

第3章 現地調査

第3章 現地調査

	頁
3.1 概要	3-1
3.2 地形測量	3-2
3.2.1 航空写真測量	3-2
3.2.2 地上測量による地形図作成	3-2
3.2.3 水準測量	3-3
3.3 コア・ボーリング調査	3-11
3.4 弾性波探査	3-17
3.5 室内試験	3-17
3.5.1 岩石試験	3-17
3.5.2 粒度試験	3-17
3.5.3 水質分析	3-23
3.5.4 河床堆積物の成分分析	3-23
3.5.5 岩石顕微鏡鑑定	3-23
3.6 地質図作成	3-23

LIST OF TABLES

Table 3-1 (1)	Point Description
Table 3-1 (2)	Point Description
Table 3-1 (3)	Point Description
Table 3-1 (4)	Point Description
Table 3-1 (5)	Point Description
Table 3-2	Record of Core Drilling Works (F/S)
Table 3-3	Record of Core Drilling Works (M/P & Pre. F/S)
Table 3-4	Record of Seismic Survey Works (F/S)
Table 3-5	Record of Seismic Survey Works (Pre. F/S)
Table 3-6 (1)	Results of Rock Laboratory Test
Table 3-6 (2)	Results of Rock Laboratory Test
Table 3-7	Physical Characteristic of Foundation Rock
Table 3-8	Results of Component Analysis of Arun River Water
Table 3-9	Results of Component Analysis of River Deposit

LIST OF FIGURES

- Fig. 3-1 Sketch of New Monumentation of Bench Marks
- Fig. 3-2 Location Map of Bench Marks
- Fig. 3-3 Location Map of Drilling and Seismic Survey at Dam Site
- Fig. 3-4 Location Map of Drilling and Seismic Survey at Powerhouse Site (Pikhuwa)
- Fig. 3-5 Location Map of Drilling and Seismic Survey at Powerhouse Site (Kaguwa)

第3章 現地調査

3.1 概要

調査区域とくに主要構造物周辺の地形、および地質状況を明確にすることは、精度の高いフィージビリティ調査を行うための第1条件である。従って、現地調査工事を効果的に実施するため、作業箇所と範囲について慎重な検討がなされた。即ち、マスタープラン調査とプレ・フィージビリティ調査で提案されたダムサイトおよび発電所サイトが異なった位置にあり、その優劣を検討した上で今回の調査作業計画を立てる必要があった。従って、特定の地点について現地調査を実施する前に、地表地質調査、すでに実施した地質調査、地形などに基づいて各案の検討を行った。その結果は以下に述べる通りである。

(1) ダムサイト

ダムサイトおよびその周辺の地形、地質の状況から上流ダムサイトが有利である。上流地点を選定した要因のひとつは、下流ダムサイトの直上流でアルン川と合流する Num Khola の中流部に、かなりの崩壊があるという点である。Num Khola の河川勾配が極めて急であり、これが大規模な地這りの引金になる様にも見受けられる。これは将来、下流サイトにおけるダム、沈砂池などの構造物に大損害を与えるおそれがある。

(2) 発電所サイト

上流 240MW発電計画(Sola Khani 地点)と下流 400MW発電計画(Kaguwa 地点)とはそれぞれマスタープラン調査およびプレ・フィージビリティ調査で提案されたものである。この両案について、地形図、電力需給想定などに基づき、既に行われているプレ・フィージビリティ調査に加えて、再度検討を行った。その結果、下流 400MW発電計画がより有利であると確認された。

下流案には、さらに調査団が提案した Pikhwa地点とプレ・フィージビリティ調査で提案されたKaguwa地点とがある。Pikhwa 地点は第1回現地踏査時、両地点の地形と予想される地質状況から見て、工事費が少なく、工事施工上もリスクが少ないと判断されて、新たに提案したものである。然しながら、約1km離れた両地点の間に予想される約15mの落差により、Kaguwa地点の便益は当然大きく、両地点の優劣は詳細な地形、地質の調査結果に基づいた各構造物の設計、建設工事費の算定を行い、経済比較をして判定するのが妥当であると判断した。

(3) 調査の範囲

上述の様な検討過程を経て、今回の現地調査工事は、上流ダムサイト、Pikhuwa およびKaguwa両発電所サイトを含む区域について、地形測量、水準測量、ボーリングおよび弾性波探査などによる地質調査の実施を決定した。

3.2 地形測量

3.2.1 航空写真測量

1/20,000航空写真を用いて、ダム、発電所、アクセス道路などを含む区域について地形図を作成した。

(1) ダム～発電所区域

ダム（調整池区域を含む）～発電所（PikhuwaおよびKaguwa両地点）を含む区域地形図の図化

面積 36km²
縮尺 1/5,000、等高線間隔 5m

(2) アクセス道路および送電線路区域

Hile～アルン3計画を結ぶアクセス道路（A、B案）を含む区域地形図の図化

面積 180.5km²
縮尺 1/10,000、等高線間隔 10m

3.2.2 地上測量による地形図作成

(1) ダム区域

ダム、仮排水路トンネル、取水口、沈砂池および骨材採取予定地などを含む区域の地形図作成

面積 210,000m²
縮尺 1/500、等高線間隔 1m

(2) 発電所区域

導水路終端部、調圧水槽、水圧管路、発電所、放水路、屋外開閉所および骨材採取予定地を含む区域の地形図作成

面積 Pikhuwa地点 287,000m²
Kaguwa地点 96,000m²

縮尺 1/500、等高線間隔 1m

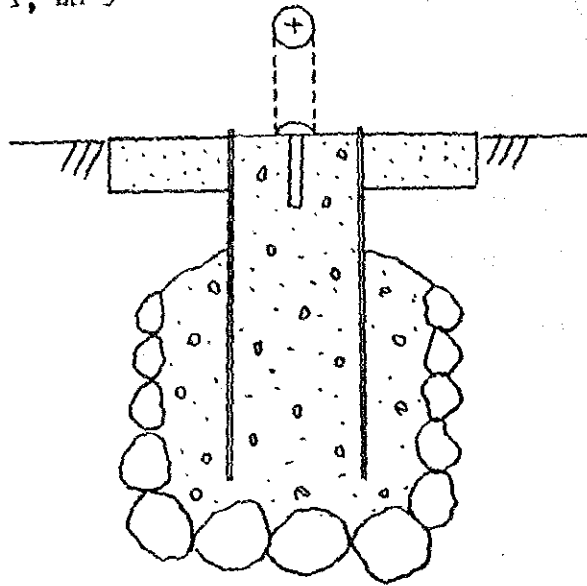
なお、Kaguwa地点の現地測量作業はNEAの測量技師が行い、日本国内で最終図
化したものである。

3.2.3 水準測量

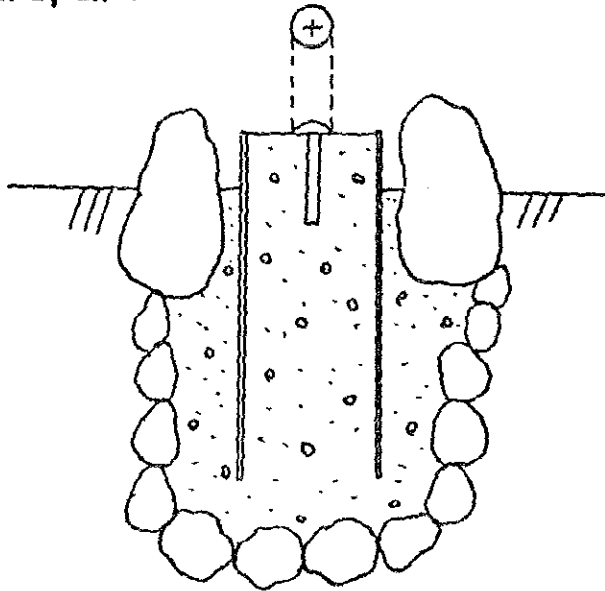
ダムサイトと発電所位置(Pikhuwa、Kaguwa)間の15.7kmについて水準測量を実施し、
Fig. 3-1 に示すような基準点を5箇所 Fig. 3-2に示す位置に設置した。なお、詳細は
Table 3-1 (1)~(5)に示す。

Fig. 3-1 Sketch of New Monumentation of Bench Marks

BM 1, BM 5



BM 2, BM 4



BM 3

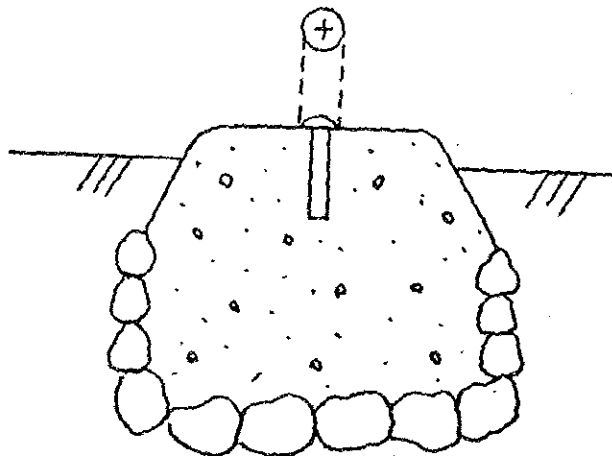


Fig. 3--2 Location Map of Bench Marks

1:50,000

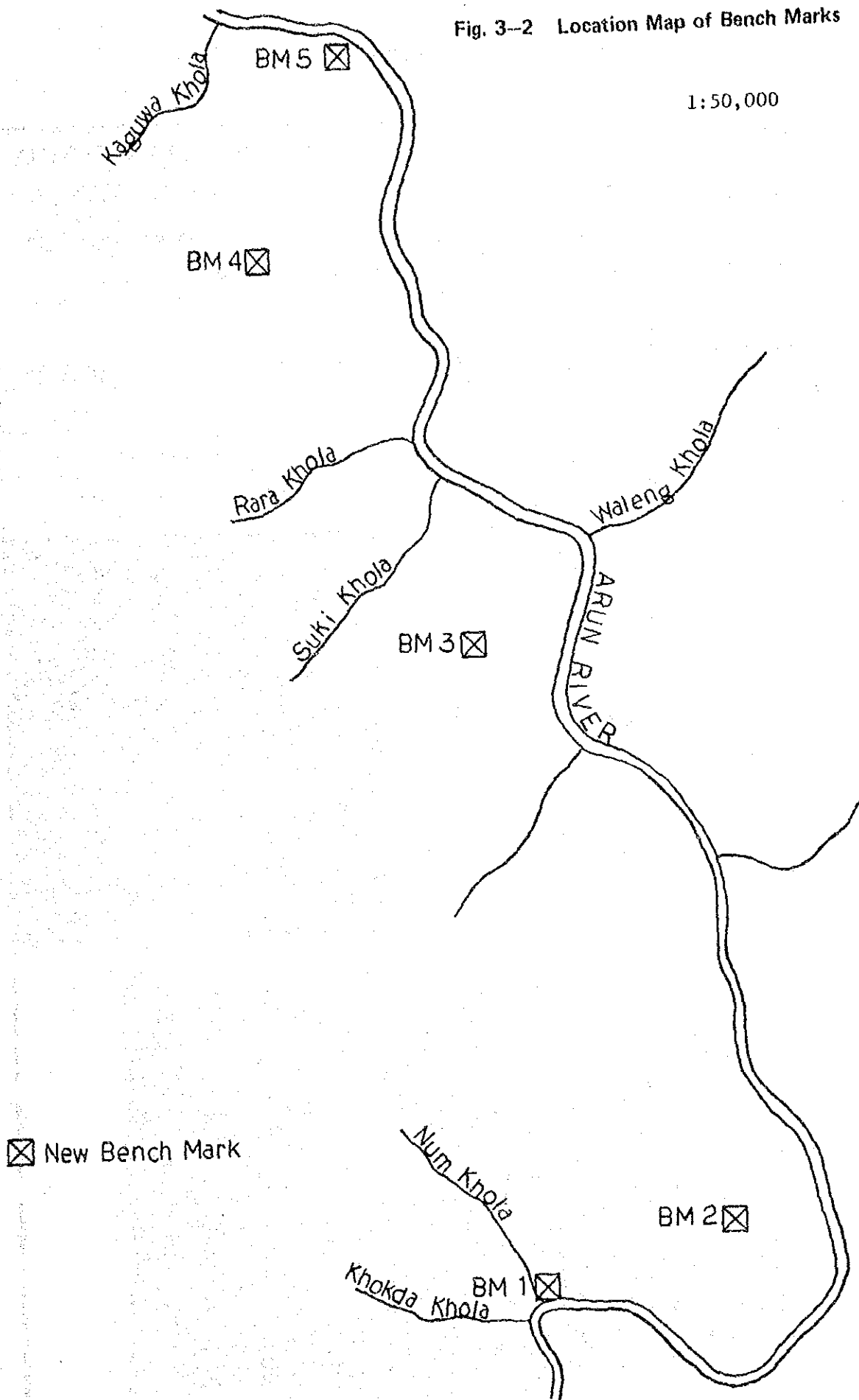


Table 3-1 (1) Point Description

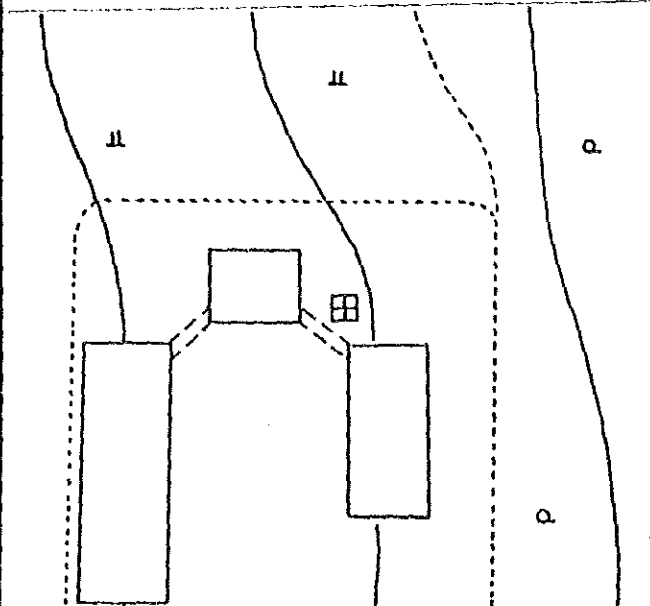

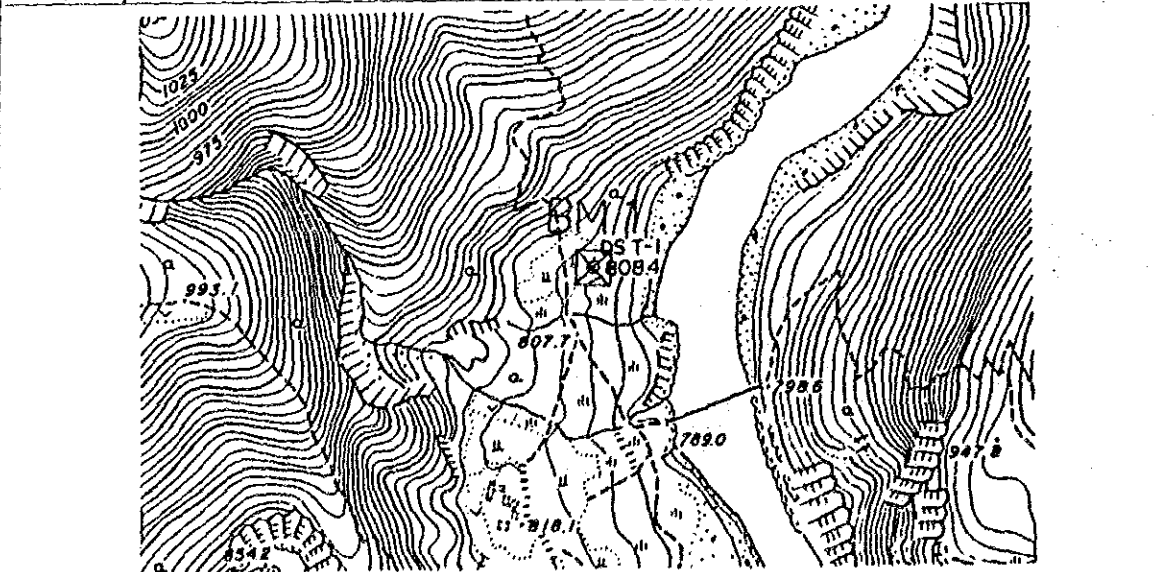
Station No.				Operated by	MR. SHRESTHA
BM 1	survey no. D/ST-1			Checked by	MR. TOYODA
				Date	MAY 25 '86
Zone No.	Coordinates of Station				
45	N	E	H		
Main Point	3048 534.07	529 790.49	808.36		
Eccentric Point	.	.	.		
Supplementary Point	.	.	.		
Sketch-map of Station and Neighborhood				Photograph of Station	
					
					

Table 3-1 (2) Point Description

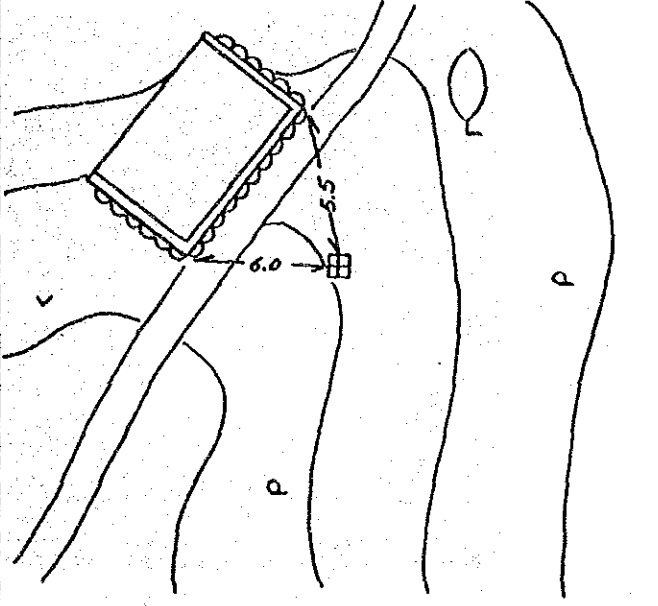

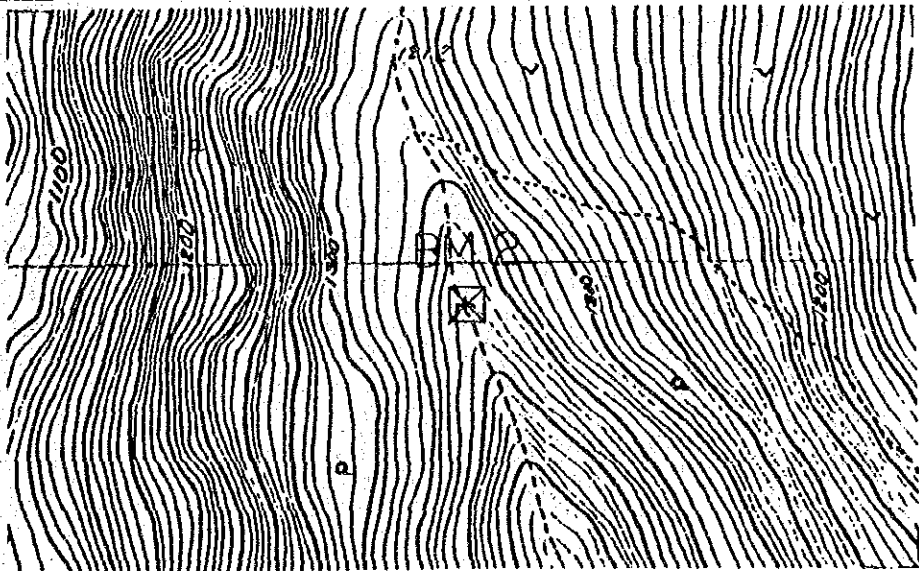
Station No.				Operated by	MR. PRASAIN
BM 2	survey no. P14			Checked by	MR. TOYODA
				Date	MAY 25 '86
Zone No.	Coordinates of Station				
45	N	E	H		
Main Point	-- 3049 971.99 --	-- 528 622.32 --	-- 1 330.58		
Eccentric Point	-- .	-- .	-- .		
Supplementary Point	-- .	-- .	-- .		
Sketch-map of Station and Neighborhood				Photograph of Station	
					
					

Table 3-1 (3) Point Description

Station No.				Operated by	MR. PRASAIN
BM 3	survey no. P12			Checked by	MR. TOYODA
				Date	MAY 26 '86
Zone No.	Coordinates of Station				
45	N	E	H		
Main Point	3046 188.24	524 242.23	1 318.38		
Eccentric Point	.	.	.		
Supplementary Point	.	.	.		
Sketch-map of Station and Neighborhood				Photograph of Station	

Table 3-1 (4) Point Description

Station No.				Operated by	MR. PRASAIN
BM 4	survey no. P9			Checked by	MR. TOYODA
				Date	MAY 21 '86
Zone No.	Coordinates of Station				
45	N	E	H		
Main Point	3043 332.24	521 408.51	1 566.83		
Eccentric Point	.	.	.		
Supplementary Point	.	.	.		
Sketch-map of Station and Neighborhood				Photograph of Station	

Table 3-1 (5) Point Description

Station No.				Operated by	MR. SHRESTHA
BM 5	survey no. S1			Checked by	MR. TOYODA
				Date	MAY 29 '86
Zone No.	Coordinates of Station				
45	N	E	H		
Main Point	-- 3043 748.03 --	-- 519 434.63 --	-- 574.66		
Eccentric Point	-- . --	-- . --	-- . --		
Supplementary Point	-- . --	-- . --	-- . --		
Sketch-map of Station and Neighborhood				Photograph of Station	

3.3 コア・ボーリング調査

ダム基礎岩盤での破碎帯の有無、河床堆積物の厚さ、発電所を構成する主要土木構造物基礎の地質状況などを明らかにするためのコア・ボーリング調査を実施した。調査孔の位置、孔長その他は Fig. 3-3~3-5 および Table 3-2に示す通りである。また参考として、プレ・フィージビリティ調査で実施したコア・ボーリング調査孔についてTable 3-3 に示す。各調査孔についての柱状図はVol. III (Appendix A)の通りである。

また、ダムサイト区域のボーリング孔UDH-7で実施した現場透水試験の結果はVol. III (Appendix A)に示した通りである。同表には、圧力一単位長当り注入量の記録と、それに基づき計算された各区間のルジオン値を示した。なお、プレ・フィージビリティ調査時、ダムサイトUDH-1で実施した透水試験データおよびルジオン値（孔内水位を考慮して修正を加えたもの）をも参考として加えてある。

コア・ボーリング調査に使用した機械の主なものは次の通りである。

Tone boring machine (DD5) : 3 units

Acres : 1 unit

Fig. 3-3 Location Map of Drilling and Seismic Survey at Dam Site

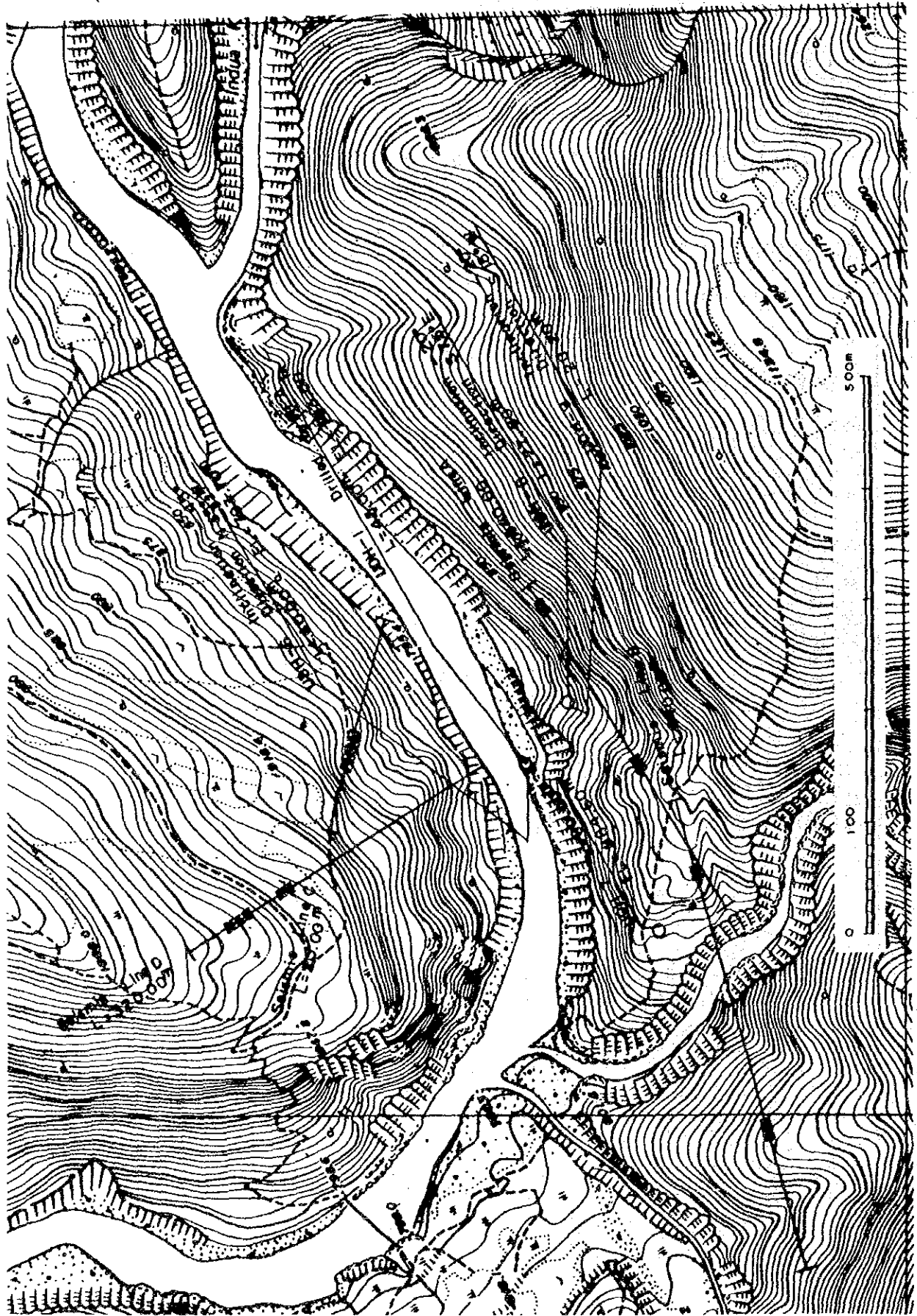


Fig. 3-4 Location Map of Drilling and Seismic Survey at Powerhouse Site (Pikhuwa)

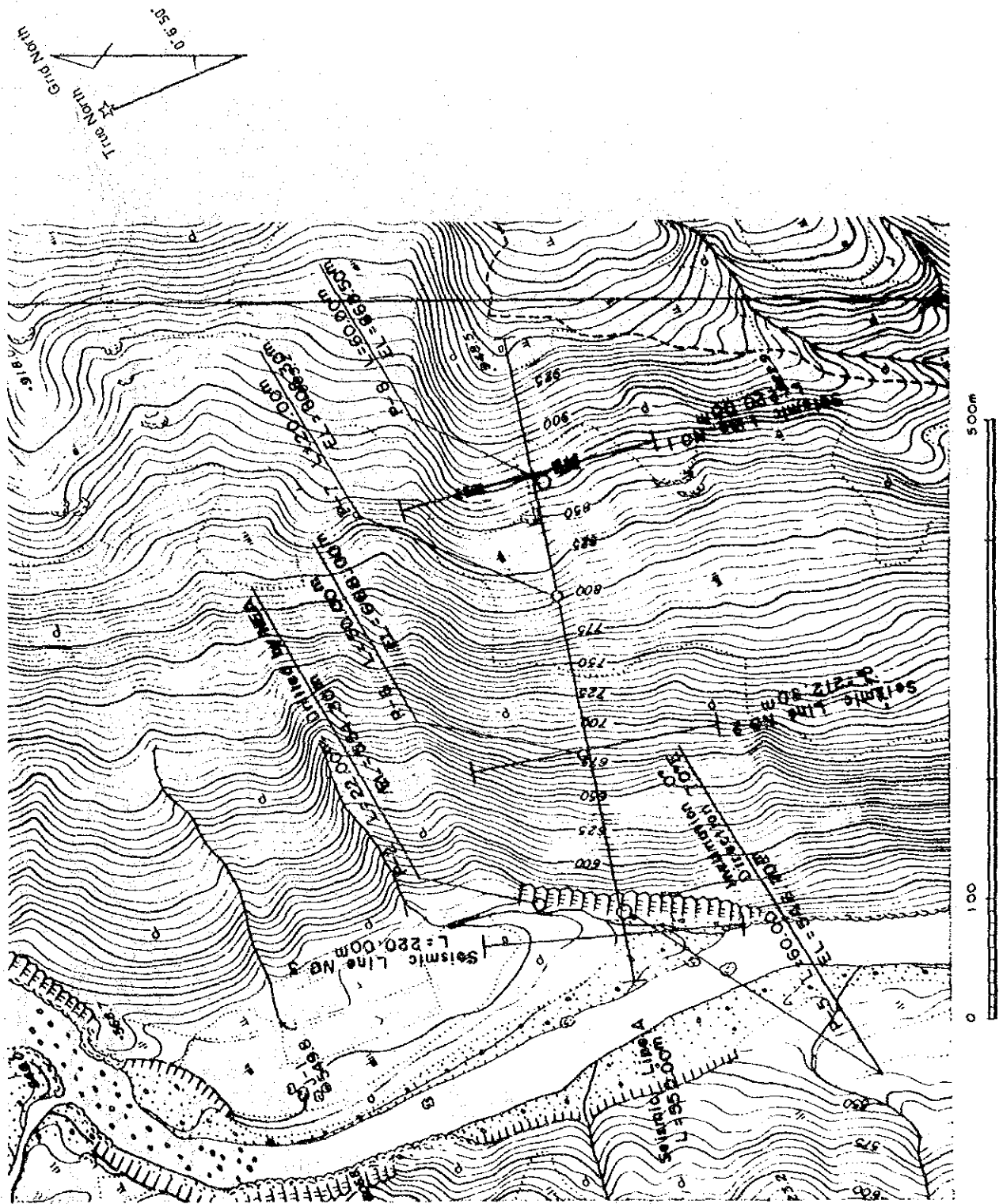


Fig. 3-5 Location Map of Drilling and Seismic Survey at Powerhouse Site (Kaguwa)

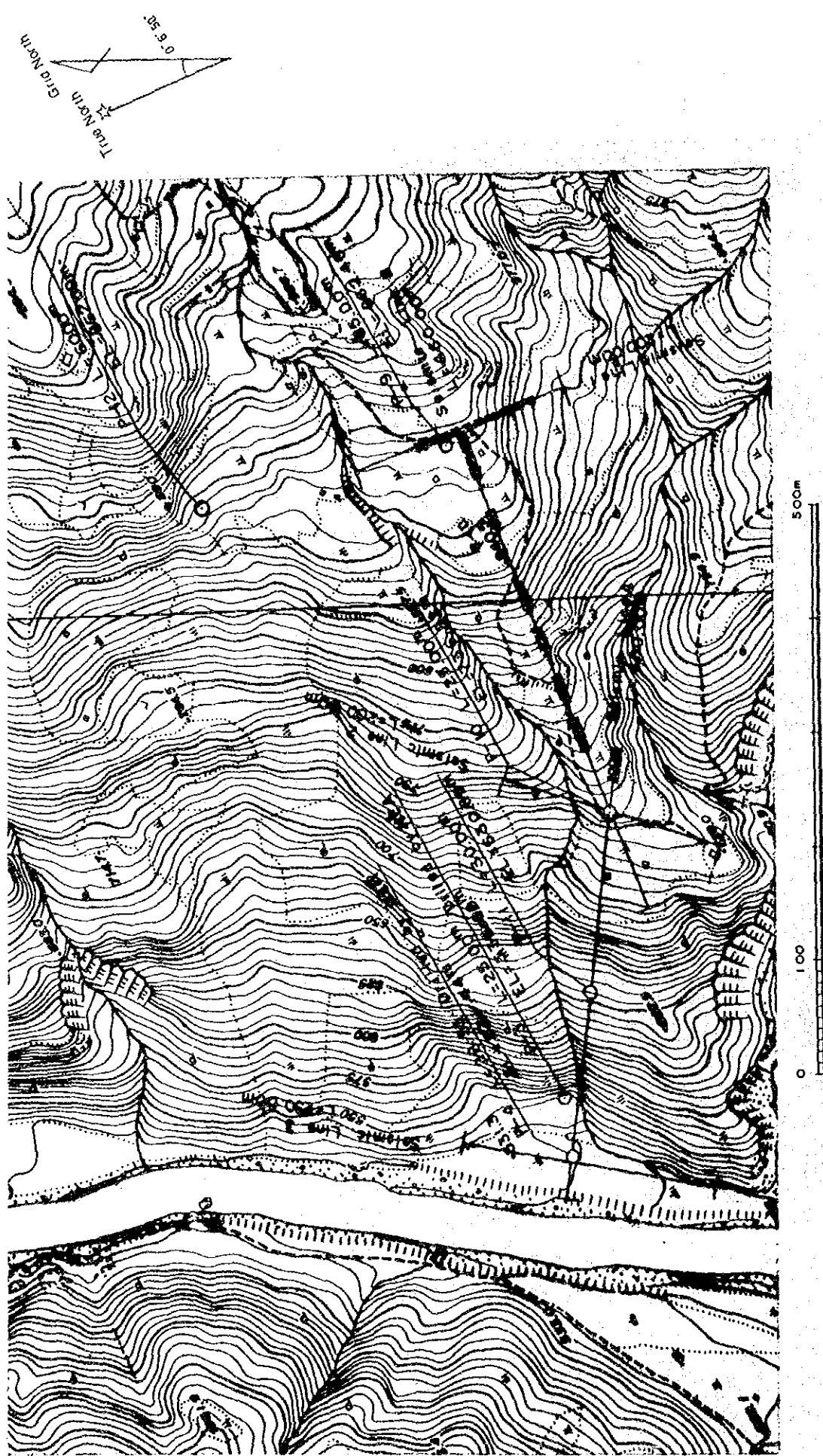


Table 3-2 Record of Core Drilling Works (F/S)

Location	No.	L (m)	EL (m)	Direction	Remarks
				Inclination	
Dam site	UDH-6	40.0	793.74	N30°W/-45°	Riverbed
	7	80.0	884.57	Vertical	Desanding basin
	8	27.8	830.81	N75°E/-20°	Folding zone at intake
	9	20.2	831.21	S15°E/-40°	Folding zone at intake
	Sub- Total	168.0			
Power- house (Pikhuwa)	P-5	60.0	546.70	S70°E/Hori	Bedrock at powerhouse
	6	50.0	667.95	Vertical	Bedrock at penstock
	7	20.0	808.30	Vertical	Bedrock at pensotck
	8	60.0	869.34	Vertical	Bedrock at surge tank
	Sub- Total	190.0			
Power- house (Kaguwa)	P-9	85.0	862.46	Vertical	Bedrock at surge tank
	10	25.0	736.82	Vertical	Bedrock at penstock
	11	30.0	630.89	Vertical	Bedrock at penstock
	12	60.0	830	Vertical	Bedrock at surge tank
	Sub- Total	200.0			
	Total	558.0			

Table 3-3 Record of Core Drilling Works (M/P & Pre. F/S)

Location	No.	L (m)	Direction		Remarks
			Inclination		
Dam site	UDH-1	45.0	Vertical		Riverbed
	2	40.0	Vertical		Riverbed
	3	100.2	1-60°		Right bank
	4	50.0			Right bank
	5	25.0			Right bank
	DDH-1	50.0	Vertical		Riverbed (D/S scheme)
	DP -1	40.35	Vertical		Intake (D/S scheme)
	Sub- Total	350.55			
Powerhouse (Pikhuwa)	P-1	45.0	Vertical		At terrace
	2	22.9	Vertical		At terrace
	Sub- Total	67.9			
Powerhouse (Kaguwa)	P-3	25.0	Vertical		At terrace
	P-4	28.5	Vertical		At terrace
	Sub- Total	53.5			
Powerhouse (Solakhani)	B-1	20.0	Vertical		Bedrock at penstock
	B-2	30.0	Vertical		Riverbed
	Sub- Total	50.0			
	Total	521.95			

3.4 弾性波探査

コア・ボーリングによる直接的な地質調査と併行して、主要構造物基盤の連続的な状況を調査するため、屈折法による地表弾性波探査を実施した。測線の配置はFig. 3-3, 4, 5に示す通りで、走時曲線および解析断面図はVol. IIIの Appendix-Aの通りである。

今回実施した弾性波探査の概要は、Table 3-4、またプレ・フィージビリティ調査時に実施したものをTable 3-5に示す。

弾性波探査に使用した主要機械は下記の通りで、探査における受振点間隔は5m、発破点間隔約50m、1展開当りの発破点数は少なくとも5点、通常6～7点で実施した。

Field graph : 24ch, recording paper
speed 30cm/sec
Amplifier : 24ch, Gain 90 db
Geophone : Vertical moving coil type
14Hz

3.5 室内試験

3.5.1 岩石試験

調査ボーリングで採取した岩石コアを供試体として岩石室内試験を実施した。各供試体ごとの試験結果はTable 3-6 (1)～6 (2)に示す通りで、これをダム側と発電所側に分けて集計平均し、それぞれの区域における平均物性値を求めるとTable 3-7に示す結果を得た。

3.5.2 粒度試験

現地に分布する河床堆積物が、コンクリート骨材として使用可能かどうかを調査する目的で、粒度試験を実施した。試料としては、ダムサイト3ヶ、Pikhuwa サイト2ヶ、Kaguwaサイト2ヶ；合計7ヶの試料を、いずれもアルン川左岸の段丘上に分布する砂礫を採取した。分析試験はNepal Engineering Institute, Pulchokに依頼した。粒度試験の結果はVol. III (Appendix-A)に示す通りである。

Table 3-4 Record of Seismic Survey Works (F/S)

Location	Line No.	L (m)	Remarks
Dam site	A	340	Intake - desanding basin
	B	440	Desanding basin
	C	200	Inlet of diversion tunnel
	D	320	Right bank above dam axis
	Sub-Total	1,300	
Powerhouse (Pikhuwa)	A	550	Main line along penstock
	1	220	Sub-line at surge tank
	2	200	Sub-line at penstock
	3	220	Sub-line at powerhouse
	Sub-Total	1,190	
Powerhouse (Kaguwa)	A	460	Main line along penstock
	B	400	Main line along penstock
	1	210	Sub-line at surge tank
	2	200	Sub-line at junction of A & B
	3	230	Sub-line at powerhouse
Sub-Total	1,500		
	Total	3,990	

Table 3-5 Record of Seismic Survey Works (Pre. F/S)

Location	Line No.	L (m)	Remarks
Dam site	SLDU-1	65	Dam foundation
	2	65	Dam foundation
	3	80	Dam foundation
	4	165	Left bank terrace downstream of dam
	5	385	"
	6	45	"
	7	380	"
	SLI 1	215	Tunnel inlet (downstream scheme)
	2	143.5	Tunnel inlet (downstream scheme)
	3	75	Tunnel inlet (downstream scheme)
	SLD 1	115	Downstream dam foundation
	2	141	Downstream dam foundation
	3	158	Downstream dam foundation
	4	155	Downstream dam foundation
	5	155	Downstream dam foundation
	Sub-Total	2,342.5	
Powerhouse	SLP -1	492.5	Pikhuwa powerhouse site
	2	375.5	Pikhuwa powerhouse site
	3	385	Pikhuwa powerhouse site
	4	327.5	Pikhuwa powerhouse site
	5	225	Pikhuwa powerhouse site
	6	257.5	Pikhuwa powerhouse site
	SLPU 1	115	Solakhani powerhouse site
	2	122.5	Solakhani powerhouse site
		Sub-Total	2,282.5
	Total	4,625	

Table 3-6 (1) Results of Rock Laboratory Test

Drilling No.	Sampling Depth	Apparent Specific Gravity			% Absorption	% Net porosity	% Water content	g/cm ³ Unit Weight by volume	Velocity of Super Sonic Wave				Compressive strength kg/cm ²	*3 Esc Kg/cm ² x 10 ⁵	*4 Sc	Remarks
		Natural	Dry	Saturated					Km/s V(p)	Km/s V(s)	Edc *1 Kg/cm ² x 10 ⁵	*2 Dc				
UDH-6	22.36 - 22.55	2.693	2.684	2.699	0.6	1.5	0.4	2.714	1.81	1.59	-	-	165	0.66	0.13	Augen Gn
		2.698	2.690	2.703	0.5	1.4	0.3	2.715	1.87	1.41	-	-	291	1.07	0.20	Mica ceans
UDH-7	38.78 - 39.00	2.690	2.681	2.692	0.4	1.1	0.3	2.732	1.89	1.58	-	-	413	1.52	0.17	Augen Gn
		2.726	2.721	2.729	0.3	0.9	0.2	2.741	3.21	2.13	2.81	0.10	101	0.82	0.22	Augen Gn (Mica rich)
UDH-9	60.15 - 60.31	2.707	2.698	2.712	0.5	1.4	0.3	2.724	3.45	2.30	3.24	0.10	91.6	1.07	0.25	"
		2.715	2.705	2.721	0.6	1.6	0.4	2.711	2.20	1.94	-	-	55.4	0.19	0.45	"
P-6	15.00 - 15.15	2.745	2.734	2.745	0.4	1.1	0.4	2.733	4.04	2.20	3.49	0.29	104	1.41	0.31	"
		2.704	2.691	2.703	0.5	1.2	0.5	2.724	3.63	1.90	2.62	0.31	188	1.05	0.36	"
P-2	17.80 - 17.95	2.715	2.707	2.718	0.4	1.1	0.3	2.763	3.76	2.22	3.42	0.23	129	1.00	0.40	"
		2.677	2.667	2.677	0.4	1.0	0.4	2.683	3.08	1.64	1.92	0.30	395	1.60	0.27	Augen Gn
P-3	19.25 - 19.45	2.688	2.680	2.692	0.4	1.2	0.3	2.693	2.82	1.65	1.86	0.24	550	2.40	0.36	"
		2.654	2.647	2.658	0.4	1.1	0.3	2.693	2.87	1.67	1.91	0.25	599	2.36	0.44	"
UDH-1	30.70 - 31.00	2.645	2.637	2.653	0.6	1.6	0.3	2.662	3.14	1.78	2.18	0.26	467	1.90	0.37	"
		2.668	2.658	2.675	0.6	1.5	0.4	2.661	3.38	1.83	2.35	0.29	464	1.67	0.48	"
UDH-1	10.74 - 10.94	2.661	2.654	2.665	0.4	1.1	0.2	2.674	3.81	1.90	2.62	0.33	475	2.20	0.26	"
		2.662	2.654	2.666	0.4	1.2	0.3	2.691	2.78	1.55	1.69	0.27	326	1.25	0.38	"
UDH-1	20.77 - 20.95	2.677	2.666	2.677	0.4	1.1	0.4	2.689	3.29	1.79	2.09	0.32	249	1.14	0.32	"
		2.691	2.684	2.693	0.3	0.9	0.2	2.679	3.11	2.12	-	-	314	1.62	0.39	"
UDH-1	11.70 - 11.87	2.700	2.700	2.712	0.5	1.2	0.3	2.707	2.96	1.54	1.73	0.31	147	0.75	0.24	Augen Gn (Mica rich)
		2.726	2.716	2.731	0.5	1.4	0.3	2.716	3.16	2.05	2.65	0.14	119	0.64	0.41	"
UDH-1	15.25 - 15.40	2.708	2.700	2.712	0.5	1.2	0.3	2.707	2.96	1.54	1.73	0.31	147	0.75	0.24	Augen Gn (Mica rich)
		2.708	2.700	2.712	0.5	1.2	0.3	2.707	2.96	1.54	1.73	0.31	147	0.75	0.24	"
UDH-1	14.42 - 14.60	2.708	2.700	2.712	0.5	1.2	0.3	2.707	2.96	1.54	1.73	0.31	147	0.75	0.24	Augen Gn (Mica rich)
		2.708	2.700	2.712	0.5	1.2	0.3	2.707	2.96	1.54	1.73	0.31	147	0.75	0.24	"
UDH-1	23.50 - 23.73	2.726	2.716	2.731	0.5	1.4	0.3	2.716	3.16	2.05	2.65	0.14	119	0.64	0.41	"
		2.726	2.716	2.731	0.5	1.4	0.3	2.716	3.16	2.05	2.65	0.14	119	0.64	0.41	"

*1 Edc : Dynamic Modulus of Elasticity. *2 Dc : Dynamic Poisson's Ratio.

*3 Esc : Static Modulus of Elasticity. *4 Sc : Static Poisson's Ratio.

Table 3-6 (2) Results of Rock Laboratory Test

Drilling No.	Sampling Depth	Apparent Specific Gravity		% Absorption	% Net porosity	% Water content	g/cm ³ Unit Weight by volume	Velocity of Super Sonic Wave			Compressive strength kg/cm ²	#3 Esc Kg/cm ² x 10 ⁵	#4 Sc	Remarks
		Natural	Dry					Saturated	Km/s V(p)	Km/s V(s)				
UDH-1	31.00 - 31.30	2.716	2.708	2.719	0.4	1.1	2.690	2.94	1.90	2.26	0.14	0.79	0.20	Augen Gn (Mica rich)
P-5	4.10 - 4.30	2.648	2.637	2.655	0.7	1.8	2.687	3.96	2.96	-	-	1.87	0.46	Augen Gn
	27.50 - 27.80	2.662	2.653	2.665	0.4	1.2	2.643	4.16	2.46	4.03	0.23	2.64	0.48	"
	58.00 - 58.30	2.661	2.653	2.664	0.4	1.0	2.674	4.10	2.51	4.13	0.20	2.37	0.47	"
P-7	15.80 - 16.00	2.662	2.650	2.663	0.5	1.3	2.660	2.46	1.30	1.21	0.31	1.27	0.49	Fine grained Gr.
	-	After saturated						3.13	1.43	1.52	0.37			
P-10	22.00 - 22.20	2.649	2.636	2.653	0.6	1.7	2.656	3.55	2.03	2.80	0.26	1.38	0.41	Augen Gn.
	-	After saturated						3.79	1.81	2.40	0.35			
P-11	8.74 - 9.00	2.656	2.643	2.657	0.5	1.4	2.637	3.28	1.53	1.71	0.36	1.67	0.46	Fine grained Gr.
	-	After saturated						3.33	1.67	2.00	0.33			
P-11	29.15 - 29.35	2.676	2.669	2.680	0.4	1.1	2.675	4.22	2.21	3.50	0.31	2.59	0.41	Augen Gn.
	-	After saturated						4.41	1.91	2.76	0.38			"
UDH-6	35.30 - 35.46	2.712	2.697	2.713	0.6	1.6	2.731	2.22	1.46	1.36	0.15	0.79	0.25	Augen Gn (Mica rich)
	-	After saturated						2.52	1.54	1.59	0.20			"
UDH-7	75.65 - 75.85	2.709	2.697	2.710	0.5	1.3	2.740	3.61	1.65	2.08	0.37	0.21	0.36	"
	-	After saturated						3.26	1.92	2.54	0.24			

*1 Edc : Dynamic Modulus of Elasticity. *2 Dc : Dynamic Poisson's Ratio.
 *3 Esc : Static Modulus of Elasticity. *4 Sc : Static Poisson's Ratio.

Table 3-7 Physical Characteristic of Foundation Rock

Physical Properties		Zone	Powerhouse Site	
		Damsite	Augen gn	Gr
Rock		Augen gn	Augen gn	Gr
Bulk Specific Gravity	Natural	2.71	2.67	2.66
	Dry	2.70	2.66	2.65
	Saturated	2.70	2.67	2.66
Absorption (%)		0.7	2.72	0.5
Net porosity (%)		1.3	2.72	1.4
Water content (%)		0.3	2.72	0.5
Unit weight (g/cm ³)		2.72	2.72	2.65
Velocity of Supersonic Wave Km/s	Vp (km/s)	2.91	3.45	2.87
	Vs (km/s)	1.85	1.99	1.42
	$\frac{E_{dc}}{(10^5 \text{ kg/cm}^2)}$	5.41	2.59	1.46
	DC	0.21	0.27	0.34
Unconfined compressive strength (kg/cm ²)		156	422	599

Note: E_{dc} : Dynamic modulus of elasticity
 D_c : Dynamic Poisson's ratio

3.5.3 水質分析

ダムサイト付近のアルン川本流の水を採取し、日本の試験室において水質分析を実施した。

水質分析に用いた試料は雨期と乾期の両期間にまたがるように1986年3月から同年7月の間に計10回採取した。分析結果をTable 3-8に示す。表中に記した流量は、Tumlingtar測水所で観測されたデータであり、119m³/sから943m³/s間で、適当に分散した各流量に対応する資料が採取できた。なお分析方法はすべてJIS(Japanese Industrial Standard)に従った。

分析の結果Cl⁻が高い値を示している他は特に問題点は認められなかった。また、pHは中性の範囲であり、水路コンクリートおよび鉄管等に対して悪影響を与えることはないと経験上判断される。

3.5.4 河床堆積物の成分分析

ダムサイト付近の河床堆積物の成分分析をX線解析および電子顕微鏡を用いて行った。分析結果をTable 3-9に示す。試料として採取した岩石は片麻岩系のものであり、鉱物としては石英、長石、雲母を含んでいる。各鉱物のモース硬度はそれぞれ7、6、2.5であり、これより岩石の平均モース硬度を算定すると4.1~5.5の範囲になった。なお化学分析の結果、試料の岩石から硫化物は検出されなかった。

3.5.5 岩石顕微鏡鑑定

岩石学的検討を行うため、岩石の顕微鏡による鑑定を行った。現地で採取した試料から合計7ヶの薄片を作成し(Augen Gneiss 1, Gneissosed granite 1, Mica Schist 3, Amphibolite 2)、顕微鏡で鑑定した。

鑑定の結果はVol. III (Appendix-A)に示す通りである。

3.6 地質図作成

現地地質踏査の結果を基に次の表層地質図を作成した。

縮尺：1/500	ダム地点周辺地質図
	Pikhuwa 発電計画地域地質図
	Kaguwa 発電計画地域地質図
縮尺：1/5,000	ダム地点-発電所間、水路トンネル計画地域地質図

Table 3-8 Results of Component Analysis of Arun River Water

I t e m	1986, Mar. 2	1986, Mar. 5	1986, Mar. 18	1986, May 22	1986, Jun. 10	1986, Jun. 15	1986, Jun. 30	1986, Jul. 4	1986, Jul. 22	1986, Jul. 28
Water Temperature (°C)	14.5	14.5	15.0	14.0	16.0	13.0	12.0	12.0	10.0	11.0
PH	6.9	6.8	6.8	6.5	6.7	7.0	7.0	6.9	7.8	7.7
Suspension Material (mg/l)	<3.0	8.3	7.3	87	53	21	460	640	810	420
Evaporation Residue (mg/l)	150	130	140	200	340	590	1000	520	1500	620
C O D (mg/l)	2.6	3.4	2.9	4.1	3.3	2.4	3.5	4.5	8.4	7.9
C l ⁻ (mg/l)	91	97	100	120	88	140	99	120	140	110
S O ₄ ²⁻ (mg/l)	15	14	13	7.6	5.8	12	6.3	7.9	13	17
M g ²⁺ (mg/l)	3.6	3.1	2.6	1.7	1.7	1.4	2.0	2.0	9.7	5.9
Total Nitrogen (mg/l)	2.8	3.3	2.7	1.6	1.0	<0.04	<0.04	<0.04	0.7	0.6
Total Phosphorus (mg/l)	0.19	0.16	0.15	0.07	0.22	0.03	0.07	0.07	0.01	0.02
Sulphide (mg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Discharge (m ³ /s)	119	126	119	176	292	376	874	548	905	943

Note : "<" indicates "less than detection limit."
 Discharge was observed at Tumlingtar G.S.

Table 3-9 Results of Component Analysis of River Deposit

Mineral	Hardness (Mohs)	Sample Number					
		No. 1		No. 2		No. 3	
		Component (%)	Hardness x Component	Component (%)	Hardness x Component	Component (%)	Hardness x Component
Quartz	7	5.6	39.2	57.9	405.3	55.6	389.2
K feldspar	6	4.4	26.4	1.2	7.2	-	-
Plagioclase	6	35.5	213.0	10.0	60.0	-	-
Biotite	2.5	11.3	28.3	21.3	53.3	-	-
Muscovite	2.5	43.2	108.0	9.6	24.0	44.4	111.0
Total	-	100.0	414.9	100.0	549.8	100.0	500.2
Average of Hardness		4.1		5.5		5.0	

第 4 章 地 質

第 4 章 地 質

	頁
4.1 東部ネパールの地形・地質概要	4-1
4.1.1 地形概要	4-1
4.1.2 地質概要	4-2
(1) 層序	4-2
(2) 地層の分布	4-3
(3) 衝上断層	4-5
(4) 造山運動とプレートテクトニクス	4-6
4.2 計画地域の地形・地質概要	4-8
4.2.1 地形概要	4-8
4.2.2 地質概要	4-9
(1) 地質	4-9
(2) 計画地域の地すべり	4-12
4.3 ダムサイト周辺の地形・地質	4-16
4.3.1 地形	4-16
4.3.2 ダムサイトの地質	4-17
4.3.3 取水口の地質	4-19
4.3.4 地下式沈砂池の地質	4-20
4.4 導水路トンネル	4-21
4.4.1 地形	4-21
4.4.2 導水路トンネルの地質	4-21
4.4.3 地質工学的考察	4-24
(1) 各地層の物理特性	4-24
(2) トンネル掘削基面の地質と地質工学的考察	4-25
(3) TBM (Tunnel Boring Machine) 工法の適応性	4-25

	頁
4.5 発電所周辺の地形と地質	4-28
4.5.1 地形概要	4-28
4.5.2 地質概要	4-28
4.5.3 Pikhuwa 地点の地形と地質	4-28
(1) 地形	4-28
(2) 地質	4-29
4.5.4 Kaguwa地点の地形と地質	4-30
(1) 地形	4-30
(2) 地質	4-30
4.5.5 発電所地点の比較	4-31
4.5.6 Pikhuwa 地点における地下発電所計画の地質的検討	4-33
(1) 調圧水槽	4-33
(2) 地下発電所	4-33
(3) 地質工学的考察	4-34
4.6 コンクリート骨材	4-35
4.6.1 一般事項	4-35
4.6.2 岩質および採取地の検討	4-35
(1) 天然砂礫	4-35
(2) 碎石骨材	4-39
(3) 検討結果	4-39
4.7 計画地点の地震	4-39
4.7.1 概要	4-39
4.7.2 アルン3地点における設計震度の検討	4-41

LIST OF TABLES

Table 4-1	Geological Groups of Eastern Nepal
Table 4-2	Probable Age of Geological Formation
Table 4-3	Suspended Load of the Kosi Basin by Dr. C. K. Sharma
Table 4-4	Geological Successional Column on the Survey Area
Table 4-5	Physical Characteristics of Foundation Rock
Table 4-6	Classification of Bedrock for Tunnel Excavation
Table 4-7	Characteristics of Lithological Classifications
Table 4-8	Topography and Geology at Powerhouse Sites
Table 4-9	Grain Size Analysis
Table 4-10	Comparison of Lithofacies
Table 4-11	Major Earthquakes in the 20th Century
Table 4-12	Distribution of Magnitude and Epicentral Distance of the Seismicity Data
Table 4-13	Maximum Accelerations for Five Return Periods
Table 4-14	Earthquakes of Magnitude Greater than 7.5 in the Vicinity of the Himalaya Frontal Arc since 1897

LIST OF FIGURES

- Fig. 4-1 Schematic Topographical Profile of Eastern Nepal
- Fig. 4-2 Geological Map of Eastern Nepal
- Fig. 4-3 Schematic Geological Profile
- Fig. 4-4 Schematic Geological Map along the Arun River
- Fig. 4-5 Pattern of the Collaps Forms
- Fig. 4-6 Schematic Geological Profile along Headrace Tunnel Alignment
- Fig. 4-7 Planned Rock Quarry Location on the Dam Site
- Fig. 4-8 Earthquakes in Nepal
- Fig. 4-9 Return Period for Maximum Accelerations
- Fig. 4-10 Seismicity of All Data in 1963 – 1985

LIST OF DRAWINGS

DWG. G-1	Geology, Headrace Tunnel Alignment Area, Plan
DWG. G-2	Geology, Headrace Tunnel Alignment Area, Profile
DWG. G-3	Geology, Dam Site Area, Plan
DWG. G-4	Geology, Dam Site Area, Profile
DWG. G-5	Geology, Intake Area, Sections
DWG. G-6	Geology, Desanding Basin, Profile (Line A-B)
DWG. G-7	Geology, Pikhuwa Powerhouse Site, Plan
DWG. G-8	Geology, Pikhuwa Powerhouse Site, Profile
DWG. G-9	Geology, Pikhuwa Powerhouse Site, Profile (Line A)
DWG. G-10	Geology, Pikhuwa Powerhouse Site, Profile (Line 1)
DWG. G-11	Geology, Pikhuwa Powerhouse Site, Profile (Line 2)
DWG. G-12	Geology, Pikhuwa Powerhouse Site, Profile (Line 3)
DWG. G-13	Geology, Kaguwa Powerhouse Site, Plan
DWG. G-14	Geology, Kaguwa Powerhouse Site, Profile (Line A)
DWG. G-15	Geology, Kaguwa Powerhouse Site, Profile (Line B)
DWG. G-16	Geology, Kaguwa Powerhouse Site, Profile (Line 1)
DWG. G-17	Geology, Kaguwa Powerhouse Site, Profile (Line 2)
DWG. G-18	Geology, Kaguwa Powerhouse Site, Profile (Line 3)

第 4 章 地 質

4.1 東部ネパールの地形・地質概要

4.1.1 地形概要

アルン 3 水力発電開発計画地域は、東経約 $87^{\circ} 12'$ ~ $88^{\circ} 20' E$ 、北緯 $27^{\circ} 30'$ ~ $27^{\circ} 35' N$ の間にあり、東部ネパールに位置している。

この地域には、中国 — ネパール国境を越えて南方に流れる Kosi 川、アルン川およびネパール最東部に位置する Tamur 川がある。これらの河川は、Tribeni 付近で合流した後、Sapt Kosi 河と名を変えてインドのガンジス河に注いでいる。三川が合流する Tribeni における総集水面積は約 $61,000 \text{ km}^2$ であり、この内中国 (チベット) の集水域は $26,450 \text{ km}^2$ で、全体の 43% に相当する。

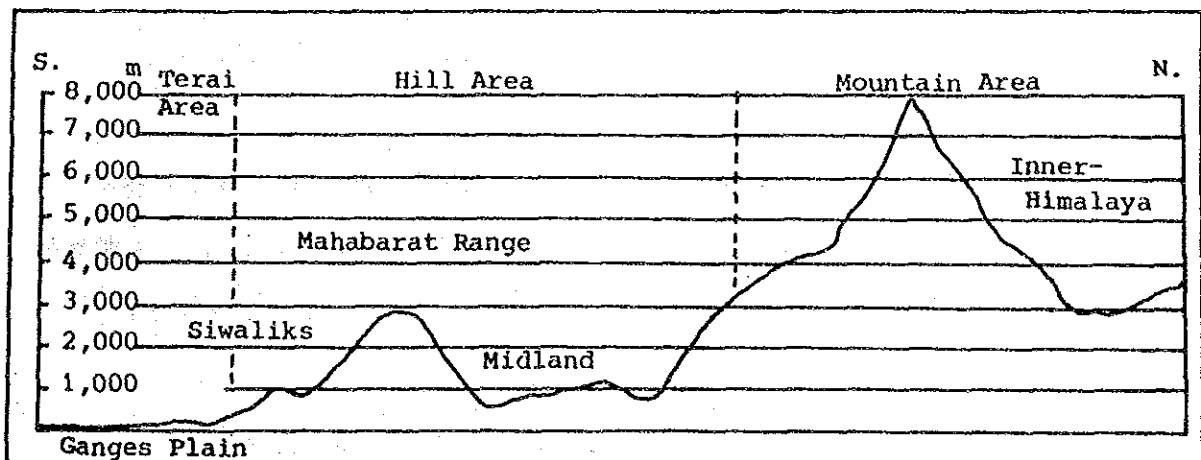
Kosi 川は、西から Indrawati、Sunkosi、Tamakosi、Liku Khola、Dudhu Kosi 等の支流を持っている。これらの支流の集水域はネパール国内にあり、水源域は 7,000m 級のヒマラヤ山脈である。

東部ネパール地域は、次の 3 つの地形区に分類することができる。

- 山岳地区 (Mountain Area)
- 丘陵地区 (Hill Area)
- テライ地区 (Terai Area)

東部ネパールの地形断面の概要図を Fig. 4-1 に示す。

Fig. 4-1 Schematic Topographical Profile of Eastern Nepal



山岳地区 (Mountain Area)

山岳地区は、標高約 3,000m以上のネパール — 中国国境に沿うヒマラヤ山脈から南に30~40kmの幅を持って分布する。この地域は急峻な山地と深い峡谷から成り、耕作可能地もほとんどなく、従って人口密度も非常に低い。標高 5,000m以上の山々は年間を通じて雪と氷に覆われている。

丘陵地区 (Hill Area)

この地帯は、標高 300~ 3,000mにわたる Mahabarat山脈とヒマラヤ山脈の南側斜面を含んでいる。3,000m級の多くの山々を含む他、比較的穏やかな地形を示す広大な中部地域(Midland)を形成している。

気候条件は亜熱帯性を示し、この地域の人口密度は比較的高い。

この地域における最大の問題は、人口増加による耕作地の拡大と燃料や飼料のために地域住民の木材使用による急激な森林伐採である。このため、土壌浸食および地すべりがこの地域の大きな環境問題となっている。

テライ地区 (Terai Area)

多くの河川がMhabarat山脈や Siwalik山脈からテライ地区に流れ、上流から運搬される土砂はテライ地区の沖積平野を形成している。これらの平野の標高は、300~60mに及び北から南に1/300 — 1/500の勾配を持っている。テライ地区は、ガンジス平野の最北部に位置しており、約15年前は森林によって覆われていた。しかしながら1958年から始まったマラリアの撲滅と農地の開発のためにこの地域は伐採された。現在、テライ地区はネパールの重要な穀倉地帯に変貌している。そしてこの地方の森林面積は、今も年々減少の傾向を示している。

4.1.2 地質概要

(I) 層序

東部ネパールの地質概要図を Fig. 4-2 に、層序概要は、Table 4-1 に示す。

この地域の一般的層序は大きく6つに区分できる。これらの各グループの地質時代はTable 4-2 に示すとおりである。

Table 4-1 Geological Groups of Eastern Nepal

Possible period	Group	Lithology
1. Cenozoic	Recent Siwalik	Unconsolidated sediments gravels and sand, (alluvium) shale, sandstone, conglomerate — Main Boundary Fault —
2. Mesozoic - Paleozoic	Tethys	Shale and limestone
3. Paleozoic - Precambrian	Kathmandu Midland	Mainly clastic and carbonate rock Mainly clastic and carbonate rock — Main Central Thrust —
4. Precambrian	Himal	Gneiss and schist (highly metamorphic rock)
	Igneous Rock	Granite and paraganite

Table 4-2 Probable Age of Geological Formation

Group \ Age	Precambrian	Paleozoic						Mesozoic			Cainozoic			
		C	O	S	D	C	P	T	J	K	P	N	Q	
Recent														
Siwalik														
Tethys														
Midland														
Kathmandu														
Himal														
Granite														
Paraganite														
Basic Rocks														

東部ネパールの地質は、低 — 高度の変成岩、海成または非海成堆積岩や、珪酸質 — 苦鉄質火成岩等、様々な岩石から成る地層によってできている。

(2) 地層の分布

・Himal グループ

Himal グループは最も古い地層で、カンブリア期前に形成されたと考えられる。

高変成度の変成岩から構成され、主に眼球状片麻岩と各種の片岩から成る。

このグループは大ヒマラヤ山脈を形成し、急峻な山岳地形を呈する。

アルン川沿いにおいてこの層は、ツムリントール地窓 (Tumlingtar tectonic

window) を取り巻いて、北側に分布する。

・Midland グループ

このグループは広く丘陵地区 (Hill Area) に分布し、主に千枚岩、石灰岩、珪岩等の変堆積岩類から構成される。これらの地層は容易に風化し、これらの地層の分布する地域の地形は比較的緩傾斜である。

また斜面の傾斜と地層の走向が一致する場合 (流れ盤) には地すべりが発生し易く、事実この地帯には地すべりが多い。

・Kathmandu グループ

このグループは、カトマンズ盆地周辺から Sunkosi川南の Mahabarat山脈に分布する。主に石灰質岩石と碎屑岩からなり、前カンブリア代から古生代に及ぶ地層である。Midlandグループとほぼ同時代に形成された地層である。

Mahabarat山脈において、このグループは頻繁に花崗岩によって貫かれる。

・Siwalik グループ

このグループは、Mahabarat山脈の南に最高 1,000m の標高で、東西に連なる Siwalik山脈に分布し、主ヒマラヤ造山運動の最終ステージ後、新第三紀に形成され、ヒマラヤ山岳地から運搬された河成堆積物によって構成される。従って地層の水平的または垂直的変化の大きい地層である。加えて、このグループは多くの東西方向の褶曲や断層が発達し、複雑な地質構造を造っている。

主要な地層は頁岩、泥岩、砂岩、礫岩等であり、一般的に古い地層より固結度が低く、軟質で強度的には弱い。

・Tethys グループ

このグループは、標高 7,000m 以上のエベレスト周辺にのみ分布し、東部ネパールにおいてその分布は狭い。

このグループを構成する主要な岩石は、海成の泥質～石灰質堆積岩である。

・現世グループ

このグループは、テライ平野とガンジス平野を形成する沖積期の堆積物より成る。礫、砂、粘土等の未固結堆積物から構成される。

(3) 衡上断層

上記地層の分布は、次の 2 大衡上断層によって規制され、東西性の特異な分布パターンを示している。

M. C. T. (Main Central Thrust)

M. B. F. (Main Boundary Fault)

• M. C. T.

M. C. T. は、北方のHimal グループと中央部の Midlandグループを境として、Hill Area を2分しながら東西に延びている。

• M. B. F.

この衝上断層は、南部のSiwalik グループと、Midlandグループを境して東西に延びている。

以上の関係を Fig. 4-3 の地質断面概要図に示す。

(4) 造山運動とプレートテクトニクス

地層の対比のためには、古生物学的証拠が必要とされるが、特にMidland グループやHimalayan グループのように古い地層では、これらの証拠は、複雑な構造運動を受け易く欠除している。この地域の地質構造を決定する構造線は、2つの巨大衝上断層、M. C. T. とM. B. F. である。これらの衝上断層は、各地質グループを大きく分離しながらネパールを東西方向に横断している。

現在、ヒマラヤにおけるNeotectonicsは、完全に解明してはいない。そして地質構造について多くの論争が続けられている。しかしながら、ヒマラヤの造山運動が、第3紀以降に始まったとする考えは、最近のプレートテクトニクス理論によってもたらされた多くの証拠によって一般的には広く受け入れられるようになって来た。

ヒマラヤの一連の造山運動は、次のように考えられている。：—

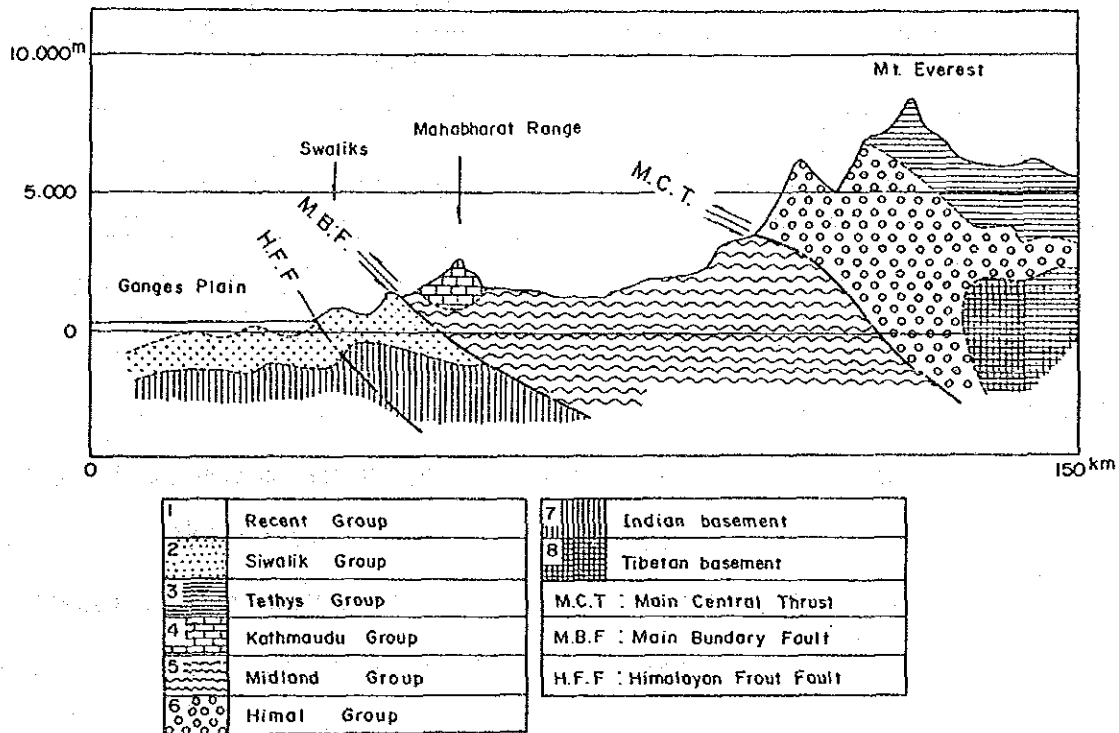
- a) Oligocene periodにおける古い堆積岩と中軸部の上昇
- b) 中期 Miocene period における造山運動の極大期と、特にSiwalik zone 上昇の開始
- c) Pliocene period 後のSiwalik zoneの主上昇
- d) 現在への連続

この造山運動の原因は、Indian-Burasian plate の衝突によって起こる南北方向の水平圧縮力である。すなわちユーラシアプレートの深部に発生するこの圧縮力が造山運動の構造力を供給しているということは、今日一般に認められている。また造山運動の最終段階に密接に関係している併入花崗岩における放射線年代の測定値は、1500万年の比較的若い年代を示している。このことは、ヒマラヤ山脈におけ

る造山運動が比較的若く、上昇が現在に連続していることを示している。地質図に示した地域は、正にプレートとプレートの衝突ゾーンなのである。

地質断面概要図は、Fig. 4-3 に示す。

Fig. 4-3 Schematic Geological Profile



山岳地域は、大規模な造山の過程にあり、山岳地で生産される土砂は、河川によって下流域に運搬される。各河川における土砂量は、次の要因によって莫大なものとなっている。：— 雨期 (June-October) における最大 2,000mmを越す降雨量、：— 高温多湿と多雨に特徴される気候条件から由来する岩盤の風化、：— 急傾斜山岳地における乏しい植生、：— 容易に浸食される未固結堆積物～風化土壌に覆われる地表部、：— そして山岳地と低地における河川護岸や土壌浸食防止設備の欠如等。

上記の要素の複合が、広範囲に地すべりや斜面崩壊等の原因となり、これらは、更に各河川において堆砂量の増大をもたらしている。

Dr. C. K. Sharmaによって報告されたコシ川地域の堆砂量は、Table 4-3 に示すとおりである。

Table 4-3 Suspended Load of the Kosi Basin
by Dr. C. K. Sharma

River	Catchment Area (km ²) at Tribeni	Annual Sediment (m ³)	Sediment Load (suspension) (m ³ /km ²)
Sun Kosi	19,230	54,200,000	2,818
Arun	36,533	34,600,000	947
Tamur	5,900	29,600,000	5,016
Total (Sapt Kosi)	61,663	118,400,000	1,920

4.2 計画地域の地形・地質概要

4.2.1 地形概要

アルン3計画地点はカトマンズの東方、直線距離約190kmに位置し、現地に至るにはヘリコプターを用いる方法の他、カトマンズ—Tumlingtar間を空路、その後Tumlingtar—現地間直線距離約30kmを徒歩にて行く方法がある。歩道は縦横に発達し、ダムサイトに至る道路は、東部ネパールの主要幹線路で、ダムを経て、チベットに通じている。

世界の屋根と呼ばれる8,000m級の山々と広大なチベット高原を集水域とするアルン川は、東部ネパール屈指の大河川である。東西に連なるヒマラヤ山塊を南北に貫通して流れる先行河川である。すなわち、現在も上昇し続けるヒマラヤの山塊を、その豊富な流量によって強大な隆起に打ち勝って浸食が進行している地帯である。

アルン川においては、一般には兩岸は切立った急斜面がV字型に発達し、河床における河岸段丘の分布は少ない。僅かに支川との合流点付近に見るのみである。

ダムサイト左岸下流に比高25mの河岸段丘(一部扇状地性段丘との複合)があり、比較的広い平坦面を形成している。現在の河床から比高100m高位には、古い段丘砂礫層が分布するが、浸食が進行して地形単位を成す程の広がりを持たない。

河川の流れは、ダムサイトの西方で大きく流向を北西に転じ、北方に曲流して再度南西方向に流れ、発電所に至る。ダムから発電所(Kaguwa Khola—アルン川合流点)までの流路長は19.4km、両者の標高差は281m、平均河川勾配は15/1,000である。

4.2.2 地質概要

(1) 地質

開発計画全域の地質分布は、DWG. G-1 および DWG. G-2 に示すとおりである。対象地域は、Himalayan グループに属する gneiss(片麻岩) と mica schist(雲母片岩) および gneissosed granite(片麻状花崗岩) を主体とした地層によって構成される。

Himalayan gneissは、地質構造と調和的に Granitic rock(花崗質岩石) と Amphibolite(角閃岩) によって貫入される。

一般に Himalayan gneissは塊状で緻密であるが、漸移的に変化する Micaの占める量比によって様々な層相を示す。ダムサイト側に分布する gneissは、発電所側の gneissに比較して micaの量が多い。

Micaの多いタイプの地層は、gneiss層中に数 cm～1 m程の層厚で分布する場合と、水路トンネル中間部に厚い地層として分布する場合がある。葉理構造の発達した極めて異方性の強い地層で、その葉理構造は地質構造と調和的である。

i) 地質構造

調査域はアルン背斜構造の東翼に位置している。Fig. 4-4に Schematic geological map along Arun river を示す。この背斜軸は、ほぼ NS方向に伸びており、従って調査域での、Himalayan gneissの地質構造は、東側に傾斜している。

Fig. 4-4にアルン3計画周辺の地質概要図を示す。この図は、P. N. Yadavが作成した地質図(Geological Map of Sankuwa Sabha and Bhojipur District) を一部改変して示した。

この地域を規制する地質構造は、Kumalgaon を通り WNW-ESE 方向の Ekulade Fault である。この断層の北側は、Himal Group に属する Gneiss の分布地域である。一方アルン川右岸側は、石英—雲母片岩の分布する地域である。加えて、Kumalgaon から NS方向で北方に伸びる Arun Faultがアルン川左岸側に分布すると報告されている。

下流側の発電所付近の gneissの片理構造は走向 N 20～30° E、傾斜 20～30° を示す。ダムサイト付近の片理構造は走向 N 20～40° E、傾斜 45～70° E を示し、軸部を離れるに従い傾斜角が大きくなっている。

各地層の変移(断層等により地層の逆転等)を無視した見掛けの壘重関係は、Table 4-4 に示す。

Fig. 4-4 Schematic Geological Map along the Arun River

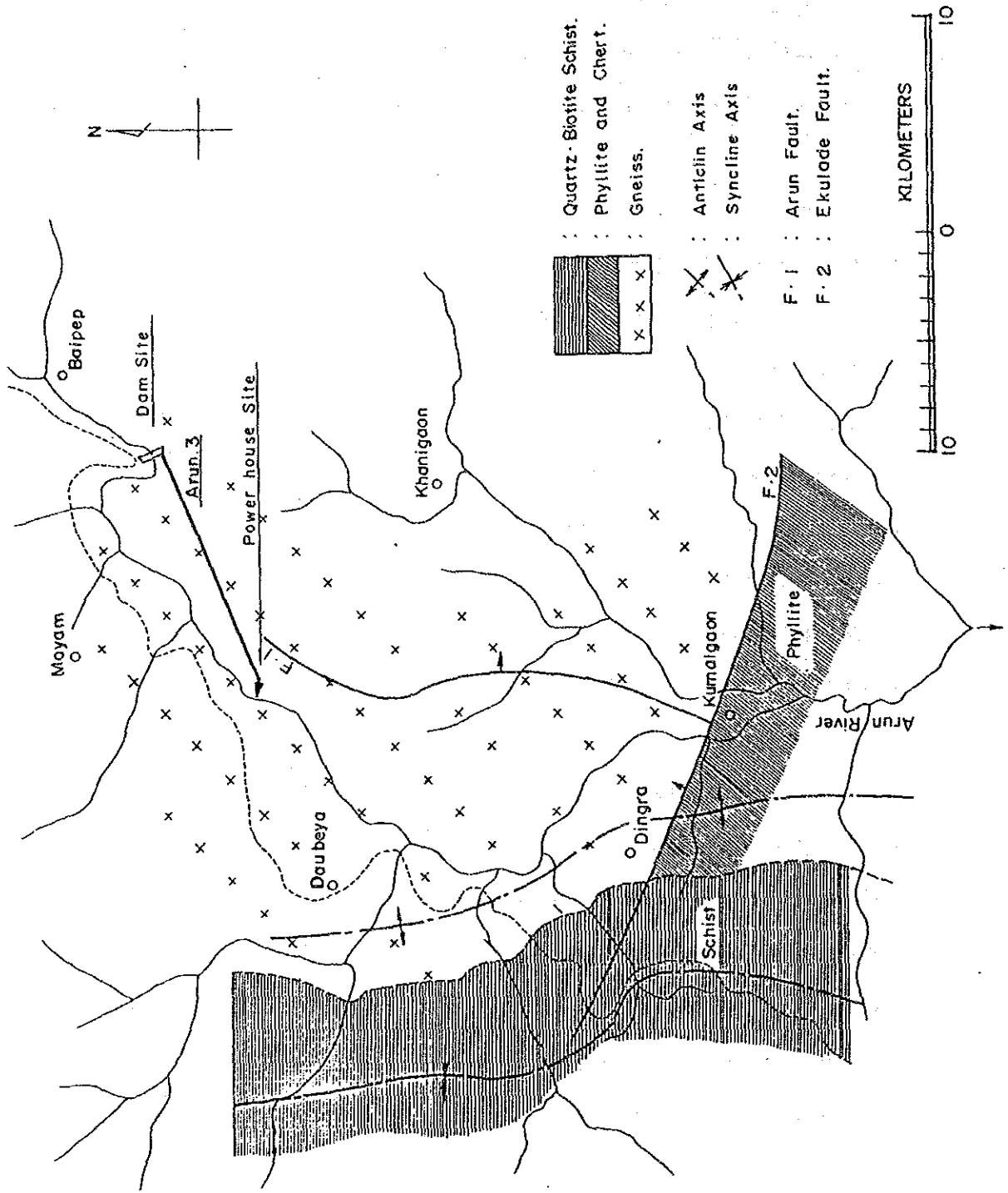

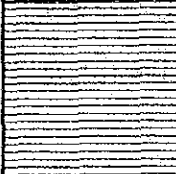
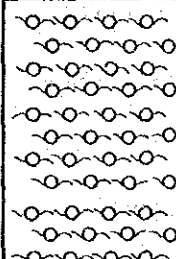
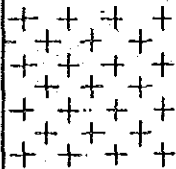
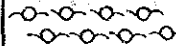

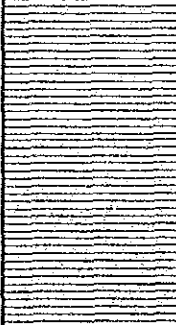
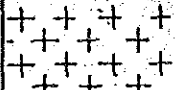
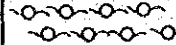
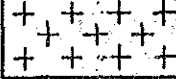



Table 4-4 Geological Successional Column on the Survey Area

Geological symbol	Geological succession	Thickness (m)	Remarks
	Talus deposit Aluvium deposit Terrace deposit		Gravels and sand Clay with breccia Gravels and sand
	Garnetiferous mica schist	370+	Rock facies are soft, having lamella structure. Mica biotite and muscovite, garnet 1m/m in average size, some parts 30 to 50m/m
	Augen gneiss	610	Rock facies are massive and hard. Augen is composed of porphyroblast (feldspar) and very hard. Matrix is composed of fine mica, quartz and feldspar, having strongly gneissosed and anisotropic structure.
	Gneissosed granite (Intrusion)	330	This formation is a composite igneous mass, having weakly gneissosed structure. Contact points are damaged, and constitute sheared zones.
	Augen gneiss	340	Same as upper augen gneiss.
	Gneissosed granite (Intrusion)	370	Same as upper gneissosed granite.
	Garnetiferous mica schist	1,700	Rock facies are soft, having lamella structure. Main minerals are two types of mica (biotite and muscovite), feldspar and quartz. Lenses of segregated quartz are included at some locations and said part is slightly hard. The distribution area of the formation has landslides.
	Gneissosed granite (Intrusion)	420	Same as above gneissosed granite.
	Augen gneiss	100	Same as above gneissosed augen.
	Gneissosed granite	40	Same as above gneissosed granite.
	Augen gneiss	415+	Same as augen gneiss.

岩石学的検討を行なうために薄片を作成し、顕微鏡観察を行った。その結果は、Appendix-Aに添付してある。

(2) 計画地域の地すべり

地すべりについて

計画地域に分布する地すべりは、DWG. G-1 に示すとおりである。

これらの地すべりによって生産された崩壊物は、直径数m、時には10mに達する巨石を含むことから、風化生成物や軟岩地帯で発生する地すべりのように単純ではない。

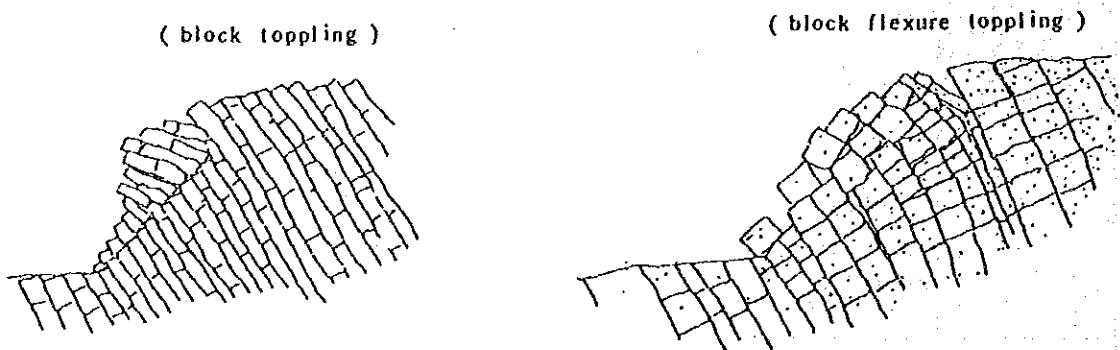
従来、岩盤斜面の破壊様式は、絶壁などで発生する分離・崩落 (Rock falls) と、斜面の形状と岩盤内部の特性に支配されるすべり (Sliding) の2つに分類されると考えられて来た。特にすべり破壊を起こす程急峻でないのに崩壊が発生することがあり、このような現象は、分離崩落とすべり破壊様式だけでは説明できない。

Ashby ¹⁾ は、第Ⅲの破壊様式として転倒・滑落 (Toppling) による崩壊を、岩盤斜面崩壊に対して提唱している。

当地域の斜面崩壊は、崖錐層等の未固結堆積物のすべり破壊 (Slide)、分離崩落 (Rock falls) および転倒・滑落 (Toppling) 等が複雑に複合している。

Topplingは、節理面を分離面とするたわみ性転倒 (flexural toppling) や、塊状の転倒 (block toppling) 等があり、その模式図をFig. 4-5に示す。

Fig. 4-5 Pattern of the Collaps Forms



1) ; Ashby, J. : Sliding and Toppling Modes of failure in models and jointed rock slopes, M. Sc Thesis, London University, Imperial College, 1971

計画地域の地すべり

1/5,000 地形図に含まれる地すべりは、DWG. G-1 の地質平面図にその崩壊の範囲を分布番号を付して示した。以下に各崩壊地を記載する。

No. 1

位置 : Indua Khola 左岸
冠頭部標高 : EL 約 1,040m
規模 : 幅約 100m×斜面長約 500m
斜面角度 : 平均43°
基礎の地質 : Mica schist(雲母片岩)

この地すべりは湛水地の付近に分布する。崩壊土砂はIndua Khola まで達している。現在地すべり滑動は発展中であり、斜面上部への拡大の可能性が大きい。山腹傾斜は、40° 程の急斜面である。基盤の Mica schistが本来的に持つ低い岩盤強度がその要因である。

ダム計画との関連性、: — 取水水位が約 840mであり、この地すべり崩壊物は、現在Indua Khola に達しているが、貯水後の背水は、この地点までは及ばないと考えられる。本流の堆砂の他に、ダム地点上流に、大きな土砂崩壊地を持つことは、ダムの運用上好ましくない。今後更に調査を行い適当な対策を講じることが必要である。

No. 2

位置 : ダム右岸
冠頭部標高 : 標高 925m～ 850m
規模 : 幅30m×斜面長約 120m
斜面傾斜 : 平均30°
基礎の地質 : 崖錐に覆われた基盤は、Augen Gneiss

ダム右岸直上に位置する。崩壊層はルーズな崖錐層(層厚5～10m)であり、地すべりによる変状は基盤岩にまで達していない。冠頭部は、数mの急崖を成している。現状においては、安定を保っている。

No. 3

位置 : アルン川鉄製吊橋下流 1 km 左岸
冠頭部標高 : EL. 1,020m

規模 : 幅30m×斜面長約 100m
斜面傾斜角 : 平均32°
基礎の地質 : 崖錐、基盤岩はAugen Gneiss

他の地すべりに比べて小規模であるが、現在滑動中で、側方～上部への拡大の危険性がある。この地すべりは、直接この発電計画に対する影響はない。

No. 4 (Bhimal Pahiro)

位置 : Num village 南東部斜面
冠頭部標高 : EL. 1,375m (古い崖線は EL. 1,400m)
規模 : Width : 150~200 × Length 300m
斜面角度 : 56°
基礎の地質 : fine grained Grauwacke, partly gneissosed.

・地すべりの形態

明瞭な円弧状の滑落崖を持っている。

崩壊機構としては、斜面に平衡する片理面や密な節理面の組合せによる岩盤の剝離によりTopplingが崩壊の主体である。

崩壊状態が大きい割には現地における崩壊土砂量が小さい。生産される土砂の大部分は、すでに雨期における豊富な降水量によって浸食されたものと判断される。浸食された土砂はNum Khola を通じてア룬川に運ばれ、その一部は、Num - Arun合流点に、扇状地状の堆積物として定着している。

この地すべりは1974年頃に発生し、現在進行中で、さらに側方および上方に発展すると予測される。

・発電計画との関連性

以上のように現在活動中の地すべりで、拡大の可能性が大きい。また生産された土砂が急速に下流に運搬されていることおよび発生源とダム計画地点のア룬川までの距離は約 700mの位置関係にあり、堆砂に大きく影響する要素がある。従って、当調査では Num Kholaの合流点の上流部にダム軸を選定した。

No. 5

位置 : Khokda village 南東斜面
冠頭部標高 : EL. 1,320m
規模 : Width 80m × Length 130m

斜面角度 : 30°

基盤の地質 : Talus deposit, 基岩は Mica schist.

・地すべりの形態

この地すべりは冠頭部に明瞭な滑落崖を持ち、すべりの変状は表層部の崖錐層(層厚4~5m)と基盤岩(Mica sch.)の風化部を含んでいる。活動の初期段階にあり、将来拡大する危険を持っている。

・ダム計画との関連

直接的な影響は受けないと考えられる。

No. 6

位置 : Kharsu villageを乗せる斜面

冠頭部標高 : EL. 1,625m

規模 : Width 400~600m × Length 1,000m以上.

斜面角度 : 25° Average

基盤の地質 : Talus deposit bedrock は Mica schist.

No. 7

位置 : Kharsu village 東側

冠頭部標高 : EL. 1,625m

規模 : Width 600m × 1,000 m

斜面角度 : 25°

基盤の地質 : Talus deposit bedrock は Mica schist.

No.6,7 地すべり共にEL.1,625mに大規模な円弧状冠頭部を持っている。地すべりによって生産された土砂は、大部分が浸食され、谷底には基盤岩が露出している。

これらの地すべりは、発電計画との直接的関係はない。

No. 8

位置 : Kharsu-Diding village 間のpeak(1,775.8m) から北西方向に伸びる屋根の南西斜面

冠頭部標高 : EL. 1,550m

規模 : 大(冠頭部幅 1,000m × 斜面長 2,500m)

斜面角度 : 25° ~ 30°

・地すべりの現況

地形的には、Darbote Khola と Kaguwa Kholaの間の斜面において、EL. 約 1,100m付近に大規模な円弧状を示す遷移線が広く追跡される。この下方は比高約 250mの崖線として認められる。この地帯の南側は広く崖錐層に覆われる。この崖錐層の供給源は、上方のEL. 1,700m付近から由来するものである。

この地帯の崩壊は、地形的には大規模に現われているが、現地踏査の結果、斜面の所々、谷筋には基盤岩が認められる。崩壊生成物は大部分浸食され、現況を判断すると全体として斜面は安定していると判断される。

・発電所計画との関係

Pikhuwa地点に計画する調圧水槽からアルン川へ降下する斜面は、EL. 775mから上部は、厚い崖錐で覆われる。またこの崖錐斜面には、直径10m以上の巨石（概算重量数千トン）が散在する。もし発電所を地上式とした場合、鉄管路の布設に必要な地山掘削に際しては、工事区域周辺の巨石の除去、または安定化の工事(Anchoring等)が必要となる。また完成後においても下部の発電所設備の保守管理のために、崖錐斜面の安定維持の必要がある。

以上のように地形・地質的検討からこの地帯における発電所計画は、地下式発電所とする事が安全性に優れている。

4.3 ダムサイト周辺の地形・地質

4.3.1 地 形

世界の屋根と呼ばれる 8,000m級の山々と広大なチベット高原を集水域とするアルン川は、東部ネパール屈指の大河川の一つである。

アルン川は、東西に連なる隆起ヒマラヤ山塊を南北に貫通して流れる先行河川である。すなわち、現在も隆起を続けるヒマラヤ山塊を、その豊富な流量によって強大な隆起に打ち勝って浸食が進行している地帯である。

アルン川において、一般には両岸は切立った急斜面がV字形に発達し、河床における段丘の発達は不良である。僅かに支流との合流点付近に見るのみである。

ダムサイト左岸下流には比高約25mの河岸段丘（一部扇状地性の段丘との複合）があり、比較的広い平坦面を形成している。

現在の河床から比高 100m高位には古い段丘砂礫層が分布するが、その広がりには狭

く、また浸食が進行して地形単位を成す程の広がりを持たない。

この地域には、地質に支配された崩壊地形が多く認められる。それらは、地層面を分離面とするすべり性崩壊、節理などを分離面とする岩盤崩壊 (Toppling) やこれらの二次堆積物より成る崖錐斜面崩壊である。

地すべり性崩壊は、ダム右岸斜面に認められ、現在の地形面と地層面とは殆ど同一で典型的な層面すべりである。

4.3.2 ダムサイトの地質

ダムサイト周辺の地質図、地質断面図は、DWG. G-3、G-4、G-5、G-6 に示すとおりである。

ダムサイトにおける地質・地形的特徴は、次のとおりである。

- ・基盤の主たる地層は、Augen gneissである。
- ・Augen gneissは、短径1cm×長径2～3cmの長石の斑状変晶とこれより細粒の石英等より成り、1m/m～数m/mの薄い雲母層を伴っている。雲母層の量比によっては、変化のある異方性を生じる。
- ・Augen gneissは1m弱のAmphibolite、Graniteを伴うmica schist～micaceous gneissを挟む。ダムサイトでは、2枚のmica schistが認められる。
- ・Amphibolite、Graniteは、Augen gneiss中にその構造と調和的に併入した火成岩脈である。これらの岩脈周辺部の岩盤は、亀裂が発生し劣化部を形成している。
- ・Mica schistは葉状片理が発達し、極めて強い異方性を持ち、岩盤強度はgneissに比べて弱い。
- ・河床の砂礫層の層厚は12m程度で、現河床底の岩盤標高は約780mである。
- ・ダムサイトにおけるGneissの構造は、N20～40°E走向、50～60°E傾斜に変化する。全体的には波状を示しながら、N30°E走向、60°Eの一般的構造を持っている。
- ・従ってダムサイトにおいては、見掛上、右岸から左岸に向かい、50°程の傾斜を示して基礎岩盤は分布している。

(1) ダム右岸

- ・ダムサイト右岸を構成する基礎岩盤は、Augen gneissである。
- ・河床部からEL 805mの斜面勾配は、約70°、EL 850mまでは約40°、上部斜面は25°の緩斜面となる。

- ・右岸の地質構造は、見掛傾斜が約 50° で谷側に傾斜するいわゆる流れ盤構造となっている。層すべりの起こし易い地質構造を示している。
- ・EL 810mから 825m付近は、最大層厚約4mの崖錐層によって被覆されており、この周辺の岩盤は緩んでブロック状を呈している。
- ・UDH-6 ボーリングの結果、深度34m00-34m75に分布する Mica-schistは、右岸地表下約10mに斜面に沿って分布する。この層は層すべりの原因となる。
- ・ダムサイト右岸直上流には、崖錐性堆積物分布域の一部を切って地すべり地形が認められる。

(ii) ダム河床部

- ・現河床の標高は約 794mであり、この高さでの河床幅は、約50mである。乾期においては左岸側の幅約15mが陸部を形成し、右岸側はアルン川の主流部を成している。(雨期には全てこの面は水没する。)
 - ・ダム地点付近における洪水痕跡は、乾期の水面上約5mにある。
- 河床は、巨礫から細礫の各種サイズのgneissを主体とした砂礫から構成される。基盤のAugen gneissは、塊状で堅硬な岩盤であるが、UDH-1 UDH-6 で2層のMica schistを確認した。コア観察および透水試験(Lugeon test)の結果によれば、周辺の岩盤と比べてルジオン値はやや高い(5ルジオン)傾向を示すが、ダム基礎岩盤としては問題はない。

(iii) ダム左岸

- ・左岸を構成する基礎岩盤の主体は、Augen gneissである。
- ・現河床からEL 830m間の傾斜勾配は、約 75° の急斜面である。これよりEL約 850m間は、勾配 35° の斜面が連続している。850m以上は、左岸上流部の凹地と被覆する崖錐斜面に連続している。
- ・下部の急斜面には、塊状で堅硬なAugen gneissが直接露出し、ダム基岩盤として問題は少ない。
- ・EL約 810m付近には、層厚20~30cmのAmphibolitの薄い層が3枚認められる。露頭での性状は、Augen gneissの片麻状構造と調和的で、接触部は密着している。Gneissに比べて、やややわらかであるが規模が小さいので問題とはならない。

4.3.3 取水口の地質

取水口は、アルン川の左岸側にダムに隣接して選定される。ダム軸上流において、右岸側からアルン川を通り、左岸側に伸びる褶曲帯がある。左岸延長部は、小さな凹地形を成して、崖錐に被覆されているので岩盤の性状を直接見ることができない。

UDH-9 の試錐では、ダム軸周辺の基盤岩と同様、CH~CM級のAugen gneissよりなり、安定した岩盤より構成される。これらの関係は DWG. G-5 に示す。

取水口の位置は、UDH-9 の下流側に選定することが適切であると判断される。

1 ; ダム基盤岩盤分類基準

Examples of Quality Classifications of Rock in Dam Foundation

Classification	Characteristics
A	Rock-forming minerals(1) are fresh and not weathered or altered. Joints and cracks are very closely adhered with no weathering along their planes. A clear sound is emitted when hammered.
B	Rock-forming minerals are weathered slightly or partially altered, the rock being hard. Joints and cracks are closely adhered. A clear sound is emitted when hammered.
CH	Rock-forming minerals are weathered but the rock is fairly hard. The bond between rock blocks is slightly reduced and each block is apt to be exfoliated along joints and cracks by strong hammering. Joints and cracks sometimes contain clay and other material which may be coloured by limonite. A slightly dull sound is emitted when hammered.
CM	Rock-forming minerals are weathered and the rock is slightly soft. Exfoliation of the rock occurs along joints and cracks by normal hammering. Joints and cracks sometimes contain clay and other material. A somewhat dull sound is emitted when hammered.
CL	Rock-forming minerals are weathered and the rock is soft. Exfoliation of the rock occurs along joints and cracks by light hammering. Joints and cracks contain clay. A dull sound is emitted when hammered.
D	Rock-forming minerals are weathered, and rock is very soft. There is virtually no bond between rock blocks, and collapse occurs at the slightest hammering. Joints and cracks contain clay. A very dull sound is emitted when hammered.

(1): Except quartz

4.3.4 地下式沈砂池の地質

アルン3発電計画の沈砂池は、アルン川とKhoktak Kholaの合流する左岸の山地地下に計画される。この山地は、南東から北西方向に伸びる。谷側の斜面は、いずれも60°以上の急崖を形成し、地下式沈砂池を掘削するに十分なスペースを持っている。

この地帯には、UDH-7の試錐調査と、A・B2本の弾性波探査を実施した。その結果は、DWG. G-6地質断面図に示す。

斜面東部には、褶曲帯が走向N20~30を、傾斜50~60Eで伸びると予想される。この地帯は、幅数10mの構造帯で、開口性節理(Open joint)が発達し、一部はMicaが濃集して弱い剪断帯を形成している。

沈砂池の掘削対象区域は、主にEL. 850m以下のAugen gneissから構成される。地質構造に起因する地質特性は次のようである。

- ・ DWG. G-6の断面線における掘削対象区域は、EL. 850m以下の約200mの区間である。
(幅25m、長軸方向100m)
- ・ 弾性波探査結果からこのゾーンの基盤岩のVpは4.4~4.5 km/secを示し、沈砂池の大半はC_{II}級 \perp の岩盤中に設計可能と考えられる。
- ・ 中央部付近には、地質構造と平行する幅10m程度の低速度帯(亀裂密集帯またはMicaceous zoneに相当)が分布する。この低速度帯のVp速度は、上位の2.3~2.4 km/secと基盤の4.4~4.5 km/secの中間的速度を示す部分に相当すると考えられる。基盤に比べて節理の多いC_{II}級 \perp の岩盤で、岩盤強度として問題のない地層である。透水性について多少の問題が残る。
- ・ UDH-7のルジオン値の傾向は、DWG. G-6に示した。節理の多い部分で最大11.8ルジオン、最小0.4ルジオン、平均6.5ルジオンである。ルジオン値は、注入圧10kg/cm²での1m当りの透水量を表現している。沈砂池における最大静水圧は、4~5 kg/cm²であるので、この周辺の岩盤の透水性は、殆ど問題とされない。

また、水密性を必要とする場合には、セメント注入による改良が考えられるが、この周辺での岩盤の透水性は、岩盤中に存在する節理に支配されているので、グラウトによる透水性の改良は比較的容易である。

4.4 導水路トンネル

4.4.1 地形

導水路トンネルの経過地は、全般に急峻な山岳地からなっている。トンネル計画線は、ほぼ中央部に位置するSolakhani村から上流側は、NE-SW 方向に延びる標高1,500 ~ 2,000mの主稜線とこれに連なる副稜線と斜交している。

一方、Solakhani村から下流側は、前半部に比べて経過地の標高は低く、1,100 ~ 1,300 mのアルン河左岸斜面に計画される。この斜面は、Suki Khola、Rara Khola等の大小支沢を持ち、特にSuki Khola、Rara Khola通過地点の標高は900m内外である。

トンネルの土被りは、トンネル全長の52%以上の区間で400m以上を示し、最大で1,050mに達する。被りが100m以下の区間は、トンネル上流部のKhotak Khola付近の240mからSuki Kholaの200mの区間で、トンネル長の4%を占めている。

4.4.2 導水路トンネルの地質

計画地域をカバーした地質は、DWG. G-1 および DWG. G-2 に示すとおりである。この地域を構成する地質は、Metamorphic rockとこれに貫入したGneissosed graniteである。

Metamorphic rockは、原岩および変成作用の相異からGneissとSchistの2種類である。

Gneissはいわゆる眼球状の斑状変晶を含む特徴的構造を持っている。Augen gneissの岩相は、塊状で堅硬である。眼球状の部分(φ最大5cmに達する)は、斑状変晶(主に長石)によって構成され、非常に硬い。斑球を取り巻く充填物は、細粒の雲母、石英および長石等により成り、強い片麻状構造と異方性を持っている。

Schistの岩相は強い剝離性を持ち、軟質で弱い。Schistは複雲母(黒雲母-白雲母)、長石、石英などから構成され、また普遍的に平均粒径1mm、時に1~5cmのガーネットを含んでいる。Gneissに比較してこの地層は、異方性が強く、またレンズ状の分結状石英が所々に含まれる。この部分は、雲母のみの部分より少し硬い。地表においては、この地層の分布地域は多くの地すべりが認められる。

Granitic rockは、一般的に弱い片麻状構造を持ち、細粒優白質な岩相を示す。時々電気石の結晶を含み、前記の変成岩の接触部または、Augen gneiss中に分布する。発電所側における花崗岩はボーリングおよび弾性波探査によって確認した低速度帯または破砕帯を含み、部分的に安定性に欠ける岩盤である。導水路トンネルのダム側に

分布するこの岩盤も、地表において1 m~10 m程の粘土帯を伴っている。

地質構造は、走向：N 20° ~ 30° E、傾斜：20° ~ 60° Eを示し、計画地域では、見掛上、下流側（発電所側）に下位の地層、上流側（ダム側）に上位の地層が累重する。

水路トンネルの主方向と地層の走向との関係は、鋭角に交わり、その角度は、約38°である。

以上の地層は、High Himalaya の前縁に発達する典型的な変成岩地帯で、連続的に広く分布している。

導水路トンネルのルートに沿った地質断面図は、DWG. G-2 に示す。

導水路トンネル経過地には、取水口側から順にAugen Gneissosed Granite、Augen Gneiss、Gneissosed Granite、Mica Schist、Gneissosed Granite、Augen Gneissが分布する。

Fig. 4-6 に水路トンネル地質断面概要図を示す。

導水路トンネルの総延長は約11.4 kmである。全体に占める各地層の分布比率は、次の通りである。

Augen gneiss	: 22.3%
Gneissosed granite	: 31.4%
Mica schist	: 46.3%

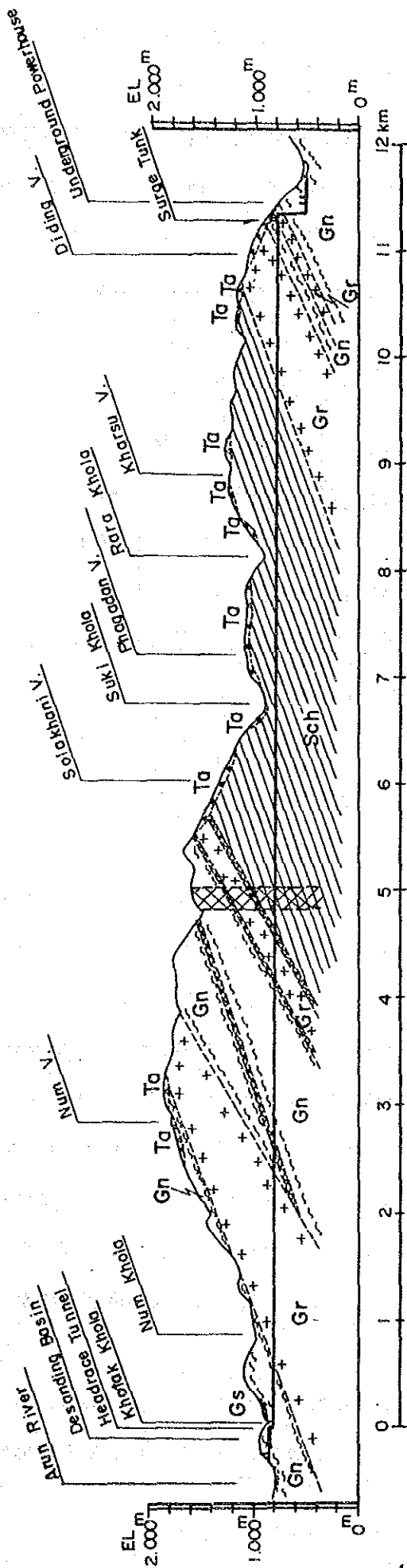
またGneissosed graniteは、その接触部では粘土を伴った破碎帯を持ち、Solakhani村北東部の岩体に特に顕著に認められる。これらの破碎帯は、トンネル計画基面にまで影響していると考えられる。その延長の総計は130 mであり、Gneissosed granite 3,550 mに対し約3.7%の割合である。

これらの粘土を伴う破碎帯は、P. N. Yadav が報告したArun Faultの北方延長方向に位置し、Arun Faultに連続する可能性が大きい。(Fig. 4-4参照)

Mica schist の分布区間、土被りの薄い区間や破碎帯は、トンネル工法を選定する上で重要な問題を含んでいる。

従って本工事に先立って、中間部の作業坑地点に試掘横坑を掘削して地山の強度特性、変形特性等を調査することが必要である。

Fig. 4-6 Schematic Geological Profile along Headrace Tunnel Alignment



Legend	
	Alluvium river deposit, Sand/Gravel.
	Terrace deposit, --do--
	Talus deposit, Sand/Clay with debris, - include huge stone.
	Augenfels with thin mica schist.
	Granite, fine grained and gneissosed.
	Schist, gnetiferous and micaceous.
	Sheared zone, with clay.
	Brecciated Zone
	Assumed geological boundary.

4.4.3 地質工学的考察

(1) 各地層の物理特性

試錐調査によって採取された岩芯を試料として室内岩石試験を行い、その試験値を貯水池側と発電所側に分けて平均を示した。その結果はTable 4-5 に示すとおりである。

Table 4-5 Physical Characteristics of Foundation Rock

Physical Properties		Zone	Dam site	Powerhouse site	
Rock			Augen gn	Augen gn	Gr
Bulk specific gravity	Natural		2.71	2.67	2.66
	Dry		2.70	2.66	2.65
	Saturated		2.70	2.67	2.66
Absorption (%)			0.7	2.72	0.5
Net porosity (%)			1.3	2.72	1.4
Water content (%)			0.3	2.72	0.5
Unit weight (g/cm ³)			2.72	2.72	2.65
Velocity of supersonic wave km/s	Vp (km/s)		2.91	3.45	2.87
	Vs (km/s)		1.85	1.99	1.42
	E _{dc} (10 ⁵ kg/cm ²)		5.41	2.59	1.46
	D _c		0.21	0.27	0.34
Unconfined compressive strength (kg/cm ²)			156	442	599

Note: E_{dc}: Dynamic modulus of elasticity
D_c: Dynamic poisson's ratio

Mica Schist は、その主部 (Suki Kholaを中心として広く分布する) を今回試錐で調査していない。またGneissに挟在するMica schist は、錐進に際して、短柱状～岩片状に採取され、試験用の試料とはならなかった。

1軸圧縮強度からは細粒片麻状花崗岩が優れており、平均値は約 600kg/cm²を維持している。Gneissは、発電所側の平均強度 440kg/cm²に対して貯水池側の平均強度は約 150kg/cm²を示し、約3倍の強度特性がある。この差異は、Gneissの地質構造に起因するものであり、両者の変成度の差、鉱物組合せの差などによって生じたものではない。すなわち、両地域の地層の傾斜、(発電所側は低角度: 20° ±、貯水池側は比較的高角度: 50 ± 10°) の差によって、一軸的な圧縮強度に変化が生じたものである。

この事実は、岩盤強度を考える上で貴重な示唆を与えている。すなわち、地質構造によっては岩盤強度が大きく変化することが予想される。これは、異方性の特に大きい変成岩地帯での特色である。

雲母片岩は、前二者に比べて強度的に劣ると判断される。その推定一軸圧縮強度は、最大 100kg/cm²程度であろう。

(2) トンネル掘削基面の地質と地質工学的考察

Table 4-6 にトンネル掘削と地山分類¹⁾を示した。以上岩質判定基準に従って、本トンネルに分布すると予想される地質を評価して DWG. 6-2 に示した。

また、各層の地山特性をまとめて Table 4-7 に示した。

(3) TBM (Tunnel Boring Machine) 工法の適応性

10.4.5に述べるようにこの導水路トンネルは全長11.4kmのうち、中間作業坑より上流部 7.5kmの掘削には TBM工法を採用することが計画されている。

この区間の地質はAugen gneissおよびGneissosed graniteが55%、Mica schistが36%、Sheared zoneが9%分布していると想定される。Augen gneissおよびGneissosed graniteはボーリングで採取したコアの岩石試験結果によれば圧縮強度が 440~600 kg/cm²であり、TBMによる高速掘進に最も適した岩石に属するものと思われる。Mica Schist の圧縮強度は 100kg/cm²と推定される。そのため、掘削は容易であるがカッターに細粒物が付着しやすく、掘削進行の低下が想定される。しかしTBM を採用することにより、全長にわたる平均掘削進行は発破工法に比して大であり、トンネル掘削工程を著しく短縮することが可能であると判断される。

一方、TBM 工法は発破工法に比して地質条件の変化に対応しにくい。地山分類 D1-d₂、E~ D1-c₁に時々見られるような断層、破砕帯における不意な強度低下、大量の湧水等予測できないことに遭遇したときは、地質状況に応じて適当な補助対策を講じることにより TBMの進行を確保することが一般に行われている。

TBM カッターヘッド等の機械構造選定については、実施設計までに中間作業坑部に調査横坑を試掘し、十分な地質情報を把握した上で詳細に検討することが望ましい。トンネル覆工を含めたTBM 工法による導水路上流部トンネルの工事計画については 10.4.5.(1)に詳述する。類似地質のトンネル掘削に TBM工法を採用した例は既に多数報告されている。²⁾

1) ; 日本道路公団 (1985)、設計要領、第三集、第9編、トンネル

2) ; Robbins: Tunnel Machine Project, Jan. 1981, USA

Wirth: Actual Results by TBM, West Germany

Table 4-7 Characteristics of Lithological Classifications

Lithological classification	Length of distribution	Distribution ratio (%)	Characteristics
B-a	2,550m	22.6%	qu 1/ exhibits 150~600kg /cm ² variation in augen gneiss. Tunnel face is stable. Although excavated surface without timbering shows some surface collapse at points, it is generally stable. However, timbering will be necessary at points of loose ground.
B-c	3,440m	30.4%	Fine grained gneissosed granite has qu of around 600kgf/cm ² .
Cl-a~Cl-d2	4,290m	38.0%	Mica schist zone with estimated qu = 100kgf/cm ² . Tunnel face is stable. Excavated surface shows some surface collapse in vicinity of ceiling requiring timbering.
Dl-d2	880m	7.8%	Consists of cracky zone in mica shist and zone of thin overburden directly below Suki and Rara kholas. Deterioration of rock from water seepage accompanying excavation is a source of plastic ground pressure and unbalanced pressure.
E~Dl-c	130m	1.2%	Cracky zone occuring along with clay in fine grained granite. Peripheral pressure causes extrusion to occur at face.
Total 2/	11,280m	100%	--

1/ qu: unconfined compressive strength

2/ Total tunnel length includes segment from end of sedimentation basin to surge tank.

4.5 発電所周辺の地形と地質

4.5.1 地形概要

発電所計画地域は、ダムサイトの南西約11km下流に位置する。本調査では、2ヶ所の発電所地点を検討した。すなわち、上流側の Pikhuwa地点とこれにより約 1.1km下流の Kaguwa地点である。いずれもアルン川の左岸に位置している。アルン川は、この周辺では、ほぼ南北方向に流れ、川沿いには細長い段丘面が分布する。乾期における水面と段丘の比高は、10~15mである。

左岸側斜面は Pikhuwa発電所上流斜面および Kaguwa発電所上流斜面に、地すべり地形が存在し、導水路トンネルの終端—調圧水槽の位置選定に最も重要な条件である。

両発電所サイトを含む左岸斜面には小さな沢が発達するが、乾期においては表流水は無く、枯沢となっている。

4.5.2 地質概要

この周辺の地質は、上流側のダムサイト同様、Himalayan 片麻岩地帯に属し、Augen gneissとこれに併入したと考えられる Gneissosed graniteより構成される。

これらの地層は、ダム側の地層より見掛上、下位に位置している。また Augen gneiss は、最大数m~最小数cm単位の Mica schistを挟在する。

この周辺の Gneissは、ダムサイトの Gneissに比べて次のような特徴を持っている。

- ・全体に Gneissに含まれる眼球状長石の斑状変晶の粒径が細粒で、眼球を含む Micaの量が少ない。
- ・従って Mica schist または Micaceous gneissの持つ異方性は、発電所の Gneissに比べて小さい。
- ・ Gneissosed granitic rockは全体構造と調和的に分布する複合岩体である。また、この岩体は弾性波探査で抽出した多くの低速度帯を持っている。地質的には、この地帯は一部に粘土を伴う剪断帯である。

4.5.3 Pikhuwa地点の地形と地質

(I) 地形

平均傾斜50°程の斜面下部のアルン川沿いには、幅最大:180m×長さ:500mの河岸段丘が分布する。河岸段丘は、現河川により形成された低位の堆積面と、乾期の水面と比高15~16m高位の高位段丘面がある。この面は砂礫層より構成され、現在一部は水田として用いられる他、牧草地となっている。

高位面は最大幅:110m、長さ:400mの規模を持っている。

地上式発電所を計画する場合

発電所の位置はこの段丘面の下流側に選定される。また水圧管路はほぼEW方向に斜面上に選定される。この水圧管路の約100m上流斜面は、厚い崖錐堆積物に覆われる。

水圧管路軸の河床部EL約540mからEL770m間は、平均傾斜40°の殆ど岩盤の直接分布する急斜面である。これより上部EL770m間は、平均傾斜40°の殆ど岩盤の直接分布する急斜面である。EL770mからEL940m付近までは、崖錐層に覆われた平均傾斜約30°の斜面である。

(2) 地 質

この周辺の地質は、DWG. G-7に示すとおりである。

- ・河床部に分布する段丘面の最大標高は約552mである。段丘は巨礫を含む砂礫によって構成される。
- ・プレフィージビリティ調査のP-1試錐によれば、段丘礫層と基盤岩(Gneiss)の境界は、EL520mに位置している。
- ・弾性波探査から、段丘砂礫層のV_p速度は2.2~2.5 km/secを持っている。通常の未固結堆積物より早い弾性波速度を示しているが、その理由は、河床部の砂礫層が特に下部において密に締まっていること、および地下水によって飽和していることによる。
- ・DWG. G-9の地質断面図に示すように、斜面の変化点(EL約760m)以高は広く崖錐層で覆われている。
- ・崖錐層は、角礫質のGneissの岩片と細粒土から構成され未固結ルーズな地層である。
- ・水圧管路の計画される斜面は、EL800~850m以高は、厚い崖錐堆積物によって覆われる。
- ・その最大層厚は30m程度で調圧水槽の計画されるP-8より上部に発達分布する。
- ・P-8における地下水位は、雨期(1986年9月)の豊水期においてGL-43mを示し、この地点の掘削には問題の少ない条件を備えている。
- ・崖錐斜面は、直径10mに達する巨石・転石が多く散在する。
- ・斜面を構成する地層は、主にGneissであるが、頻繁に片麻状花崗岩によって貫入

される。

- ・これらの貫入面は、gneissの構造、走向N20~30° E、傾斜20~40° Eと調和的である。
- ・Gneissosed graniteは優白質、緻密な岩相を示す細粒岩である。
- ・弾性波探査による新鮮岩の分布深度は、下部では地表から約40mにあり、上部では60~70mにある。
- ・P-6、P-8のボーリング結果から上部斜面の地層は、下部に比較して風化が深部に及んでいる。
- ・P-8地点付近に於ける風化岩の V_p 速度は、2.4~2.5 km/secの平均速度を示している。
- ・一般的には2.4~2.5 km/secの V_p 速度を持ち岩盤区分としてはC₄級¹⁾岩盤に相当し、構造物基礎として十分な注意を払って用いれば問題は少ない。

4.5.4 K a g u w a地点の地形と地質

(1) 地 形

この発電所地点の位置する斜面は、上流のPikhuwa地点に比較して一般的に緩い。アルン川沿いには最大幅80m、長さ約250mの河岸段丘がある。乾期の水面との比高は最大約16m、平均8m程であり、砂礫によって覆われている。

発電所の位置は、この段丘面に選定される。鉄管路は、発電所側の段丘面、EL約536m-680m間は、やや急で、一部に70°の急斜面を含み、平均40°程の斜面である。急斜部は、岩盤が直接分布する急崖（傾斜70°）である。これより上部は、30~15°の傾斜を示し、上部に向け徐々に緩くなる。EL 690m以上の斜面は、崖錐層に覆われる。

(2) 地 質

この周辺の地質は、DWG. G-13に示すとおりである。

河床部の段丘砂礫層・分布ELは、EL約493mである。Kaguwa発電所計画地点の河床部における弾性波探査結果、特に河床部での副測線No.3およびP-4ボーリング結果から、4.4~4.5 km/sec速度層以上の地層は、段丘堆積層の可能性が強い。P-4では、EL約503m迄基盤に達していない。

1 / ; 4-19頁、ダム基盤岩盤分類基準参照

DWG. G-14 断面図、EL約 885~710 m間において、著しい地質特徴は、中間部から山側で、崖錐層の厚みは約30mを示し、谷側で3~5 mで非常に薄い傾向を示す。また弾性波探査結果から、4.5km/secの弾性波速度を持つ基盤層の中に、6ヶ所の低速度層を抽出した。

調圧水槽の計画される P-9付近のボーリング結果と総合して考察すると、以下の様に解釈される。

- ・低速度層は、gneissの地質構造と調和的に発達する節理の密なゾーンが、浸透した地下水により選択的に風化が進行したゾーンと考えられる。
- ・その構造は、断面上で17°、山側に傾斜する。
- ・基盤岩中の低速度層は、上位の2 km/sec 層より速く、基盤の4.5km/sec より少し遅い速度を持つ地盤で、弾性波速度のみから判断すれば、原位置では、周囲に拘束された状態にあり、風化により弱められてはいるが、全体としてC_N級¹⁾の岩盤に分類される。
- ・P-9における地下水位は、GL-44mにあり、調圧水槽の掘削における地下水の湧出は少ないと考えられる。
- ・基盤層上位の2.2~2.4 km/sec 層は、風化岩盤であるが、速度のみからは、CM²⁾（一部にCL岩盤を含む。）級岩盤と判断され、規模にもよるが、構造物基礎として問題は少ない。

DWG. G-15 測線の地質断面では、被覆層が非常に薄いこと、P-11において2枚のMicaschistまたはmicaceous gneissを確認した。この層は、Gneissosed granite を伴い、全体として15m程の層厚で山側に見掛上18°傾斜している。

- ・発電所の計画される河岸段丘における被覆層の層厚は、試錐によって確認されていない。DWG. G-15 に示す断面図における岩盤線は、弾性波探査の結果によって推定した。

4.5.5 発電所地点の比較

両発電所地点について地形、地質の両面から比較してTable 4-8 に示す。

その結果、Pikhuwa地点が地上式および地下式発電所—水圧管路の建設に対して優れていると判断される。

1 / 2 ; 4-19頁、ダム基盤岩盤分類基準参照

Table 4-8 Topography and Geology at Powerhouse Sites

	Kaguwa Site	Pikhuwa Site
(1) Foundation rock and tectonics	<ul style="list-style-type: none"> ° Foundation rock is composed of Augen-gneiss intercalated with mica schist having thickness of same ten centimeters to several meters. ° Foundation rock forms an eastern wing of the Arun anticline structure with its strike and dip of N30°E and 20 - 40°E, respectively. ° Below EL. 600 m, there exists a cliff composed of fresh Augen-gneiss. A gentle slope above EL. 600 m is covered with thick talus deposit including big boulders. 	<ul style="list-style-type: none"> ° Same to the left ° Same to the left ° Below EL. 650 m, there exists a cliff composed of fresh Augen-gneiss. The slope above EL. 600 m becomes slightly gentler than the lower portion and is covered with thin overburden.
(2) Topography and geology along penstock line	<ul style="list-style-type: none"> ° Along the Arun river, there exists alluvial deposit of 30 m - 60 m in width, 250 m in length and 5 m in height above river surface. ° At the upper part of penstock, there is an old slip surface resulted from landslide of horseshoe shape of approx. 700 m in diameter. At the bottom portion, there observed small round valley showing intricately topography with small creeks. 	<ul style="list-style-type: none"> ° Along the Arun river, there exists alluvial deposit of 100 m in width, 400 m in length and 10 m in height above river surface. ° Approx. 150 m upstream of the penstock line, there exists an indented belt of approx. 300 m wide, covered with thick overburden including big boulders resulted from landslide.
(3) Topography and geology upstream and downstream of penstock line	<ul style="list-style-type: none"> ° Due to the above-mentioned landslide, the ground surface in this area is fairly undulating resulting in difficulty in selecting adequate penstock line route. 	<ul style="list-style-type: none"> ° The portion of approx. 500 m downstream of the above is forming a stable slope. ° Surge tank and penstock line is situated in the area outside the disturbed zone due to landslide and the thickness of overburden is thin. At the lower penstock portion, outcrop of fresh gneiss is extending over the wide area. ° The area of approx. 500 m in width along the Arun river wherein the penstock line is to be located is formed with uniform and stable slope.
(4) Engineering judgement	<ul style="list-style-type: none"> ° In view of the above, it is judged that the Kaguwa site has many disadvantages topographically and geologically compared with the Pikhuwa site. 	<ul style="list-style-type: none"> ° It is judged that the Pikhuwa site is preferable for construction of penstock and powerhouse of both outdoor and underground types.

4.5.6 P i k h u w a 地点における地下発電所計画の地質的検討

DWG. G-8 に P i k h u w a 発電所計画の中心線沿いの地質断面図を示す。

この地域には、主測線(550m)、副測線、3本(220,210,220 m)計 1,200mの弾性波探査および、試錐調査(水平孔:1および垂直孔:3)計 190mの地質調査を行った。

DWG. G-8 断面図には、これらの調査結果を全て記載した。試錐調査の結果は、地質構造(平均走向N20°E、傾斜30°E)を考慮して断面線内に投影した。弾性波速度層は、各測線-地質断面線の交点における弾性波速度層を参考に推定した。

(1) 調圧水槽

調圧水槽の基礎底盤は、一般に新鮮なGneissosed Graniteの分布域である。弾性波探査における基盤岩、4.4~4.5 km/sec層に相当する。Gneissosed graniteは多少亀裂を持つが堅硬、比較的塊状の岩盤である。

岩石試験から推定した一軸圧縮強度は、500~600 kg/cm²で、耐荷力には問題ないであろう。

調圧水槽基面の掘削範囲は、概略新鮮岩の中に配置される。

水槽本体の掘削径は、上部で18m、下部16mで計画される。

立坑の掘削上問題となる点は地下水の存在であるが、P-8の施工時における地下水位観測によって、雨期にもかかわらずGL-43mに水位を確認した。従って厚い崖錐の掘削に際しての地下水の湧出は少ないと考えられる。

また地表部では水槽、開口部に切土工が必要となる。厚い崖錐層を考慮してこの切土計画は可能な限り小さく取ることが経済的である。切土の対象となる崖錐層の弾性波速度は、0.7~1.3 km/secであり、岩塊混じりの未固結粘性土から成っている。切土の計画される斜面は、30~35°の斜面勾配を持っている。このような斜面では、切土によって斜面の安定が失われ易く、すべり破壊に対して抑止工を含む斜面保護工が必要である。

詳細設計に当たっては、土質定数(粘着力、内部摩擦角および湿潤単位体積重量等)を求め、斜面安定の検討を実施する必要がある。

(2) 地下発電所

発電所の主機室は、底盤EL約524~アーチ部EL約564m、高さ最大41.5m、幅最大25m(本体部幅18m)、長さ122mの規模(掘削寸法)である。

この主機室の構造上の最も重要な部分は、天井アーチ部である。この部分の地層は、P-6 によって把握されている。

- ・この部分は大部分Augen gneissによって構成されている。
- ・大きな破砕帯や断層は存在しない。
- ・これらの地下掘削の大部分は、弾性波速度 4.4~4.5 km/sec の基盤速度層内に納めることが可能である。
- ・調圧水槽以降の水平トンネル-水圧鉄管立坑連結部付近は、一部Gneissosed Granite 中に位置し、立坑の立上がり部分は、弾性波層度 2.4~2.5 km/sec 層中に計画され、この層は多少風化を受けた岩盤に相当する。
- ・土被り厚は、200m前後の十分な厚さがある。
- ・地下掘削域に伸びると予想される節理系は、N70° -75° E系、N80° -85° W系、N45° E系、(傾斜はいずれも高角度)等が顕著である。この他、N30° E系(傾斜30° E)の片理構造があり、多様な分離面が掘削部に予想される。

(3) 地質工学的考察

通常直径による水路トンネル、立坑の掘削には問題の少ない岩盤と判断できる。空洞掘削については次のように考えられる。

地下空洞の掘削に伴う安定確保は、設計上重要な事項であるが、このためには、対象地山の初期応力、岩盤の変形特性および強度特性を知る必要がある。

初期応力の水平成分と鉛直成分の比(側圧係数)は、地下空洞の土被り厚が、500m以下の比較的浅い場合には、地形や地質構造、更に地殻変動や造山運動の影響を受けて、1.0を越えることが多い。

水平方向に卓越した地山初期応力が存在する場合には空洞平面の長軸方向を第1主応力方向に一致させて、断面方向に加わる側圧を最小になるように配慮して空洞の安定化を計る工夫が必要であろう。

既存地質情報から推定すると、第1主応力方向は、Arun anticline axis の方向、ほぼ片理構造の走向と直交方向であろう。

これらの事項を精査するために、より密な試錐調査を実施すると共に、天井アーチ付近に調査横坑を掘削して岩盤の性状(岩盤の変形特性および強度特性)を精査すること、および初期地圧の把握が将来の課題である。初期地圧の測定法には、オーバーコアリング法(別名応力解放法)や、A. E. 法(Acoustic Emission

法、kisser効果を用いる。)等がある。

4.6. コンクリート骨材

4.6.1 一般事項

発電所建設には、コンクリート骨材（細骨材、粗骨材）が必要である。これらの材料は、建設現場周辺で調達することが経済的である。

コンクリート骨材には次のような性質が要求される。

- ・岩質が強硬で耐久性を持っていること。
- ・粗骨材としては、一般に粒径20m/m～50m/mのものが良く用いられる。
- ・原石山から採取して、破碎工程を経て粗骨材を造る場合には、岩質によっては扁平な形状となり易いものがある。また粗粒結晶で構成される深成岩や変成岩等は、結晶粒子間に亀裂を残す恐れがあり、このような特性を持った岩石は、骨材の原石として不適當である。

4.6.2 岩質および採取地の検討

本計画地域に分布する地質条件から、骨材の対象層は、段丘砂礫層と花崗質岩石および変成岩類である。

(1) 天然砂礫

ダムサイト、Pikhuwa-Kaguwa発電計画地点近くのアルン川左岸には、河岸段丘が分布する。各々、雨期におけるアルン川からの比高は、20m、20m、および15m、規模300m×150m、500m×140mおよび350m×70mの広がりを持っている。

これらの段丘は、上流から運搬されて堆積した砂礫より構成される。これらの段丘砂礫層は、目視観察によると、巨礫からシルト分に至る広い粒度変化を示し、粒径50m/m以上の体積重量比は、50%以上を越えると判断される。また垂直方向－水平方向の粒度変化も大きい。

各段丘面における堆積物の粒度分析結果から、シルト砂、礫分の重量%は、Table 4-9に示すとおりである。

Table 4-9 Grain Size Analysis

		Silt % under 62 m	Sand % 62 m - 2 mm	Gravel % 2 mm - 50 mm
D/S	1	6	28	72
	2	13	41	46
	3	10	29	61
Pikuwa P/S	1	12	40	48
	2	22	48	29
Kaguwa P/S	3	15	42	43
	4	30	34	36
Arithmetic average		15	37	48

D/S : Dam site
P/S : Powerhouse site

試料は、あらかじめ50m/m 以上の大礫を取り除いて調整し、篩別分析を行った。

・粒度分析の傾向

・シルト分	min. 6% ~ max. 30%	平均 : 15%
・砂分	28 48	平均 : 37%
・礫分	29 72	平均 : 48%

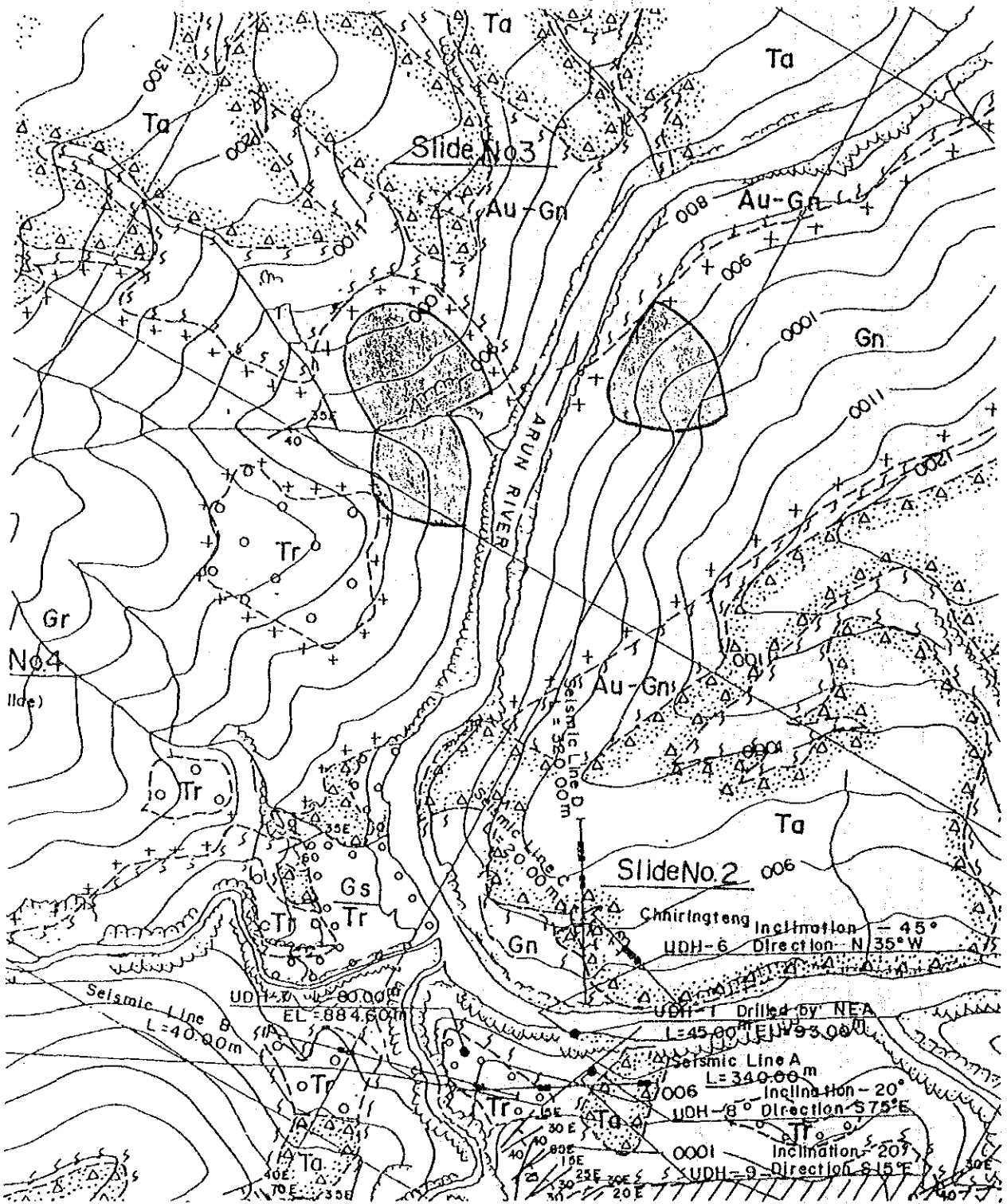
- ・段丘層は、水平、垂直方向の粘度変化が大きい。
- ・目視観察による粒径50m/m 以上の占める重量%は、いずれの段丘も50%以上である。
- ・段丘礫層を骨材（細粗骨材共）として利用するには、歩止まりが悪い。
- ・必要量を確保するには、粒度変化が大きく危険を伴う。
- ・各地点の段丘面は、施工時の工事用ヤード、一部は発電用構造物配置に必要な平坦面であり、骨材採取地とするには貴重な地形面である。

Table 4-10 Comparison of Lithofacies

	Augen gneiss	Mica schist	Fine grained granitics	Amphibolite
Mineral assemblage	Quartz~feldspar~mica	Biotite~muscovite~quartz~garnet	Quartz~feldspar~mica	Amphibole~feldspar
Texture	Composed of porphyroblast of augen feldspar and matrix in which mica~quartz banding is highly developed.	Mica group minerals highly rearranged. Partially contains lenticular segregated quartz.	Rock forming minerals are fine grained and relatively massive.	Fined grained, compact
Foliation	Matrix flakes easily from thinly foliated mica.	Flakes easily.	Exhibits some weak gneissosity, but not to the degree of gneiss.	Gneissosity developed along contact with other formations. Tends to separate easily along contact surfaces
Relative strength	Moderate	Weak	Strong	Strong
Relative density	Moderate (± 2.5)	Low(2~2.4)	Moderate (2.5)	High(3.2)
Unconfined compressive strength	200~400	± 100	500	500
Mode of occurrence	Large formation; stratiform	Large formation, stratiform	Large formation, stratiform (intrusive)	Small formation, stratiform (intrusive)
Overall evaluation as aggregate	O	X	●	X

X: not acceptable
 O: intermediate
 ●: good

Fig. 4-7 Planned Rock Quarry Location on the Dam Site



(2) 砕石骨材

砕石骨材の採取予定位置は、建設工事現場に近い山地であり、原石を掘削・破砕する工程を経て生産される。

分布する地層を検討してTable 4-10に示す。

その結果、対象地層は、一般に細粒な構造をもつ花崗質岩石が、岩相の均一性、硬度、および強度から骨材として他の岩相に優れている。

(3) 検討結果

骨材の対象としては、地質特性その他の条件から判断して花崗質岩石を原石として選定した。

掘削対象地層が分布する原石山候補地点は、ダムサイト側ではFig. 4-7に示す。

発電所側では、Diding部落の西側斜面に分布する花崗岩体等があるが、将来賦存量、品質について詳細な調査が必要である。骨材試験方法には、1964年、国際大ダム会議によって制定された“大ダム用コンクリート骨材の基準” (Guide and Recommendation for Concrete Large Dams) に準拠することがのぞましい。

4.7 計画地点の地震

4.7.1 概要

ネパールを含むヒマラヤ地域の地殻変動と地震発生については“Master Plan Study on the Kosi River Water Resources Development” Final Report Vol. II, Appendix III, March, 1985, JICA に詳述されている。

同レポートの資料によれば、ネパールにおける過去の地震発生の規模および分布はFig. 4-8に示すとおりである。地震は西部に特に多く発生している。中央および東部ではMCT(Main Central Thrust)とMBF(Main Boundary Fault)の中間およびMCTの北部に沿って発生の頻度が多く、MBFの南方では極端に少ない。ネパールにおける地震波の記録は最近の100年間しかなく、それ以前は被害の記録のみである。

Table 4-11に20世紀に発生した主要な地震の記録を示す。

アルン3の計画にあたって、上記ネパール国内の地震記録のみならず、周辺の広範囲にわたって発生した記録を使用して、ダムサイトで予想される地震の規模と頻度の解析を行い、構造物の予備設計に必要な設計震度の検討を行った。

Fig. 4-8 Earthquakes in Nepal

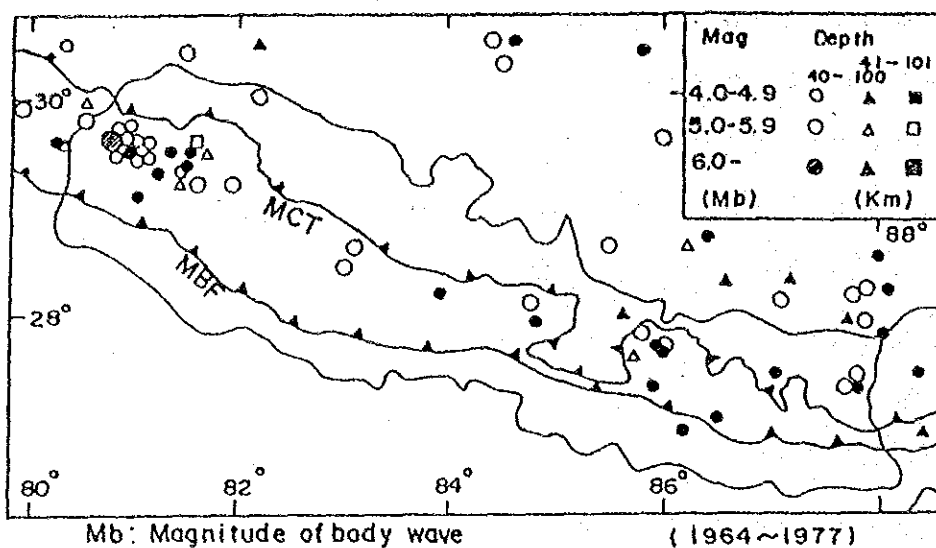


Table 4-11 Major Earthquakes in the 20th Century

Date	Epicenter	Magnitude ^{1/}	Location and Damages
1916	30.00 N	7.5	Far Western Nepal
8.28	81.00 E		Extent of damage unclear
1934	26.5 N	8.4	Nepal - India Border
	86.5 E	(Ms)	Deaths: 8,519 (Nepal), 7,253 (India)
1.15	27.55 N	8.3	Houses Destroyed: 80,893 (Nepal)
	87.09 E	(Ms)	
1936	28.5 N	7.0	Western Nepal (Dhaulagiri)
5.27	83.5 E		Damages unclear
1966	29.6 N	6.0	Far Western Nepal
6.27	80.8 E	(Mb)	Deaths: 42, Houses Destroyed: 3,969
1980	29.6 N	6.1	Far Western Nepal
7.29	81.1 E	(Ms)	Deaths: 178, Houses Destroyed: 13,258

^{1/}: Richter's local magnitude
 Ms: Magnitude of surface wave
 Mb: Magnitude of body wave

4.7.2 アルン3地点における設計震度の検討

計画地域およびその周辺地域で生じた地震記録にもとづき、予想される地震規模と頻度の解析を行い、フィージビリティ設計に必要な設計震度について考察する。

解析は、NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration Environmental Data Service, USA)によって編纂されている“The Earthquake Data File”にもとづいて行った。

データ総数は、アルン3の計画地点を中心にして半径1,000kmの地域内で1963年から1985年間に発生した944個である。このデータのマグニチュードによる規模と震央距離ごとの分布をTable 4-12及びFig. 4-10に示す。

Table 4-12 Distribution of Magnitude and Epicentral Distance of the Seismicity Data

△ : Epicentral Distance [km]
M : Magnitude

	0 ≤ △ < 50	< 100	< 200	< 300	< 400	< 500	< 600	< 700	< 800	< 900	< 1000	Total
3.5 ≤ M < 4.0	0	0	0	0	1	1	0	2	3	2	3	12
< 4.5	1	0	4	4	5	10	10	17	21	30	33	135
< 5.0	0	5	11	10	22	26	49	49	90	122	112	496
< 5.5	2	8	4	6	7	16	22	33	30	64	58	250
< 6.0	0	0	1	1	3	4	6	10	9	12	7	53
< 6.5	0	1	1	1	0	0	0	4	2	3	3	15
< 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
Total	3	14	21	22	38	57	87	115	155	236	216	964

最大加速度の推定は、① C. Oliveira、② R. K. McGuire、③ L. Esteva and E. Rosenblueth、④ T. Katayamaおよび⑤ S. Okamoto によって提唱されている計算式によって行った。

確率計算は、関数の形を極値第三分布に従うと仮定して以下の式で行った。

$$P(x) = \exp \left\{ - \left[\frac{(w-x)}{(w-u)} \right]^k \right\}$$

ここで w : 変数の上限値 upper limit of value

u : Characteristic Value

k : Shape Parameter

x : Log Amax

解析結果をTable 4-13およびFig. 4-9に示す。これによれば100年確率最大加速度は34 gal(C. Oliveira's 公式) から 231 gal(S. Okamoto's 公式) に分布している。また1,000年確率最大加速度は65 gal(C. Oliveira)から 436 gal(S. Okamoto)に分布している。

S. Okamoto式による推定値は他の式による推定値よりもきわだって大きい。5つの式による単純平均は、100年確率が88gal、1,000年確率が165galを示している。

一方、計画地点近傍で発生した歴史的大地震に関する報告から計画地点の既往最大値を推定する。

データは、東からビルマ北部、インドアッサム州ネパールからパキスタン北部を経るMain Central Thrust(MCT) に沿う地点の地震記録であり、1897年以降の $M \geq 7.5$ の8個地震記録(Table 4-14)である。

このデータによれば、計画地点で最大加速度を与える地震は1934 Jan. 12に発生したBihar-Nepal地震(ダム地点まで震央距離142km、マグニチュード8.4)によるものである。その最大加速度は128gal(McGuire's formula)または122gal(Katayama's formula)である。

またEsteve et al. やOliveiraの式によれば最大加速度は、32gal~35galとなる。

以上の確率震度および既往最大震度の計算結果から、設計震度を0.12に設定した。

この設計震度については、MCTを考慮に入れて実施設計時点で最終的に決定されるであろう。

Table 4-13 Maximum Accelerations for Five Return Periods

Model (Eq.No.)	Proposer(s)	Return Period, Tr (year)				
		50	100	200	500	1000
(1)	C. Oliveira	26	34	42	55	65
(2)	R. K. McGuire	71	84	97	113	125
(3)	L. Esteva & E. Rosenblueth	28	41	57	85	113
(4)	T. Katayama	38	48	59	75	87
(5)	S. Okamoto	164	231	298	381	436

Fig. 4-9 Return Period for Maximum Accelerations

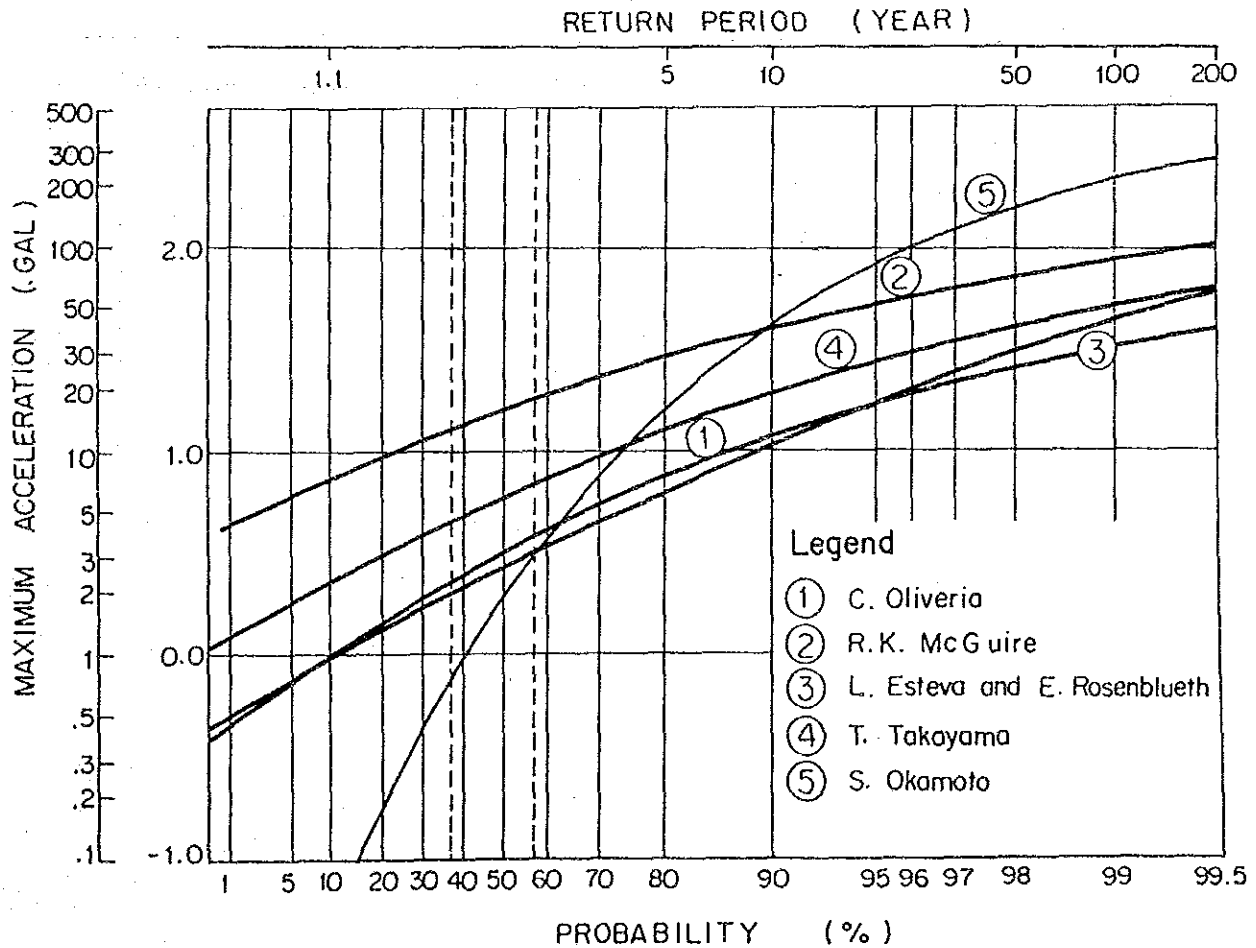


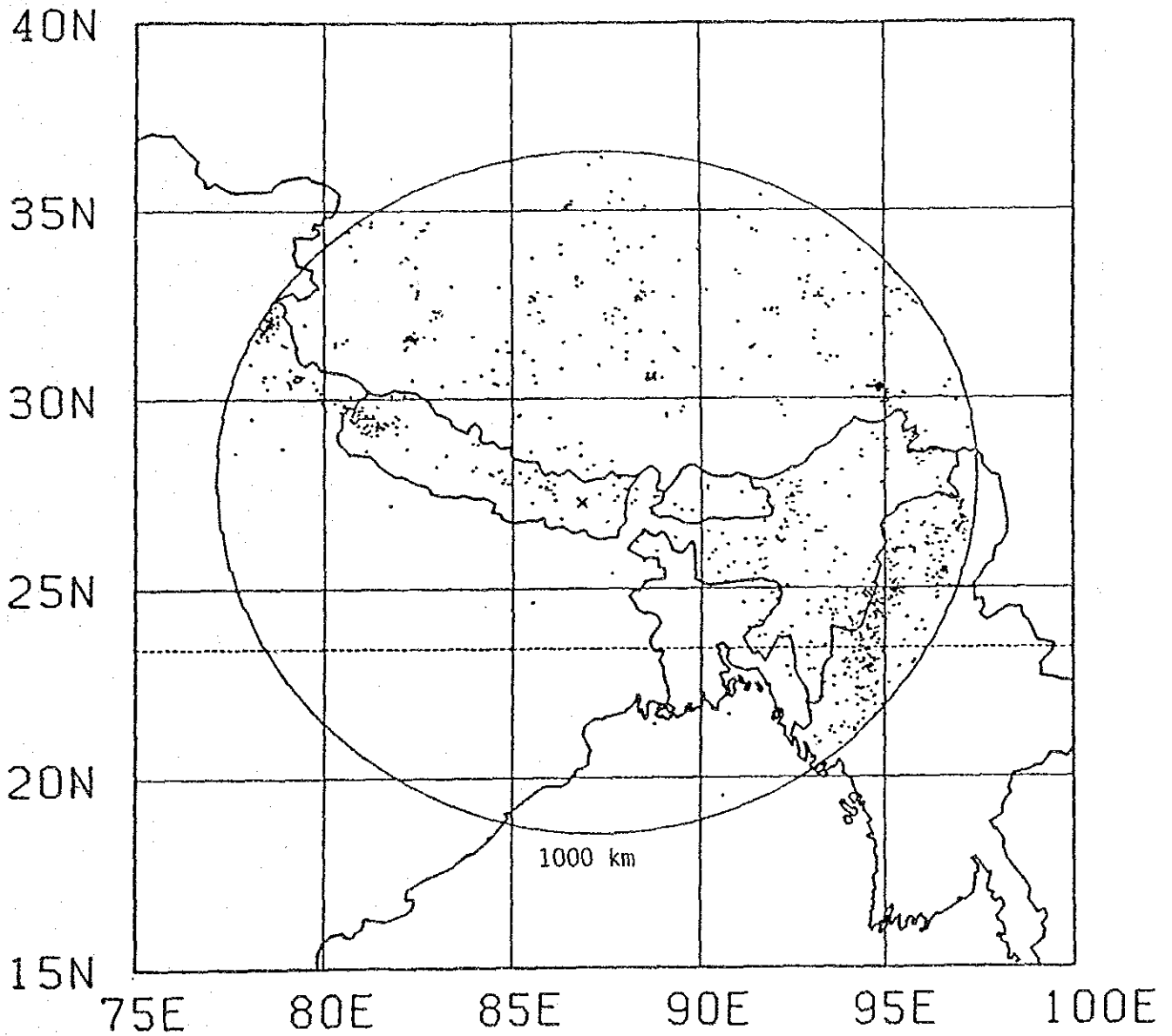
Table 4-14 Earthquakes of Magnitude Greater than 7.5
in the Vicinity of the Himalaya Frontal Arc
since 1897 (After Singh and Gupta, 1980)

Date	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Location	Death	Magni- tude
12 June 1897	25.9	91.8	Assam	1,600	8.7
4 April 1905	33.0	76.0	Kangra Valley	19,000	8.6
12 December 1908	26.5	97.0	Burma	-	7.5
8 July 1918	24.5	91.0	Assam	-	7.6
12 January 1934*	26.5	86.5	Bihar-Nepal	11,000	8.4*
30 May 1935	29.5	66.7	Quetta	30,000	7.6
29 July 1947	28.5	94.0	NE Assam	-	7.9
15 August 1950	28.5	96.7	Assam	1,526	8.7

Source: Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 76,
No. 1, PP205-295, Feb. 1986

Large Artificial Water Reservoirs in the Vicinity of the
Himalayan Foothills and Reservoir-induced Seismicity by
H. K. Gupta and K. Rajendran.

Fig. 4-10 Seismicity of All Data in 1963 - 1985



Total Number of Plots in the area of $\Delta \leq 1000.0$ (km) is 964.

