

タイ王国

ユアム川

水力発電開発計画

調査報告書

〔I〕

1984年3月

国際協力事業団



タイ王国

ユアム川

水力発電開発計画

調査報告書

〔I〕

JICA LIBRARY



1030820C3J

1984年3月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '84. 6. 13	122
登録No. 10374	643
	MPN

## ま え が き

日本国政府は、タイ王国政府の要請に基づき、同国のユアム河水力発電開発計画のフィージビリティ・スタディーを実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は、この委託に基づき小南 勇を団長とする調査団を編成し、1982年8月16日から1983年11月30日まで計5回にわたる現地調査を実施するとともに、帰国後その結果に基づき、データの検討、解析等の国内作業を行った。

本報告書は、この成果を取りまとめたものである。本報告書がタイ国の電源開発に寄与するとともに、わが国との友好親善促進の一助となれば幸いである。

最後に、調査に際し、多大のご協力をいただいたタイ王国政府関係諸機関、ならびに在タイ日本国大使館、外務省及び通商産業省の関係各位に対し、深甚なる謝意を表すものである。

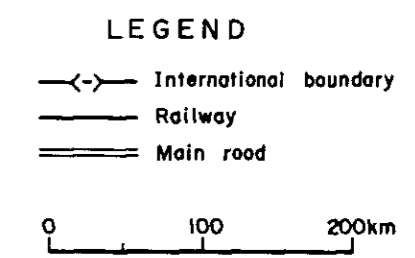
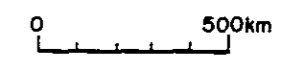
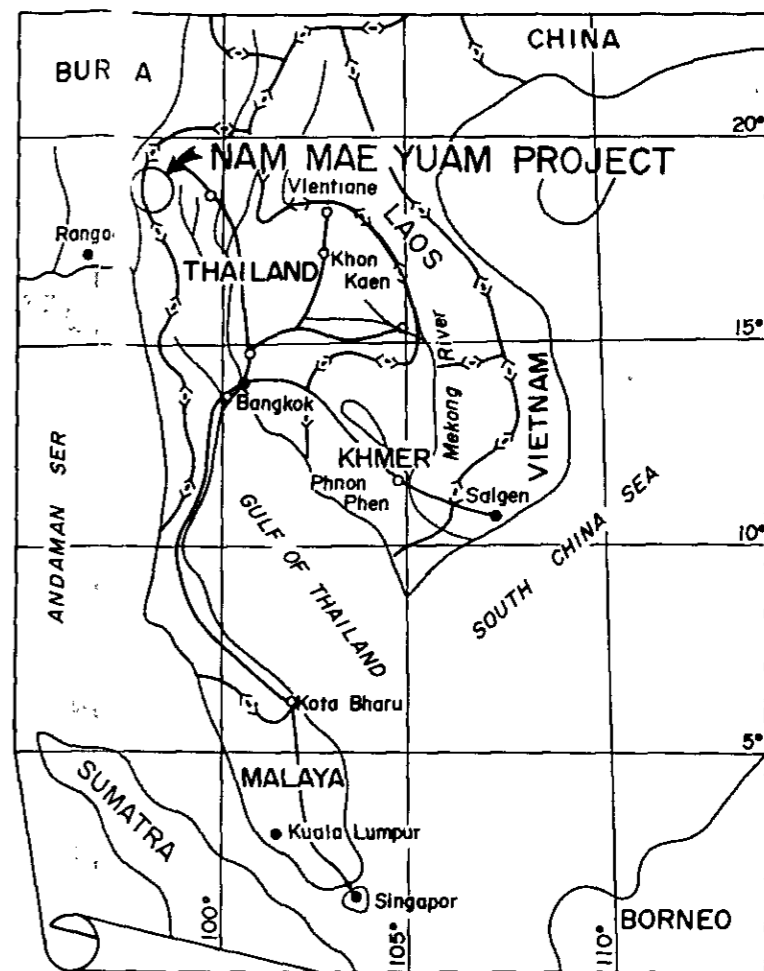
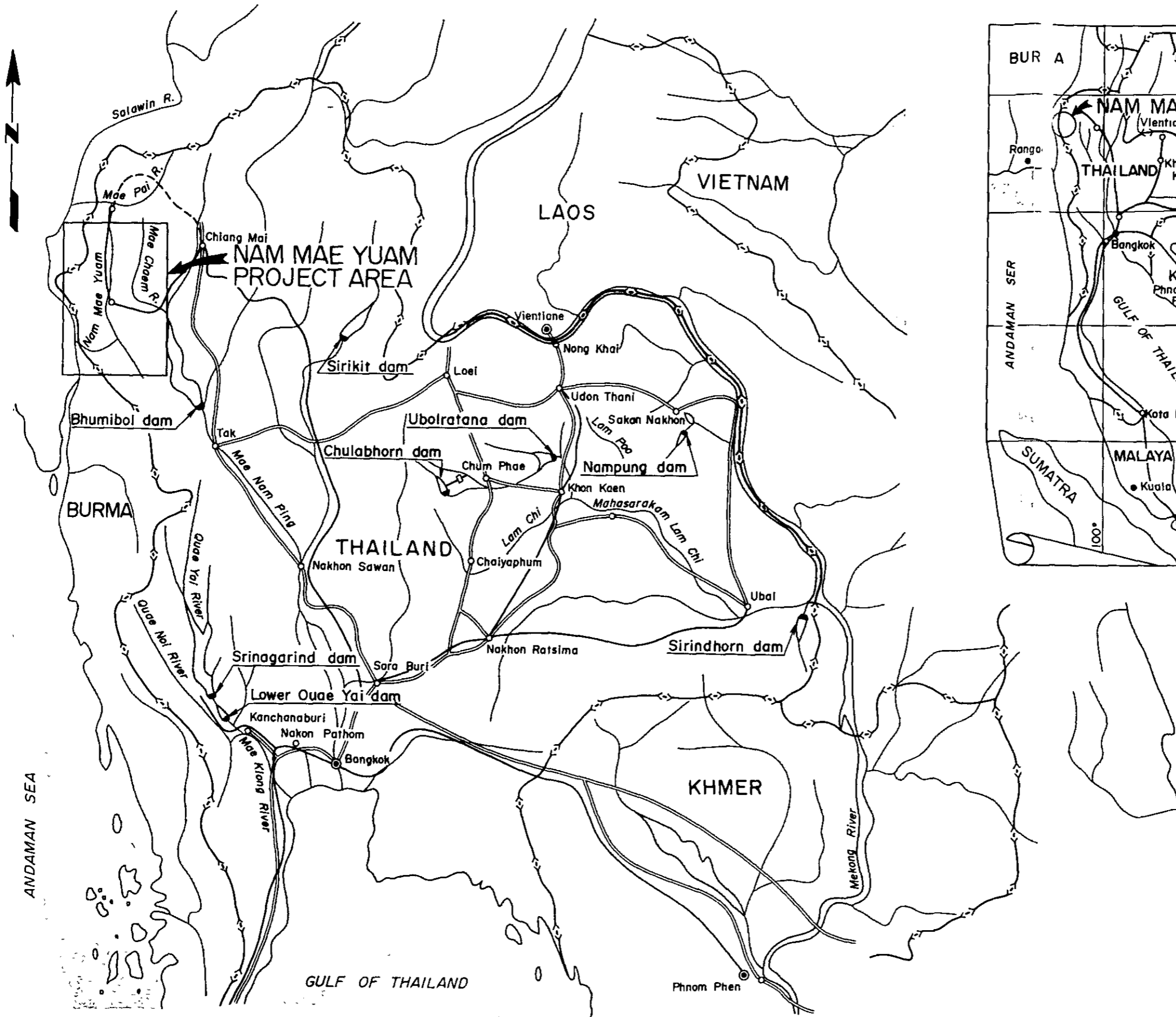
1984年 3月

国際協力事業団

総裁 有 田 圭 輔







NAM MAE YUAM PROJECT

KEY AND LOCATION MAP

March, 1984



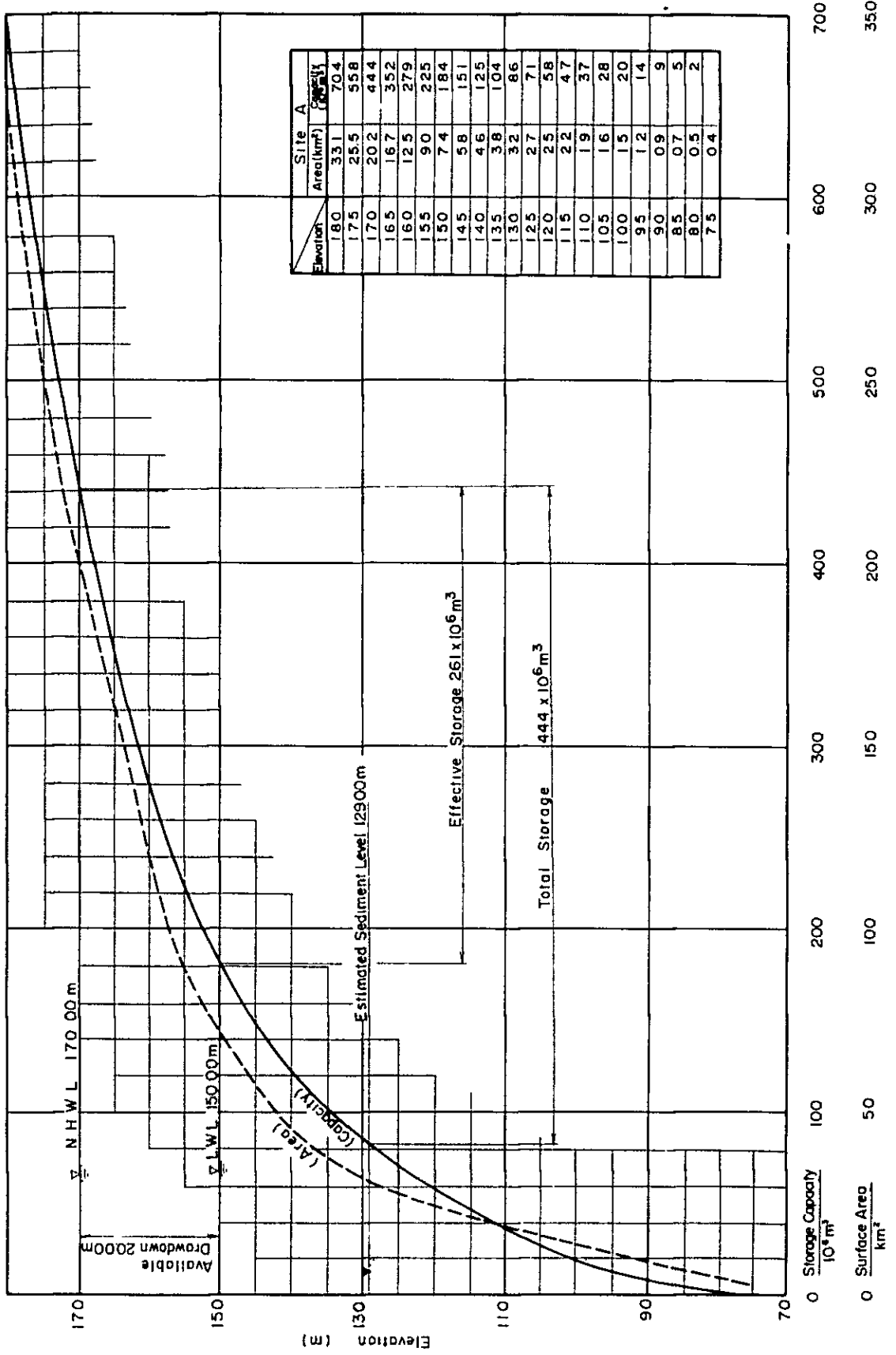
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•

計 画 諸 元

発 電 方 式	:	貯水池式
流 域 面 積	:	5,920km <sup>2</sup>
年間平均総流入量	:	2,800 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
貯 水 池	常 時 満 水 位	: 170 m
	総 貯 水 容 量	: 444 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
	有 効 貯 水 容 量	: 261 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
	利 用 水 深	: 20 m
電 力	基 準 有 効 落 差	: 87.30 m
	最 大 使 用 水 量	: 215 m <sup>3</sup> /s
	設 備 出 力	: <b>162 MW</b>
	年 間 発 生 電 力 量	: <b>565 GWH</b>
ダ ム	型 式	: 中央シャ水壁型ロックフィル
	高 さ × 提 頂 長	: 120 m × 350 m
	体 積	: 4,650 × 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
水 路	導水路トンネル (φ × L)	: 7.80 m × 240 m
	水 圧 管 路 (φ × L)	: 7.80 m × 186 m × 1 条
	" (φ × L)	: 5.50 ~ 4.40 m × 112 m × 2 条
洪 水 吐	設 計 洪 水 量	: 6,200 m <sup>3</sup> /s (P.M.F)
	洪 水 吐 容 量	: 4,770 m <sup>3</sup> /sec
	減 勢 方 式	: スキージャンプ式
水 車	形 式	: 立軸フランス水車
	台 数	: 2 台
発 電 機	形 式	: 3 相交流同期発電機
	台 数	: 2 台
送 電	区 間	: Yuam 発電所 - Tak 変電所
	電 圧 × 距 離	: 230 kV × 185 km
工 事 費	主要構造物及び発電機器	: 3,977.8 × 10 <sup>6</sup> Baht
	送電線 , その他	: 1,770.2 × 10 <sup>6</sup> Baht
	総 額	: 5,748 × 10 <sup>6</sup> Baht
経 済 性 指 標	kwh 当り発電単価 (第1次変電所入口)	: 1.24 B/kWh
	便 益 費 用 比 率	: 1.105
	年 超 過 便 益	: 70 × 10 <sup>6</sup> Baht
	内 部 収 益 率	: 11.4 %
	割 引 率	: 10 %



# Reservoir Area and Storage Capacity Curve





# 目 次

## 結論と勧告

第1章 序 論 .....	1-1
1.1 流域の概要 .....	1-1
1.2 従来の経緯 .....	1-1
1.3 業務の内容 .....	1-2
1.4 謝 辞 .....	1-6
第2章 地 質 .....	2-1
2.1 序 .....	2-1
2.2 地質調査工事 .....	2-1
2.3 広域地質 .....	2-2
2.4 各地点の地質 .....	2-3
第3章 気象および水文 .....	3-1
3.1 気象概要 .....	3-1
3.2 測水所及び気象観測所 .....	3-1
3.3 降 雨 .....	3-2
3.4 気 温 .....	3-3
3.5 相対湿度 .....	3-3
3.6 蒸 発 .....	3-4
3.7 流 量 .....	3-6
3.8 堆 砂 .....	3-7
3.9 洪水解析 .....	3-8
第4章 土木材料 .....	4-1
4.1 土質シャ水壁材料 .....	4-1
4.2 ロック及びフィルター材料 .....	4-3
4.3 コンクリート骨材 .....	4-3
4.4 追加調査の勧告 .....	4-3

第5章	開発計画	5-1
5.1	開発の必要性	5-1
5.2	既往計画	5-1
5.3	開発計画の選択	5-1
第6章	予備設計	6-1
6.1	主要構造物	6-1
6.2	電気機器	6-4
第7章	送变电計画	7-1
7.1	Nam Yuam計画に必要な送電系統	7-1
7.2	送電線の予備設計	7-4
第8章	施工計画と工事費	8-1
8.1	施工計画	8-1
8.2	工事費と資金計画	8-2
8.3	今後必要な調査	8-2
第9章	需要想定	9-1
9.1	電力需要の現状と推移	9-1
9.2	需要想定	9-1
9.3	電源開発計画	9-2
9.4	需給バランス	9-2
第10章	経済評価	10-1
10.1	経済評価の方法	10-1
10.2	プロジェクトの費用	10-1
10.3	プロジェクトの便益	10-1
10.4	経済評価	10-1
10.5	財務評価	10-3
第11章	環境問題	11-1

## LIST OF TABLES

Table 1-1	Drilling Consumption Equipment
Table 2-1	Quantitative Chemical Analysis of Rock
Table 2-2	Location of Completed Drill Hole and Additional Drill Hole (Proposed) in Damsite A
Table 3-1	Runoff Gaging Station and Available Daily Discharge
Table 3-2	Runoff Gaging Station and Available Hourly Discharge
Table 3-3	Runoff Gaging Station and Available Suspended Sediment Discharge
Table 3-4	Observatory Station and Available Daily Precipitation
Table 3-5	Observatory Station and Available Daily Evaporation
Table 3-6	Observatory Station and Available Daily Relative Humidity
Table 3-7	Observatory Station and Available Daily Temperature
Table 3-8	Observatory Station and Wind Movement
Table 3-9	Monthly List of Daily Average Runoff at Ban Tha Rua G.S.
Table 3-10	Annual Sedimentation
Table 3-11	Annual Sedimentation
Table 3-12	Annual Sedimentation
Table 3-13	Monthly List of Daily Average Precipitation at Each Observatory Station
Table 3-14	Monthly List of Daily Average Evaporation at Each Observatory Station
Table 3-15	Monthly List of Daily Average Relative Humidity at Each Observatory Station
Table 3-16	Monthly List of Daily Average Temperature at Each Observatory Station
Table 3-17	Estimation of Water Loss due to Evapotranspiration w/ or w/o Reservoir, Monthly List of Daily Average at Ban Tha Rua



Table 3-18	Estimation of Water Loss due to Evapotranspiration w/ or w/o reservoir, Monthly List of Daily Average at Sop Han
Table 3-19	Monthly Comparison of Daily Average Runoff, Observed & Estimated
Table 3-20	Monthly Comparison of Daily Average Runoff, Observed & Estimated, throughout the Period
Table 4-1	Result of Soil Tests
Table 5-1	Comparison of Project Features between Previous and Presently Proposed Schemes
Table 5-2	Benefit and Cost Rate for Studying Optimum Scale of Development
Table 5-3	Cases examined in the Study
Table 5-4	Planning Study in the 1st Stage in case of Storage Type
Table 5-5	Comparison of Reservoir Water Levels in Operation Rule
Table 5-6	Comparison of Capacities of the Project
Table 5-7	Monthly Inflow
Table 5-8	Monthly Available Discharge
Table 5-9	Monthly Energy
Table 5-10	Comparison among Yuam, Pai No.6 and Chaem No.5
Table 7-1	Economic Comparison for the Selection of 230 kV Power System for Nam Yuam Project
Table 8-1	Construction Cost
Table 8-2	Financial Program
Table 9-1	Peak balance
Table 9-2	Energy Balance
Table 10-1	Proposed Project Outline for Economic Evaluation

Table 10-2	Basic Criteria for Economic Study
Table 10-3	Fuel Cost of Alternative Thermal Power Plants
Table 10-4	Unit Construction Cost of alternative Thermal Power Plants
Table 10-5	Alternative Thermal Power Plant
Table 10-6	Economy of Project (1)
Table 10-7	Economy of Project (2)
Table 10-8	Economy of Project (3)
Table 10-9	Economy of Project (4)
Table 10-10	Economy of Project (5)
Table 10-11	Economy of Project (6)
Table 10-12	Nam Yuam Cash Flow of Economic Analysis
Table 10-13	Nam Yuam Cash Flow of Financial Analysis

## LIST OF FIGURES

- Fig. 1-1            Location Map of the Project (1)
- Fig. 1-2            Location Map of the Project (2)
- Fig. 1-3            Profile of Nam Mae Yuam
- 
- Fig. 2-1            Geology, Catchment Area, Plan
- Fig. 2-2            Geology, Reservoir Area, Plan
- Fig. 2-3            Geology, Reservoir Area, Profile
- Fig. 2-4            Geology, Damsite A, Plan
- Fig. 2-5            Geology, Damsite A, Profile A-A and Log of Drill Hole
- Fig. 2-6            Geology, Damsite A, Profile A, Profile B-B, C-C and D-D
- Fig. 2-7            Geology, Damsite C, Plan and Profile
- 
- Fig. 3-1            Observatory and Gaging Station with the Covering Area
- Fig. 3-2            Average of Monthly Precipitation
- Fig. 3-3            Annual Total Precipitation
- Fig. 3-4            Average of Monthly Temperature
- Fig. 3-5            Average of Monthly Relative Humidity
- Fig. 3-6            Average of Monthly Evaporation
- Fig. 3-7            Average of Monthly Runoff at Ban Tha Rua
- Fig. 3-8            Annual Total Runoff at Ban Tha Rua
- Fig. 3-9            Duration Curve of Nam Mae Yuam at Ban Tha Rua
- Fig. 3-10           Tank Model with Adopted Coefficients
- Fig. 3-11           Correlation of Daily Rainfall between Mae Sariang and  
Other four (4) O.Ss.
- Fig. 3-12           Estimated and Observed Runoff of Yuam River
- Fig. 3-13           Spectrum Analysis of Estimated Runoff
- Fig. 3-14           Cycle of Runoff and Rainfall

- Fig. 3-15 Recorded Flood Discharge
- Fig. 3-16 Log Normal Distribution of Flood Peak
- Fig. 3-17 Gumbel Distribution of Flood Peak
- Fig. 3-18 Comparison of Design Floods in Thailand
- Fig. 3-19 Hypothetical Isohyetal Map with Corresponding O.S.
- Fig. 3-20 Maximized Precipitation of Storms
- Fig. 3-21 PMF Discharge
- 
- Fig. 4-1 Construction Material, Borrow Area & Quarry Site
- Fig. 4-2 Construction Material, Borrow Area
- Fig. 4-3 Plasticity Chart
- Fig. 4-4 Natural Water Content of Material including All Particle-Size v.s. Percentage of Portion finer than No.200 Sieve of Material including All Particle-Size
- Fig. 4-5 Natural Water Content of Material including all Particle-Size v.s. Optimum Water Content of Material passing 19.0 mm Sieve
- Fig. 4-6 Coefficient of Permeability v.s. Percentage of Portion finer than No.200 Sieve of Material passing 19.0 mm Sieve
- Fig. 4-7 Dry Density v.s. Percentage of Portion finer than No.200 Sieve of Material passing the 19.0 mm Sieve
- Fig. 4-8 Angle of Internal Friction v.s. Percentage of Portion finer than No.200 Sieve of Material passing the 19.0 mm Sieve
- Fig. 4-9 Angle of Internal Friction v.s. Dry Density of Material passing 19.0 mm Sieve
- 
- Fig. 5-1 Mass Curve of Runoff in Nam Mae Yuam at Ban Tha Rua G.S.
- Fig. 5-2 Distribution of Firm Discharges derived from Each Year
- Fig. 5-3 Reservoir Operation Rule in the 1st Study Stage
- Fig. 5-4 Longitudinal Section of Yuam River
- Fig. 5-5 Reservoir Are and Storage Capacity Curve
- Fig. 5-6 Load Duration Curve on Heavy Load Day

Fig. 5-7	B-C, Unit Energy Cost to Annual Cost
Fig. 5-8	Avg. of Inflow, Discharge, Water Level & Monthly Output
Fig. 5-9	Comparison between Yuam and Pai No.6 Project on the Implementation Priority and the Time Lag between them
Fig. 6-1	General Layout
Fig. 6-2	Dam, Typical Section & Profile
Fig. 6-3	Spillway, Profile & Sections
Fig. 6-4	Waterway, Profile & Sections
Fig. 6-5	Powerhouse, Transverse & Longitudinal Sections
Fig. 6-6	Single Line Diagram
Fig. 6-7	Plan & Section, Nam Yuam Power Station
Fig. 6-8	Plan & Section, Switchyard
Fig. 7-1	Electric Power System of Main Part of Thailand in 1990
Fig. 7-2	EGAT's Power System Development Plan (1991-1995)
Fig. 7-3	Pattern N-①
Fig. 7-4	Pattern N-②
Fig. 7-5	Pattern S-①
Fig. 7-6	Power Flow Peak Time in 1991
Fig. 7-7	Power Flow Off-Peak Time in 1991
Fig. 7-8	Transient Stability Study for Nam Yuam Project Transmission System
Fig. 7-9	230 kV Transmission Line Route
Fig. 7-10	230 kV Transmission Line, Standard Suspension Tower
Fig. 8-1	Construction Schedule of Nam Yuam Project
Fig. 9-1	Comparison of Micro and Macro Forecast
Fig. 9-2	EGAT Power Development Plan

Fig. 9-3            Reserved Capacity Ratio in Peak Balance

Fig. 10-1           Sensitivity Analysis (1)

Fig. 10-2           Sensitivity Analysis (2)

Fig. 10-3           Sensitivity Analysis (3)

Fig. 10-4           Sensitivity Analysis (4)

Fig. 10-5           Sensitivity Analysis (5)

Fig. 10-6           Sensitivity Analysis (6)

Fig. 10-7           Sensitivity Analysis (7)

Fig. 10-8           Sensitivity Analysis (8)



## REFERENCES

### 1. Geology

- (1) Geological Map of Thailand 1:1,000,000
- (2) Geological Map of northern Thailand 1:250,000  
(by G.G.M., 1970)
- (3) Geological Map of Thailand 1:250,000  
"CHANGWAT CHIANG MAI" (by D.M., 1972)
- (4) Final Report of the German Geological Mission to Thailand,  
1965-1971 (by Geol. Surv. F.R.G., 1972)
- (5) "Short Note on Photogeological Interpretation of NAM YUAM  
Project", (by N.E.A., Aug. 1982)
- (6) "Tin and Tungsten Mineralization of the Mae Lama Mining  
District, N-W Thailand", (by S. Pitragool and S. Panupaisal,  
Dec. 1979, Geol. Soc. Malaysia Bulletin, 11, p.p.267-281)

### 2. Hydrology

- (1) Ray K. Linslay, Jr., Max A. Kohlex, Joseph L. H. Paulhus  
"Hydrology for Engineers" McGraw-Hill, Ch. 5, P168, 1975
- (2) Japan International Cooperation Agency, "Upper Quae Yai  
Hydroelectric Development Project Study "Vol.1, p.p.1-38,  
1-42, 1-49, 1980
- (3) "Handbook of Applied Hydraulics" ch.4, p.p.4-8, 4-9
- (4) Southeast Asia Technology Co., Ltd., "Environmental and  
Ecological Investigation of Lower Quae Yai Project" Vol. II,  
P.VII-7



## UNITS AND GLOSSARIES

### (1) Units

mm	:	Millimeter
cm	:	Centimeter
m	:	Meter
km	:	Kilometer
cm <sup>2</sup>	:	Square centimeter
m <sup>2</sup>	:	Square meter
km <sup>2</sup>	:	Square kilometer
m <sup>3</sup>	:	Cubic meter
kg	:	Kilogram
t	:	Metric ton
m <sup>3</sup> /sec	:	Cubic meter per second
kW	:	Kilowatt
kWh	:	Kilowatt hour
MW	:	Megawatt
GWh	:	Gigawatt hour
kV	:	Kilovolt
kVA	:	Kilovolt-Ampere
MVA	:	Megavolt-Ampere
MCM	:	Thousands of circular mils
rpm	:	Revolutions per minutes
Hz	:	Hertz (cycles per second)
El.	:	Elevation
°C	:	Degree in centigrade
mb	:	Millibar
%	:	Percentage
Lu	:	Lugeon value (rate of water loss from a drillhole)
ℓ	:	Liter
1MW	:	1,000 kW
1GWh	:	1,000,000 kWh
1barrel	:	159 ℓ
1rai	:	1,600 m <sup>2</sup>

## (2) Glossaries

### (i) Terms

US\$	:	U.S. dollar
฿	:	Baht
hrs	:	Hours
yr	:	Year
ea.	:	Each
Max.	:	Maximum
Min.	:	Minimum
cct	:	Circuit
a.c.	:	Alternative current
ACSR	:	Aluminum Conductor Steel Reinforced
ASTM	:	American Standard for Testing and Materials
CA	:	Catchment Area
FY	:	Fiscal Year
GDP	:	Gross Domestic Product
IRR	:	Internal Rate of Return
PAX	:	Private Automatic Exchanger
PMF	:	Probable Maximum Flood
PMP	:	Probable Maximum Precipitation
UHF	:	Ultra High Frequency
VHF	:	Very High Frequency

### (ii) Agencies

AIT	:	Asian Institute of Technology
EGAT	:	Electricity Generating Authority of Thailand
EPDC	:	Electric Power Development Co., Ltd.
JICA	:	Japan International Cooperation Agency

MEA	:	Metropolitan Electricity Authority
NEA	:	National Energy Administration
NESDB	:	National Economic and Social Development Board
OPEC	:	Organization of Petroleum Exporting Countries
PEA	:	Provincial Electricity Authority

## 結 論 と 勧 告

MEA : Metropolitan Electricity  
Authority  
NEA : National Energy Administration  
NESDB : National Economic and Social  
Development Board  
OPEC : Organization of Petroleum  
Exporting Countries  
PEA : Provincial Electricity Authority

## 結 論 と 勸 告



## 結 論 と 勧 告

タイ国経済の成長は著しいものがあって、それに伴い電力需要も1991年には、6,200 MW, 36,900 GWhと現在の2倍以上が見込まれ、以降も6%以上の年間の伸びが予想される。

一方、石油に代替する資源の確保は、タイ国経済の安定成長にとって極めて重要なことで、経済性のある水力発電計画の開発推進は有意義であると思われる。

コアム河は、タイ国西北部、サルウィン河の支流であって、比較的雨量の多い6,000km<sup>2</sup>の流域を持ち、本計画地点はチェンマイ西南170kmのビルマとの国境に程近く位置している。

設備出力162 MW, 年間発生電力量565 GWhの貯水池計画が最適と結論づけられる。また発生した電力は、タークまで185 km, 230 kVの送電線で送り、バンコック周辺の需要に対応させることが適切である。

事業費は $5,748 \times 10^6$  Bであって、十分経済性が得られ、技術的にも特に困難な点はなく、1990年代のなるべく早い時期に開発されることが望ましい。

ダム、発電所周辺の地質は、堅硬な中生代の頁岩であって難点はない。貯水池の湛水区域にはかなりの部分に石灰質の岩石が分布しているが、広汎な調査を行った結果、漏水の問題はないと判断される。ただし、ダム直上流の左岸に分布している石灰質岩石層の処置は若干注意して行う必要がある。本調査の段階では、その処置のため相当な範囲に遮水幕を形成することを考慮し、その経費を工事費に計上しておいたが、実施の段階までにはさらに綿密な調査を行い、検討する必要がある。

ダム盛立に用いる土質材料については、代表的な箇所について試験を行った結果、質的には一応満足出来る成果を得た。しかし、試験箇所の区域だけでは量的に不足すると考えられるため、近傍類似の区域も追加し、さらに調査を進めることが必要である。また、ロック材料採取の際、付帯的に生産される材料を積極的に利用し、これらを混ぜ合わせて使うことが有効であり、ロック材料採取の施工計画を具体化するためにもロック材料区域の調査を速やかに実施することが望ましい。

なお、水没する家屋の移転を含め、環境問題の現況を調査し、影響を考え、その対策を講ずることは開発にとって極めて重要なことである。

今後、実施設計に必要な技術的な調査工事は各章に記載される。

最後に、今回の調査検討には本計画のバイNa 6計画、チェムNa 5計画との比較が要求されている。これらの計画はマスタープラン段階であり、また、開発推進にとって極めて重要な要素である環境問題の調査も行われていない。したがって、正しい優先順位の比較は難しいのであるが、単純に技術的・経済的に比較した結果、バイNa 6計画はユアム計画より若干優れており、開発順位として、まずバイNa 6を開発し、2、3年遅れてユアム計画を開発することが有利と判断され



る。一方，チェム№5計画は至近年の経済性では，その開発はかなり困難と判断される。

# 第 1 章

## 序 論



# 第 1 章 序 論

## 1.1 流域の概要

Yuam川はビルマとの国境線をなしている Moei 川の支流である。

この Moei 川は Yuam川と合流した後、チベットに源を発しビルマ国内を貫流してアンダマン海に注いでいる Salween 川に合流する。

Yuam 川流域はしたがってタイ国内では西北隅に位置し、又 Chiang Mai を中心として眺めればその西部から西南部にかけて広がるビルマ国境に隣接する地域に属する。流域の範囲は東西約 60km 南北約 160km に亘りその面積は約 6,000km<sup>2</sup> に及ぶ。

流域の東西方向にはタイ国内で最も高い標高 1,000m 級の山脈が連って居り南北に長い盆地状の地形を形成している。中心地は Changwat Mae Hong Son に属する Amphoe Mae Sariang (人口約 2 万人) である。盆地の北部以遠は同じく Salween 川の支流である Pai 川の流域となる。

Yuam 川はこの盆地の北端に源を発して南流し、Mae Sariang の南方約 40 km 地点で反対方向から流下して来る支流の Ngao 川と合流した後、ほぼ直角に流れの方向を西に転じ、Ban Tha Rua の部落、ダムサイトを經由して Moei 川と合流する。

Chiang Mai と Mae Sariang とを結ぶ国道 108 号線は、Chiang Mai の西南西にそびえるタイ国最高峰の Doi Inthanon (標高 2,595m) の東側の麓を走り、Chom Thong を經由した後、Ping 川支流の Chaem 川沿いに Yuam 盆地東側の高原を越え Mae Sariang に至る。この間約 200 km である。その後真直ぐに北上して Khun Yuam 經由、Pai 川流域の中心地である Mae Hong Son に達している。一方、Mae Sariang から南に向う道路は現在、改良及び新設工事が進められており、Ngao 川合流点の約 40 km 区間は未舗装であるが良好な道路である。

盆地の内部は灌漑設備が整備されて居り、見事な水田が広がっている。特に Mae Sariang の上流約 13 km 地点には王立灌漑局 (Royal Irrigation Department) によって建設された取水設備があり、ここから右岸側台地内に容量約 4 m<sup>3</sup>/s 程度の幹線水路が走っている。この設備によって Mae Sariang の下流約 10 km 迄の間、面積にして約 1,200 ha の水田が灌漑されている。山側の高地一帯は広葉樹林に覆われておりチーク材も多く、空中視察では隣接する Pai 川、Chaem 川上流域より林相は良いようである。

## 1.2 従来 of 経緯

タイ国の経済は 1970 年代において平均年率 7.4 % の成長率を示し、これに伴い電力需要の伸び率も年率 12 ~ 15 % という高い水準で推移して来た。NESDB, NEA, EGAT, MEA およ

び PEA の 5 者によって現在電力料金小委員会需要想定作業部会 (Load Forecast Working Group for Power Tariff Study Sub-committee) が構成されているが、この Group が最近作成したタイ国電力系統需要予測 (Load Forecast for Thailand Electric System, June 1982) によれば今後の需要の伸びは 1980 年代初期の年率 14% 程度から 1990 年代の 6% 台へと漸減して行くものと予測されている。

NEA はこの様な需要の伸びを考慮しつつ各種電源開発の可能性調査を鋭意、実施して来た。特に国内の賦存天然資源の開発、即ち水力、天然ガス、あるいはリグナイト等の開発利用については極めて積極的である。この様な背景のもと、NEA は近年、未開発水力電源としてタイ北部、特に Salween 川支流流域の包蔵水力に着目し開発に必要な調査を実施して来た。その最初の調査が先に実施された Pai 川及び Chaem 川電源開発計画調査マスタープランであった。本 Yuam 川計画は同じく Salween 川支流流域内の調査としてそれに続くものである。

タイ国における水力の開発は国内を北から南へと貫流する Chaophraya 川支流 Pin 川における Bhumibol ダム (420MW)、同じく Nan 川における Sirikit ダム (375MW)、Mae Klong 川支流 Quae Yai 川における Srinagarind ダム (720MW) 等において大規模に実施されて来て居り、現在 Quae Noi 川における Khao Laem ダム (300MW) 及び南タイにおける Chiew Larn ダム (240MW) が工事中である他、Srinagarind ダムの上流に計画された Upper Quae Yai ダム (580MW) が着工待ちとなっている。これらの開発の結果、タイ国の地理的条件を考えると今後残された大規模水力電源としては主として Mae Khong 川及び Salween 川等の国際河川もしくはその周辺に限定されて来つつあると考えられる。

しかしながら Mae Khong 川は関係諸国が多く、国際的に複雑な要因がからみ近い将来、開発が実現するとは期待しがたい。この点からも Salween 川周辺流域の早期開発が期待されるところであり、本 Yuam 川水力発電開発計画は既に予備調査を終了した Pai 川及び Chaem 川開発計画と共にタイ国内における Salween 川流域での初の大規模水力電源開発計画として期待される。

### 1.3 業務の内容

本調査業務の目的は NEA が Yuam 川に計画した水力発電開発プロジェクトのフェージビリティスタディーを実施し、その技術的、経済的可能性を検討することにある。又、同時に隣接する Pai 川及び Chaem 川に計画され予備調査の終了している Pai No. 6 及 Chaem No. 5 との比較を行う。

調査は発電を目的とした土木、地質及電気各技術部門、又これらの調査結果からプロジェクト便益を評価、分析しその経済性を判定する経済の部門について実施される。

本スタディーの為に現地調査は第 1 次として 1982 年 8 月 16 日から 9 月 15 日迄、第 2 次として 1982 年 10 月 16 日から 12 月 25 日迄の 2 回に亘り実施された。又調査工事施工監

理の為の団員派遣は1983年2月22日から3月20日迄、1983年6月12日から6月23日迄及び、1983年11月7日から11月30日迄の3回に亘り実施された。現地調査には次の様な項目が含まれた。

- 開発を必要とする社会経済的背景及び電力需要
- Yuam川流域の地形、地質及び河川の状況
- ダム、発電所等構造物設置地点の地形及び地質
- ダム築堤材料　　コンクリート骨材等の材料調査
- 工事用資材、労務費及び建設費等
- 工事用資機材、水車発電機等の輸送経路
- 送電線及び通信設備のルート
- スタディーに必要な資料の収集　　等

その他第1次調査においてはJICAから供与される調査用消耗資材の内容及び土質材料調査の実施方法等について両者で協議した。この結果、調査用消耗資材についてはTable 1-1に示す内容により合意し、第2次調査の際引渡しを完了した。又、土質材料調査については室内試験を調査団とAIT(Asian Institute of Technology)との間で委託契約を締結して実施した他NEA試験室においても実施された。日本国内におけるフィージビリティスタディーには次の如き作業が含まれる。

尚、計画地点の地形図の作成、地質調査の為のボーリング及び土質材料調査の為の立坑掘削、サンプリング等はすべてNEAの手により実施された。

- 計画の規模とレイアウトの選定(Pai No 6, Chaem No 5との比較を含む)
- 水文解析
- 計画地点の地質の解析
- 土質材料の分析
- ダム、発電所等構造物の基本設計
- 電気設備の基本設計
- 送電線計画と系統解析
- 工事費の算出と資金計画
- 計画の経済評価
- 環境問題

環境アセスメントについてはNEAにより実施され、本レポートとは別に環境レポートが作成されることとなっているが、本レポートにおいても環境問題に関する調査項目を列挙する様求められているので、スタディー項目に含めたものである。

現地調査団の団員及び調査に当り協力を得たタイ側関係者は次の通りである。

第1次調査	小南勇	団長	(EPDC)
	中澤義博	土木技師	(EPDC)
	津田延裕	地質技師	(EPDC)
	新井文令	土木技師	(EPDC)
第2次調査	小南勇	団長	(EPDC)
	中澤義博	土木技師	(EPDC)
	木内治	土木技師	(EPDC)
	新井文令	土木技師	(EPDC)
	津田延裕	地質技師	(EPDC)
	角南基亮	地質技師	(KAS)
	佐藤忠雄	電気技師	(EPDC)
	竹谷幸照	電気技師	(EPDC)
調査工事施工監理	伊藤具	経済	(EPDC)
	中澤義博	土木技師	(EPDC)
	木内治	土木技師	(EPDC)
	新井文令	土木技師	(EPDC)
	柴田祐啓	地質技師	(EPDC)
津田延裕	地質技師	(EPDC)	

**タイ側関係者**

DTEC      Mr. Sutin Susila      Colombo Plan Sub-Division

NEA

Mr. Tammachart Srivadhanakul

Director, Regulatory Division

Mr. Suvat Saguanwongse

Director, Investigation and Planning Division

Mr. Winya Sinchermsiri

Head, Investigation Branch

Mr. Mohar Singh Monga

Head, Planning Branch

Mr. Sompong Sripyak

Chief, Engineering Geology Section

Mr. Aram Supakarn

Chief, Surveying Section

Mr. Lek Suwanthada

Acting Chief, Water Resources Planning Section

Mr. Somchai Kurupakorn

Engineering Geologist

Mr. Adul Chaiaroon

Civil Engineer

Mr. Suebsak Punsri

Surveying Engineer

Mr. Phadet Saengsawang

Planning Engineer

Mr. Wichit Wetchaphan

Civil Engineer

Mr. Somnuk Lealitham

Civil Engineer

Mr. Manit Rodphai

Geologist

Mr. Kamol Karunamit

Geologist

Mr. Rangsan Sarochawikasit

Electric Engineer

Mr. Preecha Seneewongse

Project Economist

Mr. Kanung Srikaew

Project Economist

EGAT

Mr. Payak Ratnarathorn

Chief, Water Resources Planning and Development Division

Mr. Prasit Srisaichuea

Irrigation Engineer, Water Resources Planning and Develop-



ment Division

Mr. Niwat Kulkarnjanathorn

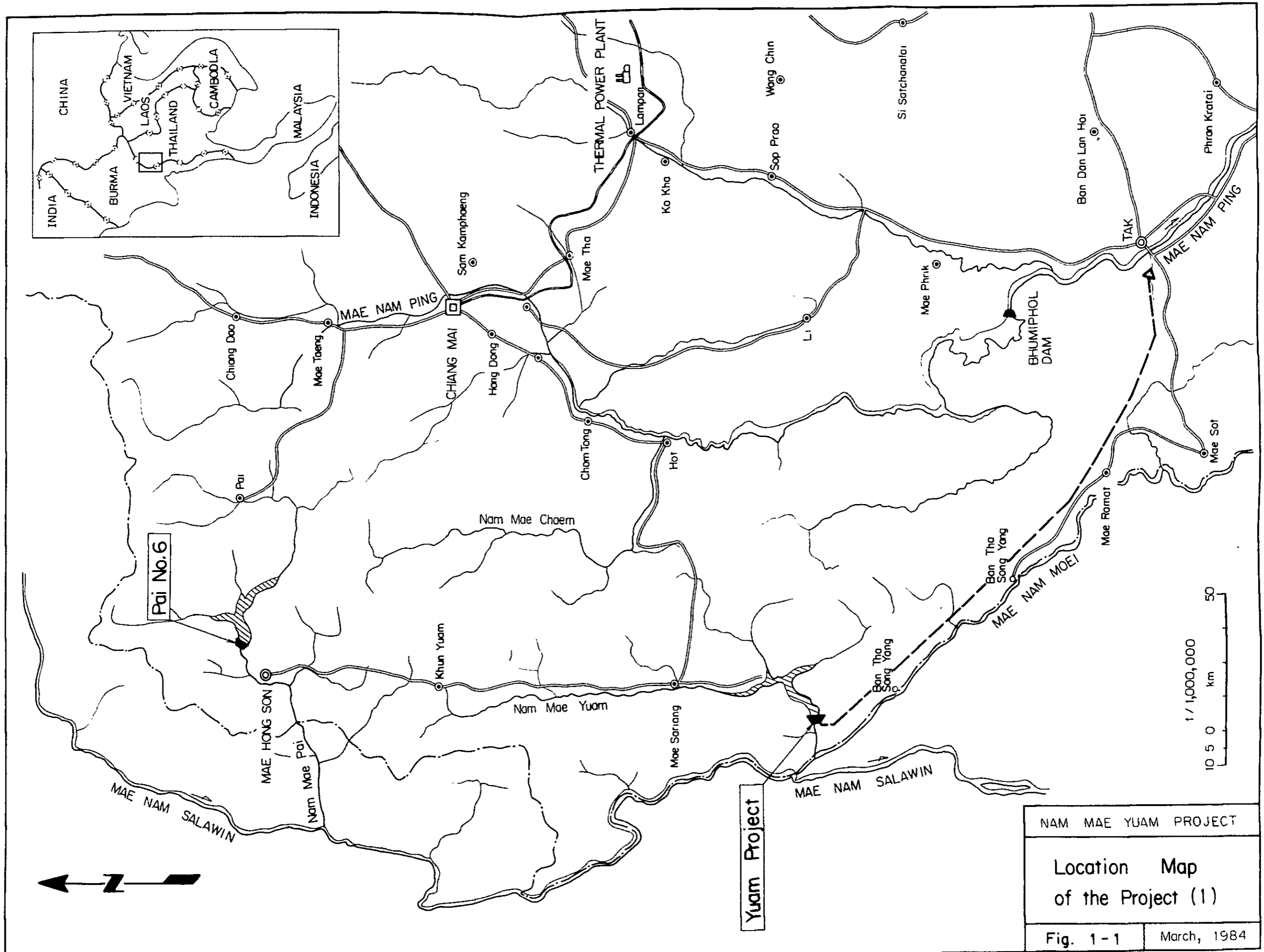
Agricultural Engineer, Water Resources Planning and  
Development Division

#### 1.4 謝 辞 ( Acknowledgment )

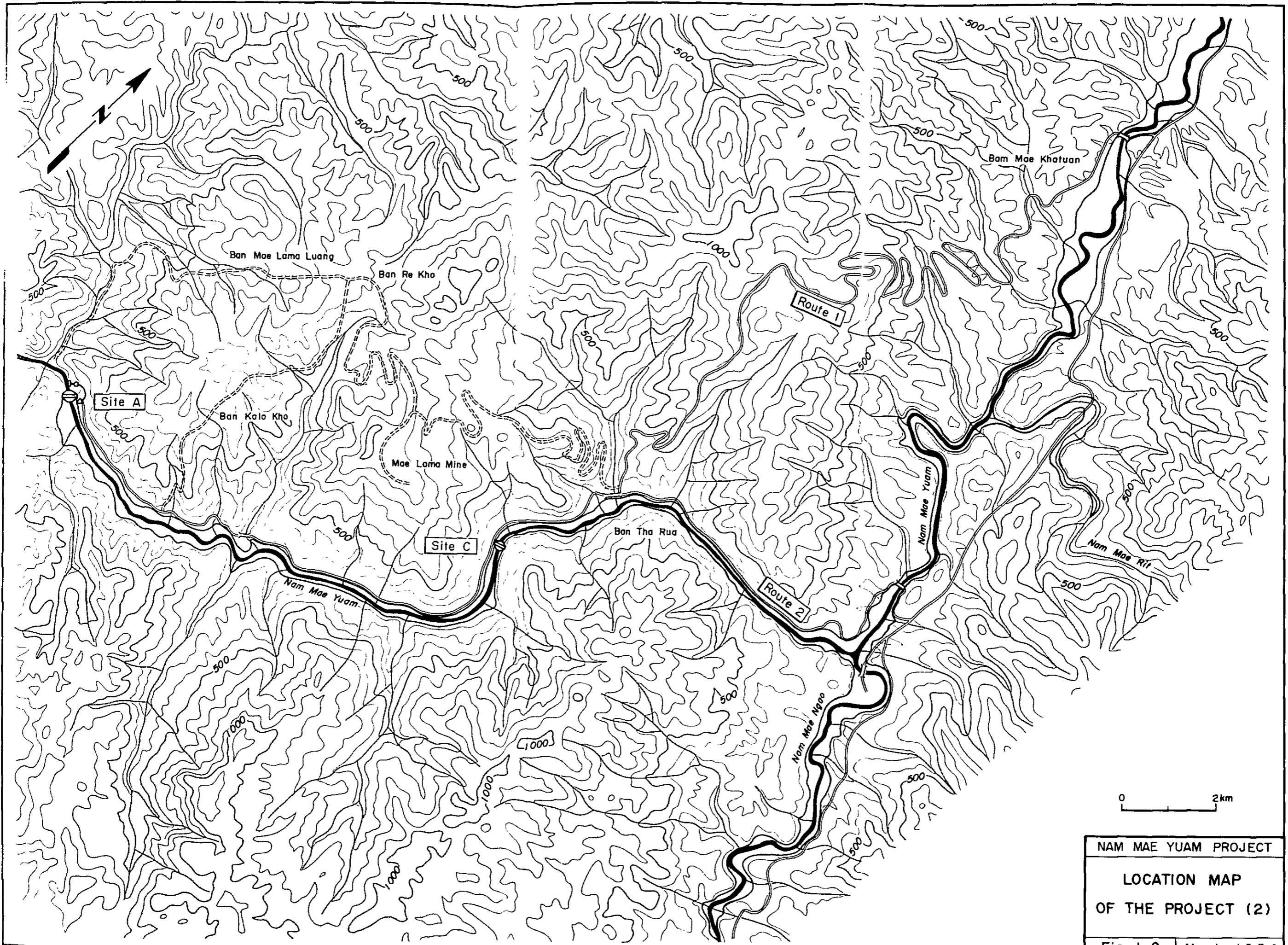
本レポートの作成に当り示された N E A をはじめ多くのタイ側関係者の誠実で温かい協力に対し、深甚なる謝意と敬意を表したい。又、側面から援助を頂いた在タイ日本大使館並びに J I C A 関係者に対し、深く感謝するものであります。

Table 1-1 Drilling Consumption Equipment

Item	Description	Quantity
1.	Double tube core barrel NW × 3.0 m	4 sets
2.	Double tube core barrel NW × 1.5 m	4 sets
3.	Outer tube, NW × 3.0 m	4 pieces
4.	Outer tube, NW × 1.5 m	4 "
5.	Inner tube, NW × 3.0 m	4 "
6.	Inner tube, NW × 1.5 m	4 "
7.	Core lifter, NW	60 "
8.	Core lifter case, NW	30 "
9.	Diamond Reaming Shell, NW (6.6 carat)	10 "
10.	Diamond Bit, NW (24 carat)	39 "
11.	Casing Shoe Bit (Diamond), NW (20 carat)	10 "
12.	Rod, NW × 3.0 m	45 "
13.	Rod, NW × 1.5 m	10 "
14.	Casing Pipe, NW × 3.0 m	40 "
15.	Casing Pipe, NW × 1.5 m	10 "
16.	Packer Rubber, NW	50 "
17.	Pressure Gage (35 kg/cm <sup>2</sup> )	12 "
18.	Water meter	2 "



NAM MAE YUAM PROJECT	
Location Map of the Project (1)	
Fig. 1-1	March, 1984





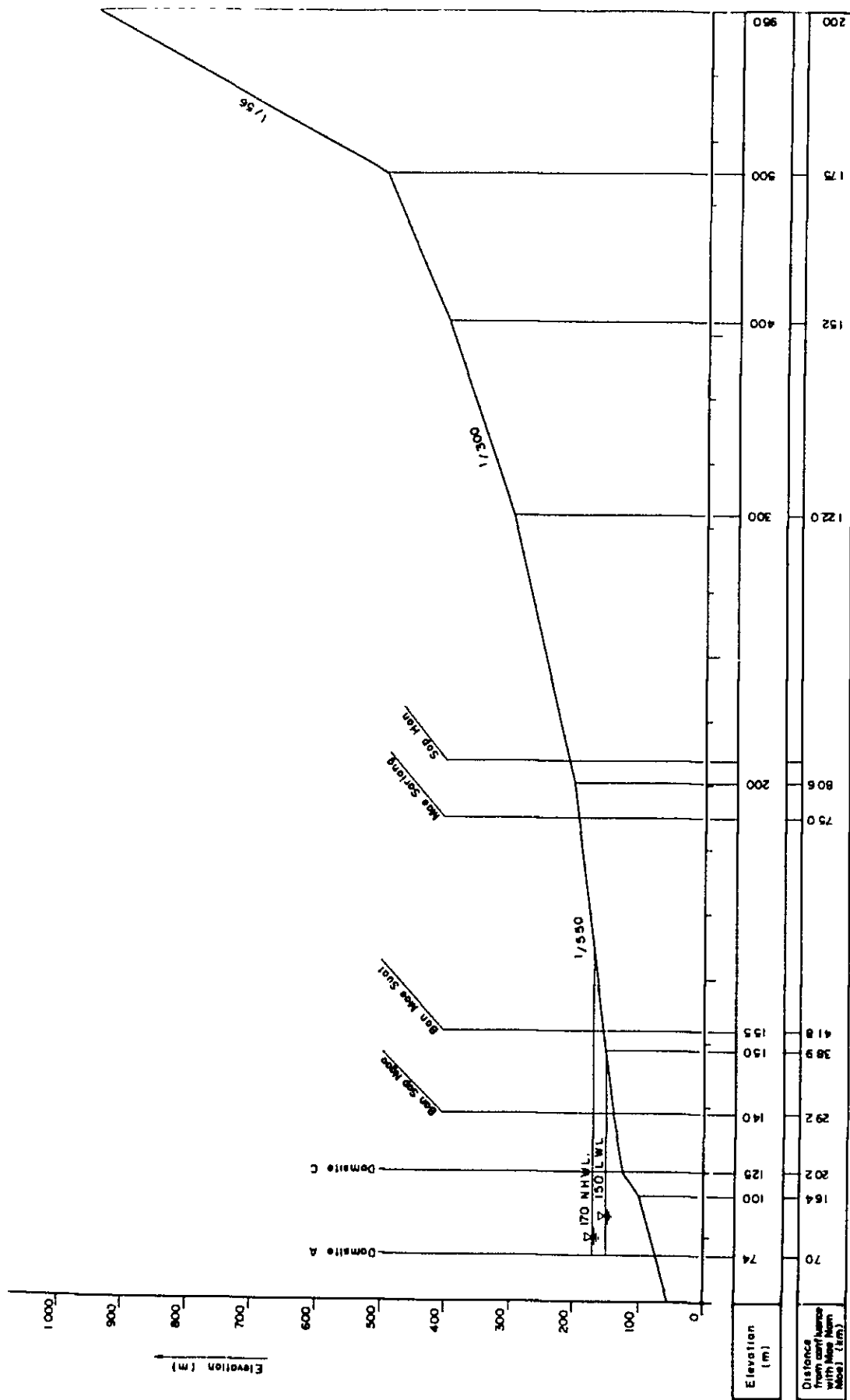


Fig. 1-3 Profile of Nam Mae Yuam



## 第 2 章

# 地 質





## 第 2 章 地 質

### 2.1 序

今回行なわれた調査は第 1 章に述べた水力発電計画の可能性調査であり、1982年から1984年にわたり実施された。

1982年にNEAにより本計画地域の貯水池周辺の簡単な航空写真判読が行なわれている。しかしながら、それ以外の調査工事は、今回の可能性調査以前には全く実施されていない。従って、本報告書内の地質的検討は、1982年から1984年に実施した航空写真判読、地表地質踏査、ボーリング等の諸調査の結果に基づいてなされたものである。

### 2.2 地質調査工事

本計画の貯水池地域の地質調査は、航空写真地質判読に基づき実施され、地表地質踏査は主として河川沿いに行なわれた。また集水域全体の地質については、Geological map of northern Thailand, 1:250000 (by G.G.M, 1981)とGeological map of Thailand, 1:250000 "Changwat Chiang Mai" (by D.M.R, 1970)を参考とした。

本調査で実施した調査方法と数量は以下の通りである。

#### ○航空写真判読

判読地域；貯水池とその周辺を含む地域約700 km<sup>2</sup>

写真縮尺；1:20,000及び1:15,000

#### ○地表地質踏査

踏査地域；貯水池内とその周辺の河川沿い、ダム地点およびその周辺

地形図縮尺；1:10,000 (1:50,000の拡大、貯水池周辺)

1:10,000 (航測図、貯水池内)

1:2,000 (実測図、ダムサイトA付近)

#### ○ボーリング (透水試験を含む)

調査地域；ダムサイトA地域

数 量；11孔、総延長745.5 m

#### ○土質材料テストピット

調査地域；ダムサイトA地域

数 量；12坑

#### ○岩石化学分析

数 量；21試料

## 2.3 広域地質

### 1) 地 形

Yuam 川は、北緯 19° 東経 98° 付近の Khuh Yuam 近くに源を発し、Mae Sariang 盆地内を蛇行しながら、南へ、約 120 km 流れている。一方 Yuam 川第 1 の支流である Ngao 川は、北緯 17°40′ 東経 98° 付近から北北西方向に約 40 km 流れ、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 30 km 流れた後にタイ国とビルマ国の国境をなす Salween 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 25 km 付近まで、広くひろけた盆地が発達しているが、それより下流及び Ngao 川沿いは、一般に急峻な峡谷となっている。

面積約 6,000 km<sup>2</sup> のダムサイト A の集水域は、Fig 2-1 に示すように東西が約 30 ~ 50 km、南北が約 160 km の南北方向に細長く延びた形をしている。集水域の西側の境界は、Doi Wi Cho Lo (標高 1,056 m) から直線的に南へ延びる標高 1,000 m 前後の山地よりなり、東側の境界は Doi Phate Do (標高 1,821 m) より南方へ延びている標高 1,500 m ~ 1,800 m の山地よりなっている。

### 2) 地 質

計画地域は、Fig 2-1 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、この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、と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 ~ 20 km 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。

## 2.4 各地点の地質

### 1) 貯水池の地質

#### (i) 地 形

貯水池周辺は、標高700~1000mの山地よりなる。これらの山地は標高600m付近以上では起伏のゆるやかな山容となっていることが多い。一方、標高600m付近からYuam川河床付近までは、急峻な斜面となっている。特にNgao川との合流点より下流のYuam川沿いは、峡谷となっており、満水位標高170mでの谷幅（貯水池の幅）は、100~300mである。

貯水池最上流部にあたるHuai ma lamu と Yuam 川の合流点より上流では、Yuam川沿いに谷底平野が開けており、貯水池の幅も約1 Kmと広がっている。

#### (ii) 地 質

##### a) 一般地質

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~中生層は貯水池地域で最も広く分布しており、珪岩、珪質砂岩、砂岩・頁岩互層、頁岩、石灰質頁岩、石灰質砂岩、石灰岩よりなる。これらは一般に南北ないし北北西の走向をなし、30~60°東、又は西へ傾斜している。

珪岩及び珪質砂岩は、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 2-2に示すように、ダムサイトAとダムサイトCのほぼ中間にあるHuai La Cho Kra川及びHuai La Po Kra川沿いには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が、その西の端付近では、砂岩・頁岩互層へと変化している。

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50 cm~1mの砂岩中に厚さ1 cm以下の頁岩が挟まれているものまで変化している。また、これらは微褶曲が激しく、波長1~10 mの南北方向に軸を持つ褶曲構造が多く観察される。この互層はHuai La Cho Kra川より東側に繰り返し南北方向に帯状に分布している。

頁岩は、灰~黒色を呈し、数cm~20 cm間隔でbandedした堅硬なものである。これは、波長約50 mの褶曲を繰り返しており、さらに小さな褶曲も頻繁に観察される。頁岩層はダムサイトA付近を通り、幅約400mで北北西-南南東方向に分布している。ただし、ダム地点の地質の項で述べるように、ダムサイトA左岸直上流付近から、南南東へ約1.8 kmの間、その分布が途切れている。

石灰質頁岩は、灰~黒色を呈しており、非石灰質頁岩と同じ岩相のものと、巾3~5 cmで黒色部と灰色部が互層しているものがある。後者の場合、灰色部の方が黒色

部より、多く溶食されているが、一般に溶解空隙はほとんど見られない。また、貯水池の東部にあたる Nam Mae Rit 川付近に分布する石灰質頁岩中には、かなり珪質な部分が存在する。

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。ほとんど砂質の部分からのみなる場合と、灰色泥質なラミナが密に入っている場合があり、前者は、塊状堅硬であるが、後者は、泥質なラミナに沿って割れやすい傾向にある。この石灰質砂岩中には、溶解空隙は、ほとんど観察されない。これらはダムサイト A の直上流と、直下流に北北西—南南東の走向で西へ 30° 前後の傾斜を持って分布している。

石灰岩には、暗灰色または灰白色塊状なもの、暗灰～灰色または淡褐色をなし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 5～40 cm 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は、化学組成的にも岩相的にも、塊状な石灰岩と石灰質砂岩との中間的なものであり、溶解空隙は、径 1 cm 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が、Yuam 川と Ngao 川の合流点付近およびダムサイト A 左岸上流付近にも若干、広く分布している。

花崗岩は、貯水池内では、Ban Tha Rua 下流の Yuam 川沿いに、長さ約 6 km、幅約 3.5 km の小岩体として中～古生層に貫入している。文献によればこの花崗岩の年代は 70～80 m・y であり、計画地域東部に広く分布している 200 m・y 前後の花崗岩より、時代的にかなり新しいものである。

玄武岩は、Ngao 川沿いの Yuam 川との合流点より約 1 km 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 2～4 km 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、破碎幅は数 m である。航空写真判読の結果によれば、この断層は Ngao 川右岸沿いに南へ延びているものと思われる。

## b) カルスト現象

### ○ 岩石の化学分析結果と溶解空隙

貯水池内に分布する岩石の炭酸塩鉱物含有量を知る目的で岩石の定量化学分析を行なった。分析試料は塊状な石灰岩が7個、ラミナの発達した石灰岩及び砂質石灰岩が8個、石灰質砂岩が3個、頁岩及び砂岩が3個である。

分析した成分は、CaO、MgO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の4成分である。分析結果はTable 2-1に示す通りである。

塊状な石灰岩はCaCO<sub>3</sub>とCaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>の2鉱物が90~94%、SiO<sub>2</sub>とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が5~8%(SiO<sub>2</sub>4~8%)で構成されている。この塊状な石灰岩中には、節理面に沿って、幅5~40cmの溶解空隙が形成されていることが多く、その一部には砂礫で充填されているものがある。

ラミナの発達した石灰岩及び砂質石灰岩は、CaCO<sub>3</sub>とCaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>が77~85%、SiO<sub>2</sub>とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が12~21%(SiO<sub>2</sub>11~18%)で構成されている。溶解空隙は、これらの岩石中には径約1cmのものが、わずかに見られる程度である。

石灰質砂岩は、CaCO<sub>3</sub>とCaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>が48~60%、SiO<sub>2</sub>とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が32~44%(SiO<sub>2</sub>27~42%)で構成されている。溶解空隙は、多くの場合、全く観察されない。

頁岩及び砂岩はCaCO<sub>3</sub>とCaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>が0~12%、SiO<sub>2</sub>とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が84~89%(SiO<sub>2</sub>81~85%)で構成されている。

以上のように、塊状な石灰岩以外の岩石は、SiO<sub>2</sub>とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の含有量が多いため溶食に対して強い抵抗力を持っている。

#### ○カルスト地形

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。

シンクホールは、直径約50~100mの楕円ないし円形をしており、数個が群をなして分布する傾向にある。航空写真から明瞭な吸い込み口そのものは判読できない。また直径500~1000mに及ぶくぼ地の内に数個のシンクホールが存在する地形が判読される。

#### c) 流 水

貯水池周辺の主要な沢は非石灰質岩石または弱石灰質岩石中を流れていることが多く、多量の流水が乾期である3月にも見られる。非石灰質岩石の分布する地域は、例えばダムサイトA右岸の沢、Huai Mae Lama Luangの支流、Ban Tha Rua近くの沢のように、かなり小さな沢にも乾期と雨期による流量の差はあっても、年間を通じた流水が見られる。一方石灰岩が広く分布しているBan Re KhoとダムサイトAの間の小さな沢には、流水が見られる場合もあるが、一般に流水は見られないことが多い。

湧水は、石灰岩分布地域の崖錐におおわれた山裾部にいくつか見られる。例えば、

ダムサイトA左岸上流付近(EL.80m)、右岸約1km上流(EL.90m)、右岸約2.5km上流(EL.300m)及びNgao川との合流点より上流のYuam川沿い(EL.90m)にいくつか見られるが、それらの湧水量は少ない。

主要な沢の流水の状況は以下の通りである。

沢の名称	流 水	地 質
Huai Mae Lamu	多 量(EL.400mまで確認)	砂岩・頁岩互層
Nam mae rit	多 量(EL.200mまで確認)	砂岩・頁岩互層(一部石灰岩と石灰質頁岩)
Huai Sai Yong	多 量(EL.500mまで確認)	砂岩・頁岩互層
Huai La Cho Kra	多 量(EL.700mまで確認)	珪岩(一部石灰岩)
Huai La Po Kra	多 量(EL.200mまで確認)	珪岩
Huai U Ya Kra	多 量(EL.600mまで確認)	石灰質砂岩、頁岩

### (iii) 貯水池の保水性

本貯水池の保水性は、以下に述べる理由により保証されると判断している。

- 貯水池上流域では、貯水池はほぼ南北方向に延びている。この地域の貯水池左岸(東側)及び右岸(西側)には、砂岩・頁岩互層が、貯水池にはほぼ平行して、南北方向に分布している。また左岸側では、この互層分布域のさらに東方に、花崗岩が集水域全体にわたって貫入している。これら非石灰質岩石が貯水池上流域から左右岸方向への漏水に対する遮水層となっている。
- 貯水池中流域及び下流域では貯水池は、ほぼ東西方向に延びている。この地域の下流部(西部)では、頁岩がダムサイトAを通り、河川にはほぼ直交する北北西-南南東の走向、 $30\sim 60^\circ$ 西傾斜で分布している。この頁岩層はダムサイトAの右岸(北方)では集水域外を通っているが、計画満水位170mよりも高い所まで分布している。またダムサイトA付近では、石灰質砂岩が、頁岩層の上流側(東側)に分布しており、これら、頁岩、石灰質砂岩が、貯水池中・下流域から、下流(西方)への漏水に対する遮水層となるものと思われる。
- 貯水池中、下流域から、貯水池左岸(南側)または右岸(北側)方向への漏水経路は、もしあるとすれば、ダムサイトAとLa Cho Kra川の間を通過して河川にはほぼ直交し、南北方向に分布する石灰岩層及びBan Tha RuaとYuam川、Ngao川合流点の間を通過して、同じく南北方向に分布する石灰岩層を経路とするものが考えられる。しかしながら、これら石灰岩層が他流域の標高170m(計画満水位)以下の所に達するには、前者で15km以上、後者で30km以上の距離が必要である。また、すでに述べたようにこの石灰岩層に見られる溶解空隙は、径5~40cmのものであり、著しい連続性を有するものではない。従って、この石灰岩層中を、上記のような長い距

離を流れて漏水が起こる可能性は大変小さいものと思われる。

- 貯水池内では、顕著な断層が貯水池上流域の Yuam 川左岸（東側）に観察される。これは、ほぼ垂直で、貯水池にほぼ平行な南北方向の走向を持っており、集水域外までは達していない。また、そのほとんどが非石灰質岩石を通過しており、断層に沿った溶食は発生していない。従って、この断層を通じた漏水の可能性はないであろう。
- 航空写真判読により、断層の可能性のある顕著なリニアメントが La Oho Kra 川、La Po Kra 川沿いに見られる。しかしながら、この地域には珪岩が分布しており、両河川には計画満水位標高 170m 以上まで乾期においても流水が見られることから判断して、ここからの漏水の可能性はないであろう。

## 2) ダムサイト A の地質

### (i) 地 質

ダムサイトは河床幅約 40 m の V 字谷に位置している。右岸斜面は約 35° の傾斜をなしており、河床付近に崖錐堆積物が若干、厚く分布するものの、満水位標高 (EL, 170 m) 付近まで崖錐の厚さは、薄く、一部に露岩が見られる。一方、左岸斜面は約 40° の傾斜をなし、河床付近から満水位標高付近までは露岩が見られるが、さらに標高の高い所では、斜面の傾斜が若干、ゆるやかになり、崖錐におおわれている。

ダムサイトは主に、頁岩と石灰質砂岩よりなる。頁岩は、ダム軸の約 50 m 上流付近より下流側に、ダム軸にほぼ平行な N10~20W、30~60SW の走向傾斜で分布している。この頁岩は、暗灰~黒色をなし、かなり新鮮で堅硬なものである。層理面は、数 cm ~ 20 cm の間隔で発達しており、また N40~60°E、70~80°SE の走向、傾斜を持つ節理が観察されるが、これらの層理面、及び節理面は一般に密着しており、挟在物をはさんでいない。'貯水池の地質' の項で述べたようにこの頁岩層は、北方（右岸側）へは数 km にわたり分布しているのが確認されるが、南方（左岸側）では、ダム地点の南南西約 600 m 付近で、その分布が途切れている。

石灰質砂岩は、Cofferdam 付近に頁岩とほぼ同じ走向、傾斜で分布している。石灰質砂岩には、灰色泥質ラミナが密に入っているものと、ラミナの少ない塊状なものがあり、両者とも堅硬ではあるが、ラミナが密に入っているものは、そのラミナに沿って割れやすい傾向にある。また、ダム軸の上流右岸の沢に見られるように、この石灰質砂岩層の一部はラミナの発達した石灰岩となっている。

断層は、右岸ダム軸付近に N15W75W の走向傾斜をなし、破砕幅 200 cm のものと、ダム軸より約 100 m 上流の左岸に、N55E 垂直の走向傾斜で破砕幅 200 cm のものがある。いずれの断層も、破砕帯内に断層粘土はなく、層理面の痕跡が残っている。

また、左岸ダム軸上流に見られる断層付近では、幅 10~20 cm の層理面に沿った破砕が



観察される。

### (iii) 考 察

地表の地質状況、ダム基礎を構成する岩石の化学分析結果及び透水試験を含むボーリングの結果から判断すると、ダムサイトA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Aに分布する岩石は計画されているダムの基礎として、十分な耐荷性を持っている。
- ダムサイトAに分布する石灰質砂岩の化学分析データ、及びThailandでの類似したデータ(e.g. Srinagarind damsite, Nam Chon damsite)から判断して、ダム建設に障害となるような大きなCaveが存在する可能性はほとんどない。
- 透水試験の結果によると、ダム基礎深部の透水性は、河床から右岸にかけて1～4 Lu、左岸で3～7 Luと低い値を示している。一方、ダム基礎浅部では、パッカーのわからない部分があり、そこでは、透水試験としてパッカー法の代わりにGravity testが実施されている。その結果によると、この部分は $10^{-4}$  cm/secオーダーの透水係数を示している。

以上の結果から、ダム基礎を構成する岩石は、グラウト処理により十分所要の不透水性を得られるものと判断される。

- ダム左岸直上流の一部の地域では、計画満水位以下まで石灰岩が分布し、また、地表において流水が観察されない。

この地域で掘削されたボーリングDL-4(EL. 191.4 m)では、地表下4.3 mに地下水位が存在しているものの、ダム軸近くのボーリングDL-1、DL-2では地下水位が確認されていない。従って、左岸の広い範囲にわたり、地下水位を確認するための追加調査をする必要がある。

### 3) 主要構造物地点の地質

取水口、導水路、水圧管路、発電所、洪水吐はいずれも一般に堅硬な頁岩中に位置している。

- 取水口地点は急峻な地形をなし崖錐のかぶりも薄い。基礎をなす頁岩はおおむね堅硬である。
- 水圧管路経過地は、緩やかな斜面をなし、厚い崖錐堆積物におおわれている。従って、基盤の状況、崖錐の厚さを確認するための追加調査が必要である。
- 発電所基礎は、おおむね堅硬な頁岩よりなり、背後斜面の崖錐もあまり厚くなく、特に問題はないであろう。
- 洪水吐下流部付近は厚い崖錐と風化岩が分布しており、掘削法面の安定に留意する必要がある。

#### 4) ダムサイトCの地質

##### (i) 地 質

ダムサイトCは、ダムサイトAの約12 km上流、Ban Tha Ruaの約3 km下流に位置している。

ダムサイトは、河床幅約30 mのV字谷をなしており、左岸斜面は約40°、右岸斜面は約35°の傾斜をなしている。

ダム基礎は、古生層に貫入した花崗岩よりなる。この花崗岩は、標高の高い所では強く風化しているが、河床より計画満水位（EL、175）付近までは、河川の侵食作用により、かなり新鮮で堅硬な岩盤が露出している。ただし、この花崗岩中には、E-W、20 S、N-S 垂直、N40W 垂直、の走向・傾斜を持つ節理が発達しており、その節理面に沿って風化が進行し、径数mのブロック状となっていることが多い。当地点の河床砂礫の厚さは、地形から推定すると、5 m程度と考えられる。

##### (ii) 考 察

- 現在計画している規模のコンクリートダムの基礎として、耐荷性の点で特に問題はないものと思われる。
- 透水性に関しては、節理沿いの高透水部が考えられるが、一般的な規模のグラウト処理で、十分改良できるものと思われる。

#### 5) 追加調査工事

ダムサイトA及び主要構造物地点に対し、今後の詳細設計を行なうために、Table2-2、Fig2-4に示す追加地質調査が必要と考えられる。

追加調査工事数量は以下に示す通りである。

ボーリング      8 孔      800m

Table 2-1 Quantitative Chemical Analysis of Rock

Locality No.	Locality	Rock Name	Result of analysis		1/ Result of norm calculation		2/ Result of norm calculation		Remarks
			Composition	% (wt)	Composition	% (wt)	Composition	% (wt)	
①	Nam Mae Rit	Limestone (massive)	CaO	51.57	CaCO <sub>3</sub>	92.08	CaCO <sub>3</sub>	90.08	Width of solution cavity is 10 - 40 centimeters
			MgO	0.79	MgCO <sub>3</sub>	1.69	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3.69	
			SiO <sub>2</sub>	4.76			SiO <sub>2</sub>	4.76	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.09			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.09	
			Total	58.21	Total	93.77	Total	99.62	
②	Tributary of Huai Mae Lama EL.350 m	Limestone (massive)	CaO	51.11	CaCO <sub>3</sub>	91.18	CaCO <sub>3</sub>	88.78	Width of solution cavity is 30 - 50 centimeters
			MgO	0.97	MgCO <sub>3</sub>	2.02	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4.43	
			SiO <sub>2</sub>	3.68			SiO <sub>2</sub>	3.68	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.43			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.43	
			Total	56.19	Total	93.20	Total	97.32	
③	Left bank downstream of A dam axis	Limestone (massive)	CaO	50.68	CaCO <sub>3</sub>	90.48	CaCO <sub>3</sub>	87.98	Width of solution cavity is 1 - 5 centimeters
			MgO	0.99	MgCO <sub>3</sub>	2.11	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4.61	
			SiO <sub>2</sub>	4.89			SiO <sub>2</sub>	4.89	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.40			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.40	
			Total	56.96	Total	92.59	Total	97.88	
④	Ban Tha Rua	Limestone (massive)	CaO	51.06	CaCO <sub>3</sub>	91.08	CaCO <sub>3</sub>	89.48	Width of solution cavity is 1 - 10 centimeters
			MgO	0.65	MgCO <sub>3</sub>	1.35	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.95	
			SiO <sub>2</sub>	5.57			SiO <sub>2</sub>	5.57	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.76			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.76	
			Total	59.04	Total	92.43	Total	99.76	
⑤	Right bank upstream of A dam axis	Limestone (massive)	CaO	50.66	CaCO <sub>3</sub>	90.38	CaCO <sub>3</sub>	88.38	Width of solution cavity is 20 - 30 centimeters
			MgO	0.79	MgCO <sub>3</sub>	1.69	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3.69	
			SiO <sub>2</sub>	6.37			SiO <sub>2</sub>	6.37	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.34			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.34	
			Total	59.16	Total	92.07	Total	99.78	
⑥	Tributary of Huai Mae Lama EL.270 m	Limestone (massive)	CaO	49.25	CaCO <sub>3</sub>	87.88	CaCO <sub>3</sub>	84.58	Width of solution cavity is 10 - 50 centimeters
			MgO	1.34	MgCO <sub>3</sub>	2.78	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6.09	
			SiO <sub>2</sub>	7.85			SiO <sub>2</sub>	7.85	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.41			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.41	
			Total	58.85	Total	90.66	Total	98.93	
⑦	Ban Re Kho	Limestone (massive)	CaO	49.76	CaCO <sub>3</sub>	88.78	CaCO <sub>3</sub>	87.48	Width of solution cavity is 1 - 30 centimeters
			MgO	0.51	MgCO <sub>3</sub>	1.10	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.40	
			SiO <sub>2</sub>	4.67			SiO <sub>2</sub>	4.67	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.05			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.05	
			Total	56.99	Total	89.88	Total	96.60	
⑧	Tributary of Huai Mae Lama Luang EL.230 m (laminated)	Limestone	CaO	44.19	CaCO <sub>3</sub>	78.87	CaCO <sub>3</sub>	71.46	Solution cavity is rare
			MgO	2.99	MgCO <sub>3</sub>	5.14	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	13.65	
			SiO <sub>2</sub>	15.05			SiO <sub>2</sub>	15.05	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.65			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.65	
			Total	62.88	Total	84.01	Total	100.81	
⑨	Right bank upstream of A dam axis	Limestone (laminated)	CaO	40.71	CaCO <sub>3</sub>	72.67	CaCO <sub>3</sub>	60.95	Solution cavity is rare
			MgO	4.72	MgCO <sub>3</sub>	9.87	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	21.58	
			SiO <sub>2</sub>	16.12			SiO <sub>2</sub>	16.12	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.77			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.77	
			Total	62.32	Total	82.54	Total	99.42	
⑩	Right bank upstream of A dam axis	Limestone (laminated)	CaO	39.75	CaCO <sub>3</sub>	70.96	CaCO <sub>3</sub>	57.25	Solution cavity is rare
			MgO	5.51	MgCO <sub>3</sub>	11.55	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	25.26	
			SiO <sub>2</sub>	17.38			SiO <sub>2</sub>	17.38	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.28			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.28	
			Total	63.92	Total	82.51	Total	101.17	
⑪	Tributary of Huai Mae Lama Luang EL.310 m	Siliceous limestone	CaO	42.19	CaCO <sub>3</sub>	75.27	CaCO <sub>3</sub>	67.86	Width of solution cavity is 1 centimeter
			MgO	2.98	MgCO <sub>3</sub>	6.24	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	13.65	
			SiO <sub>2</sub>	11.20			SiO <sub>2</sub>	11.20	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.31			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.31	
			Total	56.68	Total	81.51	Total	94.02	

Table 2-1 Quantitative Chemical Analysis of Rock (cont'd.)

Locality No.	Locality	Rock Name	Result of analysis		1/ Result of norm calculation		2/ Result of norm calculation		Remarks
			Composition	% (wt)	Composition	% (wt)	Composition	% (wt)	
12	Left bank downstream of A dam axis	Limestone (laminated)	CaO	42.42	CaCO <sub>3</sub>	75.67	CaCO <sub>3</sub>	69.56	Solution cavity is not observed
			MgO	2.44	MgCO <sub>3</sub>	5.14	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	11.25	
			SiO <sub>2</sub>	11.03			SiO <sub>2</sub>	11.03	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.64			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.64	
			Total	56.53	Total	80.81	Total	92.48	
13	Left bank downstream of A dam axis	Sandy (limestone)	CaO	26.99	CaCO <sub>3</sub>	48.14	CaCO <sub>3</sub>	10.21	Solution cavity is rare
			MgO	15.28	MgCO <sub>3</sub>	31.96	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	69.89	
			SiO <sub>2</sub>	13.03			SiO <sub>2</sub>	13.03	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.01			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.01	
			Total	63.31	Total	80.10	Total	101.14	
14	Ngao river	Limestone (banded)	CaO	42.94	CaCO <sub>3</sub>	76.67	CaCO <sub>3</sub>	73.87	Solution cavity is not observed
			MgO	1.13	MgCO <sub>3</sub>	2.36	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	5.16	
			SiO <sub>2</sub>	18.19			SiO <sub>2</sub>	18.19	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.65			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.65	
			Total	62.91	Total	79.03	Total	97.87	
15	Nam Mae Rit	Limestone (laminated)	CaO	42.35	CaCO <sub>3</sub>	75.57	CaCO <sub>3</sub>	73.67	Solution cavity is rare
			MgO	0.75	MgCO <sub>3</sub>	1.60	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3.50	
			SiO <sub>2</sub>	18.28			SiO <sub>2</sub>	18.28	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.15			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.15	
			Total	64.53	Total	77.17	Total	98.60	
16	Left bank upstream of A dam axis	Siliceous Limestone (Calcareous sandstone)	CaO	23.69	CaCO <sub>3</sub>	42.24	CaCO <sub>3</sub>	21.42	Solution cavity is rare
			MgO	8.40	MgCO <sub>3</sub>	17.54	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	38.36	
			SiO <sub>2</sub>	26.66			SiO <sub>2</sub>	26.66	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.26			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.26	
			Total	64.01	Total	59.78	Total	91.70	
17	Left bank upstream of A dam axis	Calcareous sandstone	CaO	21.95	CaCO <sub>3</sub>	39.14	CaCO <sub>3</sub>	26.92	Solution cavity is not observed
			MgO	4.92	MgCO <sub>3</sub>	10.29	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	22.50	
			SiO <sub>2</sub>	41.84			SiO <sub>2</sub>	41.84	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.48			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.48	
			Total	71.59	Total	49.43	Total	93.74	
18	Left bank upstream of A dam axis	Calcareous sandstone	CaO	21.29	CaCO <sub>3</sub>	38.03	CaCO <sub>3</sub>	26.72	Solution cavity is not observed
			MgO	4.56	MgCO <sub>3</sub>	9.53	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	20.84	
			SiO <sub>2</sub>	35.68			SiO <sub>2</sub>	35.68	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.65			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.65	
			Total	66.18	Total	47.56	Total	87.89	
19	Right bank of A dam axis	Shale	CaO	0.57			CaCO <sub>3</sub>		
			MgO	2.69			CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	12.36	
			SiO <sub>2</sub>	84.03			SiO <sub>2</sub>	84.03	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26	
			Total	87.58	Total		Total	96.65	
20	Hua Mae Luma	Sandstone	CaO	2.19			CaCO <sub>3</sub>	1.40	
			MgO	0.99			CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4.61	
			SiO <sub>2</sub>	81.09			SiO <sub>2</sub>	81.09	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.15			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.15	
			Total	87.42	Total		Total	90.25	
21	Right bank upstream of A dam axis	Sandstone	CaO	Trace			CaCO <sub>3</sub>	-	
			MgO	0.05			CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.18	
			SiO <sub>2</sub>	84.84			SiO <sub>2</sub>	84.84	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.88			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.88	
			Total	88.77	Total		Total	88.90	

1/ All CaO are calculated as CaCO<sub>3</sub> and all MgO are calculated as MgCO<sub>3</sub>

2/ All MgO are calculated as CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and remaining CaO are calculated as CaCO<sub>3</sub>

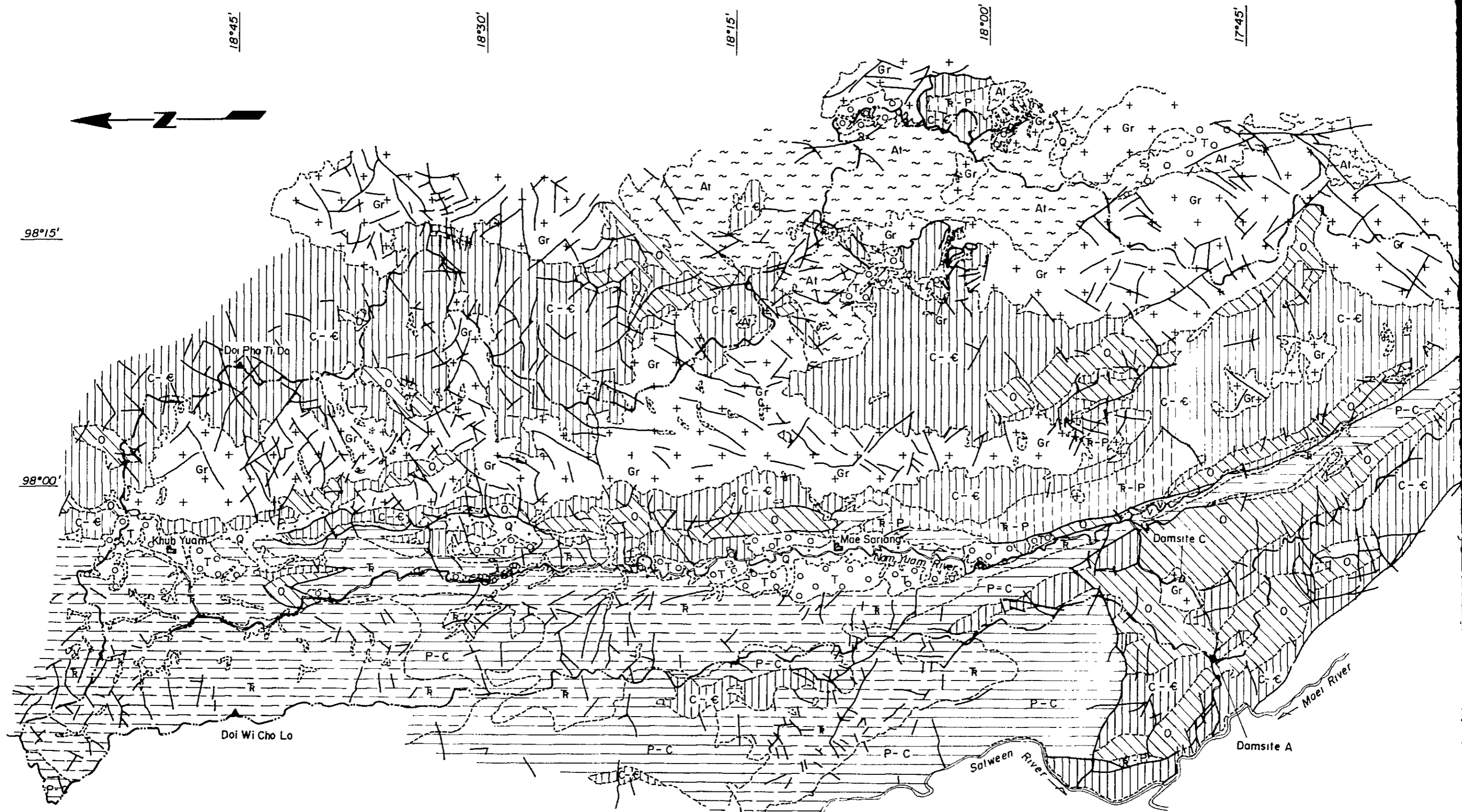
Table 2-2 Location of Completed Drill Hole and  
Additional Drill Hole (Proposed) in Damsite A

Completed Drill Hole

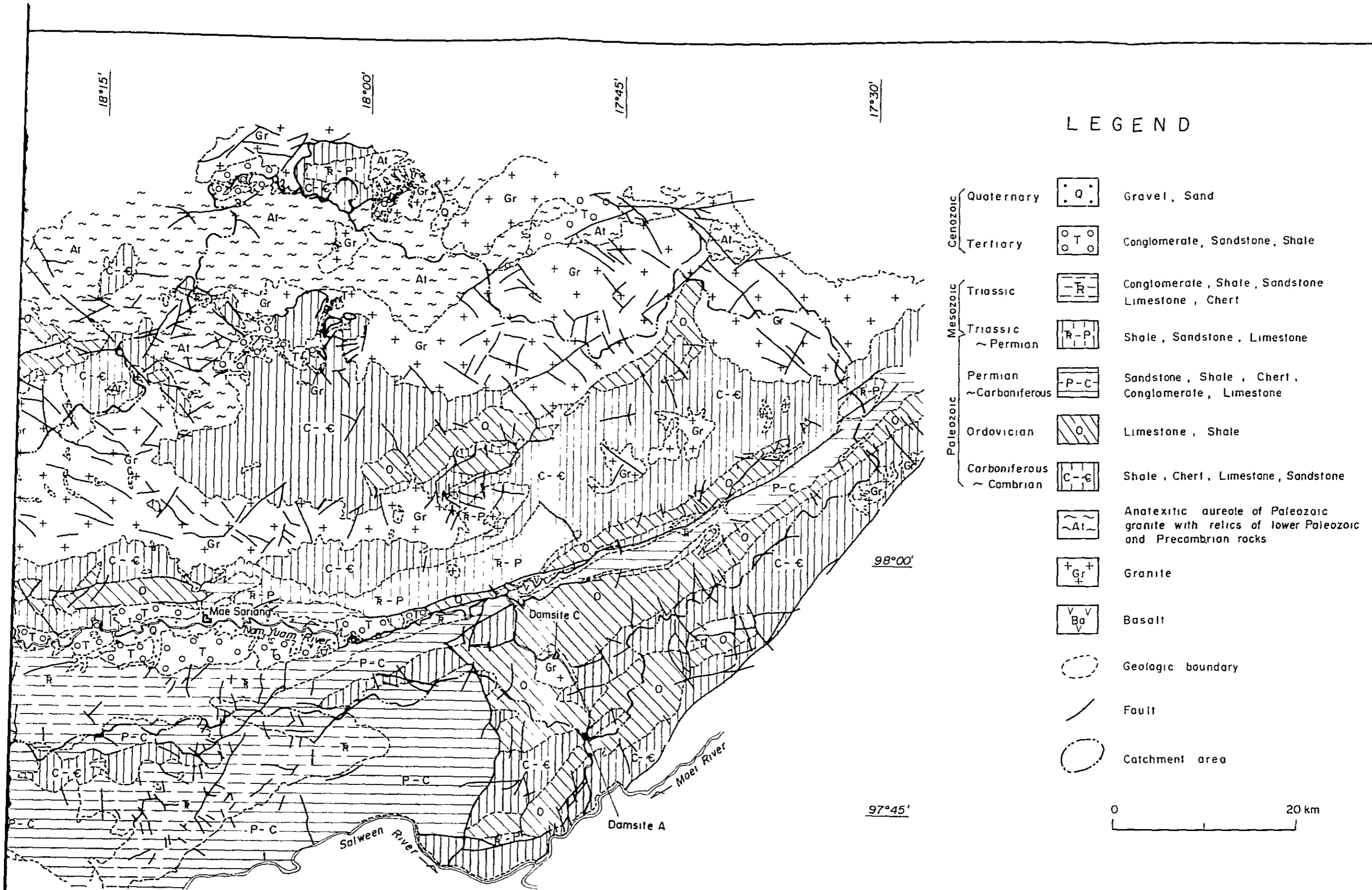
Site	Hole No.	Coordinate		EL. (m)	Direction	Length (m)
Dam	DR-1	1966,551.8N	375,447.3E	142.2	90°	60
	DR-2	1966,502.2N	375,412.9E	103.9	90°	80
	DL-1	1966,286.9N	375,168.2E	186.6	90°	80
	DL-2	1966,350.7N	375,194.1E	151.1	90°	60
	DL-3	1966,430.9N	375,229.3E	90.7	90°	120
	DL-4	1965,774.5N	375,425.7E	191.4	90°	80
	DU-1	1966,424.9N	375,397.6E	74.5	S59°W 60°	22
	DU-2	1966,333.3N	375,398.2E	91.3	N31°E 60°	120
Intake	I-1	1966,516.2N	375,483.6E	143.6	90°	40
Powerhouse	P-1	1966,669.5N	375,088.3E	90.8	90°	40
Spillway	S-1	1966,395.3N	375,014.2E	126.2	90°	43.5
Total	11 Holes					745.5

Additional Drill Hole (Proposed)

Site	Hole No.	Coordinate		EL. (m)	Direction	Length (m)
Dam	DR-3	1966,449N	375,378E	74	S59°W 55°	120
	DR-4	1966,648N	375,497E	217	90°	120
	DL-5	1965,902N	375,188E	320	90°	150
	DL-6	1966,050N	375,219E	258	90°	120
	DL-7	1966,273N	375,272E	196	90°	120
	DL-8	1966,349N	375,318E	132	90°	100
Penstock	PS-1	1966,637N	375,198E	114	90°	30
Spillway	S-2	1966,446N	375,063E	131	90°	40
Total	8 Holes					800

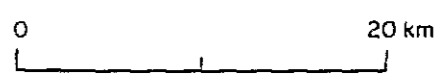


Note . This map is compiled and simplified from Geological Map of Northern Thailand (1/250,000) prepared by German Geological Mission in 1981 and Geological Map of Thailand 「CHANGWAT CHIANG MAI」(1/250,000) prepared by ROYAL THAI Department of Mineral Resources in 1970.



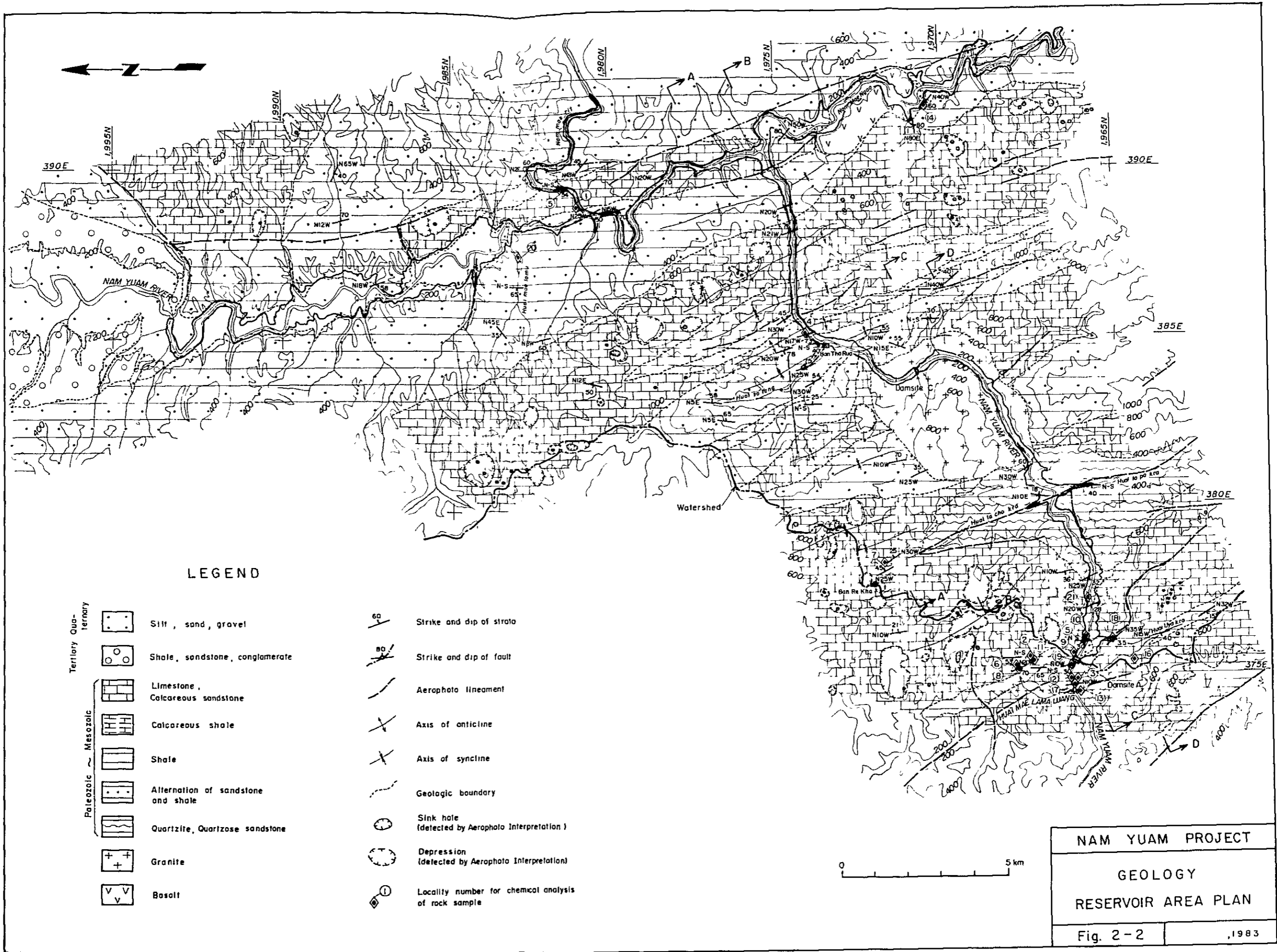
LEGEND

- Cenozoic
  - Quaternary Q Gravel, Sand
  - Tertiary T Conglomerate, Sandstone, Shale
- Mesozoic
  - Triassic R Conglomerate, Shale, Sandstone, Limestone, Chert
  - Triassic ~ Permian R-P Shale, Sandstone, Limestone
  - Permian ~ Carboniferous P-C Sandstone, Shale, Chert, Conglomerate, Limestone
- Paleozoic
  - Ordovician O Limestone, Shale
  - Carboniferous ~ Cambrian C-ε Shale, Chert, Limestone, Sandstone
- ~Al~ Anatexitic aureole of Paleozoic granite with relics of lower Paleozoic and Precambrian rocks
- +Gr+ Granite
- Ba Basalt
- Geologic boundary
- / Fault
- Catchment area



and simplified from Geological Map of Northern Thailand (1/250,000)  
 Geological Mission in 1981 and Geological Map of Thailand [CHANGWAT  
 O] prepared by ROYAL THAI Department of Mineral Resources in 1970.

NAM YUAM PROJECT	
GEOLOGY CATCHMENT AREA PLAN	
Fig. 2-1	1983

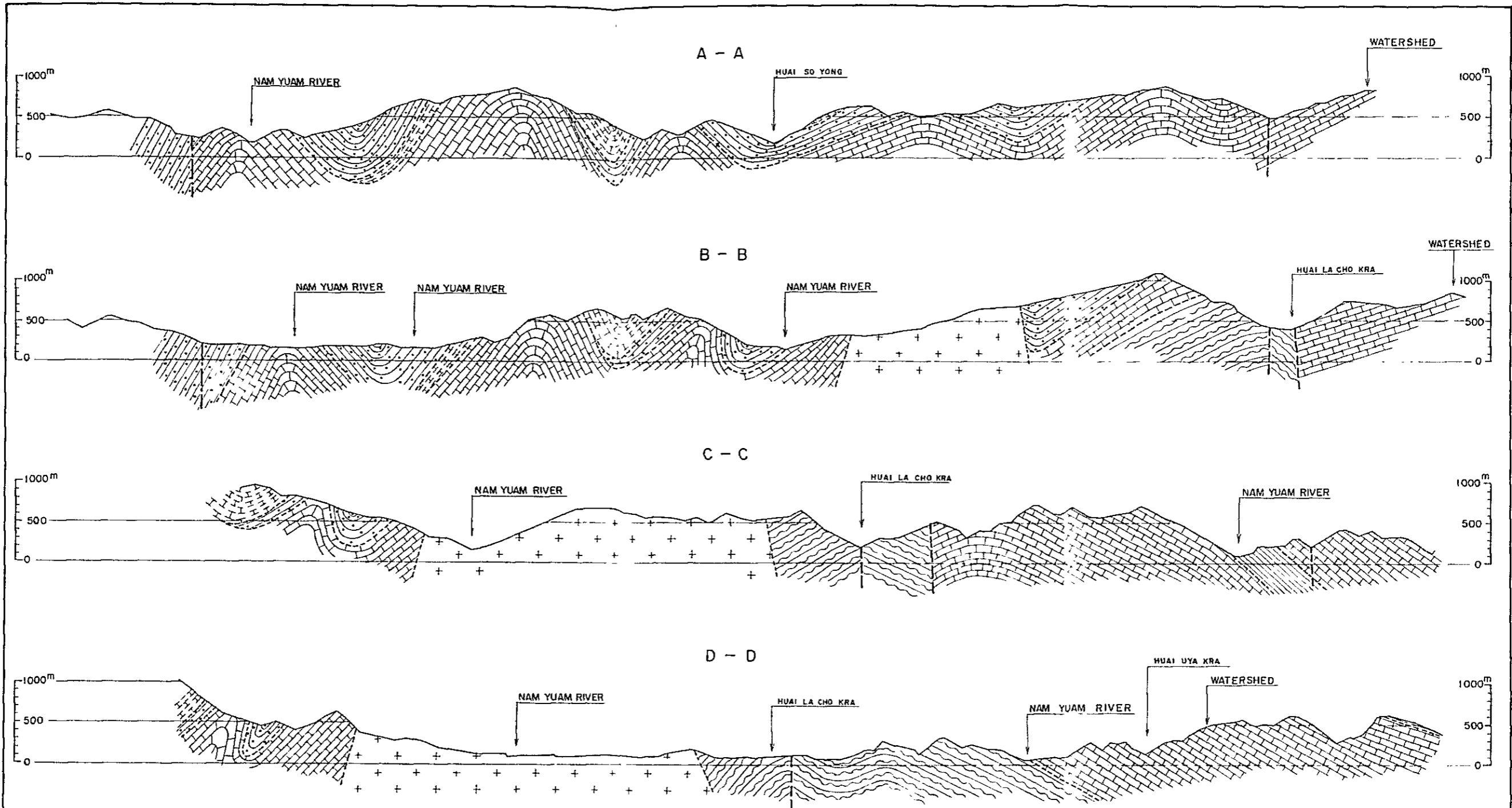


LEGEND

- |                     |  |                                    |  |  |
|---------------------|--|------------------------------------|--|--|
| Tertiary Quaternary |  | Silt, sand, gravel                 |  | Strike and dip of strata                             |
|                     |  | Shale, sandstone, conglomerate     |  | Strike and dip of fault                              |
| Mesozoic            |  | Limestone, Calcareous sandstone    |  | Aerophoto lineament                                  |
|                     |  | Calcareous shale                   |  | Axis of anticline                                    |
|                     |  | Shale                              |  | Axis of syncline                                     |
|                     |  | Alternation of sandstone and shale |  | Geologic boundary                                    |
|                     |  | Quartzite, Quartzose sandstone     |  | Sink hole (detected by Aerophoto Interpretation)     |
| Paleozoic           |  | Granite                            |  | Depression (detected by Aerophoto Interpretation)    |
|                     |  | Basalt                             |  | Locality number for chemical analysis of rock sample |

NAM YUAM PROJECT	
GEOLOGY	
RESERVOIR AREA PLAN	
Fig. 2-2	,1983



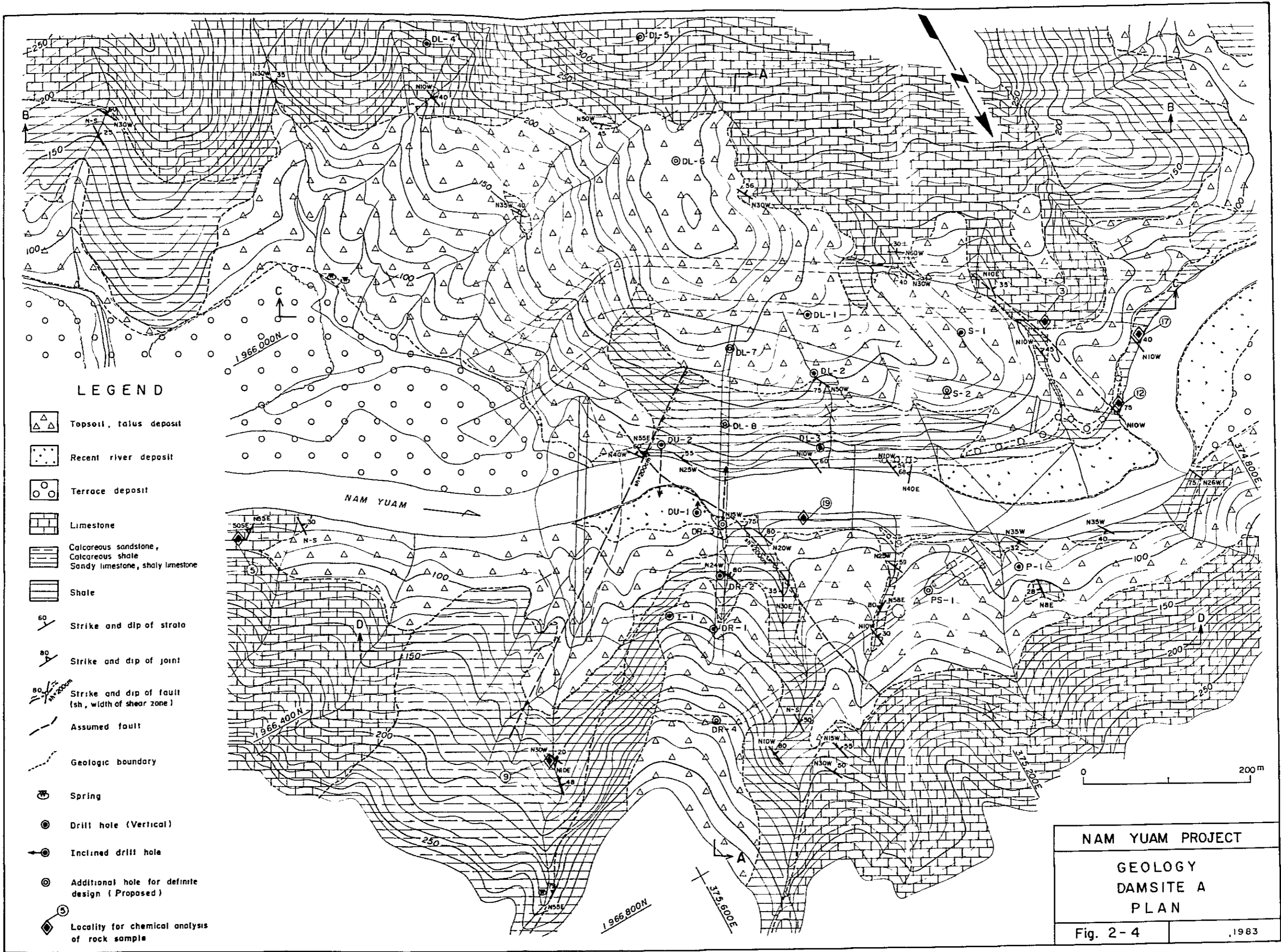


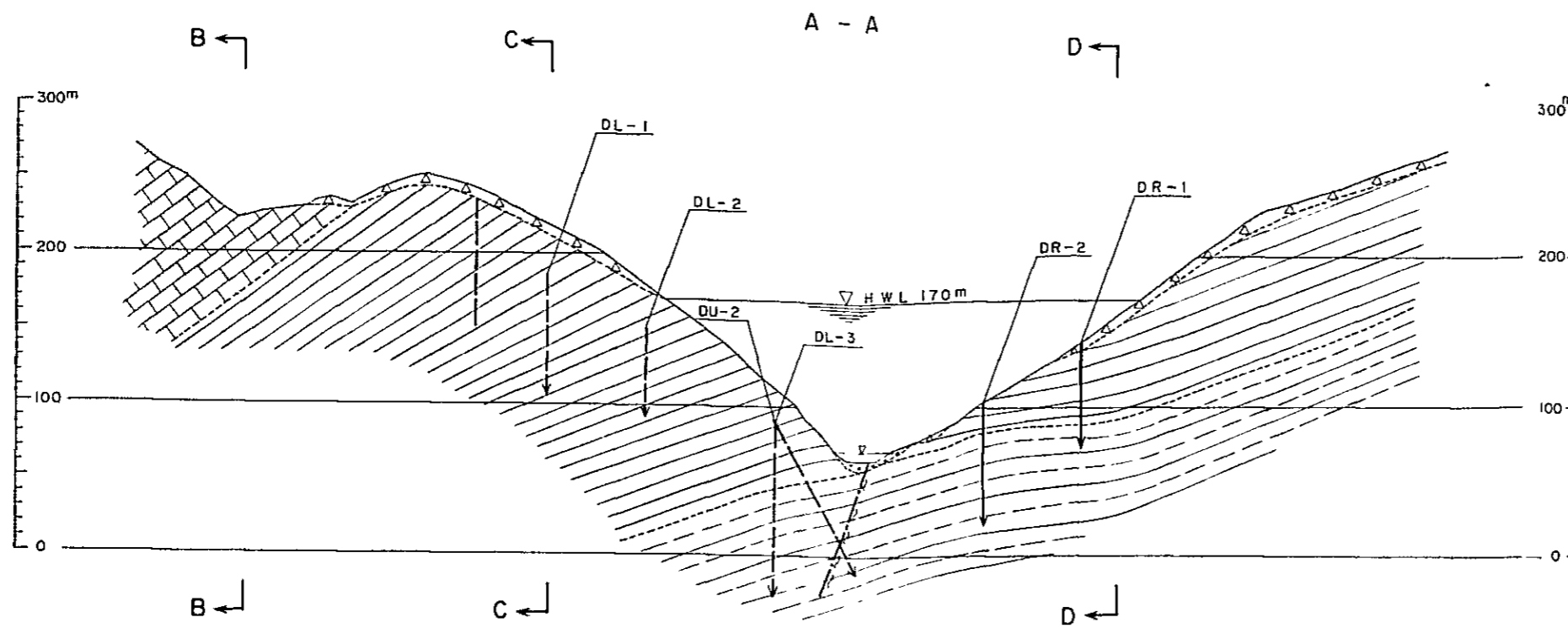
**LEGEND**

- |                      |  |                                    |  |                    |
|----------------------|--|------------------------------------|--|--------------------|
| Paleozoic - Mesozoic |  | Limestone, calcareous sandstone    |  | Granite            |
|                      |  | Calcareous shale                   |  | Fault              |
|                      |  | Shale                              |  | Aerophoto linement |
|                      |  | Alternation of sandstone and shale |  | Geologic boundary  |
|                      |  | Quartzite, Quartzose sandstone     |  |                    |



NAM YUAM PROJECT	
GEOLOGY	
RESERVOIR AREA PROFILE	
Fig. 2 - 3	1983



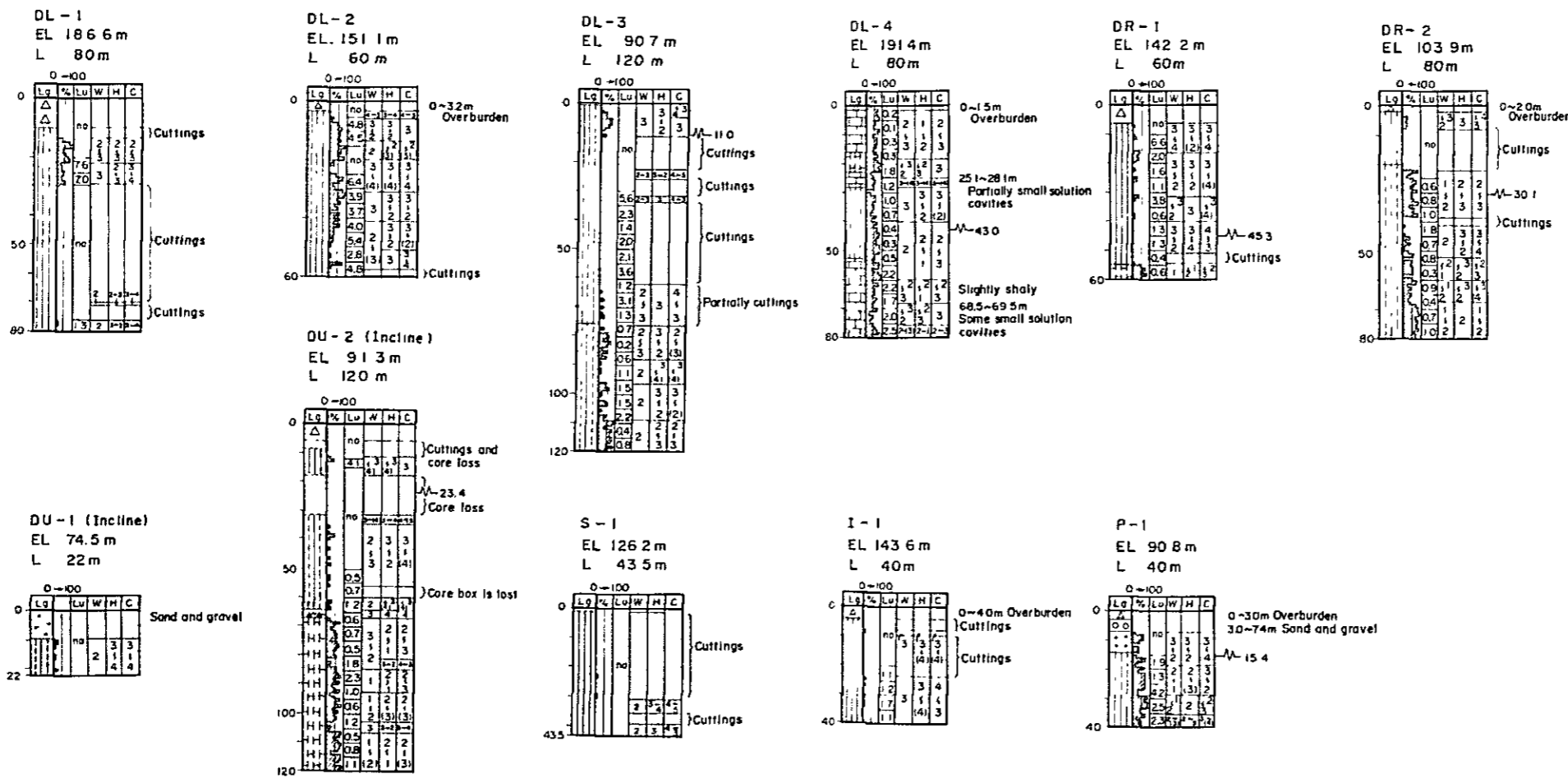


LEGEND (1) (For Profile)

- Topsoil, Talus deposit
- Recent river deposit
- Limestone
- Calcareous sandstone, Calcareous shale, Sandy limestone, Shaly limestone
- Shale
- Geologic boundary
- Fault
- Assumed fault
- Drill hole
- Drill hole (Projection)

LEGEND (2) (For Core log)

- Log
- R, Q, D
- Lugeon value
- Core evaluation
- | Log | % | L | U | W | H | C |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| no  | 5 | 3 | 3 | 3 |   |   |
- W - Weathering
- 1 Fresh
  - 5 Decomposed
- H - Hardness
- 1 Hard
  - 5 Soft
- C - Core cutting
- 1 Stick
  - 5 Grain
- Talus deposit
- Recent river deposit
- Terrace deposit
- Shale
- Sandstone
- Calcareous shale, Calcareous sandstone
- Sandy limestone, Shaly limestone
- Limestone
- Fault



NAM YUAM PROJECT

GEOLOGY

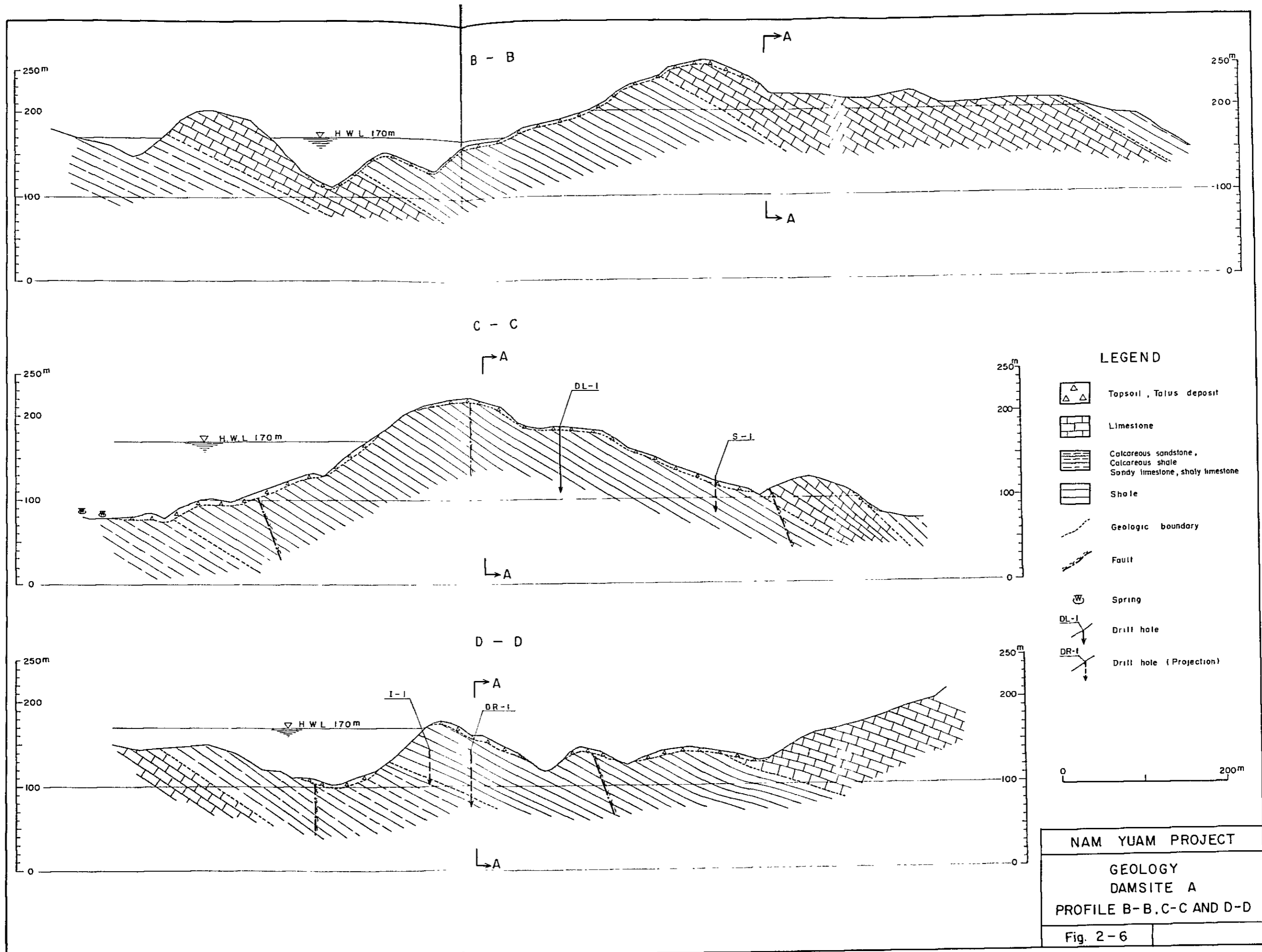
DAMSITE A

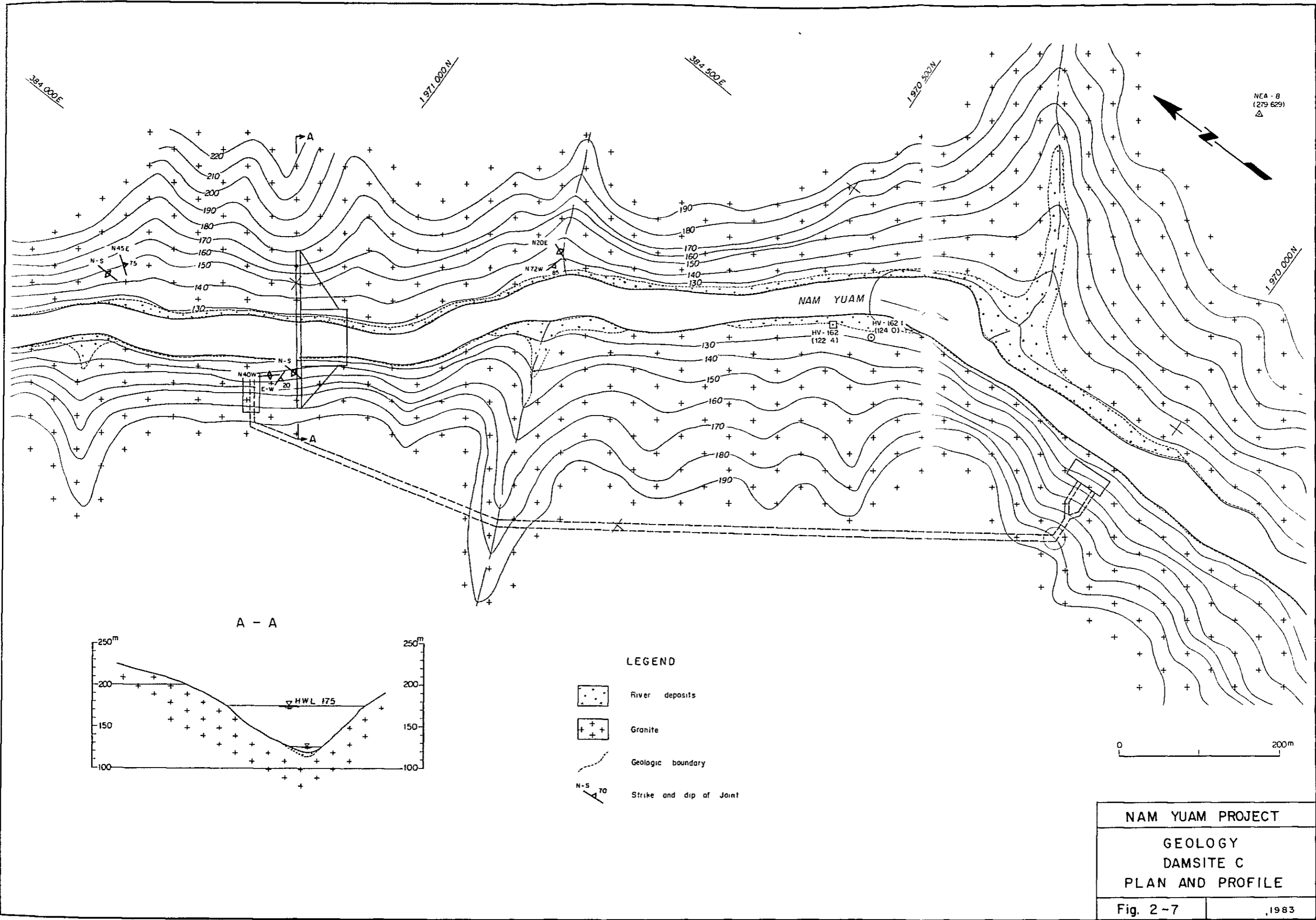
PROFILE A-A AND LOG

OF DRILL HOLE

Fig. 2-5

1983







## 第 3 章

### 気象および水文





## 第 3 章 気象および水文

### 3.1 気象概要

本計画流域は、熱帯モンスーン気候帯に属し、年間の気候は、モンスーン(季節風)の影響を極めて強く受けている。すなわち、ベンガル湾から吹きこむ南西からの季節風が強まる5月から10月までは、流域に多量の雨が降り雨期となり、また、その逆に大陸からの北東の季節風の強まる11月から4月までは、降雨がほとんど無く、乾期となる。流域の平均年間総降雨量は約1,300mmである。

気温は、年間通じて高く、平均で27°C前後である。特に雨期直前の4月は、日最高気温が40°C近くにも昇る。また乾期の12月、1月は年間で最も気温の低い時で、日最低気温は10°C前後まで下がる。

湿度も、年間通じて高く、流域中流の平野部で約85%、南部山間地では90%以上である。乾期末の3、4月は年間で最も湿度の低い時で、60%前後に下がる時もある。一年のそれを除く他の期間は、ほぼ一定の湿度である。

流域の平均年間蒸発量は Class A Pan の測定値で1,300mm前後で、流域中流部あるいは北部では大きく、南部では小さくなっている。蒸発量は乾期末3、4月で最大となる。

### 3.2 測水所及び気象観測所

#### 1) 測水所

流域内の測水所は、Fig. 3-1に示す通り、4ヶ所である。

ただし、Mae La Luang は、水位資料しか入手できず、また支流の測水でもあるので、検討からはずした。一方、流域外ではあるが、Tha Song Yang の Moei 河測水資料が参考のために考慮された。上述の4ヶ地点では、日流量が測定されている。また、Ban Tha Rua および Sop Han では時間流量の測定が行なわれている。ただし夜間(18:00-6:00 hr)は欠測である。測水地点、流域面積および測水期間を Table 3-1、3-2に示した。

上述4ヶ地点では、日堆砂量も測定されている。同じく測水期間を Table 3-3に示す。

## 2) 気象観測所

流域内の気象観測所は Fig. 3-1 に示す通り、5ヶ地点である。各観測所で観測されている気象要因を以下に示す。

	precipitation	Evaporation	Relative Humidity	Temperature	Wind Movement
Mae La Luang	○	○			
Sop Han	○	○	○	○	
Chom Chaeng	○				
Ban Tha Rua	○	○	○	○	
Mae Sariang	○				○

降雨は、Mae Sariangを除く4ヶ所では10年前後の期間で測定されており、Mae Sariangは31ヶ年の測定がある。Sop HanおよびBan Tha Ruaの蒸発測定はともにClass A Panで行なわれている。Wind Movementは流域外の数ヶ地点の観測資料も参考にした。観測地点および観測期間を気象要素毎にTable 3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8に示す。

## 3.3 降雨

降雨は、流域内5ヶ所で観測されているが、内3ヶ所Sop Han, Chom Chaeng, Mae Sariangは互いに近傍に位置し、実質的には1ヶ所と見なせるものである。流域の大きさ(約6,000 km<sup>2</sup>)および降雨の局地性を考えると、降雨観測は量的に必ずしも充分とは言えない。

流域の降雨経年パターンを月別でFig. 3-2に示す。また、その数値をTable 3-13に示す。これらに見られる通り、流域の降雨は、熱帯季節風の影響を受けて、雨期、乾期の際立った対称を示している。雨期は5月頃より始まり、10月後半まで続く。一方、乾期はその後11月から翌年4月まで続く。流域の年間総雨量は平均で約1,300mmであるが、その約90%が雨期の6ヶ月間に集中している。乾期には残り約10%の降雨があるが、通常、数日間に集中して降るため、実際乾期には、無降雨の日が数週間あるいは数ヶ月連続する。

雨期への移り変わりの4月、5月は不安定な時期で、年によって降雨量に変動がある。典型的には、4月後半から降雨が現われ始め、初めの間は、1週間あるいは10日に一回の降雨で、降水量も一定でなく、時には多量の降雨がある。その後、降雨日の間隔が徐々に短くなり、6月後半になると、ほぼ毎日降雨がある。降雨量は、6月から7月にかけてやや少なくなり、8月後半に再び多くなる。10月から降雨量は徐々に減り、11月にはほとんど降雨は

無くなる。流域の気象概要で述べた通り、雨期には、ベンガル湾からの季節風が吹き込み、降水を含んだ雨雲を南方から運んで来る。このため雨期の降雨は、移動性の雨雲により発生し、1日のうち数時間に集中している。また乾期に発生する雨は強い日射に伴なり、局地的な雨と思われる。

降雨は、一般に雨雲が山地に当たり、上昇する事により発生するが、流域内でも、南方で海に近く、かつ山域にある Ban Tha Rua の降雨量が多く、年間約 1,600mm、平野部の Sop Han, Mae Sariang の降雨量は少なく、年間約 1,200mm となっている。Mae La Luang は山域ではあるが、北方に位置するため、年間約 1,300mm と少なくなっている。

観測された日降雨で最大のものは、1980年5月23日に Mae Sariang で観測された 131.0 mm である。

年間総雨量の観測期間の変化を Fig. 3-3 に示す。

### 3.4 気温

気温は、Sop Han および Ban Tha Rua の 2ヶ所で観測されている。観測期間を Table 3-7 に示した。また日最高、日最低気温の月別の変化を Fig. 3-4 および Table 3-16 に示す。Table に示す通り、日最高、最低気温の年平均はそれぞれ約 33°C、約 20°C である。

日最低気温は、乾期なかば 2月で最低となり、13°C 前後である。日によっては、10°C 以下となる場合もあり、1974年1月に Ban Tha Rua では 6°C を記録している。雨期に近づくとともに上昇し、雨期の間はほぼ一定の 23°C 前後である。

一方、日最高気温は、雨期開始直前の 4月で最高となり、38°C 程度である。日によっては 40°C を越える事もあり、記録上、最高は Sop Han で 1981年4月に観測された 44.5°C である。雨期の開始とともに下がり始め、8月には約 30°C まで下がり、その後、再び 10月頃まで少し上昇する。乾期に入るとまた下がり 30°C 前後となる。

日最低と日最高気温との差は、乾期後半 3月に最大となり、21°C 前後の差となる。雨期に入るとともに差は縮まり、7月あるいは 8月には 7°C ~ 8°C となる。

### 3.5 相対湿度

流域内では、Sop Han と Ban Tha Rua において相対湿度が観測されている。観測期間を Table 3-6 に示す。また月別の日平均相対湿度を Fig. 3-5 および Table 3-15 に示す。年平均湿度は Sop Han で 86%、Ban Tha Rua で 94% と、山間部の Ban Tha Rua の方が、10% 程高くなっている。

これは、Ban Tha Rua では降雨が多く、逆に次項で述べるように蒸発が少ない事から当然の事と言えるかも知れない。経年変化は、Sop Han, Ban Tha Rua とともに類似であって、

雨期直前の4月、5月に最低となり、その他は通年ほぼ一定である。

### 3.6 蒸 発

流域内で、蒸発はMae La Luang, Sop HanおよびBan Tha Ruaで観測されている。それぞれの観測期間をTable 3-5に、また月別の平均をFig. 3-6, Table 3-14に示す。Tableに示されるように、年間総蒸発量は、Sop Han, Mae La Luangで約1,400 mm, Ban Tha Ruaで、1,200mmとなっている。Ban Tha Ruaは流域内でも、南方山間地に位置しており、降水量が多く、蒸発量が少なくなっている。経年変化は、気温と類似の傾向を示し、雨期直前、4月に年最大の蒸発量を示し、その後8月まで下がり続け、9月、10月で再び大きくなり、乾期には、また下がる。年最大となる4月には、日蒸発量は6.0mm程度となる。

#### 蒸散の推定及び水収支

現状においては、蒸発は河川水面からの蒸発と樹木からの蒸発散が考慮され、Ban Tha Rua測水所で測定されている流出は、これらの蒸発散がすでに差引かれたものである。ところでダム築造により、貯水池が存在するようになった場合、その貯水池でおおわれる地域は、現状の樹木等による蒸発散から、貯水池水面からのまったくの蒸発に変わる。そこでこの変化に伴う利用可能水量の変化を検討する必要がある。

貯水池からの蒸発は、Ban Tha Rua, Sop Han観測所の実測記録(Class A Panによる)に係数0.7を乗じたものとした。

一方、現状の樹木からの蒸発散の推定は、Thorntwaite法、Blaney and Criddle法の2法により行なわれた。基本式は以下の通りである。

( Thorntwaite Method )

$$E_{pt} = 0.533 D_o \left( \frac{10t_j}{J} \right)^a$$

$$\text{where, } a = (6.75 \times 10^{-7} J^3) - (7.71 \times 10^{-5} J^2) + (1.79 \times 10^{-2} J) + 0.49$$

$$J = \sum_{j=1}^{12} \left( \frac{t_j}{5} \right)^{1.514}$$

$E_{pt}$  = Monthly average of daily evapotranspiration (mm/day)

$D_o$  = Daytime ratio i.e. daily daytime/12 hrs.

$t$  = Monthly average temperature ( $^{\circ}$ C)

$j$  = Month (1 ~ 12)

$J$  = Indicator of month

( Blaney and Criddle Method )

$$E_{pt} = K \cdot C \cdot t$$

where,  $E_{pt}$  = Monthly average evapotranspiration (inch/month)

$C$  = Ratio of monthly daytime to annual daytime

$t$  = Monthly average temperature ( $^{\circ}F$ )

$K$  = Coefficient corresponding to kind of flora

ただし、単位をm法に変えると

$$E_{pt} = K \cdot C \cdot (45.72t + 812.8)$$

where [ $E_{pt}$ ] = mm/month

[  $t$  ] =  $^{\circ}C$

上述の2法で必要な係数は以下の通り決定された。

< Thornthwaite Method >

$D_o$  (Daytime ratio): 計画地域が位置する北緯 $18^{\circ}$ の値を略算した。

< Blaney and Criddle Method >

$C$ : 上述 $D_o$ と同様、北緯 $18^{\circ}$ の値を略算した。

$K$ : 植生による係数で、落葉樹の場合0.70を与える。

計算の結果をTable 3-17, 3-18に示す。

結果をみると、Thornthwaiteの方法の方が蒸発散量が大い推定値になっており、Ban Tha Rua資料に基づく計算では蒸発散の方が蒸発より大きいという結果になっている。しかし、Blaney and Criddleの方法においては、Ban Tha Rua, Sop Hanいずれの場合も蒸発の方が大きいという結果になっている。いずれの方法も、定量的な確証を与えるものではないが、定性的に判断すれば、将来湛水された時の蒸発量は、現在の蒸発散量より大きく、利用可能水量の減少があると予想される。

上述の判断に基づき、本検討の電力計算においては、より不利な条件で計算すべく、現在の植生からの蒸発は考慮せず、湛水後には、水面からの蒸発がまったく新たに利用可能水量の減として考慮されるという条件が適用された。この場合、貯水池からの蒸発による利用可能水量の減少は、Ban Tha Rua観測所の蒸発実測値と湛水面積から以下のように求められる。

Ban Tha Ruaの11年間の実測値より求められる年平均蒸発量3.40mmただし、これはPanによる測定値そのもので0.7を乗じたものではない。年間総蒸発量になおすと、約1,240mm、湛水域全体で

$$1,240\text{mm} \times 20.2\text{ km}^2 \text{ (H.W.L. } 170.0\text{mの場合)} = 250 \times 10^6 \text{ m}^3$$

これは、総流入量  $2,800 \times 10^6 \text{ m}^3$  の0.9%であって、発電に利用する年間流入量から減じられねばならない。

### 3.7 流 量

#### 1) 実測流量

流域内で、流量は、4ヶ所(Ban Tha Rua, Sop Han, Chom Chaeng, Mae La Luang)で日流量が、2ヶ所(Ban Tha Rua, Sop Han)で時間流量が測定されている。上記4ヶ所の測水所のうち、Yuam河本流を測定しているのは、Ban Tha Rua, Sop Hanの2ヶ所である。Sop Hanは流域中流部に、Ban Tha Ruaは下流部に位置しており、特にBan Tha Ruaは、計画damsite Aより15km程上流にあり、本計画の流量解析としては、主にこのBan Tha Rua測水所の記録を用いた。

各測水所の測定期間、および流域面積をTable 3-1, 3-2に示す。また、Ban Tha Ruaの観測期間11ヶ年にわたっての月平均日流量の変化をFig. 3-7に、各年総流量をFig. 3-8にそれぞれ示す。

流量の1年の変化は、熱帯モンスーンの気象条件を反映して、乾期雨期で対称的になっており、雨期(5月~10月)には、年間総流量の約80%が流出する。観測期間11ヶ年(1970年~1980年)で平均した年間総流量は約  $2,800 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、年平均流量は  $88.8 \text{ m}^3/\text{s}$  である。Table 3-9に各月平均日流量を示した。またFig. 3-9に11ヶ年平均のduration curveを示した。これによれば、 $88.8 \text{ m}^3/\text{s}$ は120日流量程である。

#### 2) 流量資料の妥当性

Ban Tha Ruaで測定された流量資料は11ヶ年であり、この11ヶ年の記録が、発電計画作成の基礎資料として、必要十分であるか検討する必要がある。この検討をTank Modelを用いて行なった。

流域内の雨量観測は5ヶ所で行なわれており、内4ヶ所は、Ban Tha Rua流量測定と時期を同じくして10年前後しかないが、Mae Sariang 1ヶ所だけは、1950年から1980年まで31ヶ年の資料がそろっている。検討はTank Modelを用い、Mae Sariangの降雨をinputとし、Ban Tha Rua流量を実測の11ヶ年からさらに20ヶ年過去に引き延ばし、発電計画作成に用いた実測流量資料の11ヶ年の定性的判断を行なおうとするものである。

Tank Modelは、流出解析の一手法であり、現在、その有効性が広く世界に認められ、利用されている。種々の構造をもったmodelがあるが、原理的には、流出孔と浸透孔とをもつTankを直列あるいは並列にいくつかむすんで、降雨をinputとし、流出を推定するものである。本検討で採用したmodelは、長期にわたる乾期がある気象条件の流域に適すると言われる土壌水分型、直列4段modelである。その概念図をFig. 3-10に示す。(詳細はAppendix参照)

このmodelを用い、まずBan Tha Rua 実測流量資料がある11ケ年でmodelのparameterを決め、その後1950年まで20ケ年間過去にさかのぼって流量を推定した。ここでinputとして用いた雨量資料はMae Sariang 1ケ所だけであって、約6,000km<sup>2</sup>の流域の降雨を1ケ所で代表させるといふ、代表性に問題はあるが、実測のある11ケ年間の範囲で、Mae Sariang 降雨と他の4ケ地点の算術平均降雨量との相関を調べるとFig.3-11に示す通り、相関係数0.826であって、一応の妥当性が認められる。

このmodelにより推定された流量をBan Tha Rua 実測流量とともにFig.3-12に示した。図は日流量で、実線は実測、点線は推定である。また月別の日流量をTable 3-19, 3-20に示した。

このように時系列で延長された31ケ年間の推定流量に対して、1月をunit time lagとして、power spectrumを求めると、Fig.3-13に示されるようになる。これより流量は、1年を越す長い期間で見るとき、11年の周期が1つあるのがわかる。さらに長い期間、たとえば30年、50年、あるいは100年の間の周期特性は、今回の入手資料の範囲では明らかでない。上述の11年の周期特性は、当流域と類似の気象条件をもつQuae Yai河の流出傾向とも一致しており妥当なものと思われる。(Fig.3-14参照)。長々期の周期は同図に示されるBangkokの雨量資料において50年から60年の周期が若干見てとれる。以上の解析に基づけば、今回用いた流量は、11年間であって、1つのサイクルを含んでおり、その平均値で開発規模を決定する事は妥当と判断される。

### 3) Damsiteへ流入量

Damsiteへの流入量は、Ban Tha Ruaの実測11ケ年の資料を基に、流域面積および蒸発散量を考慮して、以下のように算出した。

Damsite Aについて

$$Q_{IN} = Q_{BAN\ THA\ RUA} \times \frac{5,920\text{km}^2}{5,770\text{km}^2} \times \left(1 - \frac{25 \times 10^6\text{m}^3}{2,798 \times 10^6\text{m}^3}\right) \\ = 1.017 Q_{BAN\ THA\ RUA}$$

上述の比率を実測流量に一率に乗じて流入量とした。

Damsite Cについて

$$Q_{IN} = Q_{BAN\ THA\ RUA} \times \frac{5,810\text{km}^2}{5,770\text{km}^2} \times \left(1 - \frac{18 \times 10^6\text{m}^3}{2,798 \times 10^6\text{m}^3}\right) \\ \approx Q_{BAN\ THA\ RUA}$$

すなわち、Ban Tha Ruaの流量をそのまま用いた。

## 3.8 堆砂

堆砂は流域内3ケ所(Ban Tha Rua, Sop Han, Cham Chaeng)で測定されている。測定期間をTable 3-3に示す。3ケ所のうち、本流を測定しているのは、Ban Tha Rua, Sop Hanの2ケ所である。流域外ではあるが類似の流域の堆砂状況を見るために、Moei

河の Tha Song Yang の資料も参考にした。各地点の測定記録を Table 3-10, 3-11, 3-12 に示す。

測定は、浮遊砂量に対して重量で行なわれており、同表には、以下の式で求められる単位体積重量で体積に換算した量も示してある。また、年平均浮遊砂流出量も同じく示されている。

浮遊砂が、貯水池に堆砂した後の単位体積重量を以下の式で求めた。

$$W_{av} = W_1 + 0.434 K \left[ \frac{1}{t-1} (\ln t - 1) \right]$$

where  $W_{av}$  : t 年後堆砂の平均単位体積重量 ( $g/cm^3$ )

$W_1$  : 初期堆砂 単位体積重量 ( $g/cm^3$ )

$K$  : coefficient

$t$  : 年数

これより、 $W_{av} = 1.30 g/cm^3$  が求められる。

上述した通り、測定は浮遊砂に対して実施されているもので、実際の堆砂には、掃流砂が考慮されねばならない。諸レポートを参考にして掃流砂は体積比で 20% を考慮した。

結果的に得られる推定堆砂は以下の通りである。

Ban Tha Rua (5,770  $km^2$ ): 109.6  $m^3/km^2/y^r$

Sop Han (2,496  $km^2$ ): 136.2  $m^3/km^2/y^r$

Tha Song Yang (8,360  $km^2$ ): 196.9  $m^3/km^2/y^r$

計画堆砂量として、Sop Han の値を、やや大きめに考えた  $140 m^3/km^2/y^r$  とし、100 年間の総堆砂量を求めると、 $82.9 \times 10^9 m^3$  となる。これは、総貯水量の 18.7% に相当する。また、この時、貯水池内の堆砂位は、水平堆砂と仮定すれば EL. 129.0m となる。

### 3.9 洪水解析

流域内 2ヶ所 (Ban Tha Rua, Sop Han) で測定されている時間流量が洪水解析の基礎資料として利用された。それぞれの測定期間を Table 3-2 に示す。しかし、2地点とも、夜間 (18:00-6:00hrs) は欠測であり、また場合によっては、昼間の測定も 3時間、6時間おきに行なわれており、測定の中で、必ずしも peak をとらえていないものもある。従って peak 流量のいくつかは、前後の流量から推定せざるを得なかった。Ban Tha Rua で測定された各年の最大洪水を Fig. 3-15 に示した。

#### 1) 単純な確率手法による洪水流出

上述の各年最大洪水を、対数正規分布、あるいは Gumbel 分布にあてはめると、それぞれ Fig. 3-16, 3-17 のようになる。これらによると 1000 年確率洪水は

対数正規分布 1,900  $m^3/s$

Gumbel 分布 2,200  $m^3/s$



となる。しかし、これらは、Moei 河の Tha Song Yang の記録、あるいは、タイ国内の他の計画地点の洪水量と比較すると、いくぶん小さなものである。

## 2) Creager's Method

U.Q.Y. F.S. Report で参考とされた Creager 曲線を本計画に適用してみた。Creager 曲線を Fig. 3-18 に示す。Creager Eq. の係数 C は本計画地域の地形、あるいは、海からの距離等を考慮して、40 として洪水量を求めると、

$$Q_F = 6.150 \text{ m}^3/\text{s}$$

となる。

## 3) P.M.F ( Probable Maximum Flood )

(i) PMP ( Probable Maximum Precipitation ) の算定、適切な Storm の選定及びその最大化流域内の観測所で記録された、すべての雨量資料に眼を通し、流域全般に適用できそうな典型的な降雨を 24 case 選び出した。24 case の降雨を、期間中の平均降水量、日毎の全観測所降雨の合計等を求め、さらに以下の 9 case に絞った。

'70, 5/15 - 5/18, '71, 7/16 - 7/22  
'74, 8/8 - 8/13, '77, 9/4 - 9/8  
'78, 8/12 - 8/16, '78, 9/10 - 9/23  
'79, 8/11 - 8/17, '80, 5/20 - 5/25  
'80, 9/6 - 9/9,

上述の 9 case の Storm に DAD 操作を施し、面積雨量に換算した。その際用いる等雨量線図は、既往資料を基に、降雨の地域分布特性を考慮して Fig. 3-19 に示すもので代表させ、各風雨、各日にかかわらず一定であると仮定した。すなわち、各観測所で測定された降雨量は、その仮定等雨量典線で囲まれる範囲の平均値であると見なした。また等雨量線上の降雨量の値は、各風雨、各日で観測降雨量から推測して適切な値を与えた。

次いで、上述の DAD 解析を施された 9 case の Storm は、それぞれ露点から求められる可降水量 ( precipitable water ) により最大化された。一般に PMP 解析では、高度差補正、障害物補正、水蒸気量補正が必要に応じて考慮されるが、本検討では、計画地域の資料そのものを解析したので高度差補正は不要であり、また障害物補正も周囲の山々の高さから省略されると判断した。水蒸気量補正は、そのまま最大化の操作の中に含まれる。露点は Ban Tha Rua の相対湿度と気温とから求め、それらの露点に対する可降水量 ( 地表のある単位面積に対して、そこから上空に立てられた鉛直柱内に含まれる全水蒸気量 ) が、U.S. National Weather Service による Fig より読み取られた。最大化された降水量を継続時間を横軸にとり示したのが Fig. 3-20 である。図に見られるように Na 21 (1) 1980, 5/20 - 5/25 の Storm が極めて大きな風雨になっており、PMP として、一連の風雨を採用した。

## (ii) PMPにより発生する日流量の算定

PMPを上述の通り求める一方、既往の日降雨、日流量資料を基に、一連の降雨とそれに伴ない発生する流出との関係を検討した。ここでいう一連の降雨とは大きな日降雨量が2日ないし3日続き、それにより大きな流出が発生したと判断されたものである。記録上比較的、顕著な一連の降雨と、それに続く流出が選出され、その降雨量とそれに続く流出の最大流量(日流量)との関係が検討された。単位降雨量を10mmとすると、最大流量は平均で $93\text{m}^3/\text{s}$  最大で $128\text{m}^3/\text{s}$ であって、一連の降雨の最後の日から一日遅れ程で発生する。単位降雨量当たりの流出は乾期、雨期により、すなわち、流域内土壤の多寡により大きく異なる。今、PMPは豊水期中期の7、8月に発生すると考えているので、単位降雨量当たりの流出を最大の $128\text{m}^3/\text{s}$ とする。

(i)で検討されたPMP4日降雨に対して、Basin Retention 5%を考慮すると、実効降雨は257mmとなる。これにより発生する最大の日流量は $3,290\text{m}^3/\text{s}$ である。ところで、7、8月の豊水期には風雨およびそれによる流出は断続的に発生しており、その影響を考慮する必要がある。先行流出に既往最大('71, 8/30,  $Q=925\text{m}^3/\text{s}$ )を考え、その後、時間間隔を3日とすると、上述のPMPによる日流出量は $3,790\text{m}^3/\text{s}$ となる。

## (iii) PMF Hydrograph の決定

上述までの解析は、すべて日単位の資料にもとづいて行なわれており、求められた最大流量も、日平均流量である。しかし、実際には、流出は時間単位で大きく変動するものであり、現実のピークは、より尖鋭化するものと思われる。そこでBan Tha Ruaの実測資料で日流量と時間流量との比を調べると、平均で1.17、最大で1.64である。

本計画では、最大比1.64を採用した。これにより時間最大ピーク流量は、 $6,216\text{m}^3/\text{s}$ と $6,200\text{m}^3/\text{s}$ となる。

## 4) 設計洪水量

以上、3種の方法で検討した結果、本計画の設計洪水量としてPMF  $6,200\text{m}^3/\text{s}$ と決定した。このピーク流量をもつ洪水のHydrographは既往の洪水の包絡線と相似とした。既往洪水の包絡線はFig.3-15に示した。また、求められた設計洪水のHydrographをFig.3-21に示した。

この時の洪水量は $1,110 \times 10^6\text{m}^3$ である。

**Table 3 - 1 Runoff Gaging Station and Available Daily Discharge**

River	Station	C A (km <sup>2</sup> )	Year															
			66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Nam Mae Yuam	Sop Han	2,496																
Nam Mae Sariang	Chom Chaeng	378																
Nam Mae Yuam	Ban Tha Rua	5,770*																
Mae Nam Maei	Tha Song Yang**	8,360																

Note \* Catchment Area was measured on a 1:250,000 map for the study  
 \*\* Record at The Song Yang was used for reference

**Table 3 - 2 Runoff Gaging Station and Available Hourly Discharge\***

River	Station	C A (km <sup>2</sup> )	Year															
			66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Nam Mae Yuam	Sop Han	2,496	Mar															
Nam Mae Yuam	Ban Tha Rua	5,770			May													

Note \* Hourly Discharge were not measured in night (18:00 to 6:00 hrs)

**Table 3-3 Runoff Gaging Station and Available Suspended Sediment Discharge**

River	Station	C A (km <sup>2</sup> )	Year															
			66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Nam Mae Yuam	Sop Han	2,496																
Nam Mae Sariang	Chom Chaeng	378																
Nam Mae Yuam	Ban Tha Rua	5,770																
Mae Nam Maei	Tha Song Yang*	8,360																

Note \* Record at Tha Song Yang was used for reference

**Table 3-4** Observatory Station and Available Daily Precipitation

Station	Year																			
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Mae La Luang							Feb													
Sop Han						May														
Chom Chaeng						May														
Ban Tha Rua																				
Mae Sariang	50																			

**Table 3-5** Observatory Station and Available Daily Evaporation

Station	Year																			
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Mae La Luang																				10*
Sop Han																				15*
Ban Tha Rua																				25*

Note \* Number of months where record was not made

**Table 3-6** Observatory Station and Available Daily Relative Humidity

Station	Year																			
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Sop Han						May														
Ban Tha Rua											Jul									25

**Table 3-7** Observatory Station and Available Daily Temperature (Max. Min.)

Station	Year																			
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Sop Han						Max														
						Min														
Ban Tha Rua											Max									
											Min									

Table 3-8 Observatory Station and Wind Movement (Direction, Velocity)

Station	Year																			
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Salween *1																				
Chiang Mai *2																				
- ditto - *3																				
Mae Hong Son *4																				
Mae Sariang *5																				
Tak *6																				
Kanchanaburi *7																				
- ditto - *8	51																			
Bangkok *9	51																			

- Note
- \*1 Velocity was measured on daily basis.
  - \*2 Velocity was measured 2,000m up in the air on daily basis
  - \*3 Monthly average velocity was measured 90 m up from the ground
  - \*4 Monthly average velocity was measured 120 m up from the ground
  - \*5 Monthly average velocity was measured 120 m up from the ground
  - \*6 Monthly average velocity was measured 125 m up from the ground
  - \*7 Monthly average velocity was measured 150 m up from the ground
  - \*8 Direction and monthly average max velocity was measured
  - \*9 Direction and monthly average max velocity was measured

Table 3-9 Monthly List of Daily Average Runoff at Ban Tha Rua G.S.

Mon. Year	(Unit: m <sup>3</sup> /s, except for Annual Total)												Annual Total (m <sup>3</sup> /s.day)	Annual Average
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		
1970	48.09	34.65	25.20	24.65	49.25	69.23	145.13	247.13	262.60	145.77	77.21	55.73	36,186	99.14
1971	35.65	25.52	20.01	14.71	29.82	83.98	323.55	359.68	268.10	142.05	76.05	47.96	43,720	119.78
1972	33.12	24.06	19.15	19.19	17.21	36.34	197.19	310.55	195.10	128.60	95.40	60.26	34,827	95.16
1973	40.03	26.55	21.92	16.05	31.63	64.09	133.28	264.52	289.13	180.16	88.30	55.34	37,004	101.38
1974	35.26	25.12	17.15	16.18	31.12	72.20	127.66	227.53	174.83	116.01	83.14	41.42	29,574	81.03
1975	38.84	25.63	21.29	15.22	24.98	71.36	140.70	205.09	274.80	182.87	85.96	50.25	34,723	95.13
1976	36.01	26.26	18.64	13.95	26.70	50.89	115.43	221.10	188.63	154.91	82.99	48.36	30,111	82.27
1977	52.73	24.76	18.37	17.57	20.02	29.29	71.02	170.48	290.53	115.72	72.43	44.48	28,265	77.44
1978	32.31	23.49	15.80	11.67	21.91	23.35	133.64	244.19	211.10	140.91	58.89	34.66	29,134	79.82
1979	24.92	19.14	13.29	12.11	18.94	23.24	58.62	241.01	116.29	108.15	47.23	28.17	21,788	56.69
1980	17.96	13.29	10.92	9.06	32.84	51.58	94.70	143.79	327.37	185.26	82.61	52.57	31,183	85.20
Average	35.9	24.4	18.3	15.5	27.7	52.3	140.1	239.6	236.2	145.5	77.3	47.2	32,410 (2,800 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	88.8

Table 3-10 Annual Sedimentation

Observatory: SOP HAN

Year	Annual Sediment (t/year)	Annual Sediment (m <sup>3</sup> /year)	Specific Discharge of Sediment (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /year)
1971	234,980	180,754	72.4
1972	187,542	144,263	57.8
1973	1,084,413	834,164	334.2
1974	245,653	188,964	75.7
1975	646,225	497,096	199.2
1976	131,278	100,983	40.5
1977	228,627	175,867	70.5
1978	313,353	241,041	96.6
1979	-	-	-
1980	241,882	186,063	74.5
Av.			113.5

Note: Specific Gravity of Soil = 1.30 gr./cm<sup>3</sup>  
 Catchment Area = 2,496 km<sup>2</sup>

Table 3-11 Annual Sedimentation

Observatory: BAN THA RUA

Year	Annual Sediment (t/year)	Annual Sediment (m <sup>3</sup> /year)	Specific Discharge of Sediment (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /year)
1971	465,822	358,325	62.1
1972	970,927	746,867	129.4
1973	-	-	-
1974	-	-	-
1975	10,037,791	7,721,378	1,388.2
1976	428,788	329,837	57.2
1977	398,518	306,552	53.1
1978	621,636	478,182	82.9
1979	405,887	312,221	54.1
1980	1,502,392	1,155,686	200.3
Av.			247.2 (91.3)

Note: Specific Gravity of Soil = 1.30 gr./cm<sup>3</sup>  
 Catchment Area = 5,770 km<sup>2</sup>  
 Average in parenthesis is a figure calculated excluding the sediment in 1975.

Table 3-12 Annual Sedimentation

Observatory: THA SONG YANG

Year	Annual Sediment (t/year)	Annual Sediment (m <sup>3</sup> /year)	Specific Discharge of Sediment (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /year)
1971			
1972	3,601,007	2,770,005	331.3
1973	1,604,920	1,234,554	147.7
1974	2,008,150	1,544,731	184.8
1975	1,441,015	1,108,473	132.6
1976	1,129,598	868,922	103.9
1977	669,809	515,238	61.6
1978	1,309,693	1,007,456	120.5
1979	2,935,068	2,257,745	270.1
1980	1,349,321	1,037,939	124.2
Av.			164.1

Note: Specific Gravity of Soil = 1.30 gr./cm<sup>3</sup>  
Catchment Area = 8,360 km<sup>2</sup>



Table 3-13 Monthly List of Daily Average Precipitation at Each Observatory Station

Obs. Station	Mon.	(Unit: mm)												Annual Average	
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		Annual Total
Mae La Luang ('67 - '80)		0.57	0.05	0.22	1.47	6.35	6.00	7.23	9.89	7.70	3.26	1.18	0.60	1,363.9	3.74
Sop Han ('66 - '80)		0.51	0.09	0.25	0.96	5.63	5.74	7.20	7.53	7.72	3.60	0.51	0.35	1,197.1	3.28
Chom Chaeng ('67 - '80)		0.47	0.05	0.30	1.01	4.91	4.53	6.33	7.53	5.52	3.29	0.37	0.35	1,068.7	2.93
Ban Tha Rua ('70 - '80)		0.78	0.07	0.30	1.37	7.61	9.25	10.39	11.07	6.97	3.92	0.95	0.35	1,624.4	4.45
Mae Sariang ('50 - '80)		0.40	0.18	0.26	1.35	5.59	6.32	6.50	8.16	7.14	3.94	0.72	0.41	1,232.8	3.38

Table 3-14 Monthly List of Daily Average Evaporation at Each Observatory Station

Obs. Station	Mon.	(Unit: mm)												Annual Average	
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		Annual Total
Mae La Luang ('70 - '80)		3.25	4.32	5.47	6.36	4.73	3.69	3.31	3.00	3.59	3.52	3.25	3.02	1,444.3	3.96
Sop Han ('67 - '80)		2.81	4.27	5.63	6.61	5.16	3.48	2.93	2.73	3.36	3.30	2.90	2.54	1,405.9	3.85
Ban Tha Rua ('67 - '80)		2.77	3.30	4.82	5.96	4.33	3.04	2.57	2.33	3.14	3.31	2.77	2.71	1,241.8	3.40

Table 3-15 Monthly List of Daily Average Relative Humidity at Each Observatory Station

Obs. Station	(Unit: %)												Annual Average	
	Mon.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.		Dec.
Sop Han ('66 - '81)		88.76	88.48	84.76	78.58	81.31	85.96	87.21	87.77	87.64	87.50	88.10	88.93	86.35
Ban Tha Kua ('71 - '81)		94.83	96.06	95.51	89.84	92.53	94.71	95.40	96.14	95.41	94.76	93.75	94.52	94.55

Table 3-16 Monthly List of Daily Average Temperature at Each Observatory Station

Obs. Station	Mon.	(Unit: degree Celcius)												Annual Total	Annual Average
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		
Sop Han ('67-'72)	Min.	15.21	12.98	14.91	22.42	23.97	23.66	23.31	23.10	23.29	22.75	20.48	17.73	8.0	20.5
Sop Han ('80, '81)	Max.	30.43	33.46	36.40	37.40	35.62	30.89	29.97	30.22	31.60	32.54	31.86	30.34	44.5	32.9
Ban Tha Rua ('71-'80)	Min.	14.15	13.81	17.29	21.29	23.02	23.08	23.02	22.92	23.06	22.04	19.47	16.08	6.0	20.0
Ban Tha Rua ('71-'80)	Max.	31.81	35.57	38.73	39.03	35.88	33.57	32.40	31.47	33.23	34.22	33.06	31.52	43.5	34.2

Table 3-17 Estimation of Water Loss due to Evapotranspiration W/ or W/O Reservoir  
Monthly List of Daily Average at Ban Tha Rua

		(Unit: mm/day)													
	Method	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Ann. Total	Ann. Mean
Available Precipitation for Crop Consumption	P : Precipitation x 0.8	0.62	0.06	0.24	1.10	6.09	7.40	8.31	8.86	5.58	3.14	0.76	0.28	1,300	3.56
Evapotranspiration in Calculation	A : Thornthwaite	2.23	3.43	5.42	7.77	7.01	6.17	5.48	5.00	5.77	5.23	3.97	2.61	1,828	5.01
	B : Blaney and Griddle	3.29	3.54	4.00	4.37	4.42	4.37	4.29	4.13	4.07	3.90	3.60	3.32	1,439	3.94
	AP: Smaller one either A or	0.62	0.06	0.24	1.10	6.09	6.17	5.48	5.00	5.58	3.14	0.76	0.28	1,056	2.89
Estimated Evapotranspiration (w/o Reservoir)	BP: either B or P	0.62	0.06	0.24	1.10	4.42	4.37	4.29	4.13	4.07	3.14	0.76	0.28	841	2.31
Estimated Evaporation (w/ Reservoir)	O : Observed Evaporation x 0.7	1.80	2.33	3.52	4.29	3.01	2.21	1.73	1.58	2.01	2.25	1.91	1.90	868	2.38
	AP-0	-1.18	-2.27	-3.28	-3.19	3.08	3.96	3.75	3.42	3.57	0.89	-1.15	-1.62	188	0.51
	BP-0	-1.18	-2.27	-3.28	-3.19	1.41	2.16	2.56	2.55	2.06	0.89	-1.15	-1.62	-27	-0.07

Note : 1) "-" means that evaporation from the reservoir is greater than evapotranspiration from the existing flora, when the reservoir will be filled up.

Table 3-18 Estimation of Water Loss due to Evapotranspiration W/ or W/O Reservoir  
Monthly List of Daily Average at Sop Han

(Unit: mm/day)

	Method	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Ann. Total	Ann. Mean
Available Precipitation for Crop Consumption	P : Precipitation x 0.8	0.41	0.07	0.20	0.77	4.50	4.59	5.76	6.02	6.18	2.88	0.41	0.28	958	2.62
	A : Thornthwaite	3.04	2.86	5.16	8.70	7.52	5.73	4.77	4.65	4.93	4.90	3.73	2.45	1,780	4.88
	B : Blaney and Criddle	3.39	3.46	3.97	4.60	4.48	4.33	4.19	4.10	3.97	3.84	3.57	3.29	1,436	3.93
Estimated Evapotranspiration (w/o Reservoir)	AP: Smaller one either A or P	0.41	0.07	0.20	0.77	4.50	4.59	4.77	4.65	4.93	2.88	0.41	0.28	871	2.39
	BP: either B or P	0.41	0.07	0.20	0.77	4.48	4.33	4.19	4.10	3.97	2.88	0.41	0.28	816	2.24
Estimated Evaporation (w/ Reservoir)	O : Observed Evaporation x 0.7	2.11	3.40	4.37	5.18	3.96	2.54	2.08	2.06	2.62	2.56	2.10	1.92	1,059*	2.90
	AP-0	-1.70	-3.33	-4.17	-4.41	0.54	2.05	2.69	2.59	2.31	0.32	-1.69	-1.64	-188	-0.51
BP-0		-1.70	-3.33	-4.17	-4.41	0.52	1.79	2.11	2.04	1.35	0.32	-1.69	-1.64	-243	-0.66

Note: 1) "-" means that evaporation from the reservoir is greater than evapotranspiration from the existing flora, when the reservoir will be filled up.  
2) \* : This figure 1,059 mm (1,059/0.7 = 1,513 mm) is greater than the one in Table 4-14, because this is derived from the record 1969, 1970 and 1980 in relation to available temperature record needed in the calculation.

Table 3-19 Monthly Comparison of Daily Average Runoff, Observed & Estimated

Mon. Year	(Unit: m <sup>3</sup> /s, excp. Ann. Total (m <sup>3</sup> /s.day))												Annual Total (m <sup>3</sup> /s.day)	Annual Average
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		
1970	48.09	34.65	25.20	24.65	49.25	69.23	145.13	247.13	262.60	145.77	77.21	55.73	36,186	99.14
	30.03	23.25	16.53	12.05	26.10	43.88	54.76	163.55	258.70	219.09	111.33	64.93	31,254	85.63
1971	35.65	25.52	20.01	14.71	29.82	83.98	323.55	359.68	268.10	142.05	76.05	47.96	43,720	119.78
	40.90	33.16	29.04	20.41	14.81	18.36	154.76	181.15	230.67	133.48	64.29	39.31	29,338	80.38
1972	33.12	24.06	19.15	19.19	17.21	36.34	197.19	310.55	195.10	128.60	95.40	60.26	34,827	95.16
	31.56	24.31	17.32	13.40	13.20	12.70	24.17	116.09	129.23	159.28	92.61	55.62	21,078	57.59
1973	40.03	26.55	21.92	16.05	31.63	64.09	133.28	264.52	289.13	180.16	88.30	55.34	37,004	101.38
	32.43	26.15	19.56	13.59	16.58	22.38	51.21	147.37	196.02	136.46	65.19	36.94	23,305	63.85
1974	35.26	25.12	17.15	16.18	31.12	72.20	127.66	227.53	174.83	116.01	83.14	41.42	29,574	81.03
	28.89	22.15	15.54	12.70	12.50	30.84	87.48	191.97	142.29	116.48	70.65	40.30	23,603	64.66
1975	38.84	25.63	21.92	15.22	24.98	71.36	140.70	205.09	274.80	182.87	85.96	50.25	34,723	95.13
	41.86	28.53	22.70	15.79	13.95	36.55	83.14	113.47	132.39	94.92	51.15	31.57	20,325	55.69
1976	36.01	26.26	18.64	13.95	26.70	50.89	115.43	221.10	188.63	154.91	82.99	48.36	30,111	82.27
	25.97	20.24	14.84	12.82	12.70	14.53	44.54	112.68	104.83	75.40	46.11	26.90	15,639	42.73
1977	52.73	24.76	18.37	17.57	20.02	29.29	71.02	170.48	290.53	115.72	72.43	44.48	28,265	77.44
	31.45	20.60	15.45	15.62	12.14	15.01	30.71	77.67	174.65	119.01	63.53	39.28	18,738	51.34
1978	32.31	23.49	15.80	11.67	21.91	23.35	133.64	244.19	211.10	140.91	58.89	34.66	29,134	79.82
	30.03	24.60	19.17	13.38	13.53	13.96	83.26	133.52	184.34	171.03	82.15	44.01	24,835	68.04
1979	24.92	19.14	13.29	12.11	18.94	23.24	58.62	241.01	116.29	108.15	47.23	28.17	21,788	56.69
	32.19	24.84	17.75	12.72	12.00	27.33	32.79	129.39	144.22	130.45	59.01	32.84	20,004	54.80
1980	17.96	13.29	10.92	9.06	32.84	51.58	94.70	143.79	327.37	185.26	82.61	52.57	31,183	85.20
	25.58	19.04	13.25	12.00	66.20	47.05	69.28	110.32	279.99	197.98	106.01	63.82	30,843	84.27

Note: Upper line is observed runoff.  
Lower line is estimated runoff.

Table 3-20 Monthly Comparison of Daily Average Runoff, Observed & Estimated, throughout the Period

Mon. Year	(Unit: m <sup>3</sup> /s, excp. Ann. Total (m <sup>3</sup> /s.day))												Annual Total Average (m <sup>3</sup> /s.day)	
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		
Observed ( '70-'80)	35.9	24.4	18.3	15.5	27.7	52.3	140.1	239.6	236.2	145.6	77.3	47.2	32,400	88.5
Estimated ( '50-'80)	31.46	24.65	18.63	14.40	17.76	27.31	62.87	142.79	169.95	137.53	74.95	43.29	23,378	59.38

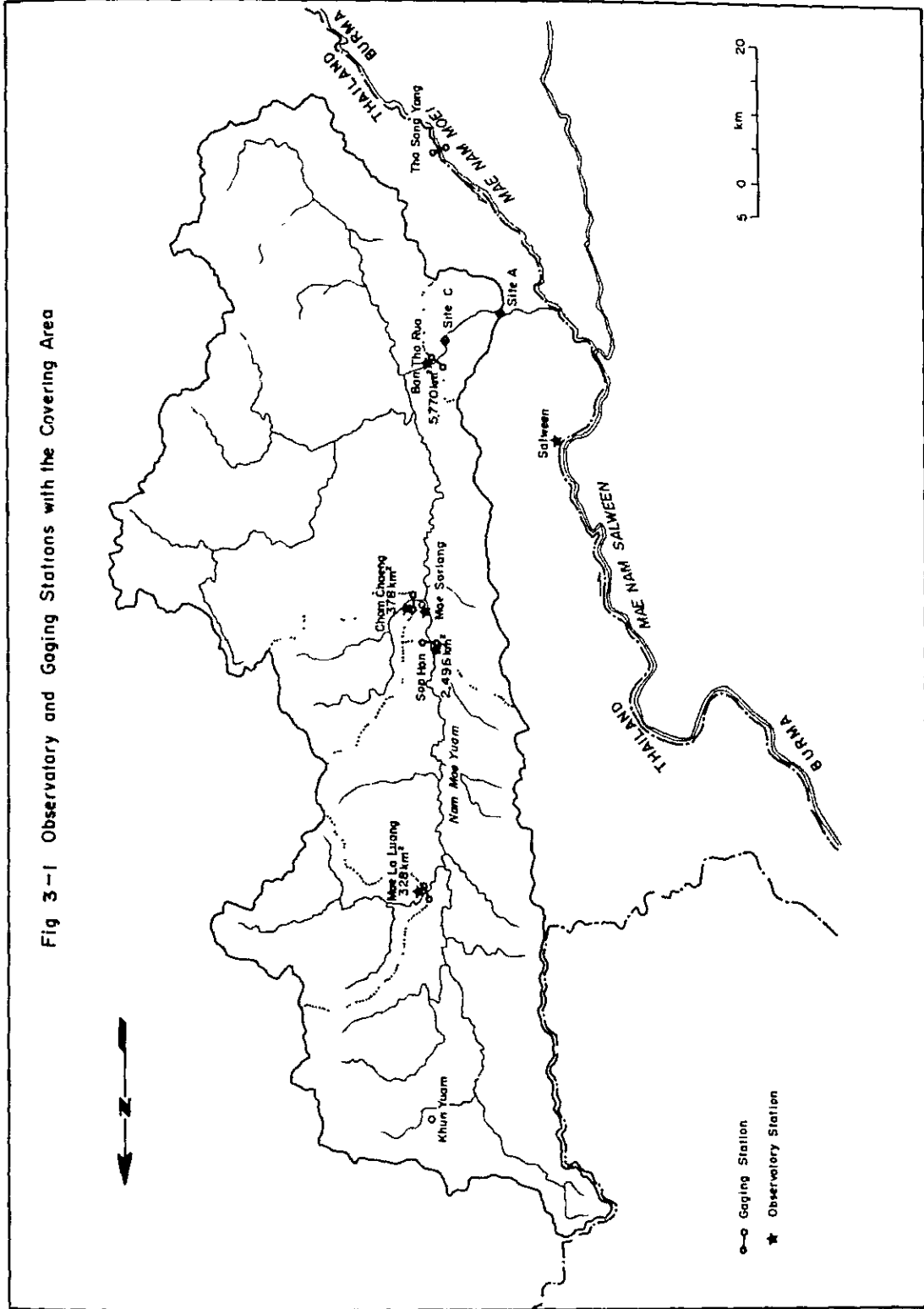


Fig 3-1 Observatory and Gaging Stations with the Covering Area

Fig. 3-4 Average of Monthly Temperature (Max. Min.) (°C)

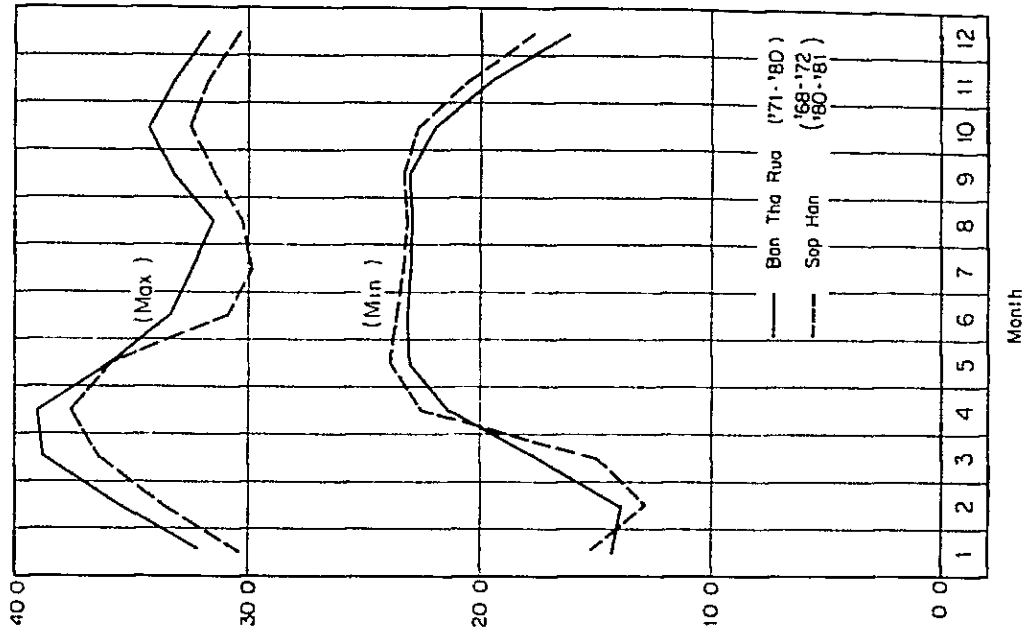


Fig. 3-2 Average of Monthly Precipitation (mm/Mon)

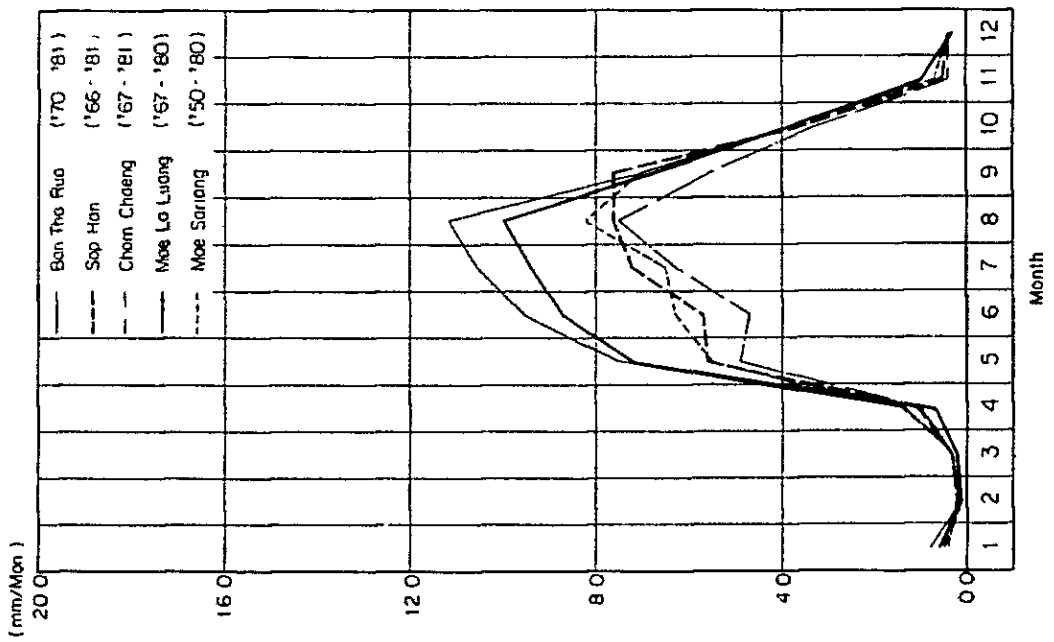




Fig. 3 - 3 Annual Total Precipitation

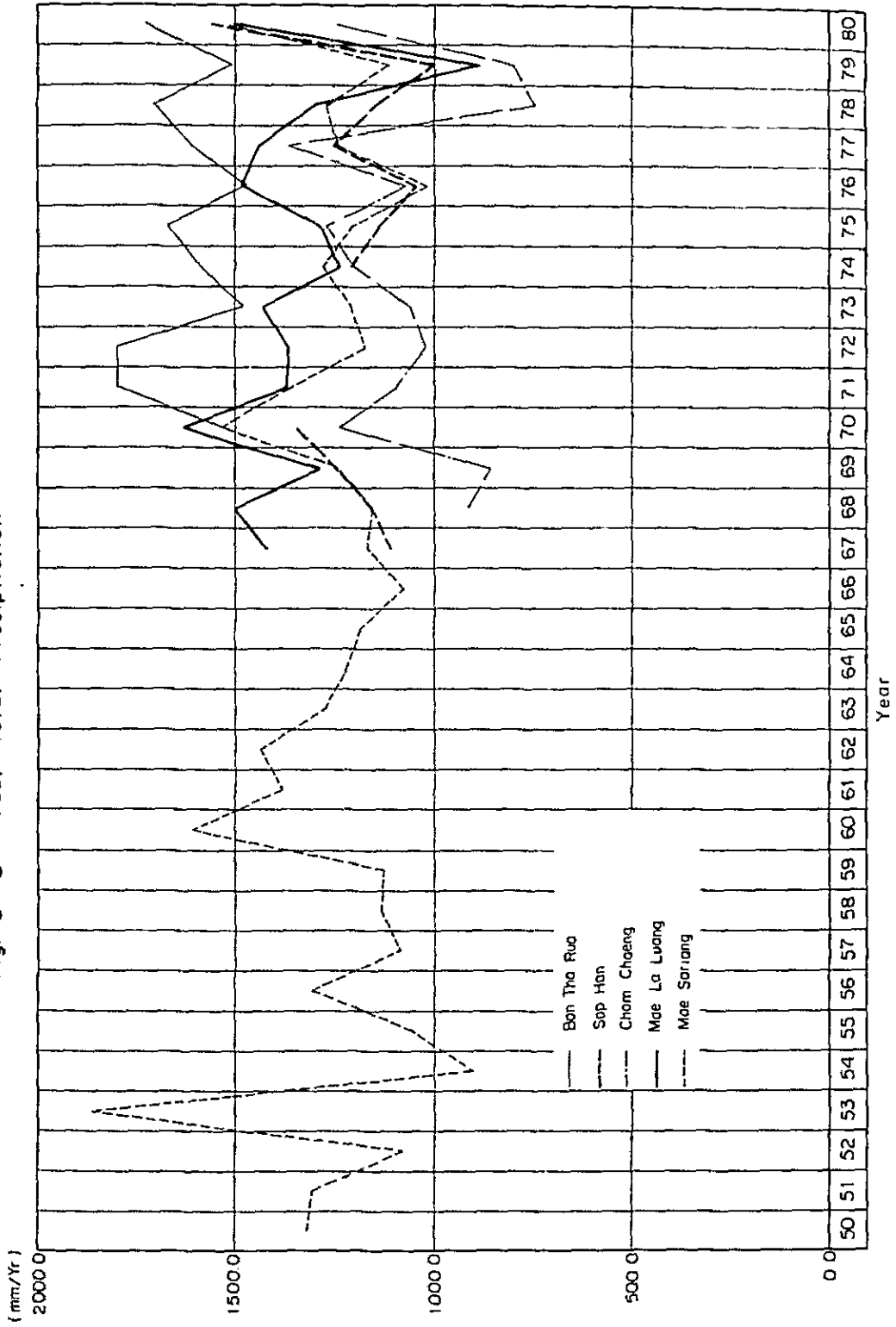


Fig. 3-5 Average of Monthly Relative Humidity

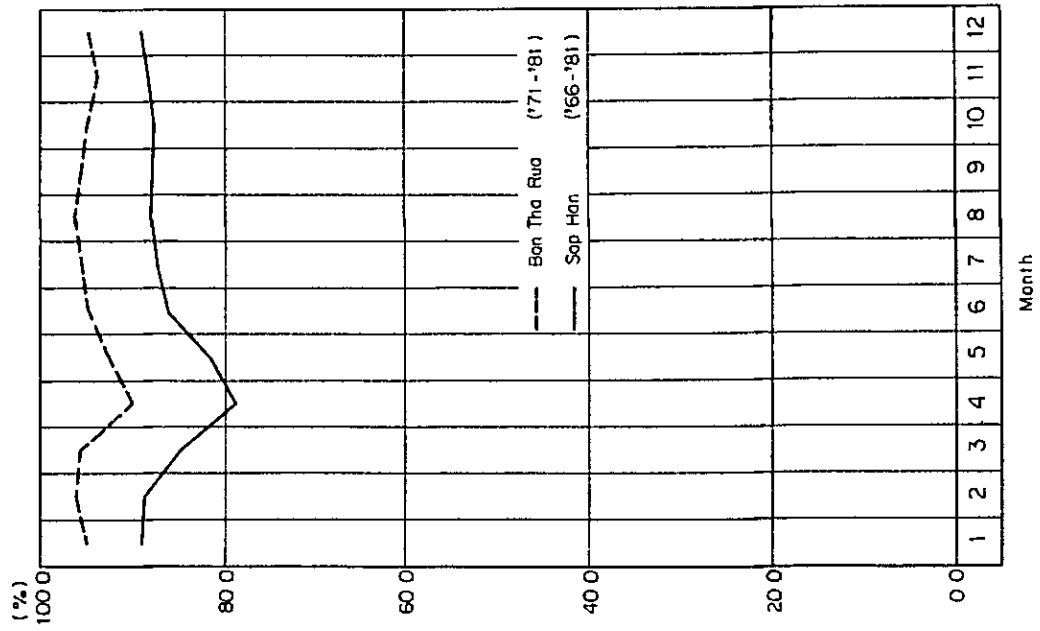


Fig. 3-6 Average of Monthly Evaporation

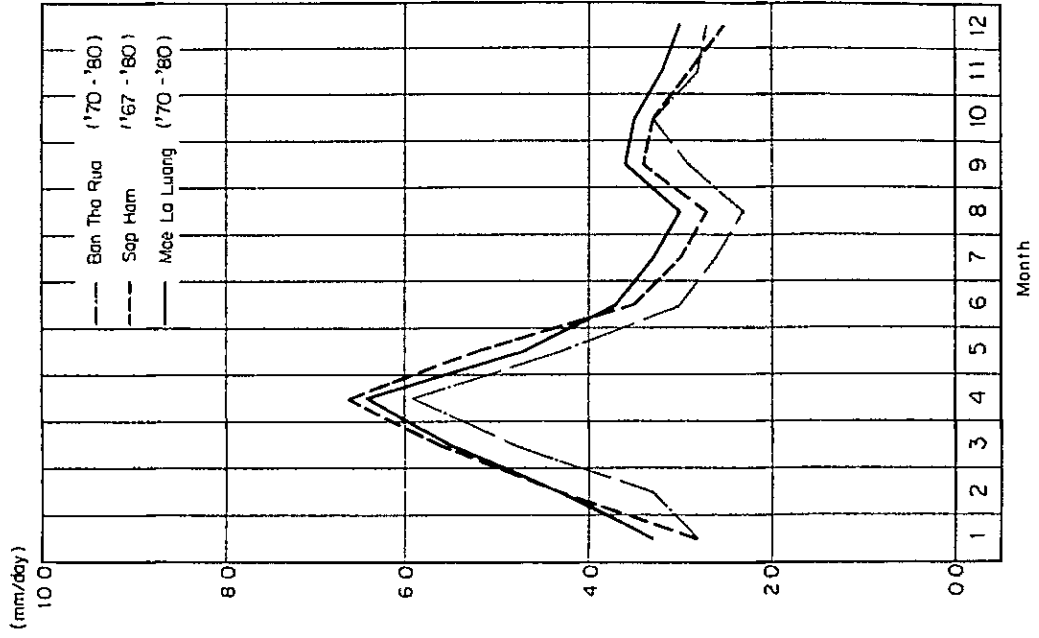


Fig. 3 - 7 Average of Monthly Runoff at Ban Tha Rua

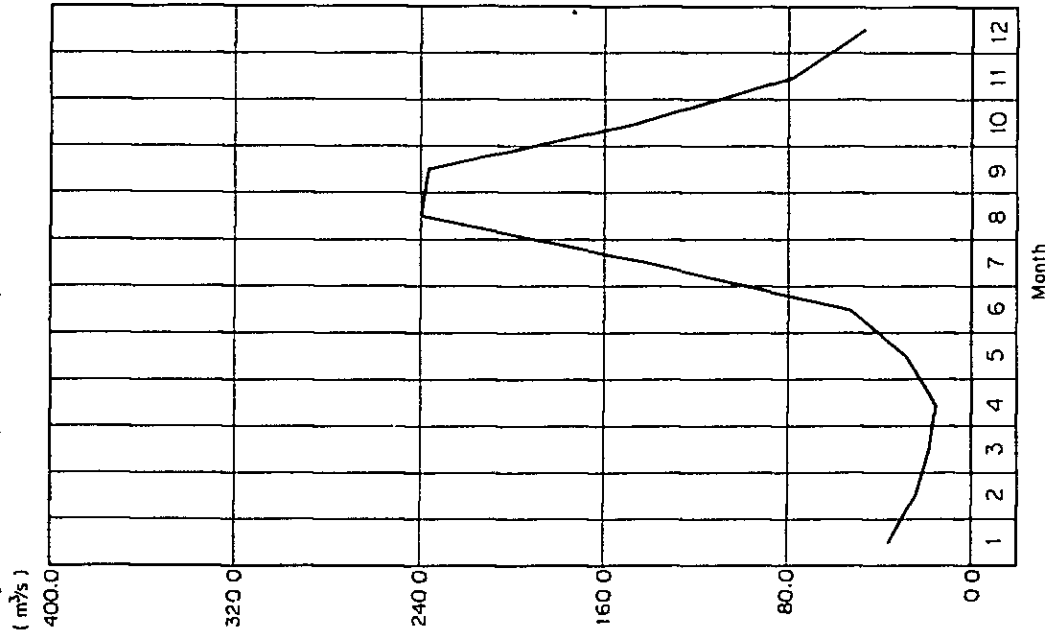


Fig. 3 - 8 Annual Total Runoff at Ban Tha Rua

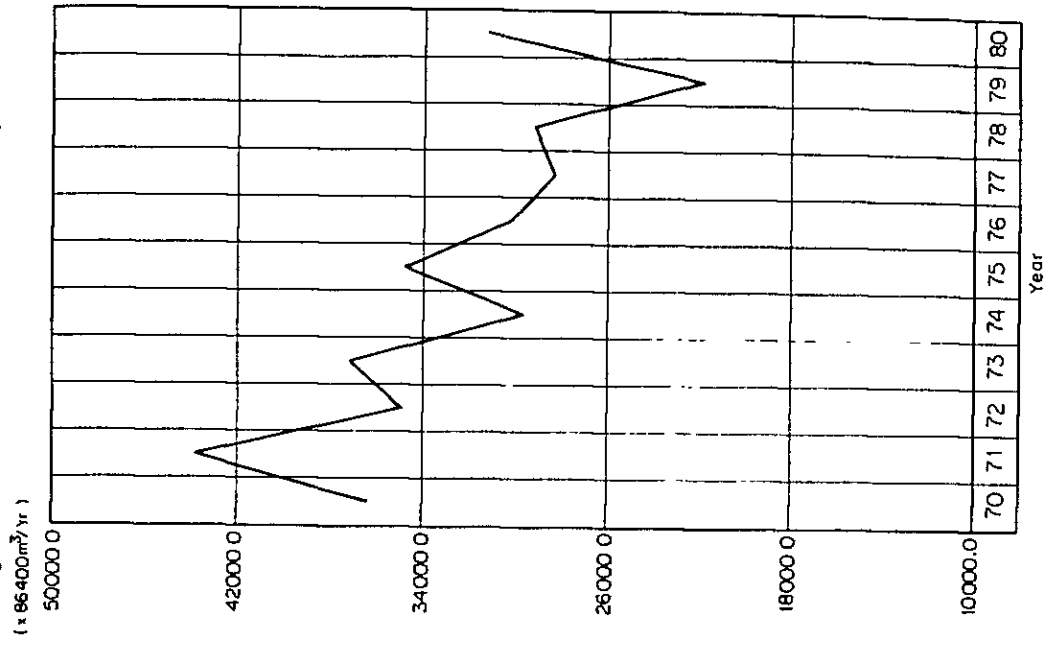
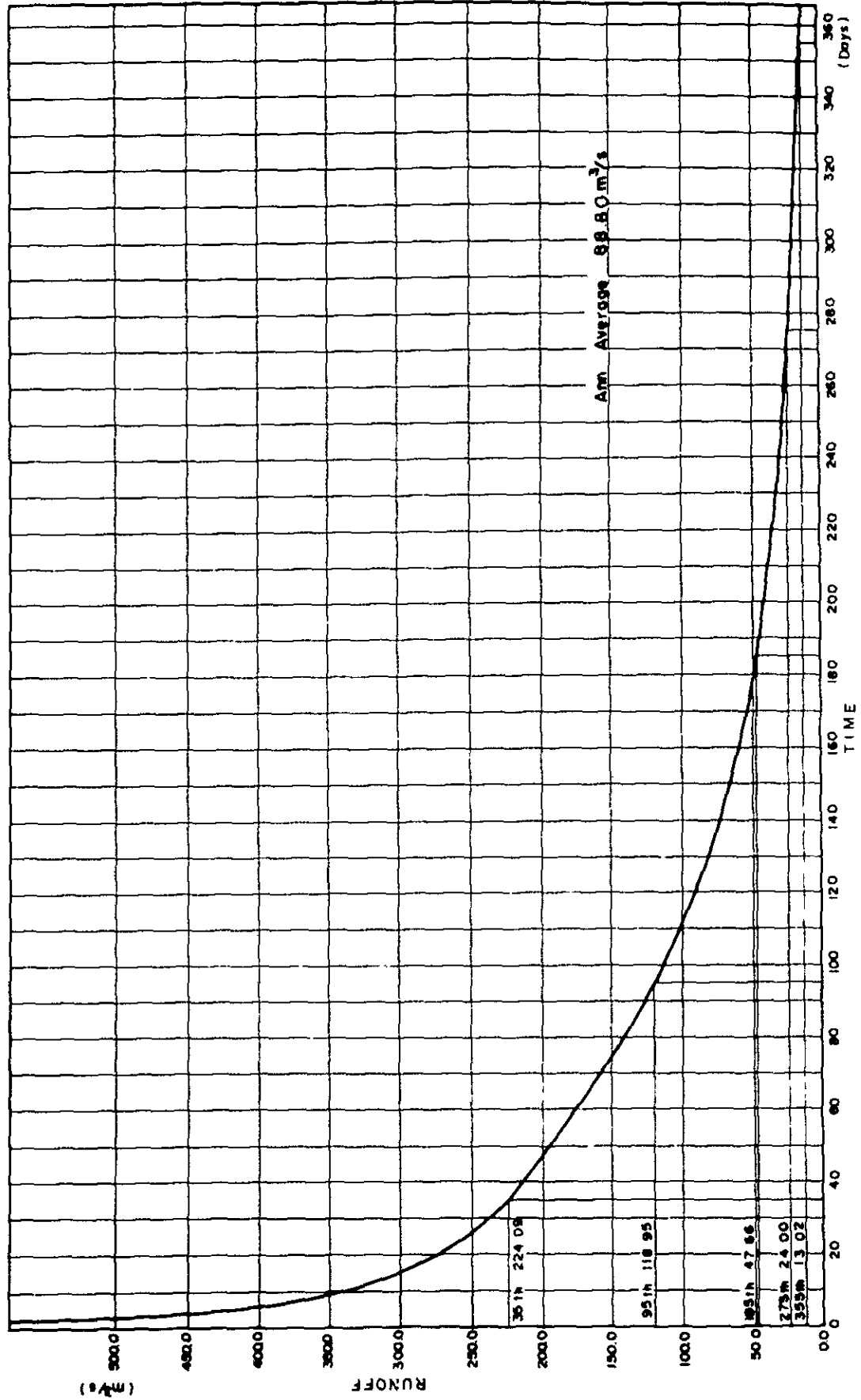


Fig. 3-9 Duration Curve of Nam Moe Yuom  
of Ban Tho Rua G.S (C.A. = 5,770 km<sup>2</sup>)  
Parallel Average of Recorded Period 1970 to 1980



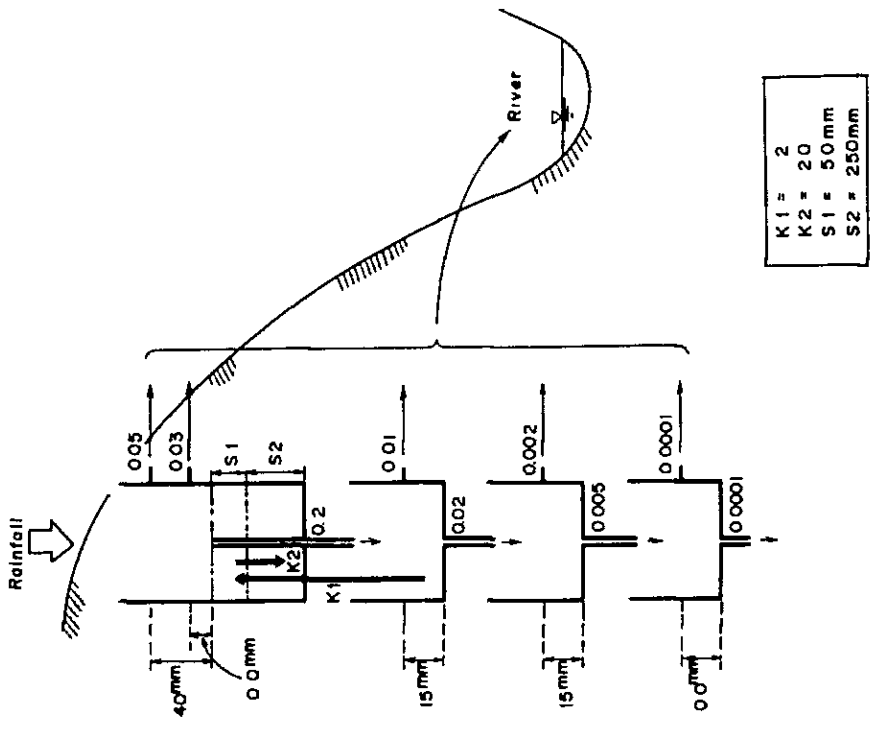


Fig. 3-10 Tank Model with Adopted Coefficients

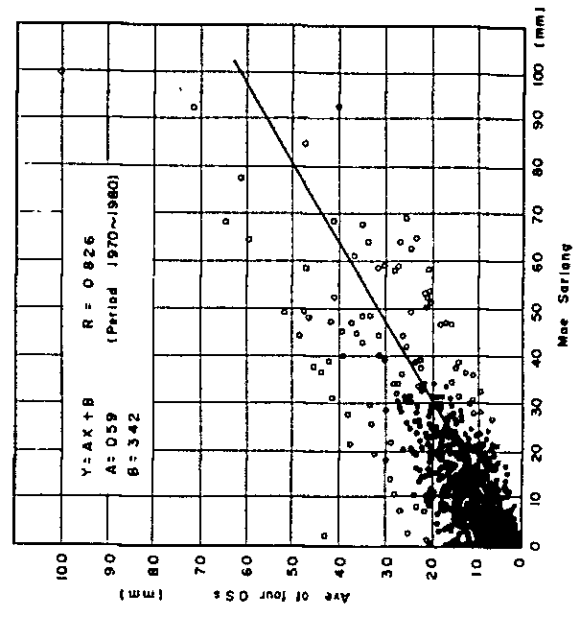


Fig 3-11 Correlation of Daily Rainfall between Mae Sariang and Other four (4) O.S.s (Ban Tha Rua, Sap Han, Chom Chaeng, Mae La Luang)

Fig. 3-12 Estimated and Observed Runoff of Yuam River

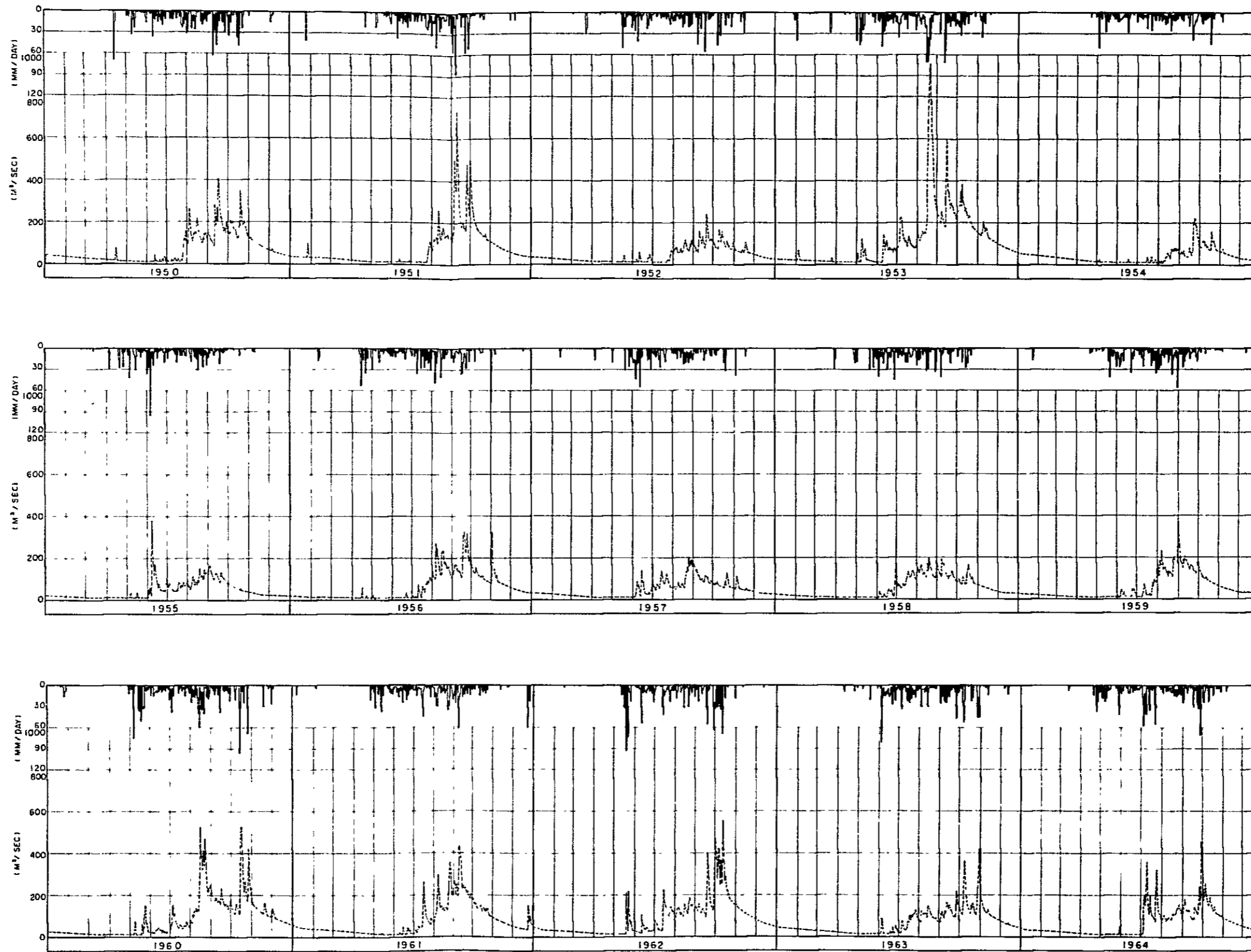


Fig. 3-12 Estimated and Observed Runoff of Yuam River (cont'd.)

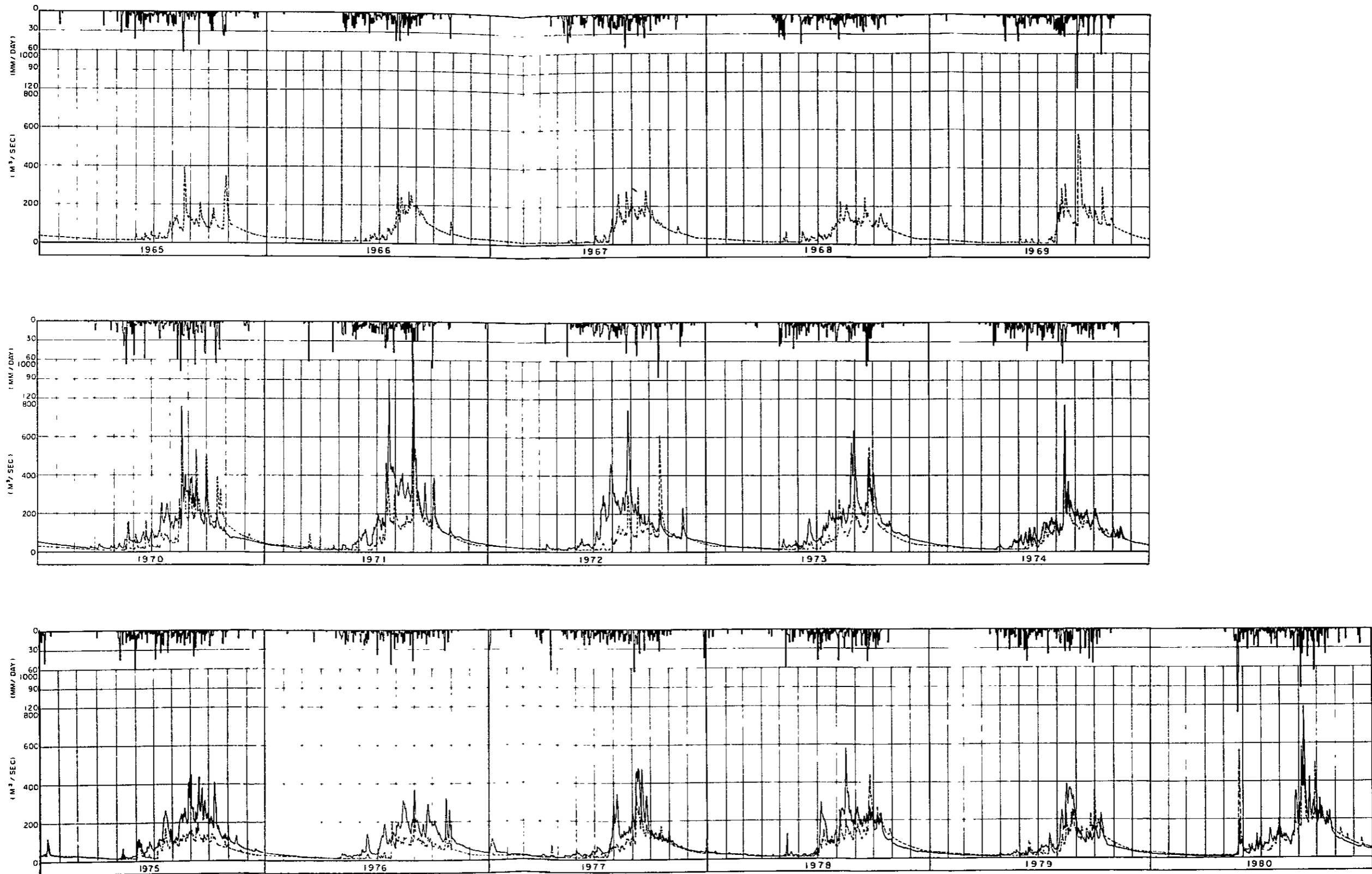






Fig. 3 - 13 Spectrum Analysis of Estimated Runoff

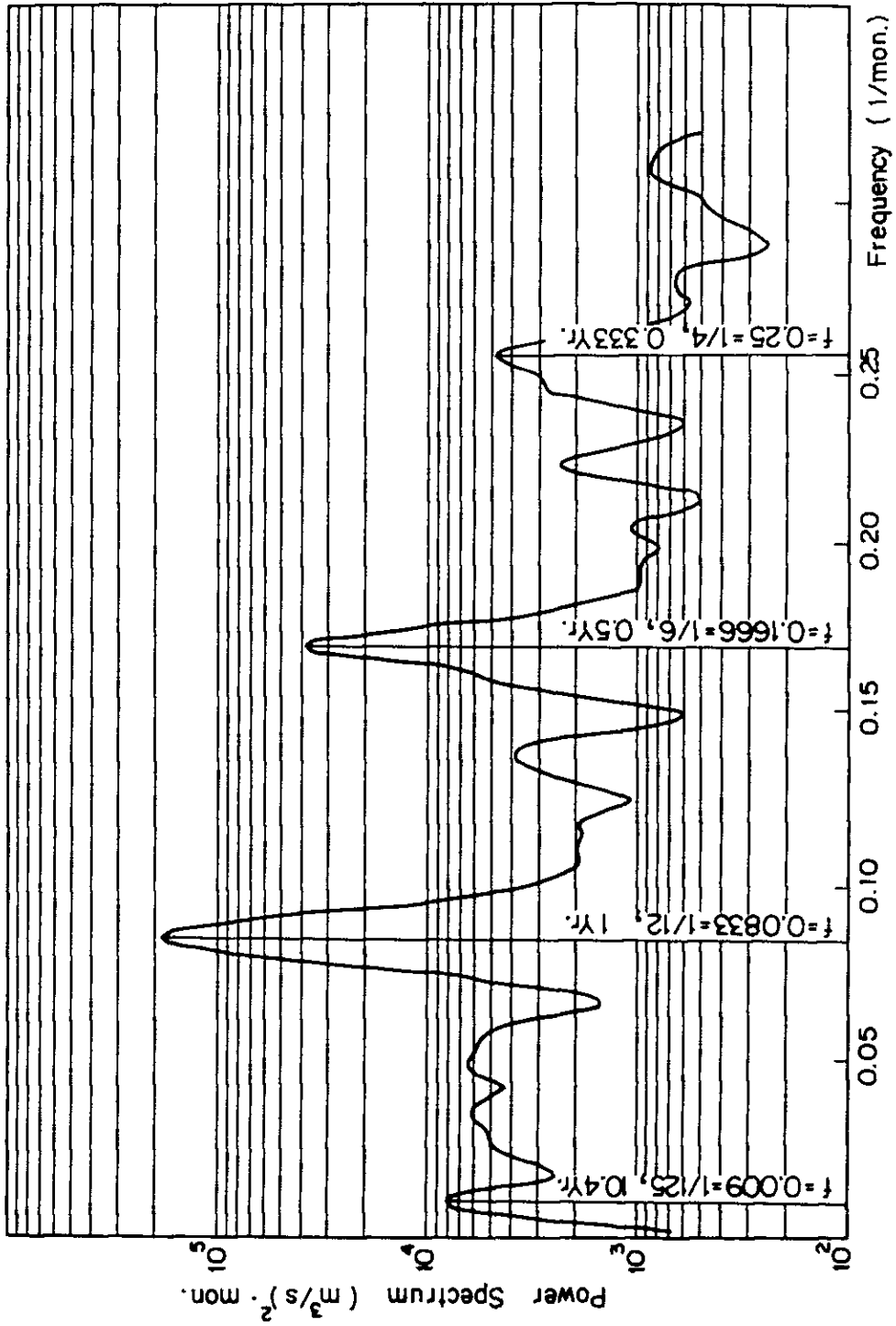
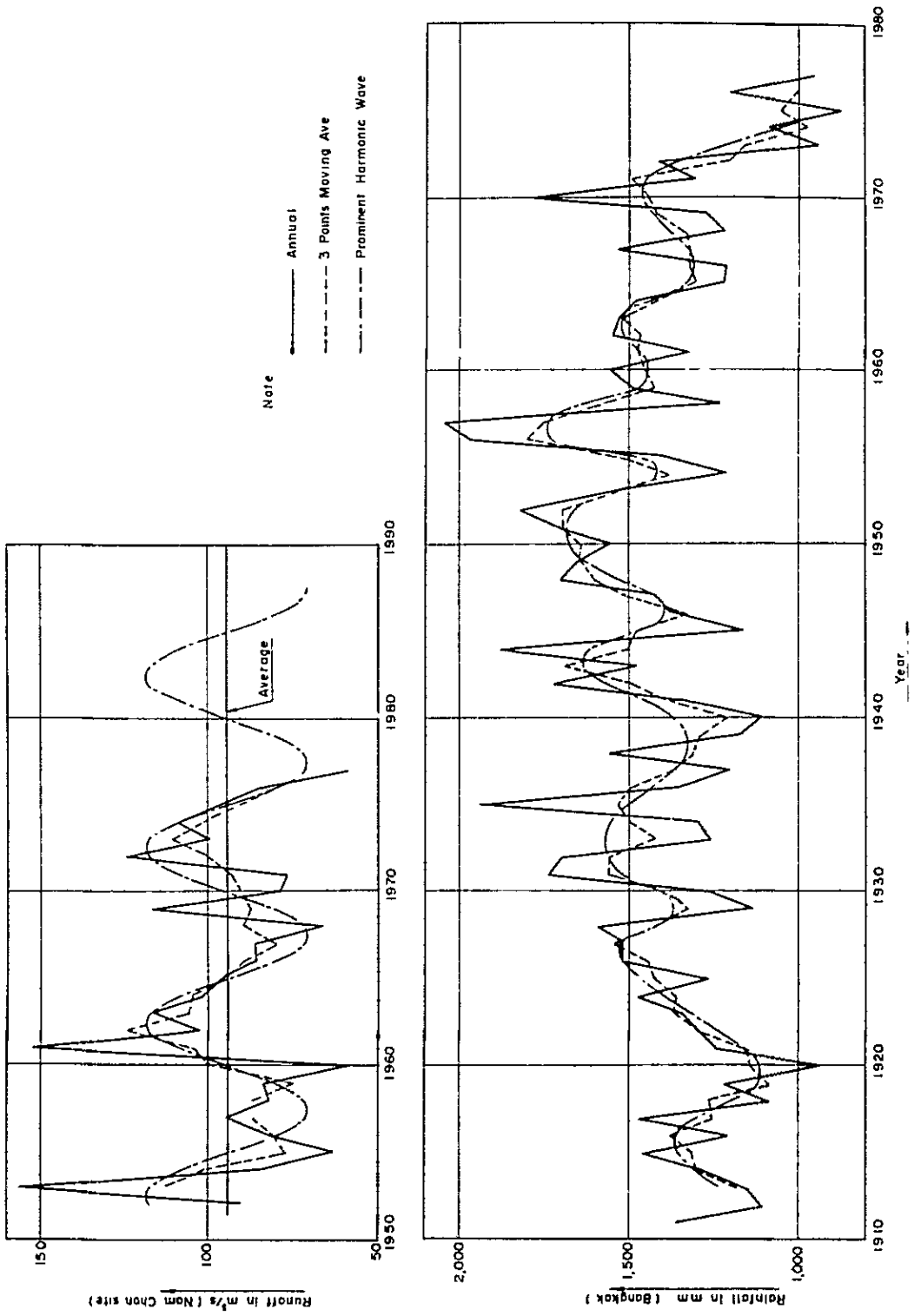


Fig. 3-14 Cycle of Runoff and Rainfall ( 3 Points Moving Average Method )



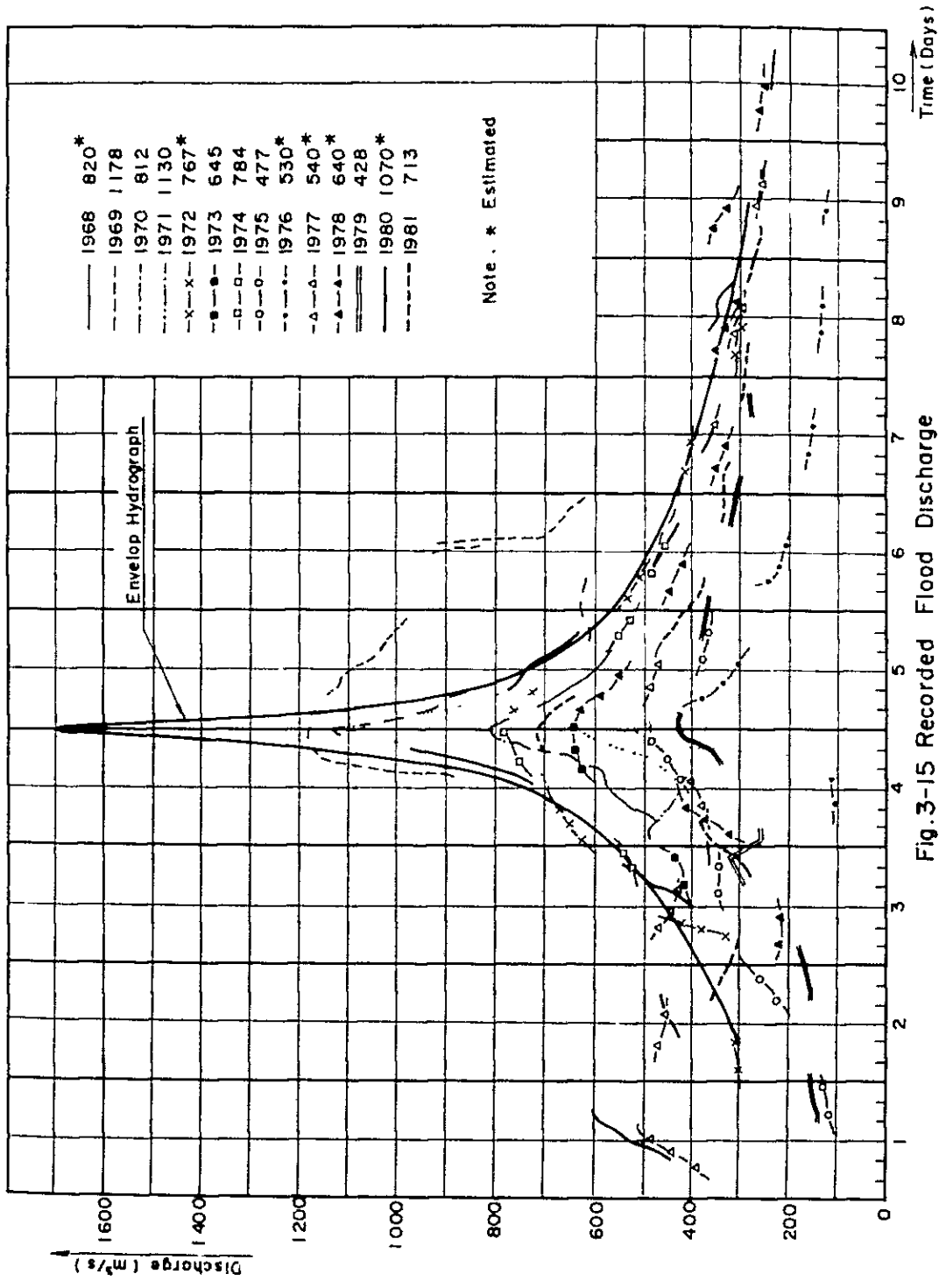


Fig.3-15 Recorded Flood Discharge

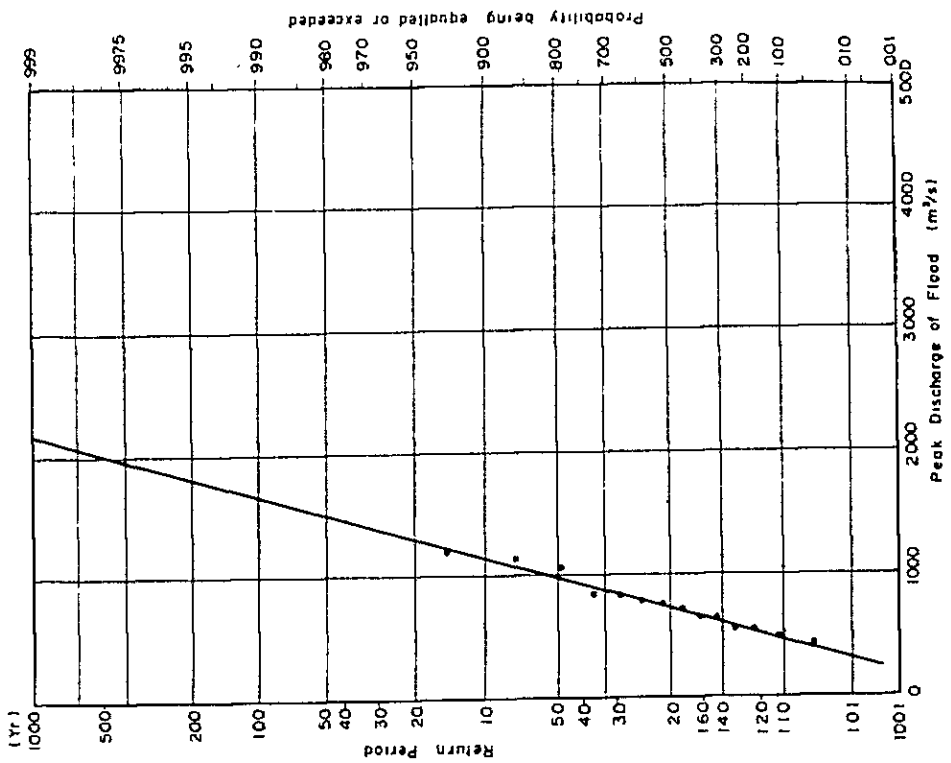


Fig 3-17 Gumbel Distribution of Flood Peak

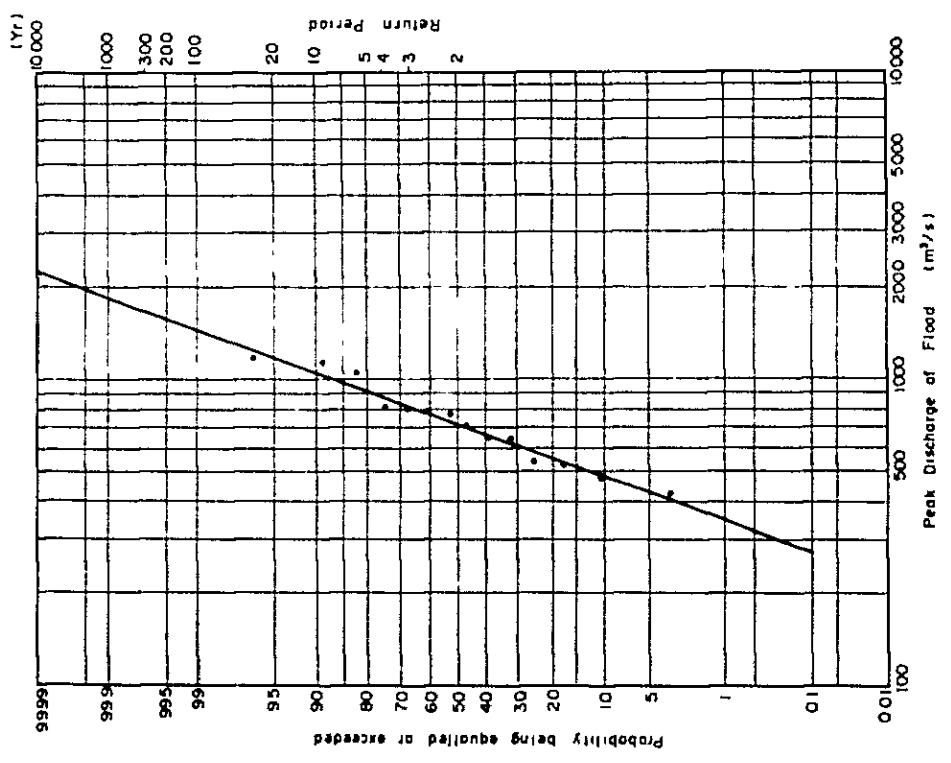
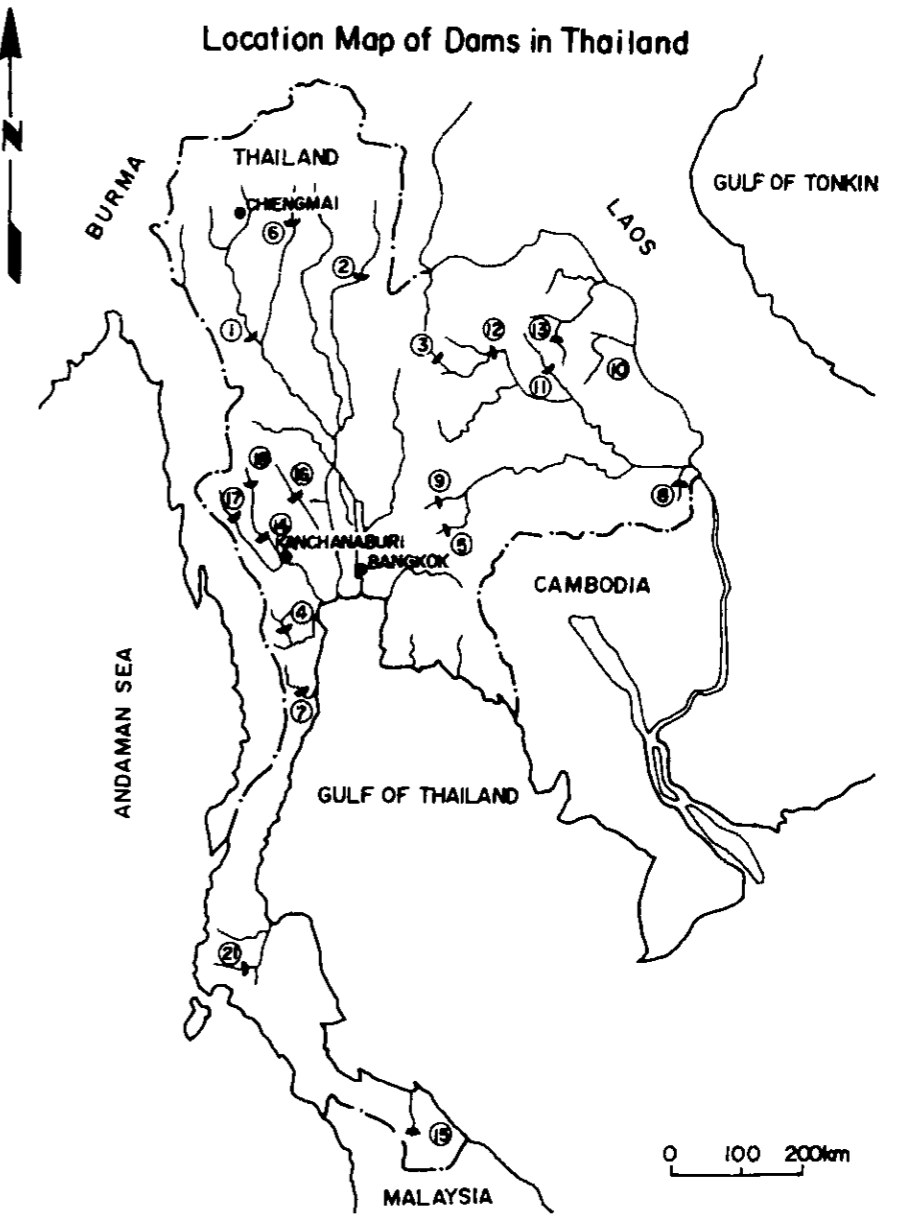
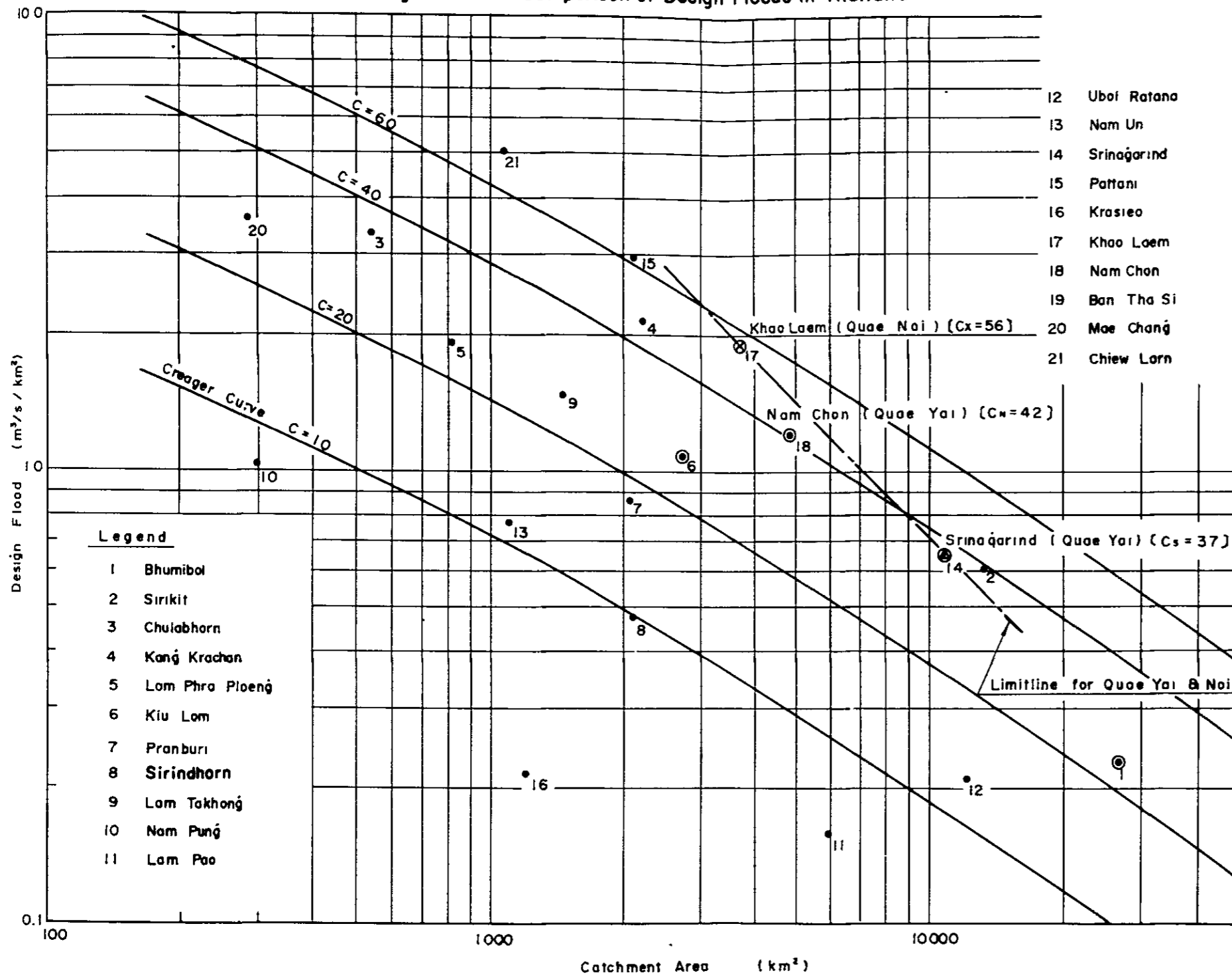


Fig 3-16 Log Normal Distribution of Flood Peak

Fig. 3-18 Comparison of Design Floods in Thailand



**Notes:**

- Creager's Eq.  
 (Unit in cfs-sq Miles)  $q = 46 C A^{(0.894 \cdot A^{-0.048} - 1)}$   
 (Unit in m³/s-sq km)  $q = 0.503 C (0.3861 A)^{[0.894 \cdot (0.3861 A)^{-0.048} - 1]}$
- Values in [ ] are Creager's coefficients C derived from Design PMF



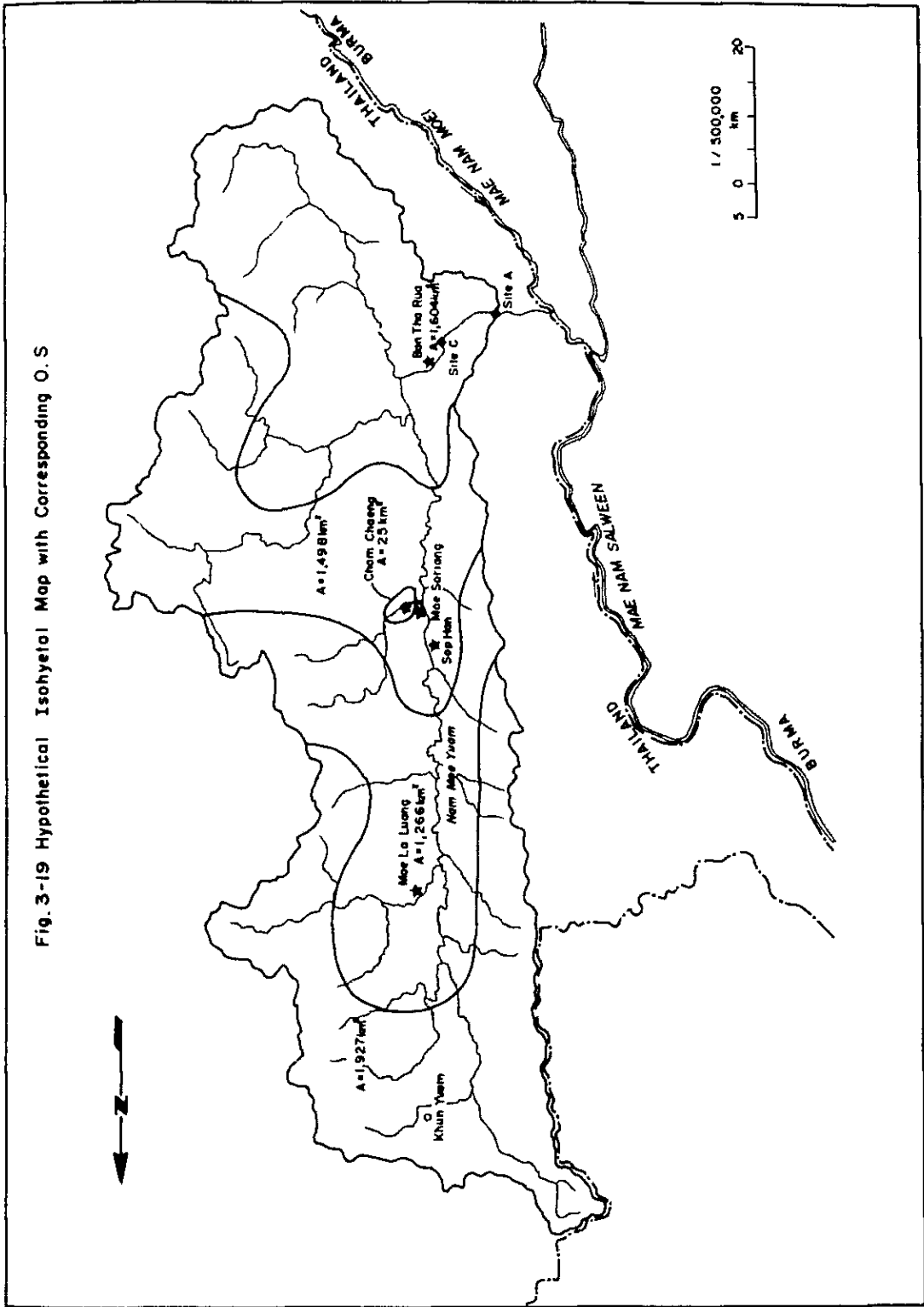


Fig. 3-19 Hypothetical Isohyetal Map with Corresponding O. S

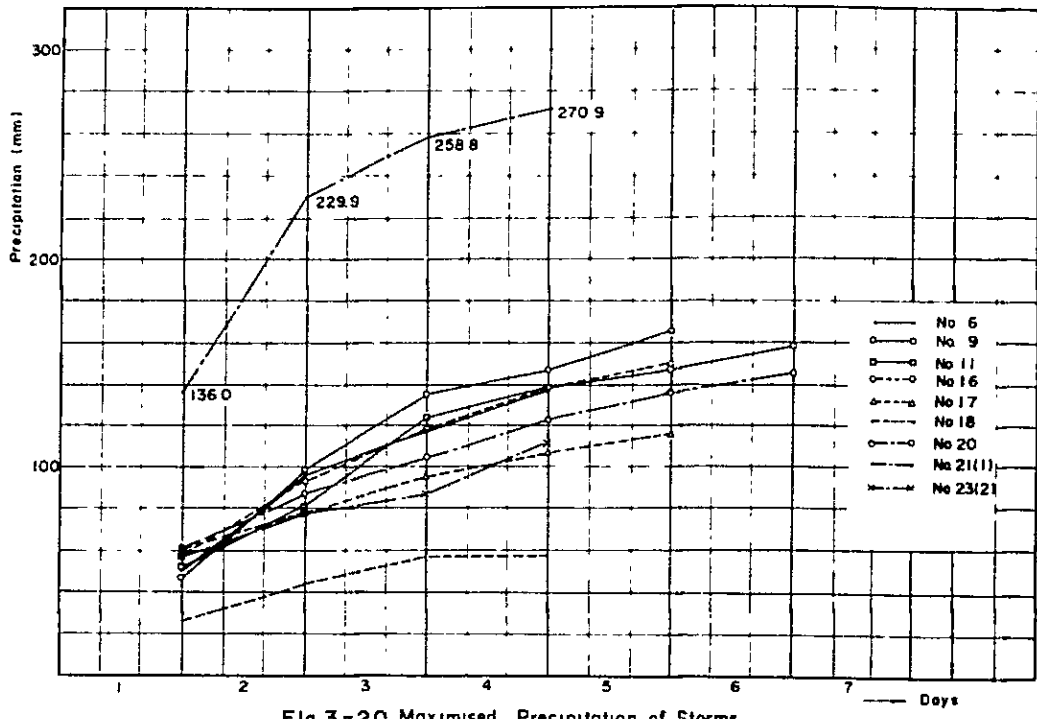


Fig.3-20 Maximised Precipitation of Storms

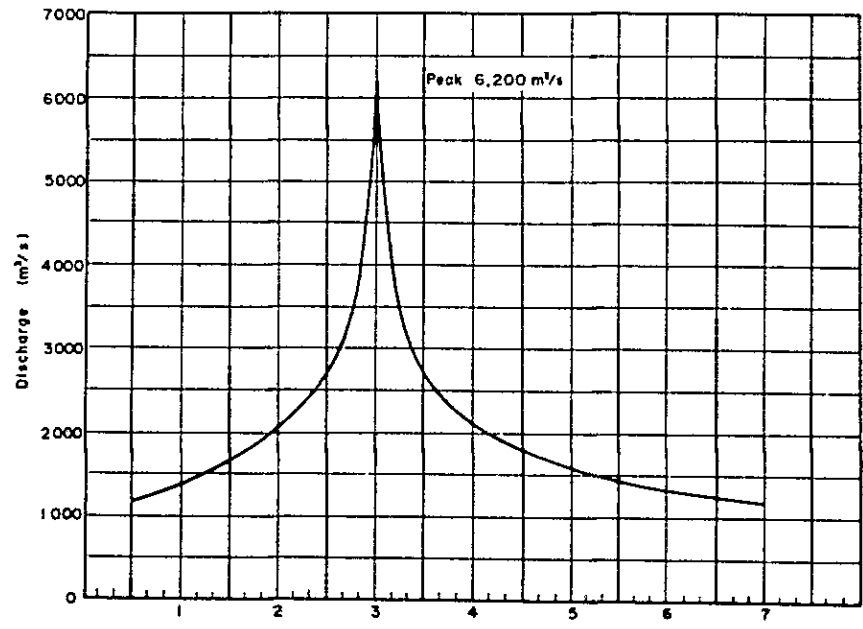


Fig 3-21 PMF Discharge