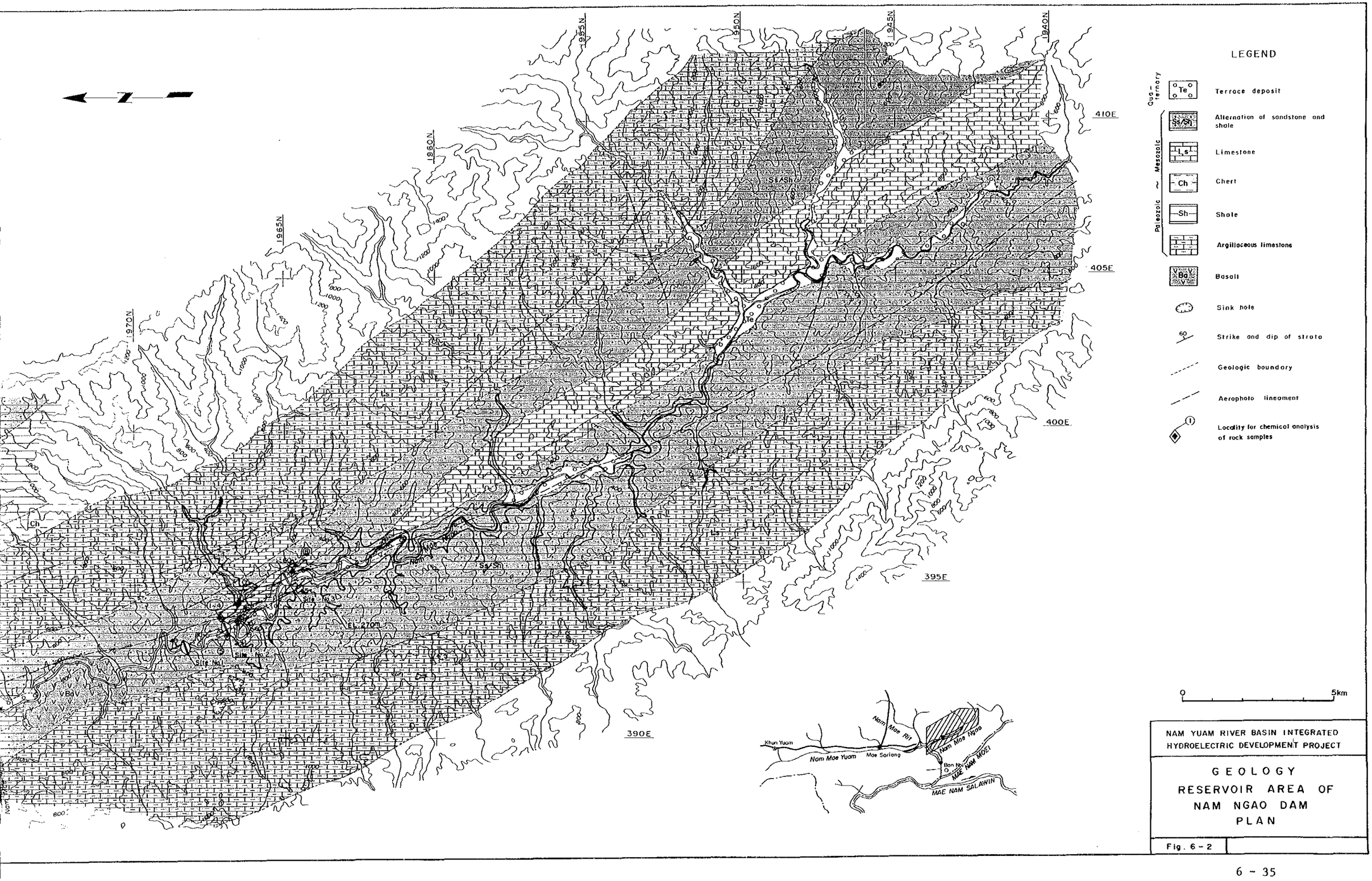
2/ All CaO are calculated as $CaCO_3$ and all MgO are calculated as $MgCO_3$

3/ All MgO are calculated as $CaMg(CO_3)_2$ and remaining CaO are calculated as $CaCO_3$

Table 6-8 Groundwater Level of Mae Lama Luang Dam Site

Hole No.	Elevation (m)	Angle from Horizontal	Length (m)	Groundwater Level(m) Depth/Elevation	
				Nov. 21, 1988	Feb. 21, 1981
DR-1	176.99	90°	96.0	—	51.50 / 125.49
DR-1A	174.27	90°	70.0	—	44.00 / 130.27
DR-2	133.36	90°	45.0	—	21.00 / 112.36
DR-3	88.99	90°	40.0	20.55 / 68.44	17.00 / 71.99
DR-5	120.73	90°	40.0	36.40 / 84.33	39.00 / 81.73
DR-6	236.59	90°	50.0	No Water	No Water
DR-7	110.30	90°	50.0	—	24.00 / 86.30
DR-8	72.51	90°	50.0	—	0 / 72.51
DL-1	166.49	90°	110.0	47.05 / 119.44	47.00 / 119.49
DL-2	126.76	90°	50.0	26.89 / 99.87	28.80 / 97.96
DL-3	107.94	90°	45.0	16.80 / 91.14	23.70 / 84.24
DL-4	99.28	90°	60.0	21.70 / 77.58	21.65 / 77.63
DL-5	201.93	90°	40.0	34.90 / 167.03	35.05 / 166.88
DL-6	145.29	90°	50.0	/	41.5 / 104.24
DL-7A	76.03	90°	40.0	/	0 / 76.03
SP-1	91.73	90°	50.0	12.00 / 79.73	12.30 / 79.43
PH-1	74.54	90°	50.0	4.90 / 69.64	27.47 / 47.07
PH-2	127.24	90°	80.0	25.20 / 102.04	5.40 / 121.84


1975N
1970N
1965N
1960N
1955N
1950N
1945N
1940N
410E
405E
400E
395E
390E
Sh
Ch
Ss/Sh
Te
Ls
Ba
Site
Site No.1
Site No.2
EL. 270m
Nam Mae Ngao
Quaternary
Te
Paleozoic ~ Mesozoic
Ss/Sh
Ls
Ch
Sh
Ba
Khun Yuam
Nam Mae Yuam
Mae Sariang
Nam Mae Pit
Nam Mae Ngao
Ban Ne
MAE NAM MOEI
MAE NAM SALAWIN
NAM YUAM
HYDROELECT
G
RESER
NAM
Fig. 6 – 2


LEGEND
Quaternary
Te
Terrace deposit
Paleozoic ~ Mesozoic
Ss/Sh
Alternation of sandstone and shale
Ls
Limestone
Ch
Chert
Sh
Shale
Argillaceous limestone
Bd
Basalt
Sink hole
60
Strike and dip of strata
Geologic boundary
Aerophoto lineament
1
Locality for chemical analysis of rock samples
0
5km
1940N
1945N
1950N
1955N
1960N
1965N
1970N
410E
405E
400E
395E
390E
Ss/Sh
Ch
Bd
Site No.1
Site No.2
Site No.3
EL. 270m
Nam Mae Rit
Nam Mae Ngao
Khun Yuam
Nam Mae Yuam
Mae Sariang
Ban Mae Nam Moei
MAE NAM MOEI
MAE NAM SALAWIN
NAM YUAM RIVER BASIN INTEGRATED HYDROELECTRIC DEVELOPMENT PROJECT
GEOLOGY
RESERVOIR AREA OF
NAM NGAO DAM
PLAN
Fig. 6-2