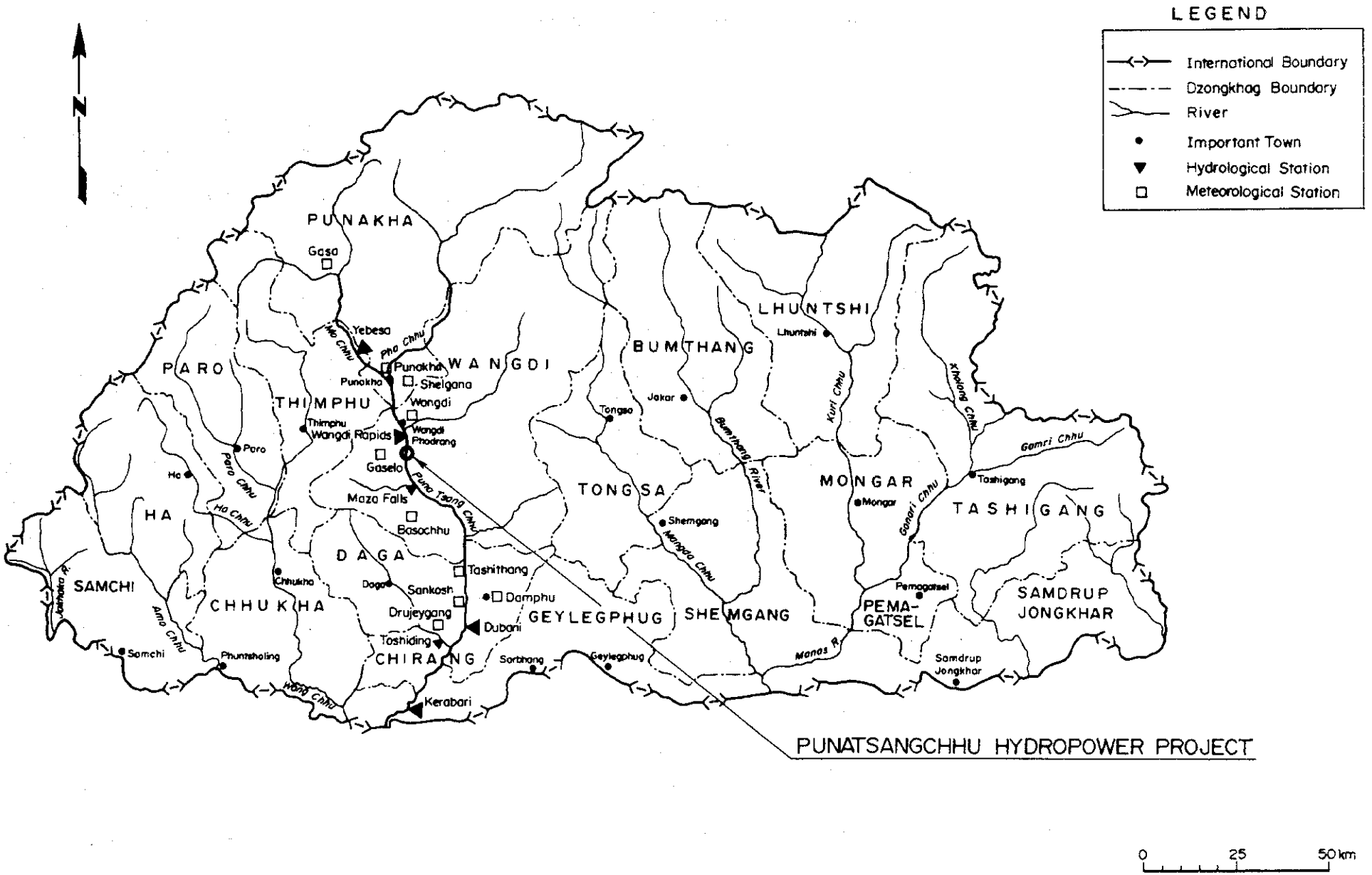


PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJECT

Fig. 6.1 Location Map of Hydrological and Meteorological Stations

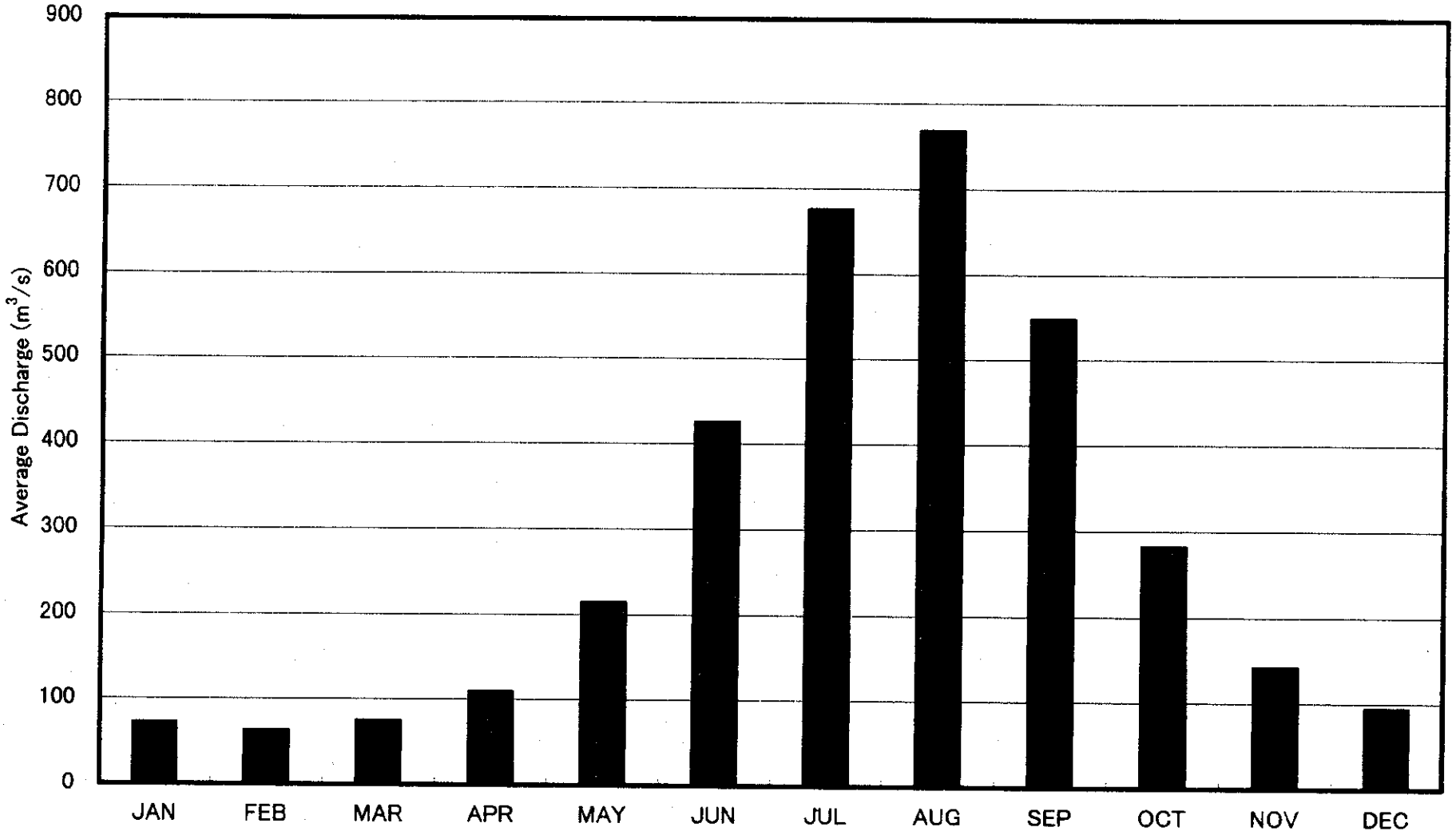


Fig. 6.2 Average Dischrage at Wangdi Rapids Station

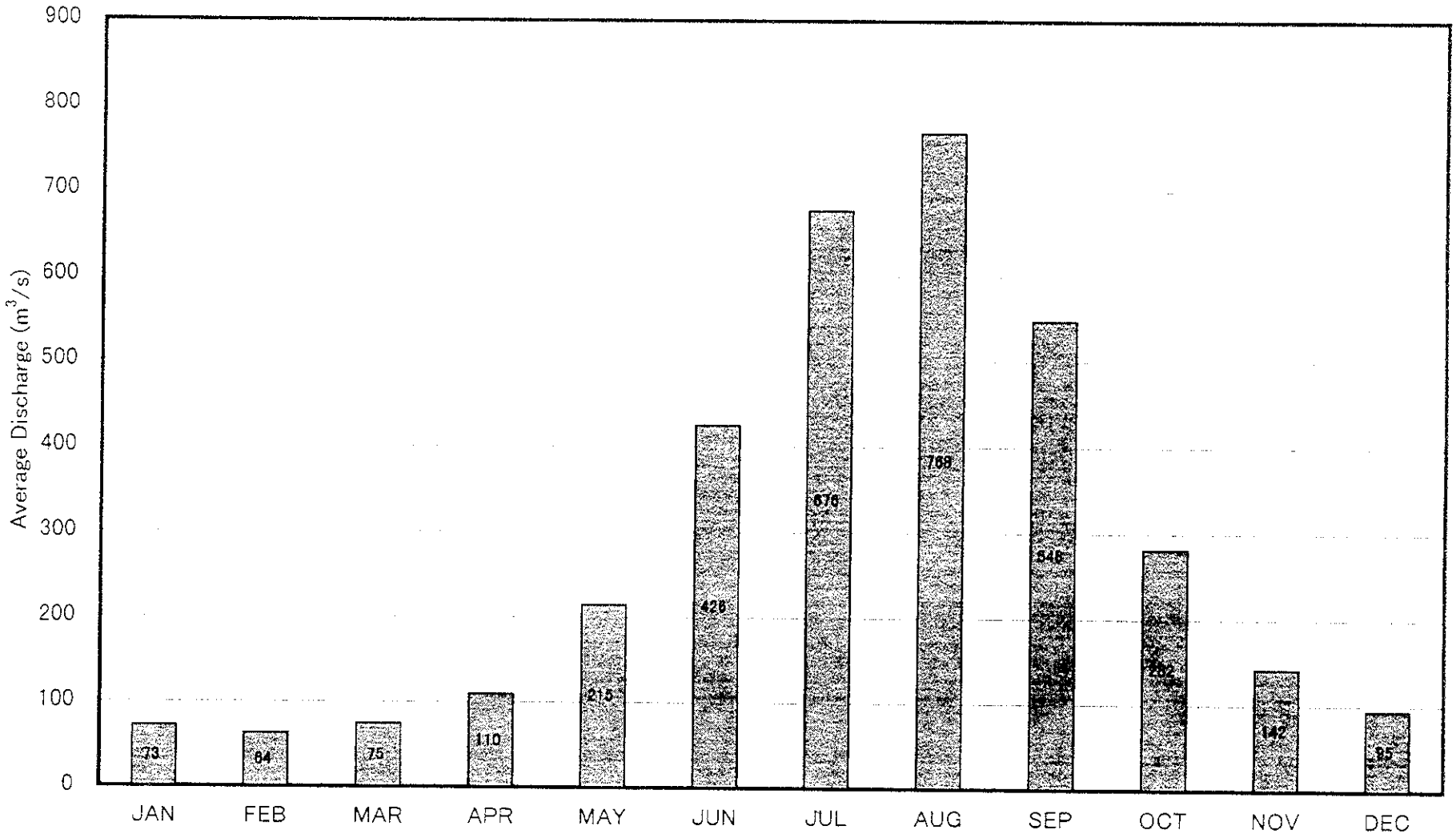


Fig. 6.2 Average Dischrage at Wangdi Rapids Station

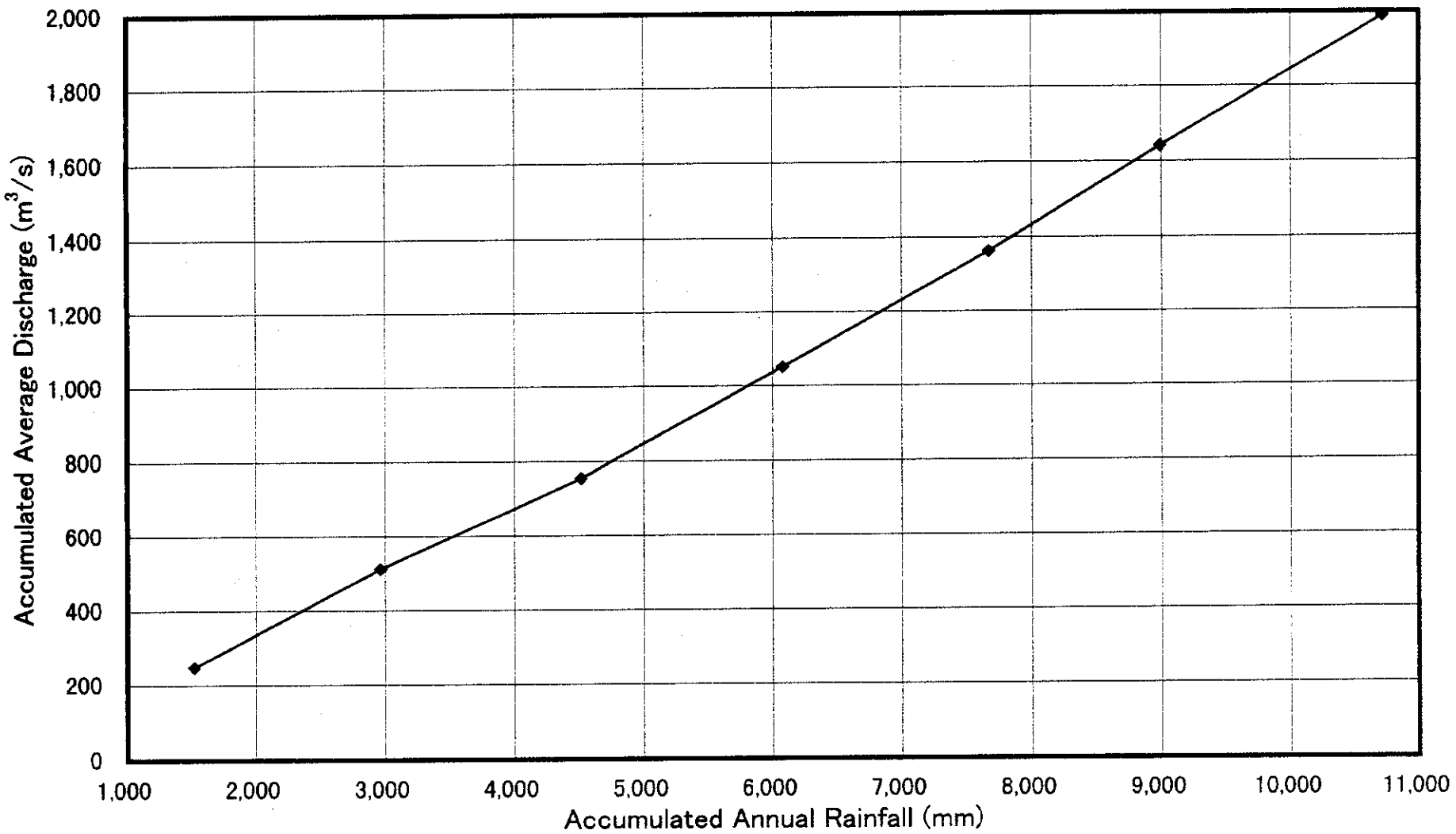


Fig. 6.3 Double Mass Curve

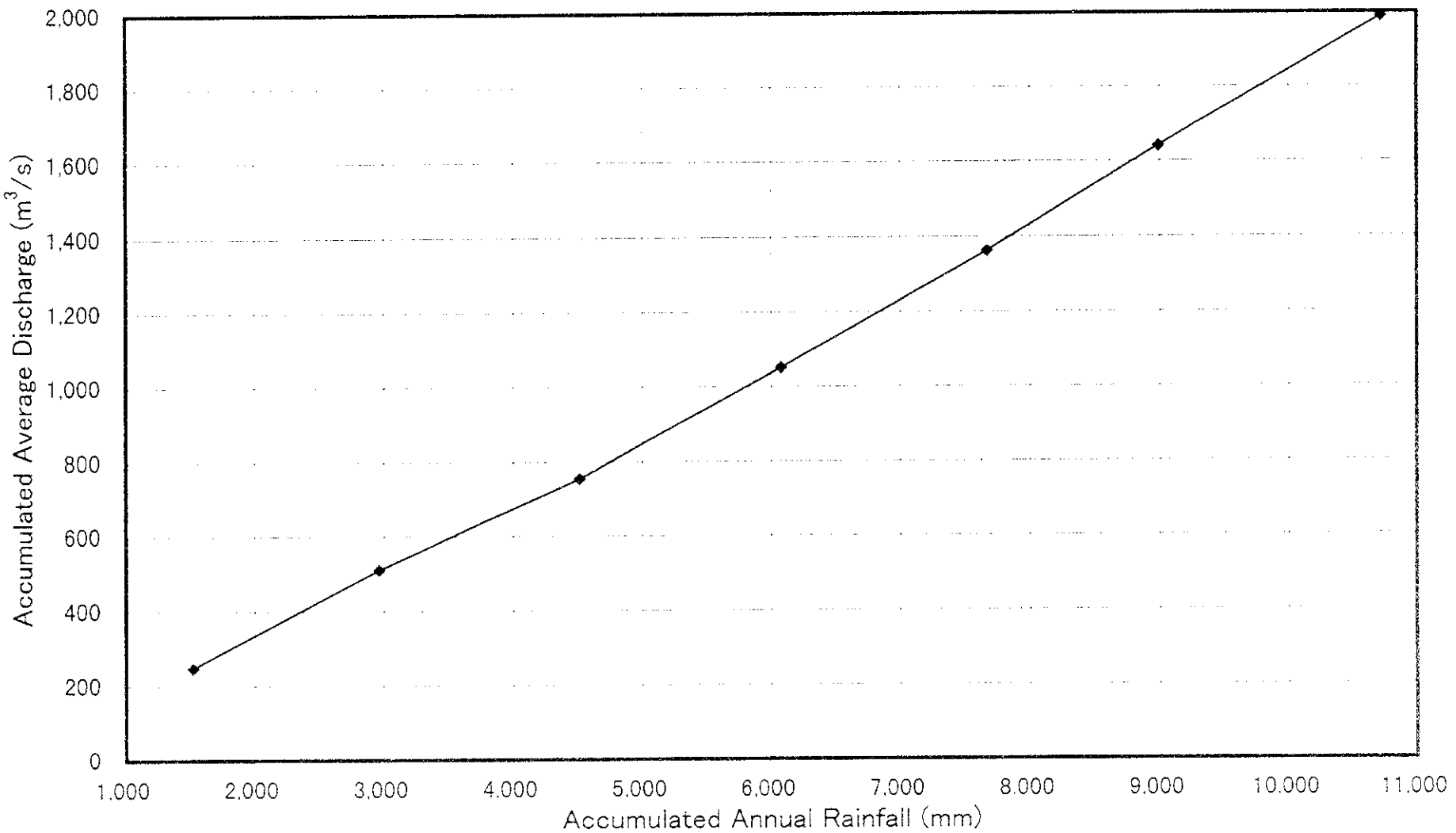


Fig. 6.3 Double Mass Curve

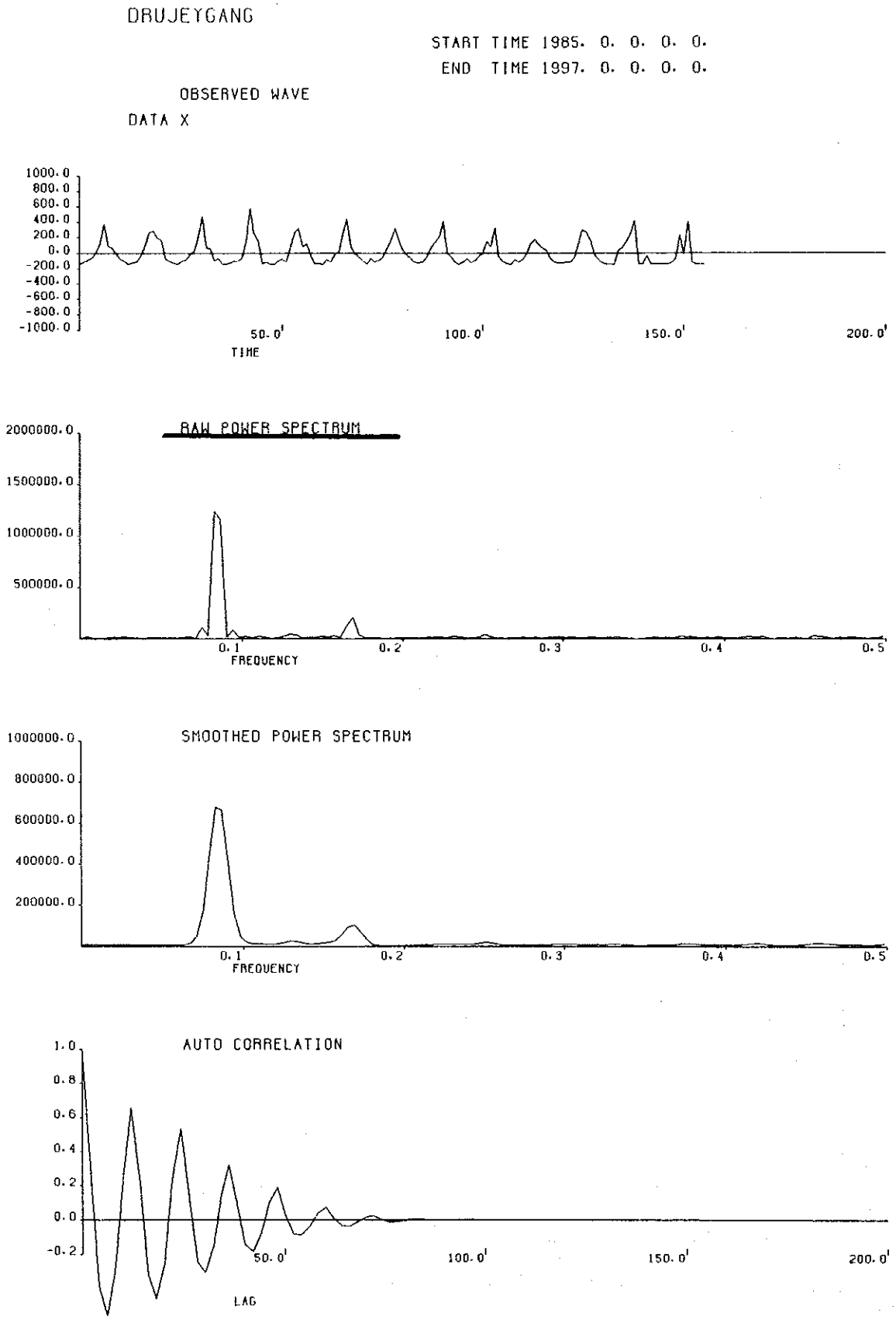


Fig. 6.4 Spectrum Analysis

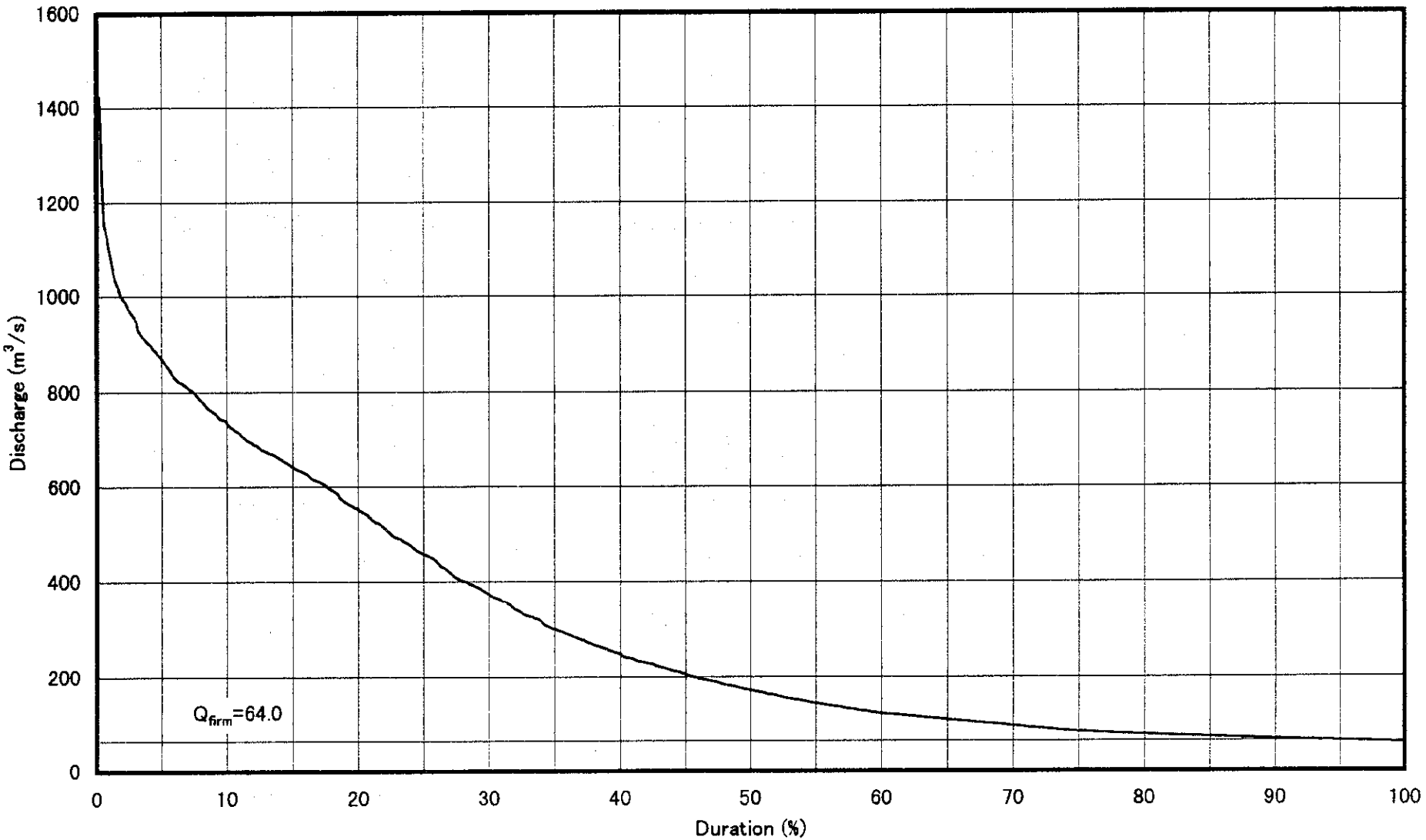


Fig. 6.5 Duration Curve at Dam Site

Distance (km)	Atmospheric Pressure (hPa)	Average Altitude (m)
90	540.2	5,000
80	554.8	4,800
70	577.3	4,500
60	584.9	4,400
50	608.5	4,100
40	666.2	3,400
30	728.3	2,700
20	728.3	2,700
10	756.3	2,400
0	775.4	2,200

Punatsangchhu Basin

			5,000				
	4,480	4,000	5,000	4,800	5,000	5,640	4,920
4,200	5,000	3,800	4,840	5,040	4,500	3,900	4,920
4,700	4,520	4,000	4,120	5,080	3,600	4,640	4,920
4,600	4,100	3,060	4,560	4,600	3,520	3,400	5,040
	3,960	2,120	3,200	4,020	2,480	2,920	5,040
		2,480	2,360	1,560	2,640	4,200	3,120
		2,600	2,000	2,040	3,000	3,300	3,520
Wangdi Meteorological Station			2,520	1,650	2,000	3,400	
		Dam site	2,640	1,760			

Fig. 6.6 Ground Profile

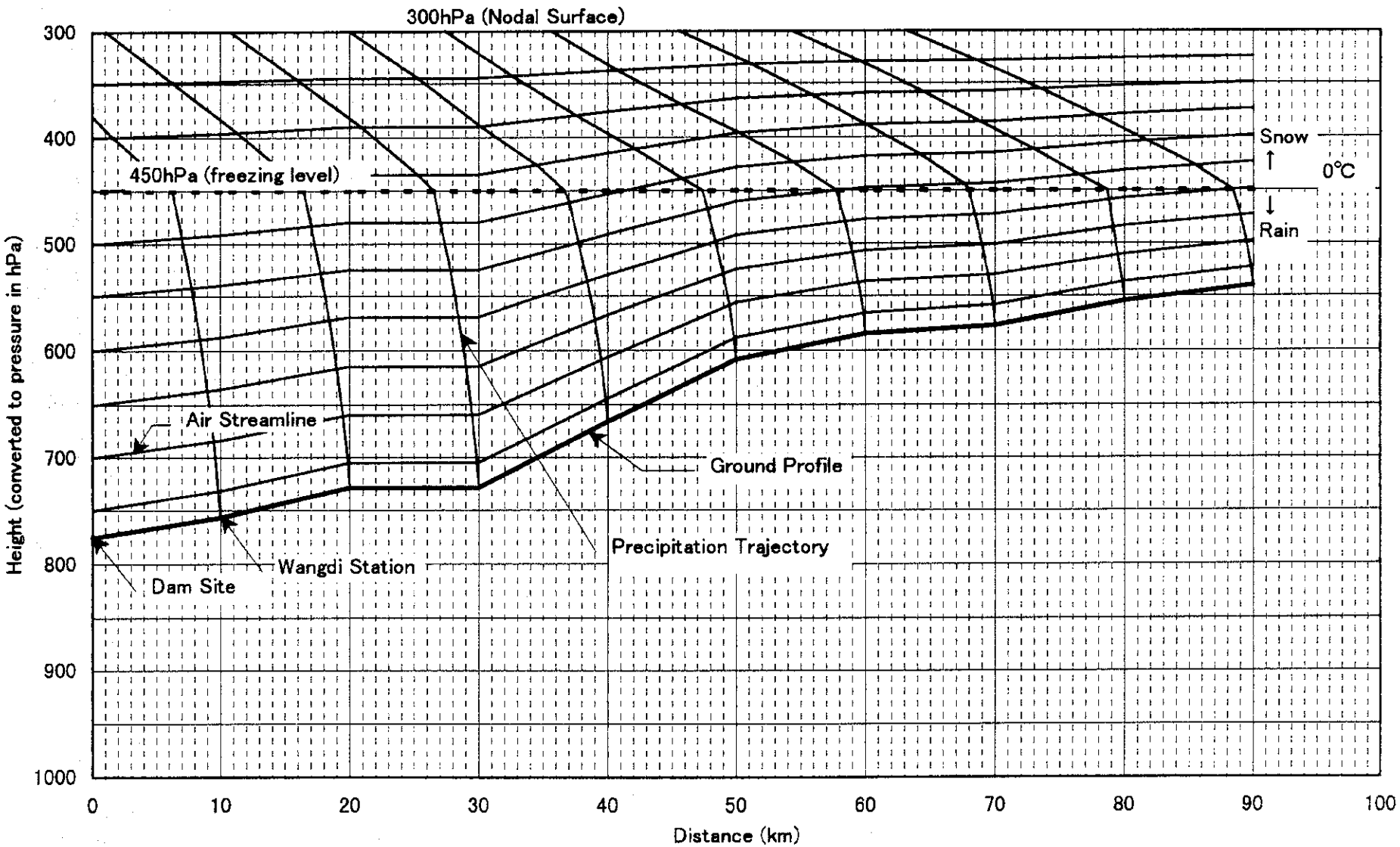


Fig. 6.7 Ground Profile, Air Streamlines and Precipitation Trajectories for PMP Estimation

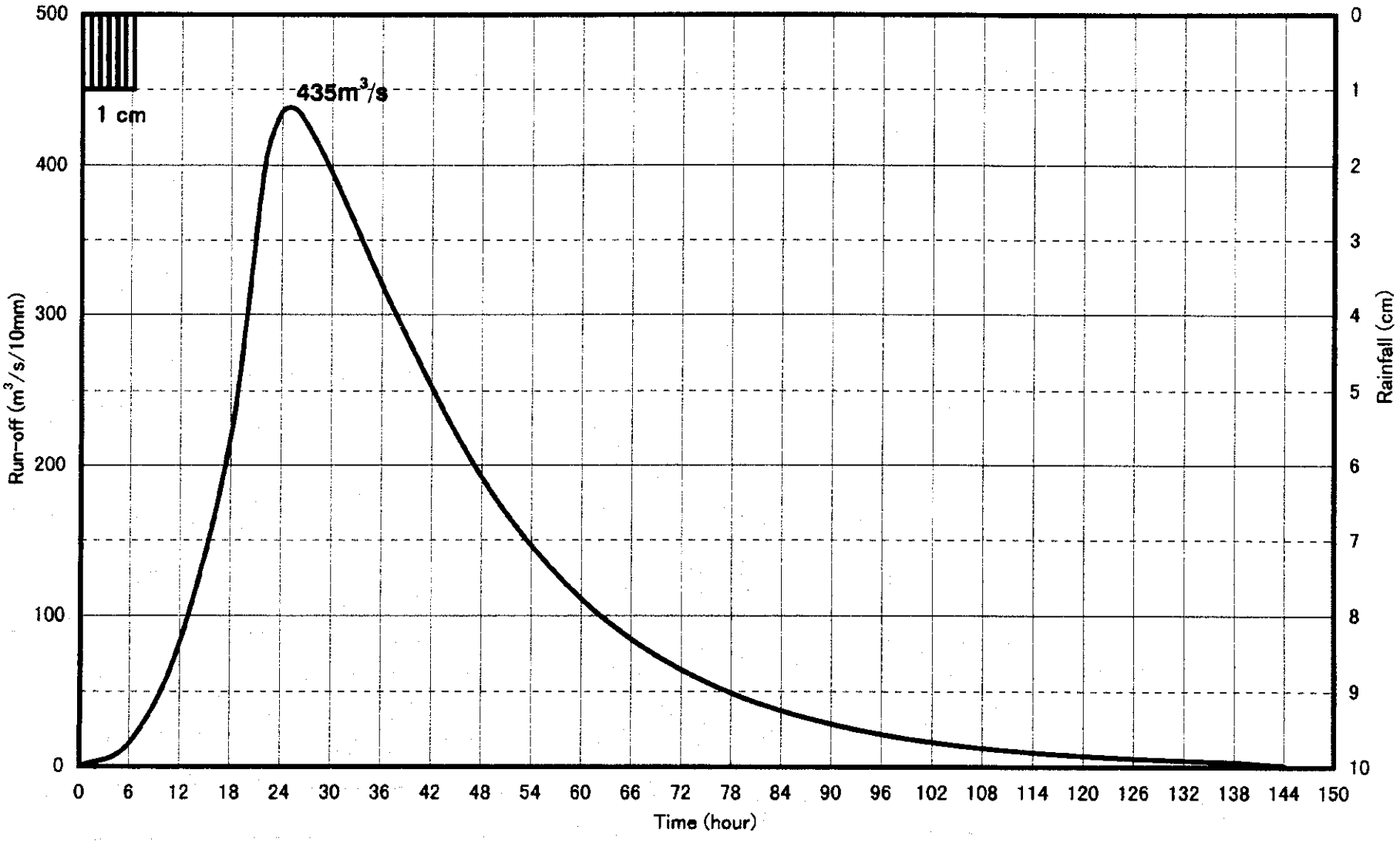


Fig.6.8 Unit Hydrograph at Punatsangchhu Dam Site

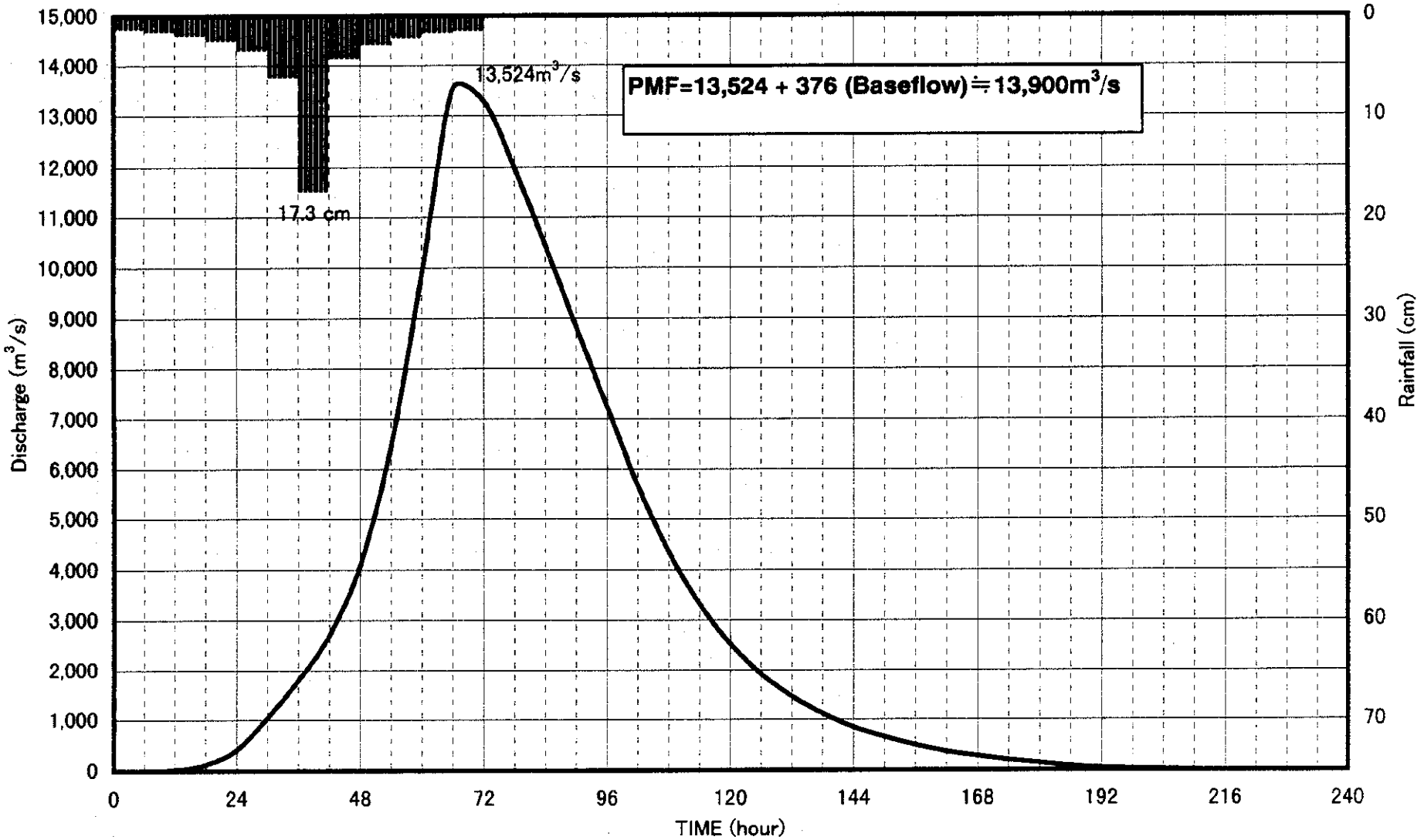


Fig.6.9 Synthesis of Unit Graphs

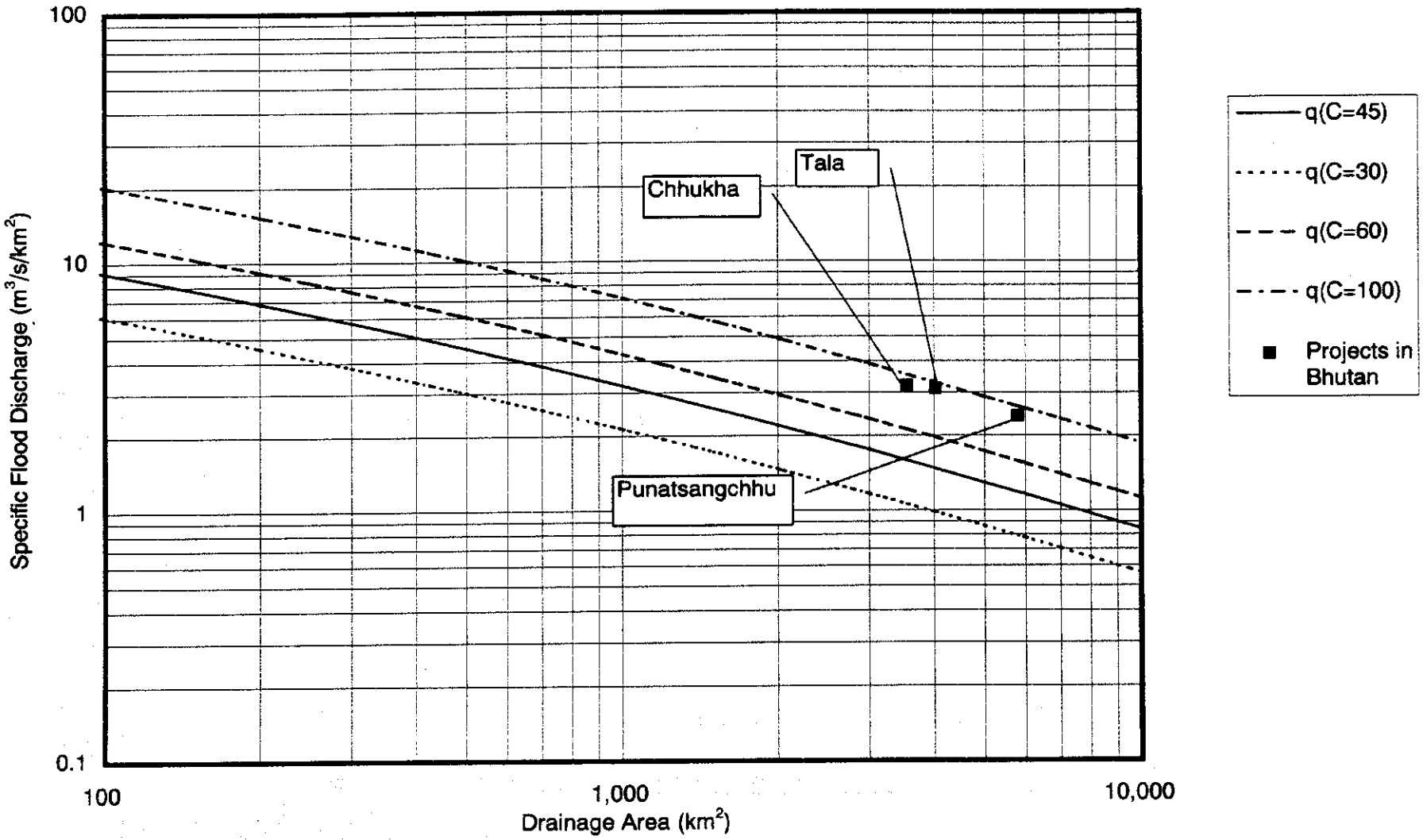


Fig. 6.10 Curves from Creager's Equation

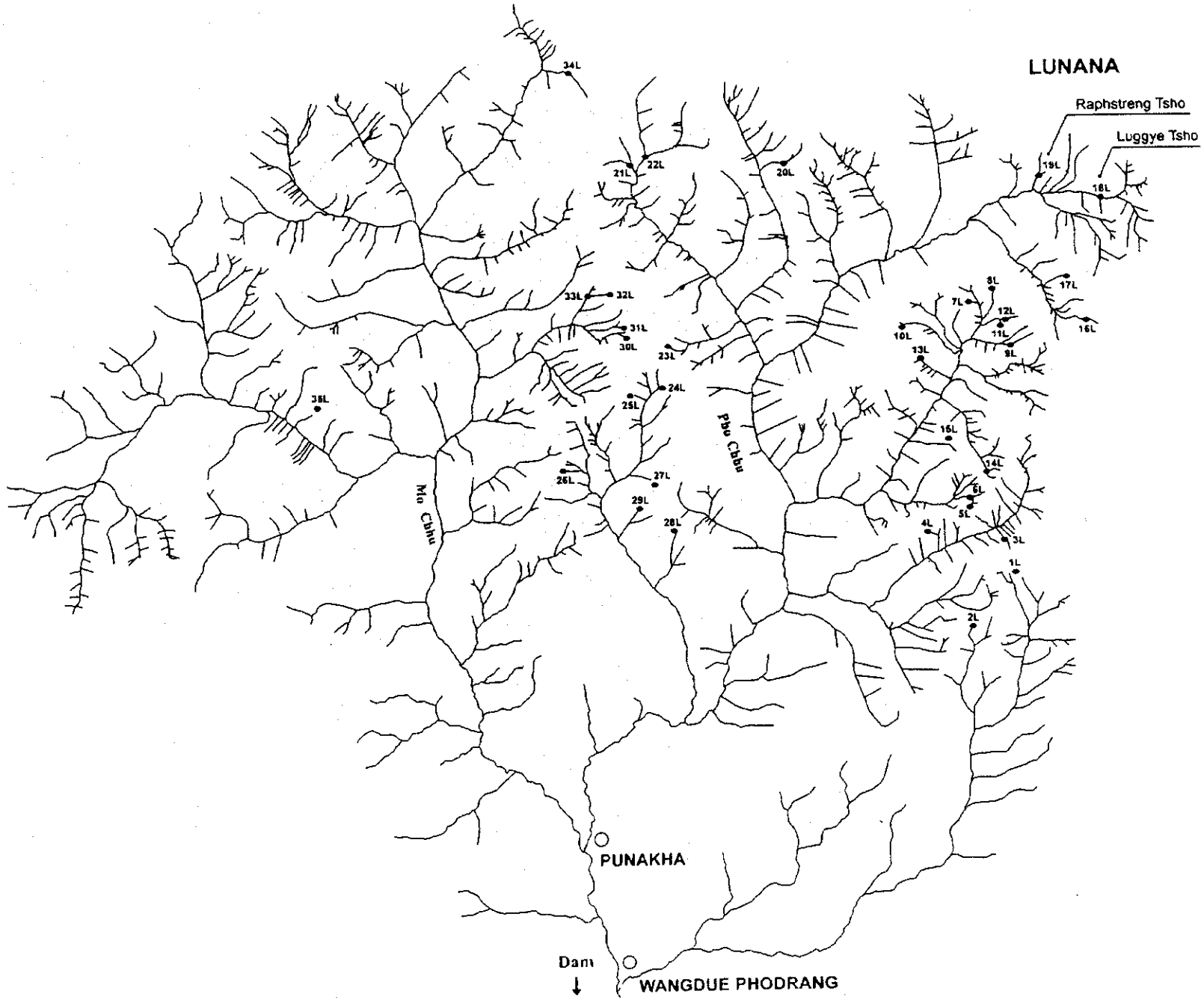
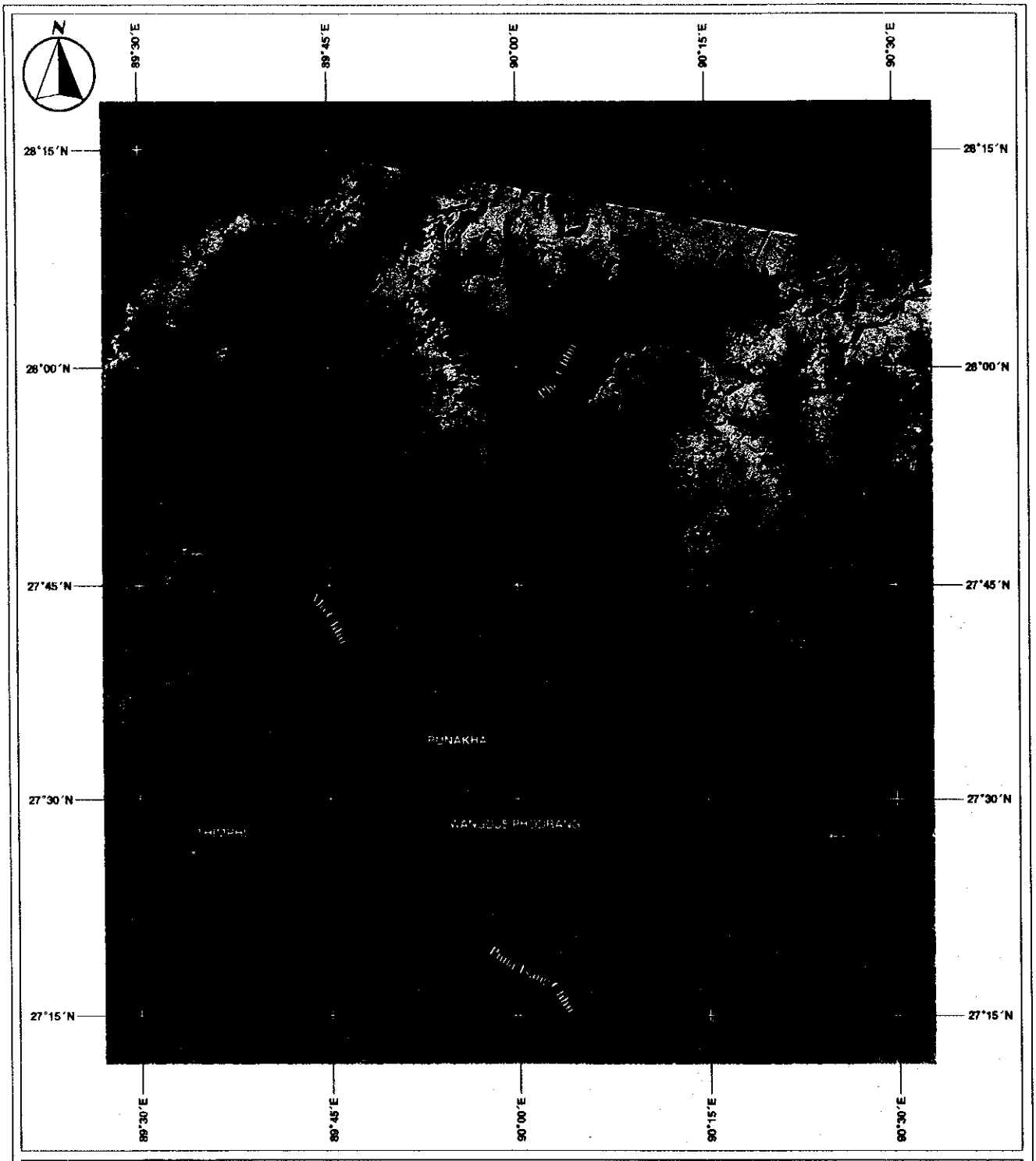


Fig. 6.11 Glacier Lakes in Punatsangchhu Basin (1/3)



Bhutan Puna Tsang Chhu Satellite Image Analysis

Glacier Lake Distribution Map I

1988 LANDSAT TM data
24-Nov-1988
Path-138 Row-041

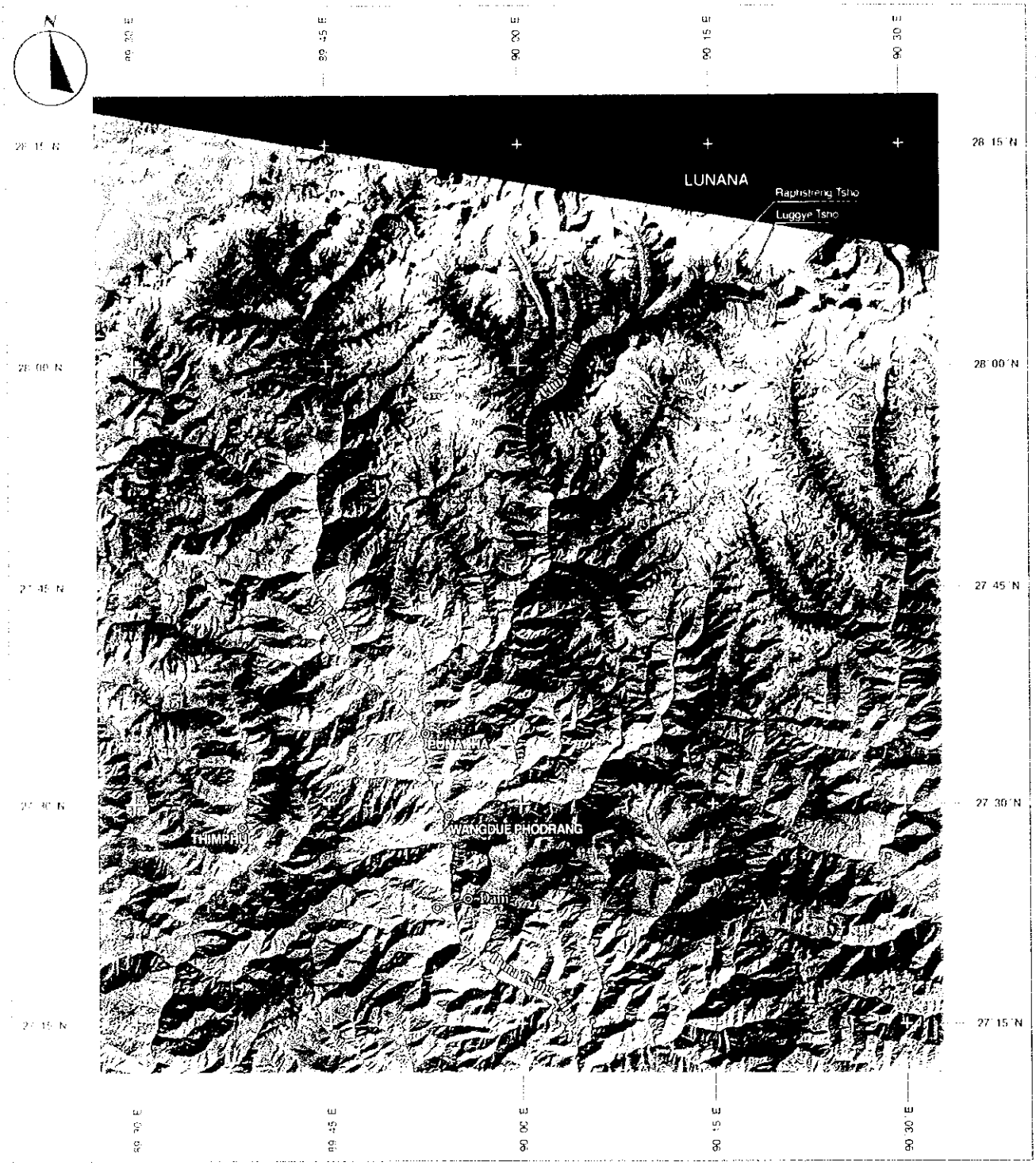
1998 RADARSAT SAR Standard Mode
01-Sep-1998

1988 Glacier Lake
1988 & 1998 Glacier Lake
1998 Glacier Lake

0 30km
1 : 750,000

Fig. 6.11 Glacier Lakes in Punatsangchhu Basin (2/3)

JICA 1999.3



Bhutan Puna Tsang Chhu Satellite Image Analysis

Glacier Lake Distribution Map I

1988 LANDSAT TM data
24-Nov-1988
Path-138 Row-041

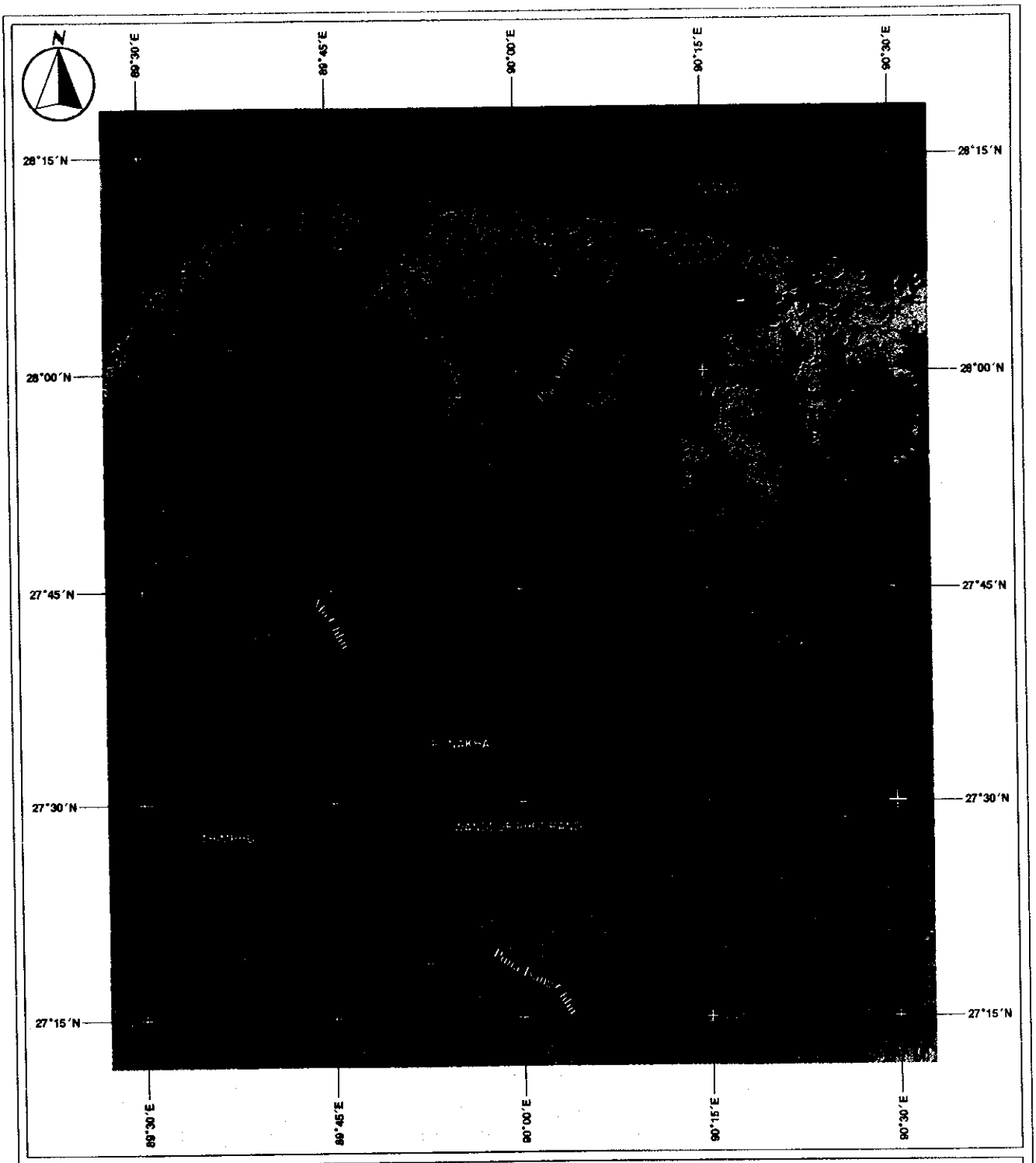
1998 RADARSAT SAR Standard Mode
01-Sep-1998

1988 Glacier Lake
1988 & 1998 Glacier Lake
1998 Glacier Lake

0 30km
1 750,000

Fig. 6.11 Glacier Lakes in Punatsangchhu Basin (2/3)

JICA 1999.3



Bhutan Puna Tsang Chhu Satellite Image Analysis

Glacier Lake Distribution Map II

1994 LANDSAT TM data
25-Jan-1994
Path-138 Row-041

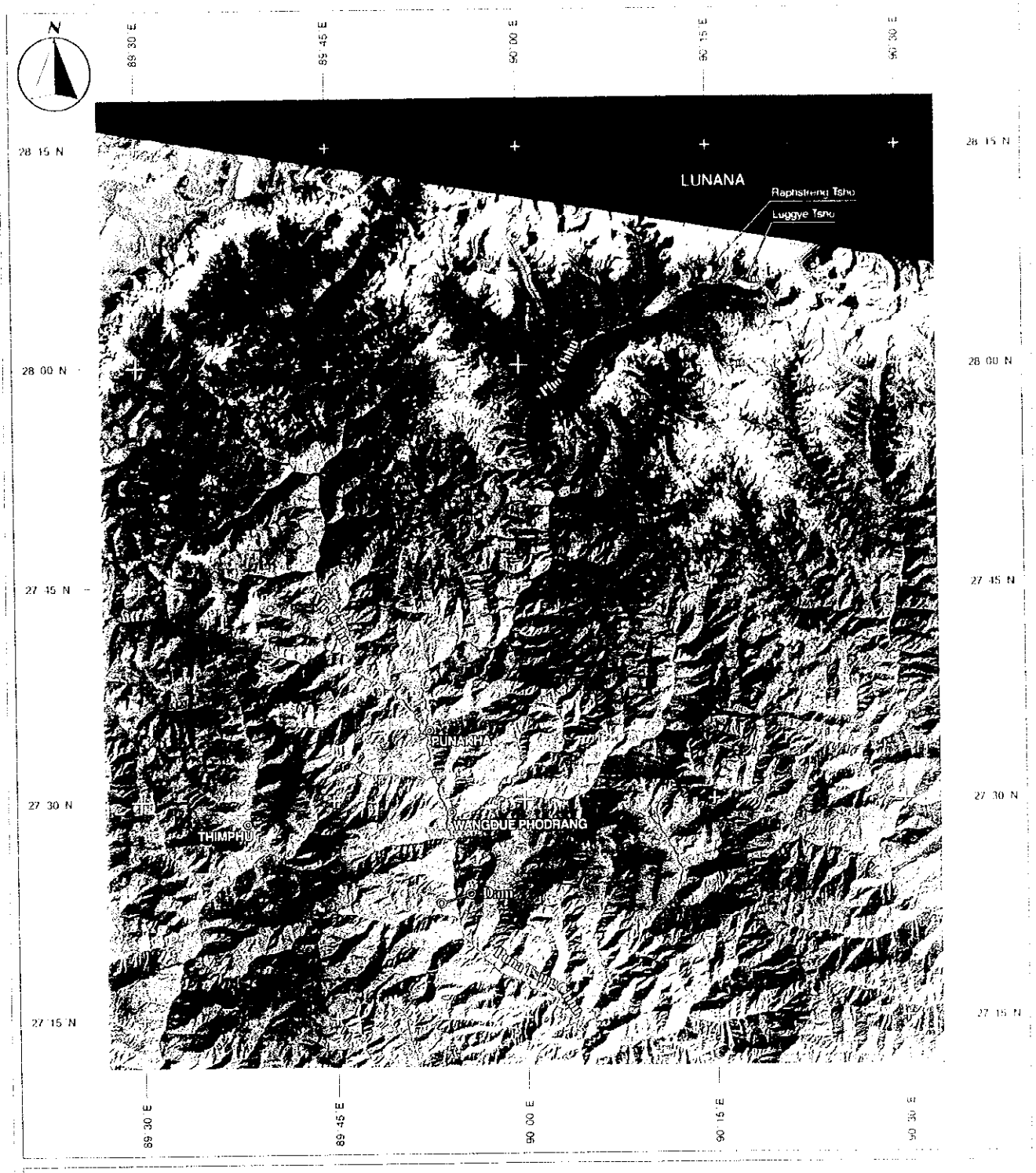
1995 LANDSAT TM data
27-Oct-1995
Path-138 Row-041

1994 Glacier Lake
1994 & 1995 Glacier Lake
1995 Glacier Lake

0 30km
1 : 750,000

Fig. 6.11 Glacier Lakes in Punatsangchhu Basin (3/3)

JICA 1999.3



Bhutan Puna Tsang Chhu Satellite Image Analysis

Glacier Lake Distribution Map II

1994 LANDSAT TM data
25-Jan-1994
Path-138 Row-041

1995 LANDSAT TM data
27-Oct-1995
Path-138 Row-041

0 30km
1 : 750,000

Fig. 6.11 Glacier Lakes in Punatsangchhu Basin (3/3)

JICA 1999.3

Fig. 6.12 Transition of Luggye and Raphstreng Lake (1994-1995)

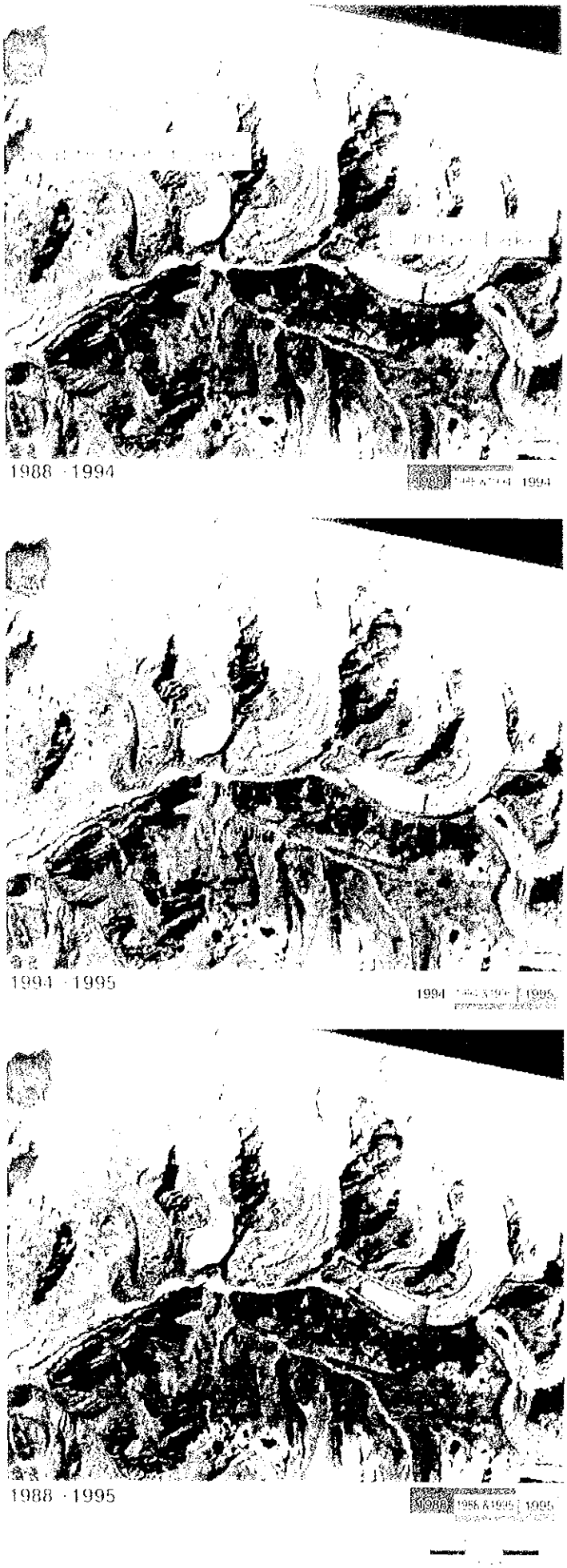


Fig 6.12 Transition of Luggye and Raphstreng Lake (1994-1995)

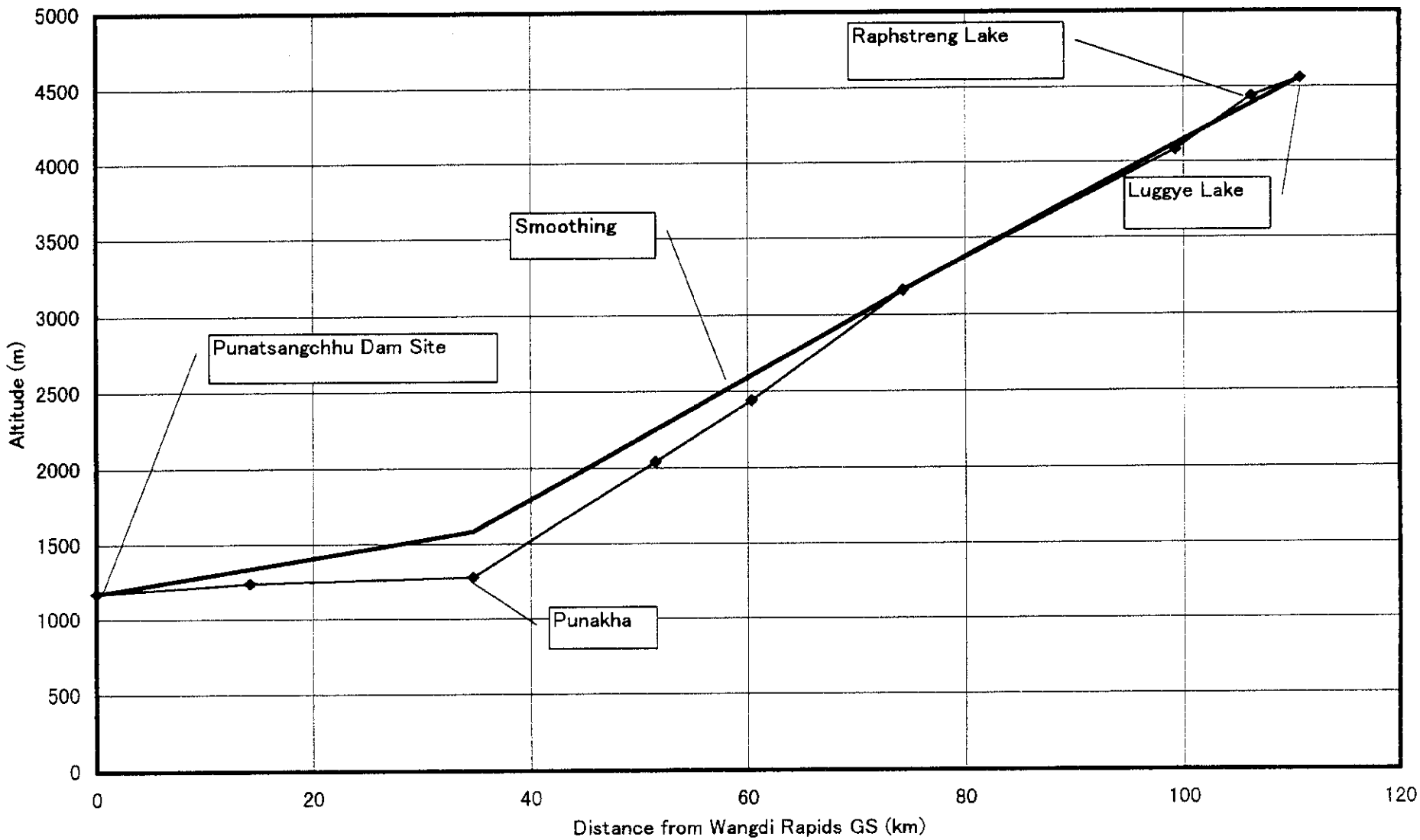


Fig. 6.13 Longitudinal Section of Punatsangchhu

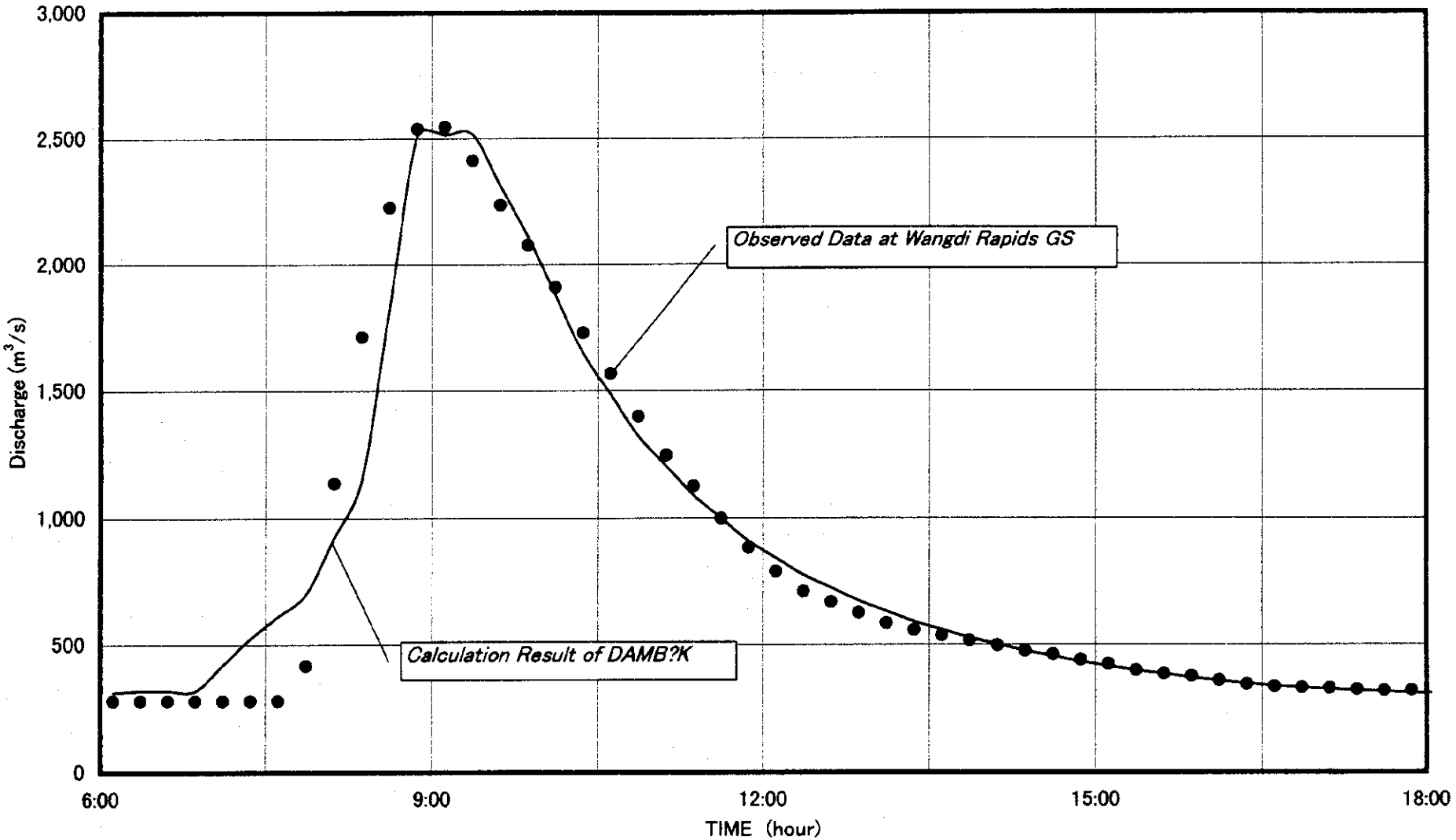


Fig. 6.14 Comparison between Calculation Result and Observed data at Wangdi Rapids GS

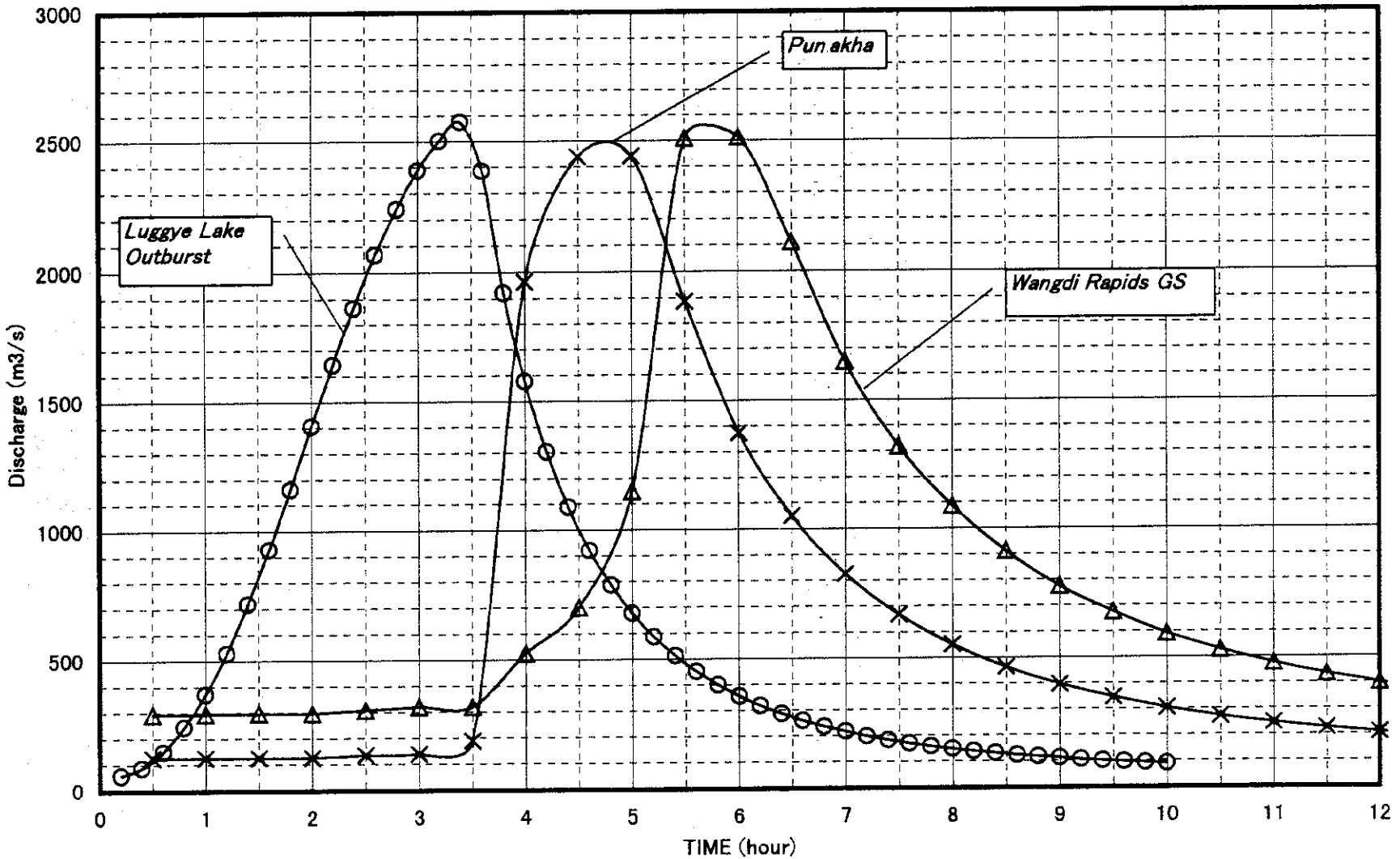


Fig.6.15 Simulation of 1994 GLOF by DAMBRK

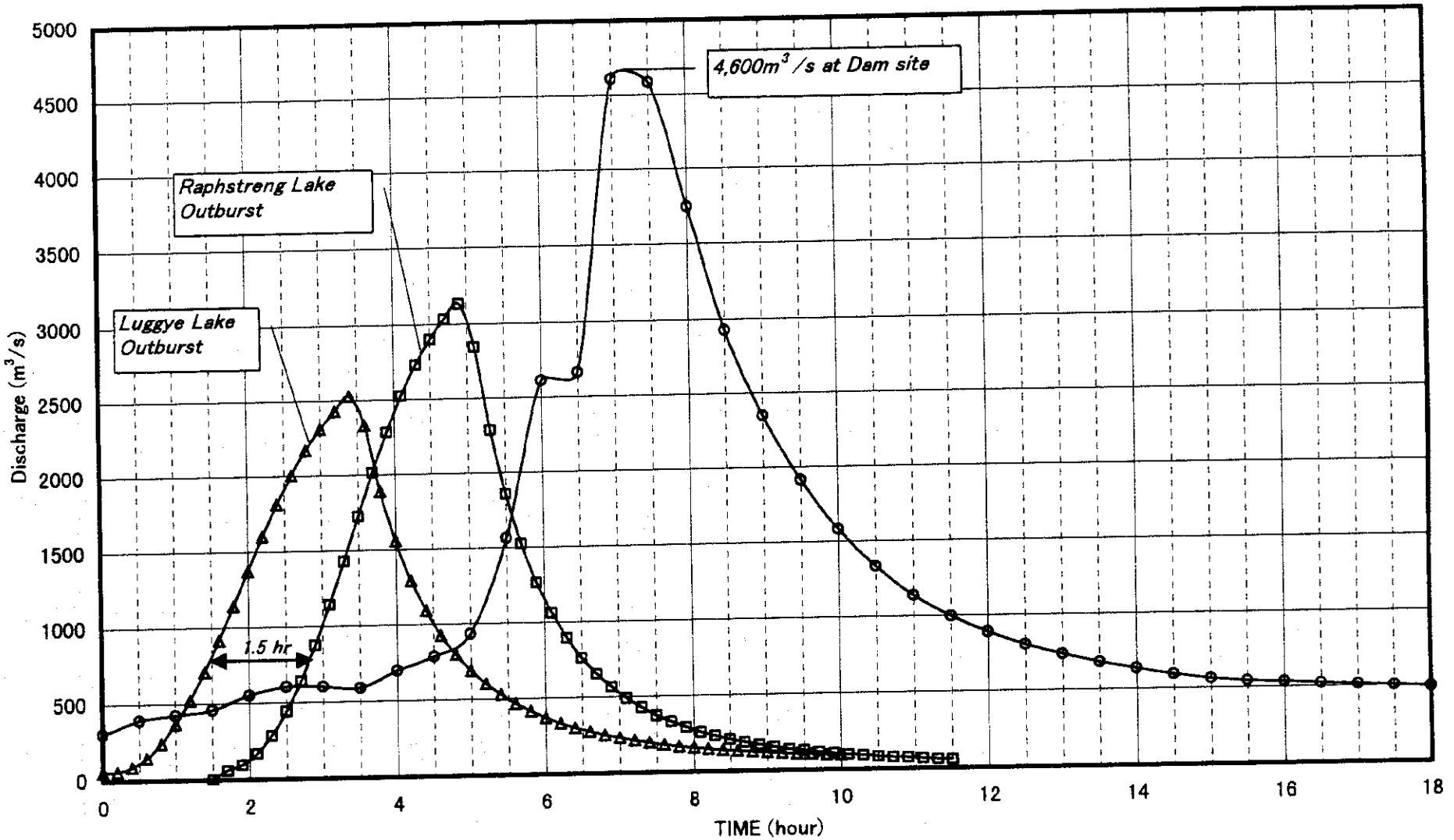


Fig. 6.16 Simulation of GLOF from Luggye and Raphstreng Lake

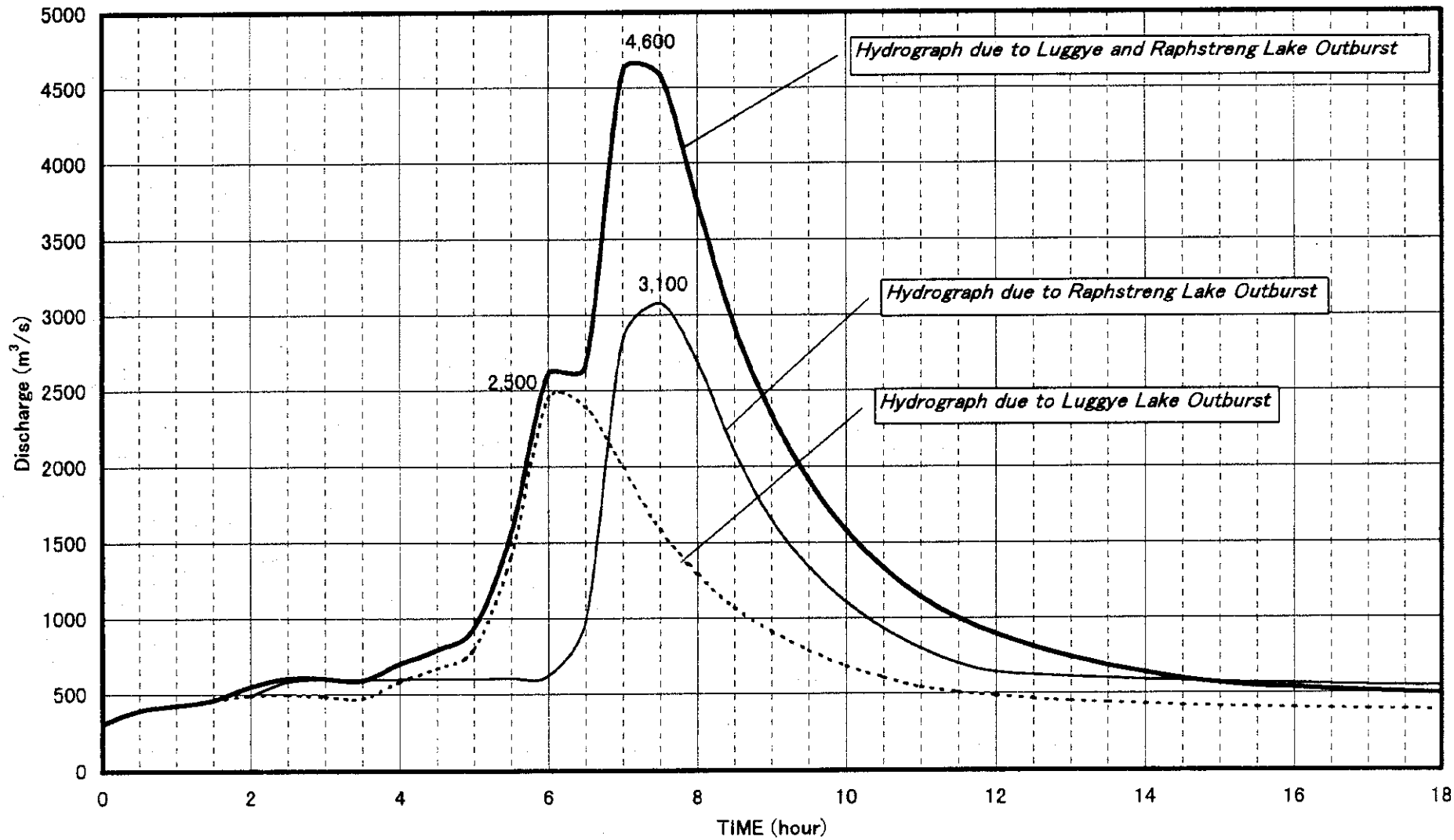


Fig. 6.17 Comparison of Hydrographs at Dam Site

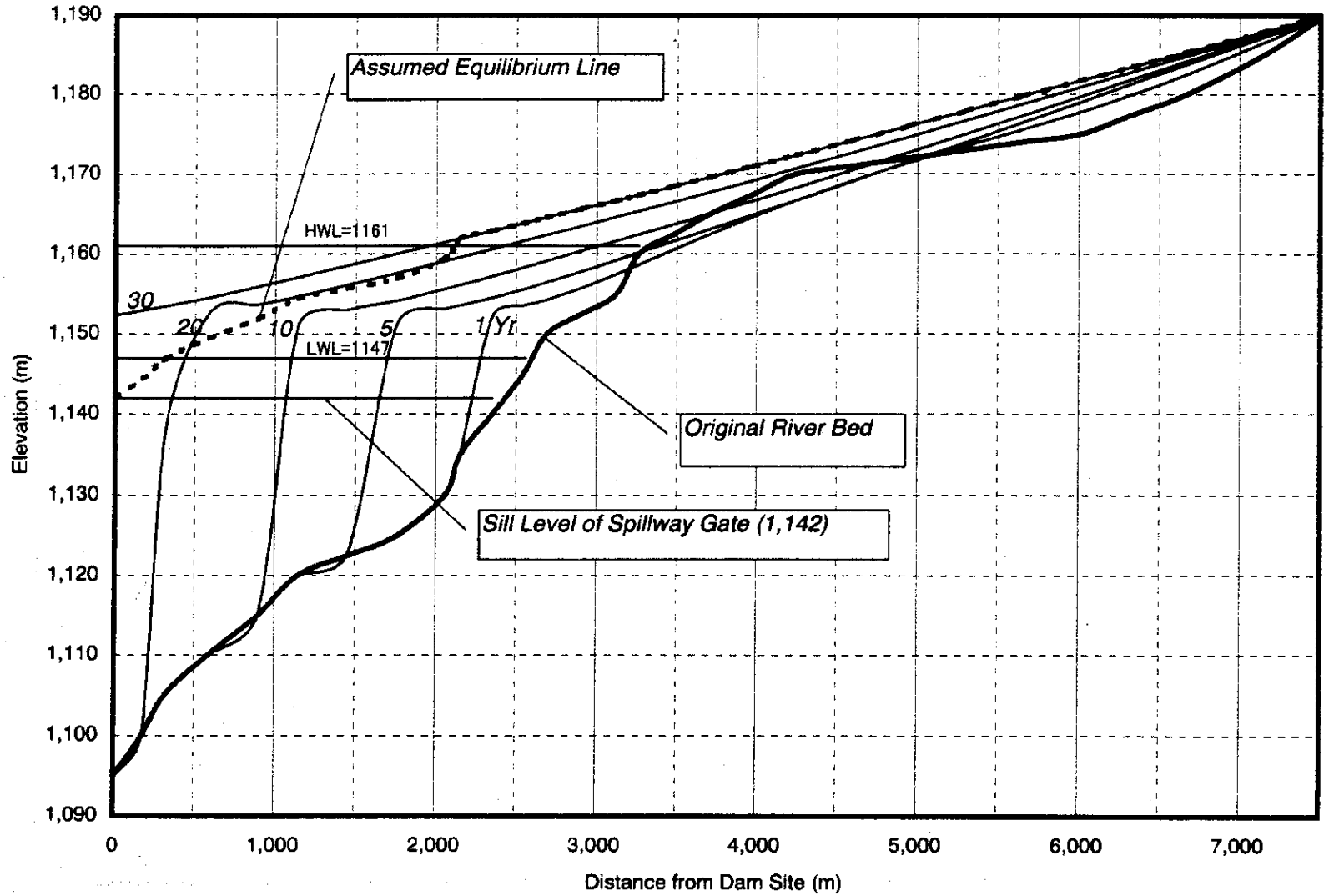


Fig. 6.18 Simulation of Sedimentation

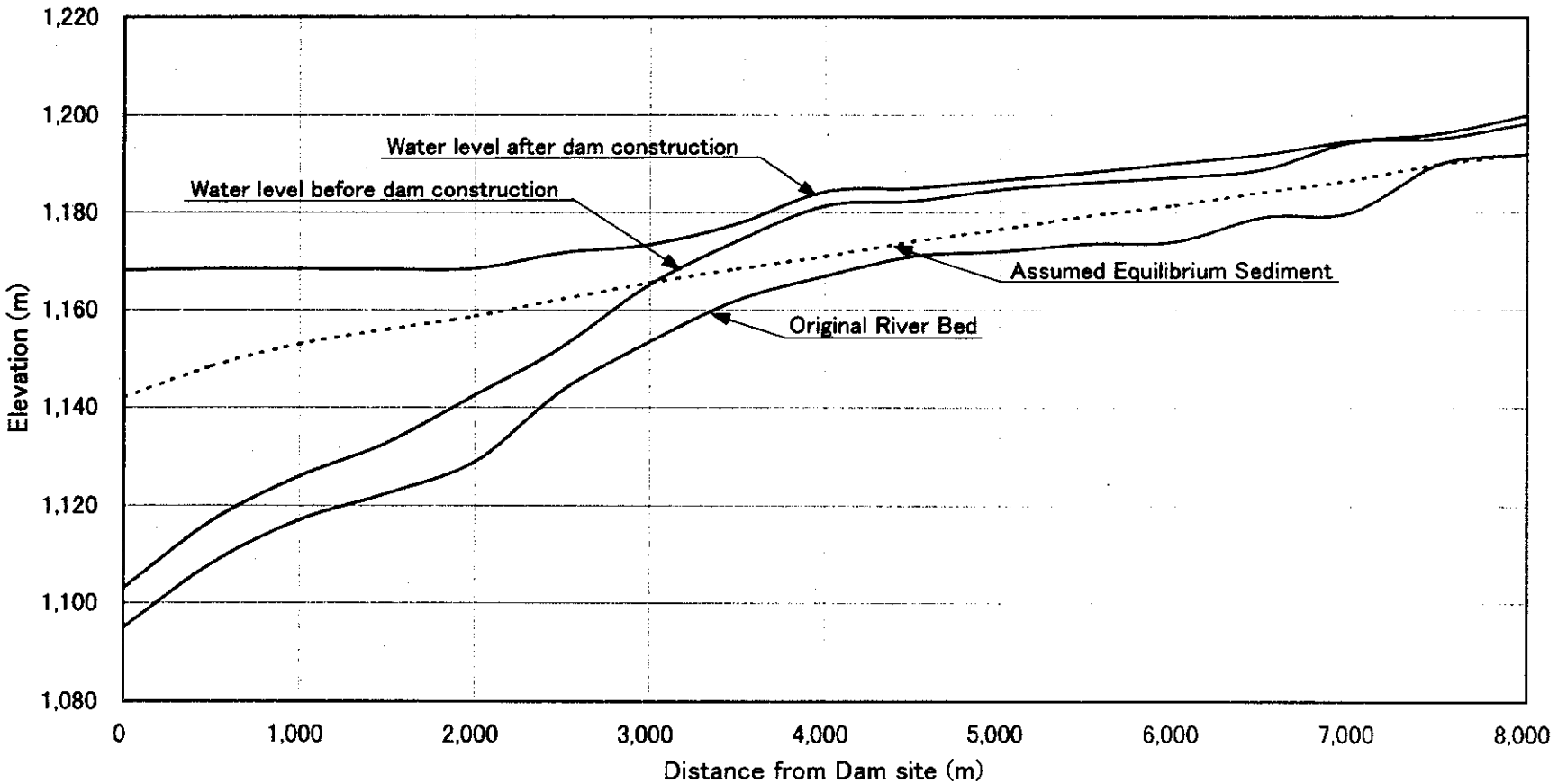


Fig.6.19 Back water curve with a flood discharge(Q_F=4,600 m^3/s)

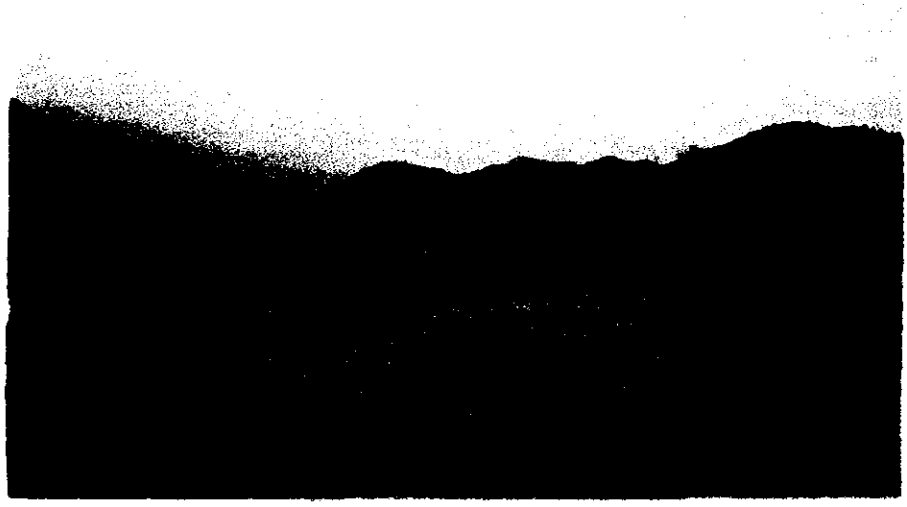


Photo 6.1 1994GLOF (1/4) Punakha (View from Downstream)

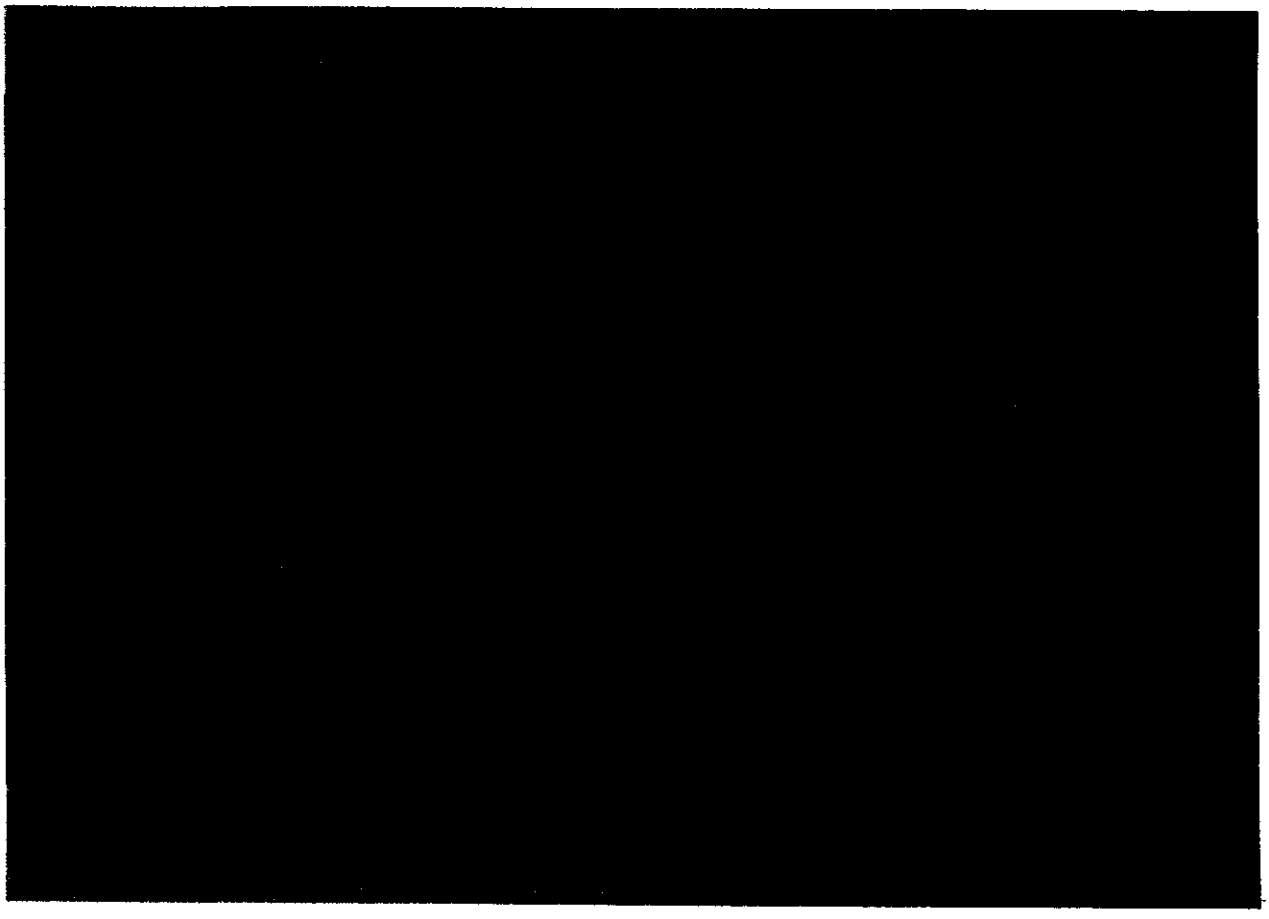


Photo 6.2 1994GLOF (2/4) Punakha – Wangdi (View from Downstream)

Photo 6.3 1994GLOF (3/4) Wangdi (View from Downstream)

Photo 6.4 1994GLOF (4/4) Wangdi Bridge (View from Right Bank)

第７章　地　質

目　次

第7章　地　質 7-1
7.1　既存資料 7-1
7.1.1　F/S調査以前の既存資料 7-1
7.1.2　F/S調査中に実施した調査工事 7-1
7.2　流域の地形・地質 7-5
7.2.1　地形 7-5
7.2.2　地　質 7-6
7.3　各地点の地質 7-8
7.3.1　貯水池の地質 7-8
7.3.2　ダム地質 7-9
7.3.3　沈砂池の地質 7-16
7.3.4　導水路トンネルの地質 7-17
7.3.5　調圧水槽、水圧管路及び発電所地点の地質 7-19
7.3.6　その他付属構造物地点 7-25
7.4　コンクリート骨材 7-26
7.5　河床底質調査 7-26

第7章　地　質

7.1　既存資料

7.1.1　F/S調査以前の既存資料

F/S調査以前の既存資料としては下記のものが挙げられる。これらのほとんどは計画地域の地質について詳細な記述がなされていないため、Punatsangchhuの流域の地質概要についてまとめるために用いた。

(i) M. Motegi (1998): Physiographic Study on Bhutan, Bhutan Geology, News Letter Sl. No.1, Division of Geology and Mines (Geological Survey of Bhutan), Royal Government of Bhutan
(ii) M. Motegi (1997): The Spraying of the Main Central Thrust in Nepal and Bhutan Himalayas, Journal of Geology, Vol. 106, No. 3 (952), 320-331p.
(iii) Department of Power (1993): Bhutan Power System Master Plan, Pre-feasibility Study, Sankosh River – Project 3.120, Final Report
(iv) United Nations, Economic and Social Commission for Asia and Pacific (1991): Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region, Vol. 8, Bhutan and its Explanatory Brochure
(v) A. Gansser (1983): Geology of Bhutan Himalaya, Birkhauser Verlag, 181p.
(vi) R. Yoshinaka et. al (1988): Rock Mass Classification and its Application, Doboku Kougaku-sha, 231p., (in Japanese)

7.1.2　F/S調査中に実施した調査工事

平成11年度に実施した調査工事項目及び数量をTable 7.1, Table 7.2及びTable 7.3としてまとめた。これらの表には調査を実施した機関も合わせて記載した。

(1)　基礎岩盤調査

1)　現地調査

(i) 航空写真判読

1999年10月27日撮影の縮尺約1/1,5000の航空写真を使用して面積約10km^{2}の航空写真判読を行った。判読結果は縮尺1/5,000の計画地域地質平面にまとめた。

(ii) 地表地質踏査

縮尺1/5,000地形図を拡大した1/1,250地形図を用いて面積約10km^{2}の地表地質踏査を行った。ダム及び発電所地点では構造物予定地点を十分にカバーする範囲とした。導水路経過地においては、導水路の予定されている左岸側の地形が極めて急峻であり踏

査が困難であったため、航空写真判読及び右岸を通過する道路沿いの踏査結果に基づいて導水路経過地の地質を推定した。各地点での地質踏査結果は、航空写真判読結果・ボーリング調査結果及び弾性波探査結果と合わせて、縮尺1/1,000および1/5,000の地質平断面としてまとめた。

(iii)コアボーリング

ダム地点及び発電所地点においてオールコアボーリングによるボーリング調査を実施した。ボーリング孔の一覧をTable 7.4に示す。Table 7.4にはボーリング孔内で実施した原位置試験の項目及び数量も合わせて示した。

(iv)コア観察

コアボーリングにより採取されたコアの地質観察を行い、縮尺1/100のボーリング柱状図としてまとめた。また、採取されたコアの全てをデジタルカメラを用いて撮影し、コア写真としてまとめた。

(v) 孔内水位観測

ダム地点のボーリング孔DD-1, DD-4, DD-6を対象として、平成12年3月まで合計24回の孔内水位測定を行った。

(vi)透水試験

ダム地点のボーリング孔DD-1, DD-4, DD-6孔を対象としてSingle Packer法により透水試験を実施した。注水圧のパターンはTable 7.5のように設定した。

試験の結果はP-Q曲線としてグラフに表し、注水圧10kgf/cm^{2}における試験区間長1mでの1分当たりの注水量（*l*/min･m）をルジオン値（Lu）として表現した。

(vii)弾性波探査

弾性波探査は岩石･岩盤の物理的性質の違いによって弾性波動の伝播速度の異なることを利用して、地下の地質状況を推測するものである。今回の調査ではダム地点・発電所地点及び作業坑坑口地点の3地点において、合計10測線、総測線長4,000m実施された。探査方法は屈折法である。各測線の一覧をTable 7.6に示す。

測定は下記に記載する方法で行った。

測量により、測線の始点および終点の位置出しをした後、水平距離5m間隔毎に測定点を選定し、木杭を打ち、その位置の標高を出した。そのデータをもとに測線地形断面図を作成した。

24チャンネル地震測定システムを用い、１測定長115mで行なった。この1測定あたり5～7回のダイナマイトを用いた発破を深さ1mの穴の中で行なった。

測定の概念図をFig.7.1に示す。

また、測定により得られたデータは下記の方法により解析した。

記録された波形を読み取り、走時曲線に整理した。この走時曲線をもとにして、凸凹した速度境界を求めるのに適した萩原の方法によって速度層構造解析を行った。

2) 室内試験

ボーリング孔より採取したコア試料を対象として室内試験を実施した。採取した試料の一覧をTable 7.7に、試験の項目及び数量をTable 7.8にまとめた。

(i) 密度

ISRMの指針に準拠し、一軸圧縮試験用のボーリングコア試料を対象として密度試験を行った。密度試験では乾燥密度と湿潤密度の両方を求めた。

(ii) 単位重量及び吸水率

一軸圧縮試験用試料と同一箇所より採取したボーリングコア試料について、ASTM C97に準拠して単位重量及び吸水率を求めた。

(iii)含水比

ASTM D2216に準拠し、一軸圧縮試験用のボーリングコア試料を対象として含水比試験を行った。

(iv)一軸圧縮強度

ASTM D3148に準拠し、20個のボーリングコア試料について圧縮強度を求めた。試験試料の長さ/直径比は原則2以上とした。

(v) 岩石鉱物判定

ボーリング孔DD-1孔及びDP-1孔より採取した合計10個のコア試料より岩石薄片を作成し、顕微鏡下での鉱物判定を行った。

(2) コンクリート骨材調査

1) 現地調査

(i) 立坑掘削

ダム計画地点の上流約7kmの右岸側河床において、河床堆積物の地質的な性状および室内試験用試料の採取を目的としてTable 7.9に示す4つの立坑を掘削した。各立坑の深度は1.5m。

(ii) 地質観察

掘削した立坑において地質観察を行なった。観察結果は縮尺1/20のスケッチとしてまとめた。

(iii)試料採取

ASTM D75準拠し、各立坑より1試料当たり約60kgの河床堆積物を採取した。Table 7.10に採取試料の一覧を示す。

採取した試料はThimphuの室内試験設備に運搬し、以下に列挙する室内試験を実施した。

2) 室内試験

立坑より採取した試料を対象として、コンクリート骨材としての適性を確認するためTable 7.11に示す室内試験を実施した。

(i) 単位重量及び吸水率

ASTM C127, C128に準拠して試験を行った。

(ii) すりへり抵抗

ASTM C535, C131に準拠して試験を行った。

(iii)安定性

ASTM C88に準拠して試験を行った。

(iv)粒度分布

ASTM C136に準拠して試験を行った。

(v) 細粒分含有率

ASTM C117に準拠して試験を行った。

(vi)アルカリ骨材反応

ASTM C289相当の試薬法により試験を行った。

(vii)岩石鉱物判定

ASTM C295に準拠し、X線回折法による鉱物判定を行った。

(3) 河床底質調査

河床堆積物の性状を調査することを目的として、コンクリート骨材採取予定地に分布する河床堆積物を対象とし、Table 7.12に示す調査及び試験を実施した。

(i) 立坑掘削

ダム計画地点の上流約7kmの右岸側河床において、河床堆積物の地質的な性状および室内試験用試料の採取を目的として立坑PQ-1を掘削した。立坑の深度は1.5m。

(ii) 地質観察

掘削した立坑において地質観察を行った。観察結果は縮尺1/20のスケッチとしてまとめた。

(iii)試料採取

ASTM D75準拠し、掘削した立坑より約60kgの試料（試料番号QP-1-01）を採取した。これをThimphuの室内試験設備に運搬し、以下に列挙する室内試験を実施した。

(iv)ふるい分け試験

ASTM C136に準拠して試験を行った。

(v) 鉱物観察

ASTM C295に準拠し、X線回折法による鉱物判定を実施した。

7.2 流域の地形・地質

7.2.1 地形

ブータン国はヒマラヤ山系の東部域に位置し、国を囲む緯度・経度は北緯26度40分～28度20分、東経88度42分～92度9分である。北方の国境は中国のチベット自治州と接し、その他の国境はインド国と境している。北方の中国との国境地域は標高5,000m以上のヒマラヤ山岳地帯に位置しているのに対して、南方のインドとの国境地域は標高1,000m前後の南部山麓帯に位置している。そして、これら北部及び南部を除いた国の大部分を占める地域は標高2,000～3,000mの中部山岳地帯およびそこに形成された盆地となっている。

プナチャンチュ計画地域が位置するPunatsangchhuは東経90度線にほぼ平行して北から南に流れる全長320kmの河川で、その水源はチベット高原に発する。プナチャンチュ水力発電計画地域内の主な支流はTsangchhu河の中流部に位置するWangdue Phodrangの約10km上流に位置するPunakhaで合流するMochhuおよびPhochhuを最大の支川として、その下流右岸にはTabayrongchhu, BasochhuおよびRurichhuがあり、また左岸にはWangdue Phodrangにて本流と合流するDangwechhuおよび計画発電所地点にて合流するPazachhuがある。

プナチャンチュ計画のダム地点はWangdue Phodrangより約10km下流に計画されている。発電所地点は更に約8km下流の左岸に計画されている。これら本流及び支流を含めたプナチャンチュ計画流域の地形は下記のようにまとめられる。

(1) PunakhaよりWangdue Phodrangを経て計画ダム地点に至る約22kmの範囲。

この範囲の河川地形は、緩い河川勾配(1/368)と厚い河川堆積物(Wangdue Phodrang Bridgeにて約35m)に特徴づけられる老年期河川地形を示す。

従って河川の両岸の地形は場所により多少の変化はあるが全体としてなだらかな斜面を形成する。特にTabayrongchhuよりWangdue Phodrang下流約5kmの範囲の右岸側は、厚い崩積土と基盤岩石の片理面に沿ってすべった地辷り堆積物が広く分布する緩斜面が形成され、農耕地として利用されている。

なお、この範囲の左岸は、基盤岩石の傾斜が地質構造的に“差し目”となっているため、全体として安定したなだらかな河岸地形を形成している。

(2) 計画ダム地点より発電所に至る約8kmの範囲。

この範囲の河川は多くの急流を伴う急な河川勾配(1/20～1/30)で特徴づけられる壮年期河川地形を示す。

従って基盤の片麻岩構造が“差し目”となっている河川の左岸の地形は、多くの個所で斜面の傾斜が45°以上の急崖が形成されている峡谷地形が見られる。しかし、河川右岸は、片麻岩構造に沿った基盤岩石の崩落が著しく、各所に巨石を含んだ崩積土が分布する。

(3) 段丘地形

プナチャンチュ計画地域には、各所で段丘堆積物が見られるが、最も顕著に見られるのは、Wangdue Phodrang Bridgeの左岸である。ここでは厚さ40～50mの段丘砂礫の露頭が見られる。他方この段丘地形の対岸(右岸)では、段丘砂礫の分布は見られるが左岸のような完全な段丘地形は残っていない。恐らく、段丘形成後の地辷り活動により段丘地形は攪乱されたものと考えられる。

7.2.2 地 質

流域を構成する地質はFig.7.2に示すように、主としてThimphu FormationとTirkhola Formationである。

文献によると、Thimphu Formationはmigmatite, biotite-granite gneiss及びmica schist等よりなるが、その他にlimestone bedやamphibolite dykeを挾在する。

プナチャンチュ計画地域のThimphu Formationは主としてgneissよりなり、一部にgraniteの貫入やmigmatiteが分布する。当地点のgneissは、工学的には黒雲母片麻岩（以下片麻岩と略称）と命名しても問題はない。

また計画地域内にはlimestoneの分布は報告されていないが、amphibolite dykesはPunakha下流のTabayrongchhuに分布することが報告されている。

他方、Tirkhola Formationは主としてbedded quartziteやphyllitic quartziteよりなるが、プナチャンチュ計画地域周辺では、BasochhuやRurichhu上流域に分布する。Basochhu上流域に建設中のBasochhu取水ダム地点での、このFormationは厚さ10～15cmのquartziteとphylliteの互層より成っている。

計画地域（貯水池、ダム、導水路及発電所を含む地域）に分布する地質は、そのほとんどがgneissであるが、本流沿いのBasochhu峡谷、Baso Chhuと本流の合流点付近およびRurichhuと本流の合流点付近などにgraniteやmigmatite（肉眼鑑定）と判断される岩石の分布が認められる。この付近の片麻岩構造は局所的な変化が著しい。また、貯水池背水端付近の一部にblack schistが分布する可能性がある。

計画地域の地質構造（片麻岩構造）は、両河岸において一般的にはN30～50° E/30～40° SEの走向・傾斜を示すが、上記の通りgranitic rocksの分布が認められる範囲においては局所的な変化が著しく、一般的にはN70～90° E/10～20° SEを示す。

このような基盤の走向・傾斜は両河岸に近い範囲のみではなく、右岸のBasochhu取水ダムに至る道路沿いの標高1,770mにおいてもN30° E/30° SEの走向・傾斜を示す片麻岩が認められる他、同じ道路沿いに分布するblack Schistの片理構造もNS ～N25° E/15～30° SEを示すことから、計画地域の片麻岩構造は相当大きな背斜構造の東翼に位置するものと推察される。

断層については、道路沿い露頭において顕著なものは認められなかったが、貯水池背水端付

近のgneissとblack schistの境界はMCT (Main Central Thrust)の一つと報告されている論文もある。この論文によると両岩石の境界における破砕帯の幅は1m以下と小規模であると報告されている。

計画地域左岸は既述の如く著しく急な崖を形成しているため、左岸沿いの地質踏査は困難であった。従って、航空写真判読と右岸道路からの踏査結果によると、左岸に見られる急崖の多くは地形の不安定性に起因した滑落崖である可能性が強い。その最も顕著なものはRurichhuと本流の合流点の対岸、開閉所計画地点の後背地および調圧水槽地点の北側の集落地等である。これらの地点は現在は全く安定している。

7.3 各地点の地質

7.3.1 貯水池の地質

(1) 地形

計画貯水池は満水位が標高1,161mであり、その背水端はダム地点より上流約3.2kmに達する。貯水池の幅は300m以下であり、ダムの上流約600mの右岸側より支流が合流する地点付近で最も幅が広くなる。計画貯水池に流れ込む支流は2つである。いずれも右岸側にあり、乾期でも流水がある。支流の1つはダムの上流約600mで、もう1つの支流（Layalum Chhu）はダムの上流約1,200mでそれぞれPunatsangchhuに注ぐ。これらの支流に挟まれた右岸斜面は緩やかな傾斜地（傾斜約10度）であり、現在は農耕地として利用されている。貯水池内でのPunatsangchhuの勾配は比較的緩く平均1/50である。

計画貯水池及びその周辺地域はその大部分が傾斜30度以下のなだらかな斜面で占められている。左岸ではこの緩い傾斜地の上端は岩盤の露出する崖へと続く。一方、右岸では緩やかな斜面が連続し、その上端は標高1,300m以上に達する。

計画貯水池内及びその縁辺部には大規模な地すべり地形は見られない。貯水池縁辺部に位置する主な表層崩壊は下記の地点で見られる。

1) ダム地点より上流100m右岸: 幅20～40m 高さ35～60m、崩積土
2) ダム地点より上流 約2.3km 左岸: 幅230m 高さ45m、崩積土

計画貯水池の両岸の山体はいずれも厚く、隣接する流域への漏水の原因となるような大きな谷はない。

(2) 地質

貯水池及びその周辺地域の地質は地表地質踏査結果と航空写真判読結果に基づいて記載する。

1) 表層堆積物

貯水池右岸には、基盤岩石の片理面に沿ったすべりにより堆積した崩積土が厚くかつ広く分布している。この崩積土の厚さは、地表踏査結果及びダム地点右岸でのボーリング孔DD-6, DD-7, DD-8の結果などから類推して、少なくとも20m程度はあるものと推定される。また、道路沿いの露頭では、崩積土には直径15mの巨礫の含まれていることが確認されている。

一方、左岸側では河川に沿って上方の崖より供給された崩積土が堆積し、その分布規模は幅50～300m、長さ600～800mである。左岸に分布する崩積土にも片麻岩の巨礫が多く含まれている。左岸では崩積土が広く分布する箇所は下記の2箇所である。

1) ダム地点より上流 約300m左岸: 幅約150m 長さ約550m
2) ダム地点より上流 約1,300m 左岸: 幅約400m 長さ約950m

2) 基盤岩石

貯水池及びその周辺の基盤岩石は主に片麻岩より構成されている。この片麻岩は上流に向かって変成度が徐々に低くなり片岩（Schist）へと変化する。

貯水池地域では道路沿いに岩盤露頭が少ないため、地域全体の正確な地質構造を把握するのは困難であるが、左岸側の崖に見られる地質構造及び航空写真上に見られる構造地形から推定して片理面の一般的な走向・傾斜はN10～30° E/10～30° SEと推定される。従って、貯水池右岸側の斜面はいわゆる"流れ目"となり、片理面に沿ったすべりにより緩い傾斜地を形成する。一方、左岸側は"差し目"となり安定した斜面あるいは崖を形成する。

地表地質踏査では明瞭な断層露頭は見当たらなかったが、文献(ii) （Motegi, 1997）によればダムの上流約2.5km付近においてschistとgneissが低角断層で接するとされており、この断層はMCT (Main Central Thrust)の一つと報告されている。この論文によると両岩石の境界における破砕帯の幅は1m以下と小規模であると報告されている。

(3) 地質工学的評価

1) 斜面安定性

- 貯水池地域内及びその縁辺部には現在崩れている大規模な斜面崩壊地はなく、貯水池周辺斜面の傾斜も緩い。従って貯水池の機能に障害を与えるような大規模な斜面崩壊の発生する可能性は小さいと判断できる。
- しかし、貯水池縁辺部には崩積土が広く分布しており、湛水に伴って表層崩壊を生じる可能性がある。特にダム地点の上流300m及び1,300mの左岸に分布する崩積土は厚いと想定され、貯水位の変動に伴う表層崩壊の生じる可能性がある。

2) 保水性

貯水池地域内には可溶性の岩石（石灰岩など）は分布していない。また、両岸の山体も厚い。従って、隣接する河川の流域への漏水は考えられない。上記の点から、貯水池の保水性は地質工学的観点からは十分であると評価できる。

7.3.2 ダム地質

(1) 地形

ダム地点はWangdue Phodrangの下流約10kmに計画されている。ダム地点より上流の地域は河床幅が60m以上の老年期河川地形を示し、両岸には斜度10～30° の緩傾斜地が広がる。ダム地点より下流では河床幅は50m以下と狭くなり、そこでは斜面の傾斜も急になる。また、ダム地点付近を境として、河川勾配は下流に向かって急になる。ダム軸より上流の河川勾配は約1/50である一方、ダム軸下流の河川勾配は概ね1/20である。

ダム地点では右岸と左岸とで地形が大きく異なる。基盤の片麻岩構造が“差し目”となっ

ている河川の左岸は傾斜が40°以上の急斜面あるいは岩盤より構成される崖を形成している。しかし、右岸は、所々に見られる岩盤より構成される崖（高さ9～36m）を除き、傾斜が40度前後の斜面が大部分を占める。右岸斜面は片麻岩構造に沿ったすべりによる基盤岩石の崩落が著しく、各所に直径数mの巨礫を含んだ崩積土が広く分布する。また、ダム天端標高より上の右岸斜面（標高1,150m以上）では、傾斜40度前後の斜面と傾斜70度前後の崖が交互に現れる地形的な特徴が見られる。ダム右岸における標高と斜面の傾斜の関係をまとめると下記のようになる。

Elevation (m)	Slope Inclination (degree)	Geology	Remarks
1,110～1,155	70	Bedrock (gneiss)	River floor to dam crest
1,155～1,230	40	Colluvium	Dam crest to the road and above
1,230～1,240	75	Bedrock (gneiss)	Cliff, about 10m in height
1,240～1,300	38	Colluvium	
1,300～1,310		Bedrock (gneiss)	Cliff, about 9m in height
Above 1,310		Colluvium	

このような階段状の地形は、岩盤内に何らかの不連続面が存在することを示唆している。階段状の地形は標高1,230m付近及び標高1,300m付近の2箇所に認められ、河川と平行に延びている。次項の(2)地質2)基盤岩石の項で述べるように、この想定不連続面は岩盤のブロックが片理面に沿って斜面下方に向かって移動したために生じた鉛直に近い傾斜の断裂である可能性がある。

(2) 地質

1) 表層堆積物

ダム地点の表層堆積物は2つに分けられる。1つは河川に沿って分布する厚い河床堆積物であり、ダム軸沿いのボーリング孔DD-4, DD-5及びDD-3孔の結果によると、河床堆積物の厚さは最大70mに達するものと想定される。河床堆積物には直径6m程度に及ぶ巨礫が含まれている。巨礫のほとんどは片麻岩である。河床堆積物の分布幅はダム軸において約125mである。左岸ダム軸沿いの弾性波探査測線SD-2では河床堆積物中において2.0km/sec以上の速度値の得られている部分が地表下20m以深に分布する。これは河床堆積物が締まっているとともに巨礫を多く含んでいることが原因と考えられる。

もう1つの表層堆積物は、両岸の斜面より供給された崩積土である。

ダム右岸アバットメントの標高1,110m付近では崖の直下に厚さ5m程度で崩積土が分布する。また、ダム右岸上方の標高1,155～1,230mには厚い崩積土が分布し、ボーリング孔DD-7及びDD-8でのコア観察結果によると最大厚さは28.9mに達する。また、ダム軸の下流、即ち右岸堤袖部付近にも厚い崩積土が分布しており、ボーリング孔DD-6では厚さが20m以上である。

ダム左岸アバットメントの標高1,110m付近では崖の直下に厚さ5m程度で崩積土が分布する。また、左岸のダム天端標高付近である標高1,135～1,165mには上方の崖からの崩落により堆積したと思われる崩積土が分布する。ここでの崩積土の厚さはDD-1及びDD-2孔でのコア観察結果によれば約7mである。地表踏査により上記の崩積土には直径5m程度の巨礫の含まれていることが確認されている。

2) 基盤岩石

ダム地点の基盤岩石は片麻岩より構成される。片麻岩にはfoliationが明瞭に認められ、所々garnetを含む部分が見られる。pegmatiteが厚さ1m未満で挾在しており、migmatiteとなっている部分もある。片麻岩は基盤岩石表層付近より新鮮・堅硬であり、ボーリングコアを用いた室内試験では一軸圧縮強度の平均値は322kgf/cm^{2}であり、強度の範囲は217～577kgf/cm^{2}である。ダム地点におけるボーリングコアの室内試験結果をTable 7.13にまとめた。

3) 風化

ダム地点でのボーリング孔DD-1, DD-2, DD-4, DD-5, DD-6のコア観察結果によれば、ダム基盤岩石の風化程度は全般に弱い。岩盤分類基準に基づいて、基盤岩石表面より下の風化程度を区分すると下記のようになる。

Depth below Bedrock Surface (m)	Weathering Grade
0～6	3～2
More than 6	2～1

(Scale of Weathering)

Scale	Description
1	Very fresh. No weathering mineral component.
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually no brown crack.
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered material.
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.
5	Strongly weathered. Most minerals are weathered and altered to second minerals.

左岸のダム天端標高付近に位置するDD-1, DD-2孔では、風化程度が3～2の中程度の風化岩盤は基盤岩石表面より2.6～5.4m下方まで分布し、概ね弾性波速度が1.2km/sec以下の部分に相当する。この中程度の風化岩盤より下では新鮮な岩盤が分布する。新鮮な岩盤中には片麻岩構造や割れ目に沿って茶褐色の風化の見られる部分もあるが、このような部分の見られる区間は2m以下であり、ダム基盤岩石の安定性には影響しないと判断できる。

右岸の河床に位置するボーリング孔DD-4では基盤岩石表面より風化程度が2以下の新鮮な岩盤である。DD-4孔では深度26.4～35.4m区間に風化程度2～3のやや風化した岩盤が分布するが、基盤岩石表面より15m以上下であることから、この弱風化岩盤がダム基礎の安定性に影響を与えるとは考えにくい。ボーリング孔DD-5では風化程度が2～3の岩盤が着岩後9m以上分布している。これはダム軸断面に示すように、ボーリング孔が基盤岩石表面に沿って削孔されていることが原因であると判断される。

右岸のダム天端標高（標高1,170m）付近のボーリング孔DD-7, DD-8では基盤岩石表面より新鮮な岩盤が出現する。基盤岩石の深度はDD-7で18.9m、DD-8で28.4mである。

4) 不連続面

(i) 片麻岩構造

ダム地点の片麻岩構造は地表地質踏査により測定した走向・傾斜より判断できる。片麻岩構造は左岸と右岸との間で大きな相違は無く、一般的な片理面の走向・傾斜はN20° E～N40° E/30～40° SEである。ダム軸沿いの地質断面では代表的な走向・傾斜としてN22° E/32° SEを採用した。左岸の標高1,165m付近より上方の崖では岩盤表面が応力開放と風化により片理面に沿って剥離する現象が見られる。

(ii) 節理

露頭においては節理が顕著に発達する岩盤は認められないが、測定された節理の方向は2方向あって、それぞれN78° E/52° N及びN2° E/36° Eである。また、ボーリングコアで見られる節理の傾斜は30～70° の範囲である。

(iii)断層

航空写真上では大規模な断層の可能性を有する線状模様は判読されていない。地表では1箇所において幅0.5mの断層破砕帯が見つかっている。この断層破砕帯の露頭はダム軸より下流約250mの左岸側の沢にあり、断層の走向・傾斜はN46° W、84° Nであった。

ボーリング調査においては、DB-1孔の深度37.85～38.6mで断層と判断できる淡青灰色の粘土が見られた。この断層の傾斜は80° であり、実際の破砕幅は約2cmである。

上記のように明確に断層と認定できる幅1m以上の破砕帯は見つかっていないが、地形の項で述べたように右岸のダム上方斜面には河川と並行して伸びる段差状の地形が標高1,230m付近及び標高1,300m付近の2箇所で認められる。

これらの段差状の地形は下記に示す理由から岩盤のブロックが片理面に沿って斜面下方に向かって移動したために生じた鉛直に近い傾斜を有する断裂により形成された可能性がある。

- 標高1,230m付近の崖（高さ約10m）は、右岸の斜面に沿って長さ150m以上連続している。
- 右岸では基盤岩石の片麻岩構造が斜面下方へ傾斜する、いわゆる"流れ目"となっている。
- ダム軸より上流約80mの道路沿いの露頭では、片麻岩構造に沿うすべりにより緩んだ岩盤が見られる。
- 右岸斜面に位置するボーリング孔DD-7のコアには傾斜70～80°の明瞭な割れ目が深度61～65m、及び86.5～87.0m区間などで観察される。
- ボーリング孔DD-8の深度41.55～48.7m区間では、ほとんどコアが採取されていない。

ダムに最も近い断裂面は右岸側の堤体端より約70m山側に位置すると想定される。

5) 岩盤分類

(i) 分類方法

本F/Sではダム基盤岩石の地質工学的な分類として財団法人電力中央研究所の方法を採用している。この岩盤分類方法では岩盤は6つに区分される。岩盤分類基準をTable 7.14に示す。ダム及び発電所地点で実施されたボーリングのコアは、この岩盤分類基準に基づいて分類され、その結果はボーリング柱状図に記載されている。

(ii) ダム基盤岩石の岩盤分類

ダム基礎の岩盤分類結果はボーリング孔DD-1, DD-2, DD-4, DD-5, DD-6のコア観察結果に基づき、下記のようにまとめられる。

- ダム基礎となる範囲で採取されたボーリングコアのほとんどがCM級以上に分類できる。
- 想定基礎掘削線より下の岩盤はCM級、CH級より構成され、CH級が優勢である。

6) 基盤岩石の遮水性及び地下水位

ボーリング孔での透水試験はDD-1, DD-4, DD-6孔で実施された。その詳細な結果はボーリング柱状に記載されているが、本プロジェクトのダム地点の基盤岩石は遮水性の観点からは下記のように記載できる。

- 左岸アバットメントを構成する片麻岩主体の岩盤は概ね10Lu未満である。
- 右岸低標高部では基盤岩石表面より14.4m以深では10Lu未満である。
- 右岸アバットメント部のボーリング孔DD-7, DD-8では透水試験は行われていないが、岩盤の弾性波速度とボーリングコアのRQDに基づいて透水性を下記のように想定する。

  – 弾性波速度が1.8～2.2km/secを示す岩盤のRQD（DD-7孔での深度18.9～47m区間）は平均55%であり、その透水性は比較的大きい可能性がある。

－ 弾性波速度が4.0km/sec以上を示す岩盤（DD-7孔での深度47m以深）のRQDは平均72%であり、その透水性は比較的小さい可能性がある。

一方、地下水位はダム右岸のボーリング孔DD-7, DD-8孔において、削孔担当者(Driller)からの情報によると全区間にわたって地下水位が観測されなかったということである。また、DD-7孔の位置するダム地点の右岸斜面では、いずれの沢にも流水は認められない上、断層の項で述べた断裂の存在及び片麻岩構造に沿うすべりに伴う岩盤の緩み等により、想定断裂帯より川側では地下水位が低下している可能性がある。

左岸のDD-1孔では最終孔内地下水位が深度51.0mであった。この水位はTsangchhuの河川水位にほぼ等しい。しかしDD-1より山側では下記の理由により地下水位が上がっていくものと思われる。

- 左岸にはダム軸の下流250mに小さな沢があり、そこには乾期であっても流水が認められる。
- 左岸の山体の幅は広く、地下水位の低下を引き起こす原因になり得るような大きな谷が存在しない。

(3) 地質工学的評価

1) 一般地質

- 基盤岩石は片麻岩より構成される。
- 片麻岩の一般的な走向・傾斜はN20～40° E/30～40° SEである。
- 右岸ではダム軸付近の低標高部に見られる崖を除き、斜面のほとんどは厚い崩積土に覆われている。
- ダム地点では幅1m以上の断層破砕帯は地表露頭とボーリングコアの双方で見つかっていない。しかし、地形的な特徴などから右岸の岩盤中には2本の断裂が存在すると想定され、ダムに最も近いものはダム天端右岸端より約70m山側であると想定される。断裂は河川に沿って延びていると推定される。また、想定断裂面の傾斜はボーリングコアの観察結果より70～80° 程度であると推定される。

2) 表層堆積物

- 河床には厚い河床堆積物が分布し、その最大厚さは70m程度と想定される。
- 右岸斜面の崩積土は最大厚さ約28m程度であるが、ダム基礎掘削に伴い、上方の斜面の崩落する可能性がある。
- 右岸堤祉部付近には厚い崩積土が分布していることから、基礎掘削深度を検討する際にはこの崩積土の分布に留意する必要がある。崩積土の厚さはボーリング孔DD-6において20m以上である。
- 左岸斜面の崩積土は比較的薄い（最大約7m）上に、分布も狭いことから、ダム基礎掘削に伴い、大きな問題を生じる原因とはなりにくいと判断できる。

3) 岩石・岩盤物性

ボーリングコアを用いた室内試験では新鮮な岩石で下記の物性が得られている。

- 乾燥密度：2.72～2.89g/cm^3
- 湿潤密度：2.74～2.90g/cm^3
- 含水比：0.14～0.61%
- 一軸圧縮強度：217～577kgf/cm^2

また、岩盤分類毎のせん断強度は、既存の文献 (R. Yoshinaka et. al 1988) によればTable 7.15のようにまとめられる。

4) 基礎処理

- 左岸での基盤岩石の透水性は10Lu未満であり、グラウトによる改良が十分に可能であると判断される。
- 右岸低標高部（ボーリング孔DD-4）では基盤岩石表面より14.4m区間では透水性は10～13Lu、それ以深では10Lu未満でありグラウトによる地盤改良は十分に可能と判断できる。
- 右岸アバットメント部では弾性波速度が1.8～2.2km/secを示す岩盤（地表からの深度18.9～47m）では、地盤改良に留意が必要と思われる。弾性波速度が4.0km/sec以上となる深度47m以深では岩盤は比較的締まっていると想定される。
- また、右岸の地下水位は想定断裂面の存在により低下している可能性があるので、基礎処理を検討する際には地下水位に留意する必要がある。
- 全般にダム基盤岩石の透水性は十分に改良可能であると判断できる。

5) ダム基礎掘削

ボーリングコアの観察結果に基づいて、各ボーリング孔における地質工学的な観点からの想定掘削深度をTable 7.16としてまとめた。

- ダム低標高部の河床堆積物に覆われている箇所では、基盤岩石表層より良好な岩盤が出現している。従って、標高1,100m以深でのダム基礎掘削としては河床堆積物の除去と、岩盤表層の成形が想定される。ただし、河床堆積物は最大厚さが約70mと想定される上、河床堆積物には直径6m程度にも及ぶ巨礫が含まれていることに留意が必要である。また、地表下8m以深の河床堆積物のP波速度は、弾性波探査により1.8km/sec以上と測定されており、この事実は河床堆積物の深い部分は締まっていることを示唆している。
- 左岸のアバットメント部分では、ダム基礎掘削として表層堆積物の除去及び風化岩盤の掘削が想定される。地表からの掘削深度はDD-1, DD-2付近で9.8～12.6mと想定される。
- 右岸アバットメント部では、ダム天端上方の斜面が厚い崩積土（DD-8孔では28.3m）に覆われ、また、岩盤表層部が片理面に沿うすべりにより緩んでいるため、基礎掘削に伴ってダム上方斜面が不安定化する可能性がある。

7.3.3 沈砂池の地質

(1) 地形

沈砂池付近の地形は、ダム地点の項で記載しているように傾斜40度以上の急斜面あるいは崖である。

沈砂池はダム左岸側の端より約80～180m山側の地下に計画され、地表面からの深さは約150～200mである。沈砂池は2つの地下空洞より構成され、それらの長軸はPunatsangchhu左岸斜面にほぼ平行である。各地下空洞の規模は長さ320m、幅25mである。

(2) 地質

1) 表層堆積物

沈砂池計画地点近傍では地下空洞の安定性に影響するような厚い表層堆積物は分布していない。地下沈砂池近傍は高さ50m以上の崖であり、地表面はほぼ全面にわたり岩盤が露出している。

2) 基盤岩石

地下沈砂池及びその周辺の岩盤は片麻岩より構成され、全体に新鮮・堅硬であると想定できる。弾性波探査測線SD-4では地表下30m以深の弾性波速度は4.0～4.2km/secの範囲である。また、地下沈砂池計画地点より約200m離れているボーリング孔DD-1のコアの状態から、深度12.6m以深では概ね新鮮で堅硬な岩盤が期待できる。DD-1孔のコアを用いた岩石室内試験では、新鮮な片麻岩の一軸圧縮強度の平均値は322kgf/cm^2、強度の範囲は217～577kgf/cm^{2}であった。

3) 風化

DD-1孔及びDD-2孔では、地表からの深度が9.8~12.6mで新鮮な岩盤（風化程度が2以下）に達している。地下沈砂池地点での被覆厚さは150m以上であり、地下空洞周辺の岩盤は新鮮であると期待できる。ただし、片理面あるいは節理に沿う茶褐色の風化が部分的に存在する可能性はある。

4) 不連続面

(i) 片麻岩構造

地下沈砂池地点での片理面の一般的な走向・傾斜は、ダム地点とほぼ同様である。地表踏査により測定された片理面の方向はN30～60° E、24～58° SEの範囲である。

(ii) 節理

地表において節理の発達した岩盤は認められなかったが、測定された節理の方向は下記の2方向であった。

- N78° E/52° N
- N2° E/36° E

(iii)断層

航空写真上では大規模な断層の可能性を有する線状模様は判読されていない。地表ではダム軸の下流約250mの小さな沢においてN46° W、84° Nの走向・傾斜を示す破砕帯が見つかっている。この破砕帯は淡青灰色の粘土より構成される。この小断層が地下沈砂池計画地点まで連続する可能性はある。

5) 地下水

ダム軸下流約250mの小さな沢には乾期においても流水が認められる。地下沈砂池はこの沢より約50m山側に位置しており、地下空洞が地下水面の下になる可能性はある。

(3) 地質工学的評価

地下沈砂池計画地点における地質状況を土木地質的に総括すると下記の通り。

- 基盤岩石は片麻岩である。
- 片理面の一般的な方向はN30～60° E/24～58° SEを示す。従って片理面の走向は地下空洞長軸に対してほぼ直交するが、傾斜が比較的緩いので空洞天端の安定性に留意する必要がある。
- 空洞掘削中に湧水の発生する可能性はあるが、その量は工事が困難になるほどではないと推察される。
- 航空写真判読及び地表地質踏査の結果からは大規模な断層の存在は考えられないが、幅0.5mの断層破砕帯が地表で確認されており、このような小断層の存在する可能性がある。

7.3.4 導水路トンネルの地質

(1) 地形

導水路は取水口より調圧水槽までの約7kmをトンネルにより結ぶもので、そのルートはPunatsangchhu左岸の山体内を通り、その方向は河川とほぼ平行である。導水路トンネルの計画されているPunatsangchhuの左岸斜面は、地質構造の観点では"差し目"であり、全般に急な崖を形成している箇所が多い。

導水路ルート沿いの地表面の標高は1,150～1,800mの範囲であり、導水路トンネルは標高約1,130～1,150 mの標高に計画されている。取水口付近を除き被覆厚さは60～660mである。導水路トンネルルートの内、取水口の1,450m下流から調圧水槽の上流800mにかけての約4,500m区間は被覆厚さが300m以上であり、最も厚くなるのは調圧水槽の上流約1,600m地点で、そこでの被覆厚さ約660m。一方、最も薄くなるのは調圧水槽と接続する地点であり、そこでの被覆厚さは約60mである。

導水路トンネルルートに沿って表層堆積物が厚く分布すると想定される箇所は取水口より約1～1.5kmの範囲であるが、そこでの被覆厚さは300m以上であるので表層堆積物がトン

ネルに影響する可能性は小さい。

導水路トンネルの通過する範囲での河川は多くの急流を伴う急な河川勾配(1/20～1/30)で特徴づけられる壮年期河川地形を示す。また、既述のようにPunatsangchhuの左岸では片麻岩構造が“差し目”となっており、河川の左岸の地形は多くの個所で斜面の傾斜が45°以上の急崖となっている。

(2) 地質

導水路トンネルが通過するPunatsangchhu左岸は前述のように斜面が急であるため、地表踏査は困難であった。そのため、本報告書に記載しているトンネルルート沿いの地質は航空写真判読及び右岸の道路沿いの地質踏査結果に基づいている。

1) 基盤岩石

導水路トンネル沿いに分布する基盤岩石は主に片麻岩より構成され、所々で花崗岩の貫入を伴うと想定される。

2) 風化

導水路トンネルのほとんどの部分は地表からの被覆厚さが60m以上である。従って、取水口付近を除き、風化がトンネルの安定性を損なう原因となる可能性は小さいと考えられる。

3) 不連続面

(i) 片麻岩構造

片麻岩構造はN20° E～N70° Eの走向で、15～40° で南西へ傾斜する。取水口より調圧水槽に向かって、走向は北北東－南南西方向から東北東－西南西方向へと変化する。また、Baso Chhu合流点とRuri Chhu合流点との間では、小規模な花崗岩の貫入に伴い、片麻岩構造の乱れている現象が観察される。

(ii) 節理

節理は露頭において特に著しく発達している箇所は認められなかったが、主にN78° E～N75° Wの走向で50～80° で南へ傾斜するものが記録されている。

(iii)断層

発電所の項で詳細に記述するが、調圧水槽から上流の約800m区間においては、片麻岩構造に沿うすべりにより基盤岩石が破砕されている部分が多いと想定される。

また、アクセストンネル計画地点付近では、右岸の道路沿いの露頭において断層破砕と判断される箇所がある。この破砕帯の幅は道路に沿って約20mであるが、方向は不明であるため計画地域地質平面には記載していない。この破砕帯が東西方向に延びる場合は導水路トンネルに出現する可能性がある。

(3) 地質工学的評価

1) 岩石物性

導水路ルート沿いに分布する基盤岩石を対象とした試験は行われていない。従って、ダム地点及び発電所地点で得られたボーリングコアの室内試験結果から基盤岩石の物性値を類推すると一軸圧縮強度は250～600kgf/cm2の範囲であろうと推定される。

2) 地下水及び湧水

トンネルルート沿いの被覆厚さは概ね60m以上であること、また、トンネルの位置するPunatsangchhu左岸の沢の幾つかには流水が見られることからトンネル区間の多くは地下水位の下に位置すると想定される。

トンネルへの湧水は、被覆厚さが比較的薄くなる（300m以下）取水口側の約1,450m区間と調圧水槽側の約800m区間とにおいて主に発生すると想定される。

3) トンネル支保

取水口の坑口付近では、岩盤が応力開放により、ある程度緩んでいると想定されるので、トンネル支保の設計には留意が必要と思われる。

また、調圧水槽から上流の約800m区間では片理面に沿うすべりにより岩盤が攪乱されている可能性が高い。従って、トンネル支保の設計には十分な留意が必要と思われる。

7.3.5 調圧水槽、水圧管路及び発電所地点の地質

(1) 地形

調圧水槽、水圧管路及び発電所はPazachhuと本流の合流点より約1km上流の尾根に計画されている。

調圧水槽より水圧管路を経て発電所を結ぶこの尾根の斜面の傾斜は25～30°を示す。

調圧水槽は尾根の先端部に位置し、基礎部の標高は約1,128m、地表部の標高は約1,200mである。水圧管路は立坑採用し、その上端部及び下端部の標高はそれぞれ1,128mと842mである。発電所は地下式発電所が計画されており、発電所アーチ部の標高は約861mである。発電所位置の地表部標高はおおよそ1,100mである。

発電所の地表からの被覆厚さはおおよそ230mである。発電所建屋の長軸方向はほぼ尾根と直交する方向に位置するが、その位置における尾根幅は標高1,000mの等高線において上流側約150m、下流側約300mを示し、発電所標高861mにおいては十分な被覆厚さを示す。

発電所近傍に見られる地形的特徴は、2個所に見られる滑落地形である。

一つは発電所尾根上流側に隣接した開閉所計画地点に見られる地形である。開閉所敷地は本流沿いに約500m、奥行100～150mの崖錐地形上に計画されている。この崖錐堆積物は後背地の滑落地より供給されたものである。この滑落地塊は基盤岩石内の弱線に沿って川側に大きなマスムーブメントを起した結果造られたものと推察出来る。

他の滑落地形は調圧水槽が位置する尾根の北側に、支流Pazachhuにほぼ平行して拡がる緩傾斜地である。その規模は幅（東西方向）約500m、奥行（北南方向）約400mである。現在は数軒の農家が農耕地として利用している。この地形も開閉所地点と同じく基盤岩石内の弱線に沿って発生した大きなマスムーブメントによって形成されたものと推察出来る。この地点の特徴は、滑落に際して下流域(Pazachhu右岸及び発電所尾根下流側)に大量の風化物や巨礫を流出し、堆積していることである。

(2) 地質

1) 表層堆積物

当地点には地表地質調査の他に１本のボーリング孔DP-1(全長180m) 及び弾性波探査（4測線、合計測線長2,500m）が実施されている。これらの調査結果から明らかに崖錐堆積物が厚く分布している範囲は、地形項で述べたPazachhu右岸沿い斜面およびPazachhuと本流合流点付近であり、この範囲においては厚いところでは20m以上の堆積が見られる。発電所尾根においてはボーリング調査結果と弾性波探査結果から判断して3m乃至5m厚さの表層堆積物が分布する範囲は認められるものの全般に表層堆積物の厚さは薄い。

他に地形項で既述の通り、発電所尾根上流側の開閉所計画地点においては典型的な崖錐堆積物が分布する。

2) 基盤岩石

調圧水槽、水圧管路及び発電所地点の基盤岩石は主に片麻岩である。片麻岩の他にはペグマタイトの狭在も各所に見られる。片麻岩は表層部を除いて全体に新鮮、堅硬であるが、後述するように深部までコアの採取出来ない個所が著しく多い。新鮮な個所（深度20m以深）のボーリングコア試料による超音波速度測定及び一軸圧縮試験結果はTable 7.17の通りである。

3) 風化

ボーリング柱状図に示されている通り、発電所地点の基盤岩石の風化程度は全般に弱く、岩盤分類基準で評価すると、おおよそ下記のように区分される。

Depth (m)	Weathering Grade
3.35～20	3～2
20～108	2～1
108～180	1

(Scale of Weathering)

Scale	Description
1	Very fresh. No weathering mineral component.
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually no brown crack.
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered material.
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.
5	Strongly weathered. Most minerals are weathered and altered to second minerals.

採取コアのみから評価すると上記の通り評価されるが、柱状図にも示されている通り、コアが採取されていない個所が著しく多く、更に弾性波探査結果によると低～中程度の速度層（1～2km/sec）が100m以上と非常に厚い。これらの結果が基盤岩石のどの要因（風化不連続面、地下水等）と係っているのか次項（不連続面、地下水位）を含めて総合的に検討する。

4) 不連続面

(i) 片麻岩構造

片麻岩構造は発電所尾根においては基盤岩石の露頭が少ないため明確な走向・傾斜の測定が難しいが、周辺及び右岸の露頭で測定した結果から判断すると、発電所地点の片麻岩構造の一般的な走向・傾斜はN40～70° E/15～30° SEを示す。片麻岩構造は流水を伴う沢床などにおいては極めて密着し、丸みを帯びた露頭を形成しているが、開放面を持つ急崖においては片麻岩構造面に沿った厚さ数10cm～数m毎の剥離が生じ、一見層状岩のような露頭を形成している。

(ii) 節理

節理は露頭において特に著しく発達しないが、主な方向はN70～75° W/50～80° SEおよびN60～80° E/80～90° SEを示す。その他ボーリングコアにおいては45～65° 傾斜の節理が記録されている。

(iii)断層

地表地質調査において断層は確認出来なかった。ボーリングコアの観察で断層と推察出来るコアは下記の２個所である。

- F-1断層：深度108.4～116.6m
- F-2断層：深度128.0～136.0m

また、採取コアの観察の結果攪乱帯（shear zone）と認定出来る個所は下記の4個所である。

- FRZ-1：深度86.0～108.4m
- FRZ-2：深度116.6～119.75m
- FRZ-3：深度123.8～128m
- FRZ-4：深度136.0～142.8m

上記の結果を見ると、FRZ-1及びFRZ-2はF-1断層の上、下盤に位置し、FRZ-3及びFRZ-4はF-2断層の上、下盤に位置する。これら2箇所（F-1及びF-2）を断層と推察した理由は、F-1断層については深度115mにおいて約10cmの断層粘土を採取しており、F-2については133.15～136.0m間において断層破砕帯のスライムと判断出来るサンプルが採取されている上に、多くのslickensideを伴ったコアがスライムの下部に採取されていることから判断した。そしてこれら2個所のコア採取のない区間が上述のような極めてわずかな証拠で断層と推察出来たため、F-1及びF-2断層の上部、下部に存在する礫状コア乃至コア採取率の非常に不良な区間が断層の上盤、下盤に相当するshear zoneと判定した。

他方、F-1断層（shear zoneを含む）より上部区間（14～86.0m）においてコア採取のない個所は全部で12個所存在する。これら個所周辺のコアを再検討すると、下記のような事由からコア採取のない12個所についても断層又は攪乱帯である可能性が大きい。

- コア採取のない区間のほとんど全てに礫状コアの部分が伴っている。
- そして、礫状コア又はコイン状コアのgneissosityに黒色のgraphite状物質の付着が有る。
- 一部のcracksには明らかなslickensideが見られる。
- 削孔担当者（driller）からからの情報では、コア採取のない区間においてもdrilling rodsが急に落下するような状況は感じられなかった。

最後に、地下深部の断層又は攪乱帯であるため正確な走向・傾斜は判らないが、採取コアから判断するとF-1及びF-2の滑り面はほぼ片麻岩構造に沿っていることから、当サ

イトの地下深部の断層は片麻岩構造にほぼ一致した走向・傾斜を持つものと推定される。

5) 地下水

発電所尾根周辺の沢で流水が見られるのは、尾根より約600m上流の沢と約200m下流の沢である。他方、発電所尾根後背地の山体は規模が大きく、発電所尾根への地下水の供給は十分賄える地形である。

発電所地点のボーリング孔DP-1には地下水位観測用パイプが挿入できなかったため、現在の地下水位は不明である。当孔で判明している地下水位情報は下記のとおり。

Date	Bottom of Hole	Ground Water Level	Remarks
1999/12/4 7:30AM	93.50m	84.90m	Before daily work
1999/12/20 8:00AM	145.70m	125.10m	Before daily work
1999/12/31 9:00AM	175.55m	157.80m	Before daily work

また、採取コアの茶色風化（酸化現象）は深度50m付近から急に減少し、最終的に100m以深では全く見られない。これらのデータから、発電所地点の地下水位は下記のように推察する。

- 深度50m乃至80m付近（標高約1,000m）迄は地下水の分布は無いであろう。
- 深度80m付近（標高約980m）より100m付近（標高約960m）間は地下水の保水能力は有するが乾季には低下する。
- 12月31日の地下水位（標高903m）は正確と判断するが、河水位（標高約850m）を考慮すると少し低すぎるように思われるのと、コアの状況から判断して常時の地下水位は深度100m付近（標高約960m）に位置するものと判断する。従って12月31日の地下水位は一時低下したもので、いずれ回復するものと推察する。

6) ボーリング調査及び弾性波探査結果の評価

ボーリング柱状図に記録されている通り、発電所調査孔DP-1は全長180mのうち21個所、合計で36.4m(約20%)のコアが採取出来なかった。21個所の内訳は深度0～100m間において15個所22.5m、深度100～180m間において6個所13.9mである。他方、弾性波探査結果では、地表からの深度110m(発電所地点)および120m(調圧水槽地点)において1.8～2.2km/sec層と4.0～4.2km/sec層の境界線が描かれている。

不連続面の項で既述した通り、ボーリングコアが採取出来なかった個所がほぼ同様な断層又は攪乱帯であるとすれば、深度100mより浅部においては100mより深部に比べ2.5倍の断層数および約9mの低速度帯の厚さの差がある。これらが1.8～2.2km/sec層と4.0～4.2km/sec層の境界線の原因の一つになっていることは間違いないと思う。しかし、断層や攪乱帯の他に地下水位もまたボーリング孔DP-1地点ではおおよそ深度100m付近に位置すると推察される。地下水の存在は弾性波速度を速くする方へ影響するので、

上記の弾性波速度層の境界は地下水位を表しているとも解釈できるが、ボーリング孔内水位の測定データが少ないのでこれ以上の解析は困難である。しかし、今回の調査は弾性波探査とボーリング調査結果が良く比較出来て、期待通りの成果が得られたと評価出来る。なお当地点の地質と各構造物の関係については次項、土木地質的評価において記述する。

(3) 地質工学的評価

1) 一般地質

調圧水槽、水圧管路及び発電所地点の基盤岩石を地質工学的に総括すると下記の通りである。

- 基盤岩石は片麻岩である。この岩石は新鮮部では十分堅硬で、Table 7.17に示した通り一軸圧縮強度は264～589kgf/cm^{2}を示す。
- 基盤岩石の片麻岩構造（gneissosity）は走向N40～70° E、傾斜15～40° SEを示す。本項での土木地質的解析においては走向N70° E傾斜30° SEを採用している。
- 発電所尾根内部にはかなり多くの断層が伏在していると思われる。ボーリング孔DP-1のコア解析によると、大小含めて21本の伏在断層又は攪乱帯が推定される。それらのうち最も顕著なものは深度108.4～116.6mと深度128～136mに認められる断層粘土（又は強破砕帯）を伴うF-1及びF-2断層である。F-1断層は上盤に約22m、下盤に約3m、同じくF-2断層は上盤に約4m、下盤に約6mの攪乱帯（亀裂帯を含む）を伴うため、両者を合わせた断層及び攪乱帯の規模は相当大きいものである。
- これら断層の正確な方向は、露頭がないため不明である。しかしコアを見ると、ほとんどのコアが片麻岩構造に沿った礫状又はコイン状になっているため、恐らく片麻岩構造に沿った走向・傾斜を示す断層と推定される。
- 発電所尾根の上流側(西側)および北側に見られる滑落地形は上述したF-1およびF-2断層の活動に誘発されて、滑落した可能性は強い。

2) 発電所

発電所地点の基盤岩石を地質工学的見地から評価すると下記の通りである。

- 発電所建屋と片麻岩構造の関係は約20° (apparent dip)で、河側に傾斜していると推定出来る。しかし、この傾斜は走向をN70° Eとした場合のものであり、実際よりは多少急角度となっている。走向の方向によっては、更に緩傾斜になる可能性は大きい。
- 発電所地点にはF-1及びF-2の断層及び攪乱帯が存在するF-2断層の攪乱帯の最下部深度は孔口より142.80m(標高918.2m)である。深度約143m以深のコアは新鮮であるが深度155m迄は片麻岩構造に沿った割れ目が著しく多い(深度142.8m～155m間のRQDは0%)。更に、155mより孔底(深度180m、標高881m)間の平均RQDはほぼ50%に過ぎない。恐らくF-1及びF-2断層の影響を蒙った結果と考えられる。ボーリング孔底(標高881m)と発電所アーチ部(標高861m)間の岩盤は新鮮で、堅硬であることは多分間違い

ないが、片麻岩構造の傾斜が非常に緩いこと、この付近の片麻岩は黒雲母の挾在と縞状構造が顕著であること等の地質条件に十分な配慮が必要である。

- 建設工事中の湧水発生の可能性はあるが、工事が困難になる程の湧水は発生しないと推察される。

3) 調圧水槽

調圧水槽地点の基礎岩盤は下記のように評価できる。

- 基礎岩盤は片麻岩である。片麻岩構造の傾斜は発電所地点同様に河側に約20° 傾斜している。
- DP-1にて確認されたF-1及びF-2断層とそれに伴う攪乱帯はこの断層の規模から推察して恐らく調圧水槽地点迄連続しているであろう。F-1断層又は攪乱帯は地表からの深度100～120m（標高1,080～1,060m）付近に位置すると推定出来る。
- 調圧水槽掘削部においても片麻岩構造に平行した攪乱帯が分布していると予想出来る。しかし、それらの傾斜が約20° と緩いため、立坑掘削に支障となる地質構造ではない。
- 地表部に近い範囲は、基盤がgneissosityとjointに沿って剥離し、巨大転石の状況になっていると推察出来る。
- 立坑部は地下水面より高い場所に位置するため、立坑掘削中の湧水の可能性はほとんどないと推察する。

4) 水圧管路

水圧管路通過区間の基盤岩石は下記のように推察出来る。

- 水圧管路始点より約50～150m区間はF-1及びF-2断層とそれら攪乱帯通過区間に相当するため、基盤岩石は著しく不良であると予想される。従って基礎岩盤の強度についても充分配慮する必要がある。
- 湧水量の大小は不明であるが、恐らく湧水は常時発生する可能性は大きい。

7.3.6 その他付属構造物地点

(1) 取水口

取水口は左岸のダム上流に2箇所計画され、ダム軸の上流約15m～65mに位置している。取水口の坑口付近には岩盤の露頭があり、表層堆積物の厚さは比較的薄いと想定される。

(2) Access Tunnel for Headrace Tunnel

Access Tunnel for Headrace Tunnelの坑口は厚い崩積土の分布域より標高の高い場所に位置している。崩積土の分布域の弾性波探査測線SA-1, SA-2によると、2.0～2.2km/secの速度層と4.0～4.2km/secの速度層との境界は地表下40～50mにある。

(3) 開閉所

開閉所地点には、上方の崩壊地より供給されたと推察できる崩積土が分布している。開閉所上方の崩壊地は現在は安定していると推察できる。

7.4 コンクリート骨材

コンクリート骨材採取候補地となっている河床には直径70 cm以下の円礫および中粒～細粒の砂より構成される堆積物が分布している。この河床堆積物に含まれる礫の岩種は片麻岩、変堆積岩である。

(1) 候補地の選定

コンクリート骨材としては採取の容易な河床堆積物が最も望ましい。また、骨材採取候補地は既存の道路とのアクセスが容易な右岸側に位置していることが望ましい。

上記の条件を考慮し、ダム予定地点上流約7 kmの右岸側に位置する幅広い河床がコンクリート骨材採取候補地として選定された。

(2) 賦存量の調査

ボーリング孔DQ-1, DQ-2, DQ-3及びDQ-4での調査により、このコンクリート骨材採取候補地に分布する河床堆積物の厚さは10m以上であることが確認された。

(3) コンクリート骨材としての質の調査

河床堆積物のコンクリート骨材としての適性を確認することを目的として、河床の４箇所(立坑QP-2, QP-3, QP-4, QP-5)より試料を採取し、粒度試験、すりへり減量試験などの室内試験を実施した。試験結果をTable 7.18に示す。また、粒度試験結果をFig.7.8に示す。

7.5 河床底質調査

コンクリート骨材採取候補地において河床に堆積している物質の性質を確認するための調査を行った。調査項目は立坑掘削、地質観察、試料採取、ふるい分け試験、鉱物分析である。調査の結果をTable 7.19及びFig.7.9に示す。

Table 7.1 Summary of Geological Investigations for Foundation Rocks

1) Field Investigation

Item	Unit	Quantity	Investigator	Remarks
Aerial Photo Interpretation	km^2	10	JICA Study Team	
Site Reconnaissance	km^2	10	JICA Study Team	
Drilling	hole	13	Geological Survey of Bhutan	
	m	760.0		
Geotechnical Logging	hole	13	JICA Study Team	
	m	760.0		
Long Term Water Level Measurement	hole	3	Division of Power	
	time	24		
Permeability Test	hole	3	Geological Survey of Bhutan	
	time	41		
Seismic Prospecting	line	10	Kelwang Consultancy	
	m	4,000		

2) Laboratory Test

Item	Unit	Quantity	Investigator	Remarks
Density	Sample	20	Division of Roads.	
Specific Gravity and Water Absorption	Sample	20	Division of Roads	
Water Content	Sample	20	Division of Roads	
Uniaxial Compression Test	Sample	20	Division of Roads	
Petrographic Examination (thin section)	Sample	10	JICA Study Team	

Table 7.2 Summary of Geological Investigations for Concrete Aggregates

1) Field Investigation

Item	Unit	Quantity	Investigator	Remarks
Pit Excavation	pit	4	Division of Roads	
	m	6.0		
Pit Logging	pit	4	JICA Study Team	
	m	6.0		
Sampling	pit	4	Division of Roads	
	sample	4		

2) Laboratory Test

Item	Unit	Quantity	Investigator	Remarks
Specific Gravity and Water Absorption	sample	4	Division of Roads	
Abrasion Loss	sample	4	Division of Roads	
Soundness	sample	4	Division of Roads	
Sieve Analysis	sample	4	Division of Roads	
Fineness Modulus	sample	4	Division of Roads	
Alkali-aggregate Reactivity	sample	4	JICA Study Team	
Petrographic Examination (X-ray diffraction method)	sample	4	JICA Study Team	

Table 7.3 Summary of Geological Investigations for River Deposits

Item	Unit	Quantity	Investigator	Remarks
Pit Excavation	pit	1	Division of Roads	
	m	1.5		
Pit Logging	pit	1	JICA Study Team	
	m	1.5		
Sampling	pit	1	Division of Roads	
	sample	1		
Sieve Analysis	sample	1	Division of Roads	
Petrographic Examination (X-ray diffraction method)	sample	1	JICA Study Team	

Table 7.4 Details of Drilling Investigation

Hole No.	Length (m)	Inclination and Direction	Elevation (m)	Coordinates		Permeability Test	Remarks
				Northing (X)	Easting (Y)		
DD-01	60.00	90°	1,145.873	1,073,183.854	2,734,299.387	9	
DD-02	30.15	60°, N60°E	1,145.873	1,073,183.854	2,734,299.387	None	
DD-03	60.00	90°	1,106.602	1,073,158.971	2,734,256.509	None	
DD-04	50.00	90°	1,101.393	1,073,118.698	2,734,187.112	17	
DD-05	60.00	60°, N60°E	1,101.393	1,073,118.698	2,734,187.112	None	
DD-06	80.00	90°	1,129.499	1,073,037.539	2,734,204.415	15	
DD-07	100.00	90°	1,187.070	1,073,072.552	2,734,128.125	None	
DD-08	50.20	60°, S70°W	1,187.070	1,073,072.552	2,734,128.125	None	
DB-01	50.05	60°, N60°E	1,147.473	1,073,270.738	2,734,251.427	None	
DP-01	180.10	90°	1,070.575	1,066,305.563	2,737,235.033	None	
DQ-01	10.00	90°	-	-	-	None	
DQ-02	10.00	90°	-	-	-	None	
DQ-03	10.00	90°	-	-	-	None	
DQ-04	10.00	90°	-	-	-	None	
14holes	**760.0M**					**41 tests**	

Table 7.5 Water Pressure Pattern for Permeability Test in Drill Holes

Depth from rock surface to the center of the testing section	Water Pressure (kgf/cm^2)
Less than 5m	1-2-3-2-1
5 to 10m	1-3-5-3-1
More than 10m	1-5-10-5-1

Table 7.6 List of Seismic Prospecting Lines

Location	Line No.	Length (m)	Remarks
Dam	SD-1, SD-2	285.0	
	SD-3	300.0	
	SD-4	300.0	
Intake	SD-5	115.0	
Powerhouse	SP-1	1,000.0	
	SP-2	500.0	
	SP-3	500.0	
	SP-4	400.0	
Adit	SA-1	300.0	
	SA-2	300.0	
total10 lines		**4,000.0m**	

Table 7.7 List of Core Samples

Location	Sample No.	Hole No.	Sampling Depth (m)		Rock Type
			from	To	
Dam	DD-1-01	DD-1	16.40	16.60	Gneiss
	DD-1-02	DD-1	16.60	16.85	Gneiss
	DD-1-03	DD-1	18.50	18.80	Pegmatite
	DD-1-04	DD-1	32.20	32.50	Gneiss
	DD-1-05	DD-1	50.10	50.50	Gneiss
	DD-5-01	DD-5	16.05	16.35	Gneiss
	DD-5-02	DD-5	21.00	21.30	Gneiss
	DD-5-03	DD-5	21.30	21.70	Gneiss
	DD-5-04	DD-5	21.70	22.00	Gneiss
	DD-5-05	DD-5	36.00	36.30	Gneiss
Powerhouse	DP-1-01	DP-1	39.60	39.90	Gneiss
	DP-1-02	DP-1	44.25	44.50	Pegmatite
	DP-1-03	DP-1	55.20	55.50	Pegmatite
	DP-1-04	DP-1	62.30	62.50	Pegmatite
	DP-1-05	DP-1	68.40	68.70	Migmatite
	DP-1-06	DP-1	74.70	74.90	Migmatite
	DP-1-07	DP-1	77.50	77.80	Gneiss
	DP-1-08	DP-1	96.40	96.60	Gneiss
	DP-1-09	DP-1	118.30	118.50	Gneiss
	DP-1-10	DP-1	154.70	155.00	Gneiss
	DP-1-11	DP-1	158.50	158.80	Gneiss
	DP-1-12	DP-1	168.60	168.85	Gneiss
					total 22 samples

Table 7.8 List of Laboratory Tests on Core Samples

Item	Quantity (sample)			Testing Standard	Remarks
	Dam	Powerhouse	Total		
Density	9	12	20	ISRM	
Specific Gravity and Absorption	9	12	20	ASTM C97	
Water Content	9	12	20	ASTM D2216	
Compression Strength	9	12	20	ASTM D3148	
Petrographic Examination (thin section)	5	5	10	ASTM C295	

Table 7.9 List of Pit

Location	Pit No.	Depth (m)	Remarks
Quarry	QP-2	1.5	
	QP-3	1.5	
	QP-4	1.5	
	QP-5	1.5	
			total 4pits 6.0m

Table 7.10 List of Samples for Concrete Aggregate Tests

Location	Sample No.	Pit No.	Depth of Sampling (m)		Remarks
			From	To	
Quarry	QP-2-01	QP-2	0.5	1.5	
	QP-3-01	QP-3	0.5	1.5	
	QP-4-01	QP-4	0.5	1.5	
	QP-5-01	QP-5	0.5	1.5	
					total 4samples

Table 7.11 List of Laboratory Tests on Concrete Aggregates

Item	Quantity (sample)	Testing Standard	Remarks
Specific Gravity and Water Absorption	4	ASTM C127, C128	
Abrasion Loss	4	ASTM C535, C131	
Soundness	4	ASTM C88	
Sieve Analysis	4	ASTM C136	
Finess Modulus	4	ASTM C117	
Alkali-aggregate Reactivity	4	Equivalent of ASTM C289	
Petrographic Examination (X-ray diffraction method)	4	ASTM C295	

Table 7.12 Item and Quantities of Investigations for River Deposits

Item	Unit	Quantity	Remarks
Pit Excavation	Pit	1	
	M	1.5	
Sampling	Sample	1	
Sieve Analysis	Sample	1	
Petrographic Examination (X-ray diffraction method)	Sample	1	

Table 7.13 Summary of Laboratory Test Results on Rock Cores (Dam)

	Location	Dam	
	Rock Type	Gneiss	Pegmatite
Dry Density (g/cm^3)	Average	2.80	2.74
	Minimum	2.72	-
	Maximum	2.89	-
	Number of Data	8	1
Saturated Density (g/cm^3)	Average	2.81	2.74
	Minimum	2.74	-
	Maximum	2.90	-
	Number of Data	8	1
Specific Gravity	Average	2.67	2.51
	Minimum	2.58	-
	Maximum	2.75	-
	Number of Data	8	1
Water Absorption (%)	Average	1.56	2.64
	Minimum	1.00	-
	Maximum	2.22	-
	Number of Data	8	1
Water Content (%)	Average	0.43	0.27
	Minimum	0.14	-
	Maximum	0.61	-
	Number of Data	8	1
Compressive Strength (kgf/cm^2)	Average	322	351
	Minimum	217	-
	Maximum	577	-
	Number of Data	8	1

Table 7.14 Rock Mass Classification by CRIEPI

Rock Class	Description
A	The rock mass is very fresh, and the rock forming minerals and grains undergo neither weathering nor alteration. Joints are extremely tight and their surfaces have no visible sign of weathering. Sound by hammer blow is clear.
B	The rock mass is solid. There is no opening joint and crack (even of 1mm). But rock forming minerals and grains undergo a little weathering and alteration in partly. Sound by hammer blow is clear.
CH	The rock mass is relatively solid. The rock forming minerals and grains undergo weathering except for quartz. The rock is contaminated by limonite, etc. The cohesion of joints and cracks is slightly decreased and rock blocks are separated by firm hammer blow along the joints. Clay minerals remain on the separation surface. Sound by hammer blow is a little dim.
CM	The rock mass is somewhat soft. The rock forming minerals and grains are somewhat softened by weathering, except for quartz. The cohesion of joints and cracks is somewhat decreased and rock blocks are separated by ordinary hammer blow along the joints. Clay minerals remain on the separation surface. Sound by hammer blow is somewhat dim.
CL	The rock mass is soft. The rock forming minerals and grains are softened by weathering. The cohesion of joints and cracks is decreased and rock blocks are separated by soft hammer blow along joints. Clay minerals remain on the separation surface. Sound by hammer blow is dim.
D	The rock mass is remarkably soft. The rock forming minerals and grains are softened by weathering. The cohesion of joints and cracks is almost absent. The rock mass collapses by light hammer blow. Clay minerals remain on the separation surface. Sound by hammer blow is remarkably dim.

Table 7.15 Shear Strength by Rock Class

Rock Class	Cohesion (kgf/cm^2)	Internal Friction Angle (degree)
CH	20～40	40～55
CM	10～20	30～45
CL	less than 10	15～38

Table 7.16 Estimated Depth of Foundation Excavation at Dam Site

Hole No.	Estimated Depth of Foundation Excavation [judging from drilled cores] (m)	Remarks
DD-1	12.6	
DD-2	9.8	
DD-3	unknown	Alluvium
DD-4	12.0	
DD-5	51.6	
DD-6	34.0	
DD-7	19.0	
DD-8	29.0	

Table 7.17 Summary of Laboratory Test Results on Rock Cores (Powerhouse)

	Location	Powerhouse		
	Rock Type	Gneiss	Pegmatite	Migmatite
Dry Density (g/cm^3)	Average	2.70	2.53	2.64
	Minimum	2.58	2.29	2.62
	Maximum	2.82	2.70	2.65
	Number of Data	7	3	2
Saturated Density (g/cm^3)	Average	2.73	2.54	2.66
	Minimum	2.62	2.30	2.64
	Maximum	2.87	2.70	2.67
	Number of Data	7	3	2
Specific Gravity	Average	2.47	2.61	2.75
	Minimum	1.90	2.55	2.70
	Maximum	2.70	2.71	2.79
	Number of Data	7	3	2
Water Absorption (%)	Average	1.37	1.68	0.90
	Minimum	0.60	1.61	0.80
	Maximum	2.21	1.81	1.00
	Number of Data	7	3	2
Water Content (%)	Average	1.06	0.33	0.67
	Minimum	0.13	0.11	0.56
	Maximum	1.82	0.76	0.77
	Number of Data	7	3	2
Compressive Strength (kgf/cm^2)	Average	411	914	1,080
	Minimum	264	686	1,008
	Maximum	589	1,239	1,152
	Number of Data	6	3	2
Pulse Velocity (km/sec)	Primary Wave (Vp)	2.92～4.49	-	-
	Secondary Wave (Vs)	1.89	-	-

Table 7.18 Summary of Laboratory Test Results on Concrete Aggregate

Item		Result	Remarks
Specific Gravity (coarse aggregate)	Average	2.45	
	Minimum	2.01	
	Maximum	2.64	
	Number of Data	4	
Specific Gravity (fine aggregate)	Average	2.54	
	Minimum	2.47	
	Maximum	2.61	
	Number of Data	5	
Water Absorption (%)	Average	1.5	
	Minimum	1.4	
	Maximum	1.6	
	Number of Data	4	
Abrasion Loss (%)	Average	36.5	
	Minimum	33.0	
	Maximum	41.0	
	Number of Data	4	
Soundness (%)	Average	2.0	
	Minimum	1.4	
	Maximum	3.0	
	Number of Data	4	
Fineness Modulus	Average	3.73	
	Minimum	2.80	
	Maximum	4.16	
	Number of Data	4	
Alkali-aggregate Reactivity	Result	Innocuous	
	Number of Data	4	

Table 7.19 Result of Investigations on River Deposits

Item		Result	Remarks
Fineness Modulus	Result	4.04	
	Number of Data	1	

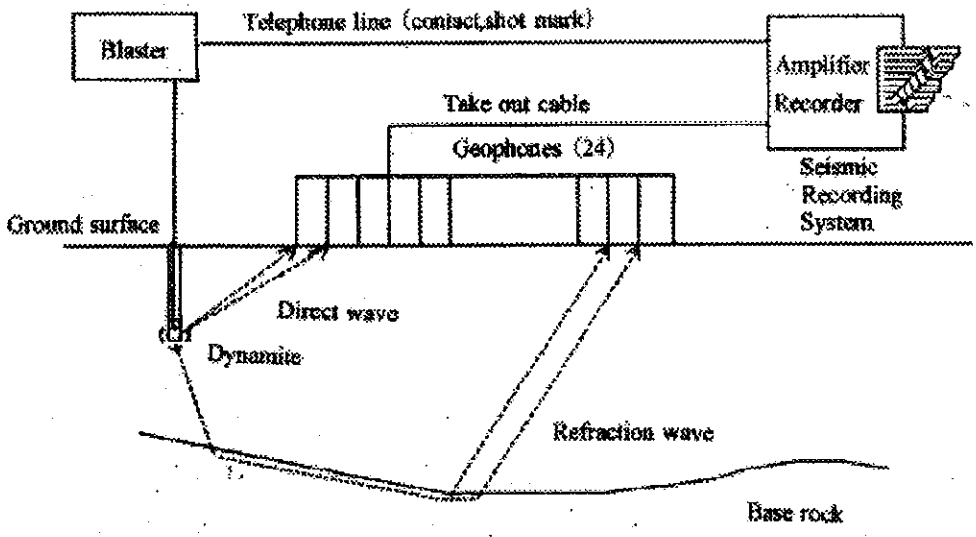
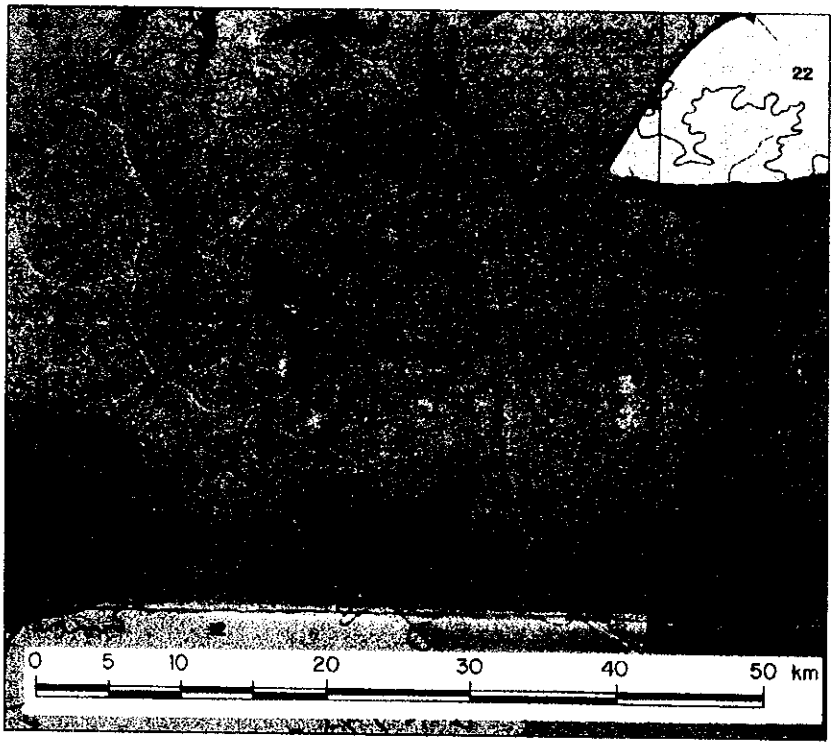


Fig. 7.1 Block Diagram of Seismic Prospecting

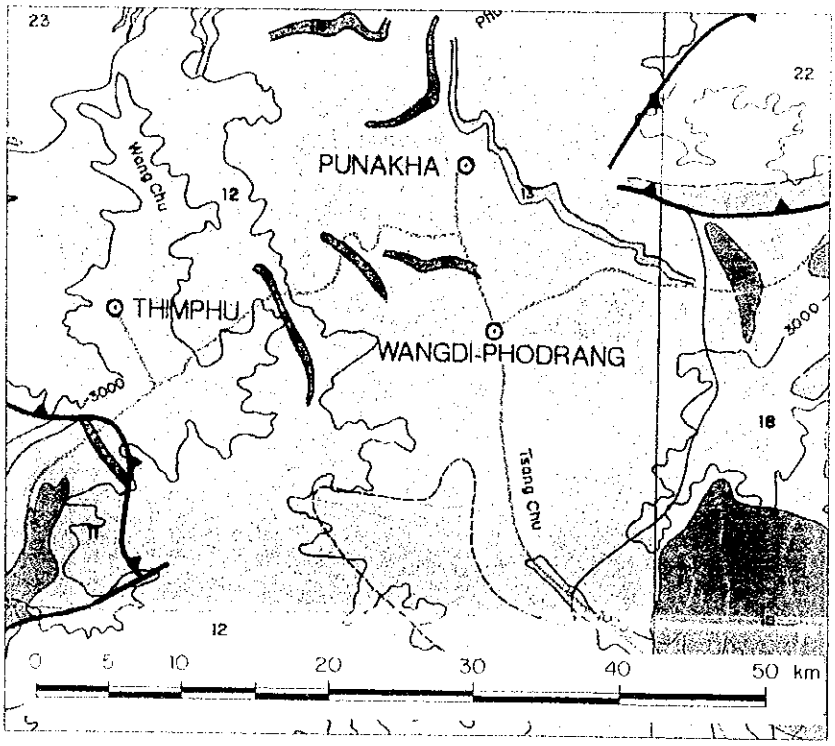


Legend

12:Thimphu Formation	migmatite and biotite-granite gneisses with thin beds of quartzite, mica schist, calc-silicate rocks and marbles
13:Thimphu Formation	individual limestone beds
14:Thimphu Formation	amphibolite dykes/sills
18:Tirkhola Formation	bedded quartzites and phyllitic quartzites, locally limestone

Fig. 7.2 Regional Geological Map of the Project Area

(after ESCAP (1991): Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region, Vol.8 Bhutan)



Legend

12:Thimphu Formation	migmatite and biotite-granite gneisses with thin beds of quartzite, mica schist, calc-silicate rocks and marbles
13:Thimphu Formation	individual limestone beds
14:Thimphu Formation	amphibolite dykes/sills
18:Tirkhola Formation	bedded quartzites and phyllitic quartzites, locally limestone

Fig. 7.2 Regional Geological Map of the Project Area

(after ESCAP (1991): Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region, Vol.8 Bhutan)