

第7章 地質

7.1 計画地域の地質概要

ネパールは北から南へ、Tibetan – Techys Zone、Higher Himalayan Zone、Lesser Himalayan Zone、Sub – Himalayan Zone、Terai Zone の5つの地質構造区に分けられる。

- Tibetan-Techys Zone はネパールの最も北側に位置しており、古生代～古第三紀の頁岩、石灰岩、砂岩等の堆積岩類から構成されている。ヒマラヤ山脈のエベレスト、マナスル、アンナプルナ等の山々は、この地質構造区に属している。
- Higher Himalayan Zone は、Tibetan – Techys Zone の南側および下位に位置しており、その南縁は MCT (Main Central Thrust) で Lesser Himalayan Zone と接している。Higher Himalayan Zone は、主に片麻岩、片岩、大理石などの変成岩からなっており、上部には花崗岩類もみられる。
- Lesser Himalayan Zone は、北側の Higher Himalayan Zone と南側の Sub – Himalayan Zone に挟まれた幅の広い地質構造区で、北側は MCT (Main Central Thrust) が、南側は MBT (Main Boundary Thrust) が、それぞれの地質構造区の境界となっている。Lesser Himalayan Zone は、先カンブリア紀～古第三紀の粘板岩、千枚岩、片岩、コーツァイト、石灰岩、ドロマイトなどの堆積岩、変成岩からなっており、衝上断層やナップが発達している。
- Sub – Himalayan Zone は北側を MBT (Main Boundary Thrust) に、南側を HFT (Himalayan Frontal Thrust) に境された地質構造区で、一般に北側へ傾斜した新第三紀の堆積岩類により構成されている。この地質構造区の下部はシルト岩、砂岩、泥岩、中部は中～細粒砂岩、上部は礫岩よりなっている。
- Terai Zone はネパールの南縁を形成しており、沖積層からなっている。

アッパーセティ計画地点は、上記5つの地質構造区のうち、Lesser Himalayan Zoneに位置しており、**Fig. 7.1-1**に示すように先カンブリア紀～古生代のNawakot層群に属するNourpul層、Dhading Dolomite、Benighat Slateが分布している。Nourpul層およびDhading Dolomiteは後期先カンブリア紀～前期古生代の地層で、ドロマイト、粘板岩、千枚岩、コーツァイト、ドロマイト質コーツァイト、コーツァイト質千枚岩などからなり、Benighat Slateは後期古生代の地層で、粘板岩、千枚岩、石灰質粘板岩と少量のコーツァイトからなっている。これらの地層は、セティ川とほぼ平行な東西ないし西北西―東南東の走向で、南側へ傾斜して分布している。

7.2 地質調査工事

7.2.1 既往地質調査工事

アッパーセティ水力発電計画に関する地質調査工事は、2000 年に NEA (Nepal Electricity Authority)により実施され、Report on the Feasibility Study of Upper Seti Storage Hydroelectric Project, July 2001 として取り纏められている。この調査で実施された調査工事は以下の通りである。

a. 地表地質調査

調査地域 : ダム地点および発電所地点、水路経過地、貯水池周辺
 使用地形図縮尺 : 1/1,000 (ダム地点および発電所地点)、1/10,000 (水路経過地)、1/25,000 (貯水池)

b. 調査ボーリング (詳細はTable 7.2.1-1に示す)

調査地域 : ダム地点、仮排水路、発電所・調圧水槽 (旧計画地点)
 数 量 : 7 孔 312.8 m

c. 弾性波探査

調査地域 : ダム地点、発電所地点 (旧計画地点)
 数 量 : 26 測線、3,335 m

d. 建設材料調査

テストピット : 27 坑

Table 7.2.1-1 Investigation Drillings carried out by NEA on 2000

Drill hole No.	Length (m)	Elevation (m)	Inclination & Direction		Location	Co-ordinate		Remarks
			Inclination	Direction				
DDH-1	50.0	308.6	90°	*	Dam axis, R/B	525464.41	3092810.39	
DDH-2	7.0	309.2	70°	N280	Downstream of dam axis (L/B)	525444.1	3092882.24	
	8.5	309.2	65°	N280	ditto			
	8.8	309.2	60°	N280	ditto			
	12.0	309.2	90°	*	ditto			
	11.0	309.2	45°	N280	ditto			
DDH-3	50.0	318.2	75°	N312	Downstream of dam axis (L/B)	525500.19	3092993.88	
DT-2	25.0	323.2	60°	N165	Diversin Outlet	525623.88	3092955.64	
DPH-1	50.0	328.9	90°	*	Powerhouse	527423.68	3092468.98	Old Layout
DPH-2	24.5	299.6	75°	N270	Alternative Powerhouse	527833.34	3092772.4	Old Layout
DST-1	66.0	472.2	90°	*	Surgetank	527168.13	3092494.15	Old Layout
Total	7 holes	312.8 m						

7.2.2 今回実施された地質調査工事

今回の Upgrading Feasibility Study のために実施された調査工事は以下の通りである。

a. 地表地質調査

調査地域 : ダム地点および発電所地点、放水口地点周辺、貯水池周辺
 使用地形図縮尺 : 1/1,000 (ダム地点および発電所、放水口地点)、1/25,000 および 1/5,000 (貯水池)

b. 調査ボーリング (詳細はTable 7.2.2-1に示す)

調査地域 : ダム地点、仮排水路、放水路、地下発電所地点、取水口地点
 数 量 : 19 孔 1,623.3 m
 透水試験 : 194 区間

c. ボーリングコア室内試験

試料採取地点 : ダム, 取水口, 放水口
 数 量 : 一軸圧縮試験 ; 28 試料, 圧裂引張試験 ; 15 試料,
 物理試験 (比重・吸水率) : 22 試料

Table 7.2.2-1 Investigation Drillings carried out in the Study

Drill hole No.	Length (m)	Elevation (m)	Inclination & Direction		Location	Coordinate		Remarks
			Inclination	Direction		E	N	
B-1	150.0	515.00	90°	*	Dam axis, L/B	525,298.850	3,092,828.490	by NEA
B-2	100.0	408.00	45°	N287	Dam axis, L/B	525,389.560	3,092,788.590	ditto
B-3	100.55	328.50	45°	N287	Dam axis, L/B	525,417.220	3,092,706.400	ditto
B-4	120.5	328.50	80°	N287	Dam axis, L/B	525,417.220	3,092,706.400	ditto
B-5	100.5	307.93	90°	*	Dam axis, River bed	525,459.840	3,092,798.930	ditto
B-6	92.0	307.93	45°	N107	Dam axis, River bed	525,459.840	3,092,798.930	ditto
B-7	50.0	307.93	45°	N287	Dam axis, River bed	525,459.840	3,092,798.930	ditto
B-8	100.0	401.60	45°	N107	Dam axis, R/B	525,502.470	3,092,723.720	ditto
B-9	150.0	527.50	90°	*	Dam axis, R/B	525,590.680	3,092,749.380	ditto
B-10	30.0	308.45	90°	*	Dam toe, R/B	525,487.210	3,092,868.890	ditto
B-11	30.0	307.46	90°	*	Dam toe, L/B	525,445.510	3,092,875.740	ditto
B-12	120.0	401.60	45°	N020	Dam axis, R/B	525,502.470	3,092,723.720	ditto
BP-1	100.0	370.97	50°	N180	Underground Powerhouse (Option2)	525,622.522	3,092,888.654	ditto
BH-1	90.0	430.95	90°	*	Intake (Option 2)	525,567.697	3,092,659.422	by Study team
BH-2	50.0	320.09	90°	*	Diversion Outlet	525,737.629	3,092,966.836	ditto
BH-3	50.0	331.79	90°	*	Tailrace Outlet (Option2)	525,634.116	3,092,947.201	ditto
BH-4	90.0	427.02	90°	*	Intake (Option 3)	525,669.118	3,092,472.343	ditto
BH-5	50.0	358.31	90°	*	Downstream of dam (L/B)	525,591.511	3,093,103.786	ditto
BH-6	50.0	313.60	90°	*	Tailrace Outlet (Option 3)	527,052.143	3,092,078.266	ditto
Total	19 holes	1623.55 m						

< Note > Three investigation drillings for the Option III-b underground powerhouse are planned.
 They are commenced in March, 2007 by NEA and are under drilling in June 2007.

7.3 各構造物地点の地質

7.3.1 貯水池

(1) 地形

セティ川は Annapurna 山脈に源を発し、Pokhara Valley を通り、貯水池背水端の上流部ではほぼ北から南へと流れているが、貯水池背水端付近で流れの方向を大きく変え、ダム軸直上流付近までは西から東へとほぼ直線的に流れている。その後、ダム軸付近で北方に流れの向きを変え、ダム軸の約 2 km 下流で Madi 川と合流した後、大きくカーブして南ないし南南西方向に流れている。貯水池周辺の山体は、貯水池の左岸および右岸中流部～下流部では標高 EL.1,000 m 前後の急峻な山々がほぼ東西方向に連なり、右岸上流部では標高 700～800 m のやや緩やかな山容を呈している。

計画貯水池の長さは約 18 km で、ダム地点から約 11 km 上流までは両岸斜面の傾斜が 40° 程度の急峻な渓谷を形成している。一方、これより上流では両岸、特に右岸側に数段の段丘面が広がるとともに、南西ないし南から数条の支流が流れ込み、全体に緩やかな地形を呈している。貯水池上流部右岸の Jaruwapani から Bhimad Bajar（貯水池背水端付近）にかけて、広く分布する段丘面は畑として利用され、集落が散在している。またこの付近では、固結度の低い段丘堆積物がセティ川の侵食作用受け、高さ 20～30 m の垂直な崖を所々に形成しており、崖の直上には民家や畑が広がっている。

満水位標高 EL.415 m での谷幅は、ダム軸で約 90 m、ダム軸から約 11 km 上流までは 300～400 m、それより上流で 500～600 m となっている。

なお、当貯水池内には地滑り地形や大規模な崩落地形および他の流域と接する薄い鞍部地形などは見あたらない。

(2) 地質

貯水池地域には、**Fig. 7.3.1-1**に示すように先カンブリア紀～古生代のドロマイト、粘板岩、千枚岩と段丘堆積物、崖錐堆積物、現河床堆積物からなる第四紀堆積物が分布している。

ドロマイトはダム地点から貯水池中流部までの左岸側に分布しており、ほぼセティ川と平行な東西方向の走向で、南側へ 40°～60°傾斜している。このドロマイト中には、ダム地点において径数 cm～数 10 cm の溶食空洞が一部に観察されるが、貯水池地域の現地踏査、航空写真判読の結果では、貯水池地域には顕著なカルスト現象、カルスト地形は観察されない。

粘板岩および千枚岩は、ダム直上流から中流部までの右岸側と貯水池上流部の両岸に分布しており、ドロマイトと同様に東西方向の走向で南側へ 40°～60°傾斜している。ドロマイトと粘板岩・千枚岩は、ダムサイトの約 200 m 上流からセティ川沿いに Tuttuwa まで延びる断層で接しているものと推定される。

第四紀堆積物のうち、崖錐堆積物は大部分が満水標高 EL.415 m より下部に分布しているが、貯水池中～上流部の数箇所では満水標高より高い部分まで連続して分布している。

段丘堆積物は貯水池上流部の Geruwa から貯水池背水端付近の Bhimad Bajar にかけて分布している。航空写真判読によると 6 段の段丘面が確認され、最上流の Bhimad Bajar 付近で EL.440 m ~ 460 m、最下流の Geruwa 付近で EL.380 m に段丘面が確認される。これらの段丘堆積物は、石灰質なシルト～細粒砂をマトリックスとし、粘板岩、石灰岩などの小～中礫からなっている。場所により若干の性状の違いが見られ、シルト～細粒砂を主体とし礫分を薄層として挟在している場合と、礫分が主体となっている場合がある。

この段丘堆積物は、Yamanaka et. al (1982) がポカラ層と名づけた地層に属している。Yamanaka et al (1982) は、Pokhara Valley の堆積物をその岩相と不整合関係から 9 つの地層に分け、そのうちのポカラ層の一般的な特徴を以下のように述べている。

「ポカラ層は、セティ川により形成された河成堆積物で、石灰岩、石灰質頁岩と少量の片麻岩、花崗岩、片岩の亜角～亜円礫、小～中礫と、灰～淡褐色の石灰質のシルト、細粒砂のマトリックスから構成されている。ポカラ層は一般的に固結度が低い。」

また、Hormann (1974) は、ポカラ層に相当する地層を、最終氷期に形成された氷河堆積物であるとしたが、Yamanaka et al (1982)、Fort (1987) が行った放射性炭素年代測定によるとポカラ層の年代は 400 year B.P. ~ 1100 year B.P. であり、ポカラ層が後氷期の堆積物であることを示している。

(3) 地質工学的評価

1) 貯水池の保水性

貯水池周辺に広く分布する粘板岩・千枚岩は、一般に表層の風化部や破碎部以外では透水性の大きな部分が連続することはない。また、ダムおよび貯水池周辺において、これらの岩石の分布域では沢に流水が認められ、地下水位が山体内で高くなっていることを示している。一方、貯水池中流部から下流部の左岸側にはドロマイトが分布しているが、このドロマイト分布地域には顕著なカルスト地形は認められず、また、ドロマイトの岩体の北側には粘板岩（Benighat Slate）、千枚岩（Nourpul 層）が広く分布している。さらに、地形的にも漏水が懸念されるような鞍部、やせ尾根等はない。以上のような地形、地質状況から判断すると、貯水池の保水性は十分保証されるものと考えられる。

2) 周辺斜面の安定性

貯水池周辺斜面の安定性に関係するものとして、貯水池周辺に分布する崩壊地、崖錐堆積物および貯水池上流部で崖を形成している段丘堆積物が挙げられる。

a) 崩壊地・崖錐堆積物

貯水池中流部～上流部にかけて小規模な崩壊跡地・崩壊地が散在しているが、これらは EL.500 m ~ 700 m の高標高部に位置しており、貯水池に影響を与えるものではない。また、崖錐堆積物の一部は満水標高より高くまで分布しているが、規模は小さく、例えその一部に崩壊が発生したとしても貯水池や周辺環境に被害を及ぼすものではない。

b) 段丘堆積物

貯水池上流部の Geruwa から貯水池背水端付近の Bhimad Bajar にかけて分布する段丘堆積物は、セティ川の浸食作用により多くの場所で垂直な崖を形成している。これらの崖は現状においても完全に安定しているものではなく、徐々に崩壊が進行し長期的には垂直な形状を保ったまま少しずつ山側へと後退していくものと考えられる。例えば、Bhimad Bajar の民家の直下の崖（高さ約 25 m）を観察すると、崖の下部において高さ 3 m 程度の表層崩壊が何箇所かで発生しており、崖中腹部においても崖に平行な亀裂が観察される。これは、洪水期のセティ川の浸食または浸潤による堆積物の強度劣化によるものと推定される。貯水池の計画満水位(EL.415m)はこの崖の下部に位置することとなり、湛水により崖の侵食、強度劣化を促進する可能性がある。これと同じような状況は、Bhimad Bajar の下流約 6 km の Jaruwapan まで多くの場所に存在している。これらの崖に対しては何らかの対応策が必要となるが、その範囲、方法の詳細については、D/D 段階において、1/1,000～1/5,000 の詳細な地形図、それに基づく地質図を作成した上で検討することが必要である。

7.3.2 ダム

(1) 地形

ダム地点は、セティ川とその支流 Madi 川との合流点より約 2 km 上流に位置し、ダム軸上の河床標高は約 300 m である。セティ川は、貯水池背水端付近からほぼ直線的に西から東へと流れているが、ダム軸の約 200 m 上流付近で、その向きを北方に変え、さらにダム軸下流約 200 m 付近で再び東方向へと流れの向きを変えている。

ダム地点の右岸山体は、標高 500 m～1,000 m の南北方向に延びる主尾根から、東西方向に派生した標高 500～550 m の痩せた尾根よりなっている。この尾根の満水位標高 EL.415 m での尾根幅は、150～200 m である。一方、左岸側山体は貯水池に沿って延びる標高 1,000 m 前後の尾根の東端に位置している。

ダム地点の右岸斜面は、河床から標高 380 m 付近まで約 75 度の傾斜、標高 380 m 以上で 60 度の傾斜を示す。また、左岸斜面は、河床から標高 410 m 付近まで 70～80 度の傾斜、標高 410 m 以上で 45 度の傾斜をなしている。これらの斜面には左岸の標高 410 m 以上の部分を除いて表土はほとんど無く、ダム軸から上流 200 m、下流 100 m 区間には基岩が露出している。

ダム軸上での河床幅は、約 30 m、満水位標高 415 m での谷幅は、約 90 m である。

(2) 地質

ダム地点には、Fig. 7.3.2-1, Fig. 7.3.2-2に示すようにDhading Dolomiteと呼ばれる後期先カンブリア紀～前期古生代のドロマイトとそれを覆う崖錐堆積物および現河床堆積物が分布している。

1) 基礎岩盤

ダムの基礎岩盤は、灰～暗灰色のドロマイトからなる。このドロマイトは、一般的に

は厚層で堅硬な岩石であるが、所々に、厚さ 1～2 m の細粒化しやすい千枚岩質ドロマイト層を挟在している。また、取水口地点に掘削された HB-1 孔では、ドロマイトの中に厚さ 3～4 m のコーツァイトおよびドロマイト質コーツァイト層が見られる。これらの地層は河川に直交して上流側へ傾斜する WNW-ESE ないし E-W の走向で、南へ 45～60°傾斜して分布している。風化の程度は全般に小さく、両岸斜面の高標高部において厚さ 1～5 m 程度、酸化褐色部がみられるのみである。

本地点のドロマイトには、径数 cm ～ 数 10 cm の溶食空洞が、所々に観察される。溶食空洞が最も顕著に観察されるのは、右岸尾根の頂部に近い標高 530 m 付近であり、溶食空洞の最大径は 1 m に達する。しなしながら、この地点で掘削された B-9 孔では、深度 20 m (EL.507 m) 付近までは亀裂面に沿って溶食現象が観察されるものの、それ以深では溶食現象は観察されない。一方、左岸斜面では標高 330 m 付近の道沿いで、節理や小断層に沿って数 cm ～ 20 cm 程度の溶食空洞が所々に観察されるほか、B-1 孔において深度 138 m (EL.377.1 m) で 60 cm 区間にわたり溶食空洞が確認されている。また、右岸下流の河床部で掘削された DDH-2 孔では、深度 3～5 m (EL.304～306 m) の区間で割れ目がわずかに溶食を受けている。ダム地点で掘削された 15 孔 (B-1 孔 ～ B-12 孔および DDH-1 孔 ～ DDH-3 孔、延長 1,290 m) のボーリングでボーリングコアに溶食現象が観察されるのは、上述した B-1 孔の深度 138 m、B-9 孔の深度 4～20 m および DDH-2 孔の深度 3～5 m のみである。

ダム地点には規模の大きな断層は現在までのところ確認されないが、小規模な断層(幅 20 cm ～ 200 cm) がいくつか見られる。これらの断層には断層粘土はなく、割れ目が 1～2 cm 間隔で発達したゾーンとなっており、ダム軸付近では N-S から NW-SE の走向で南西に 20～30°傾斜して分布している。これらの断層以外では、前述した千枚岩質ドロマイト層に割れ目が発達しており、破碎部に似た状況を呈している。節理は、

- WNW-ESE, 40-50S
- N-S, 80E ～ 90
- NW-SE, 50SW
- NE-SW, 80N ～ 90

の 4 つの節理系が認められる。

2) 表層堆積物

a) 崖錐堆積物

崖錐堆積物は、右岸側ではダム軸の下流 100 m ～ 400 m の右岸尾根北側斜面に厚く分布している。左岸側では、標高 410 m 以上の傾斜が 40°程度とやや緩やかな斜面に薄く分布している。

b) 現河床堆積物

現河床堆積物の厚さは、ダム軸の約 50 m 下流の河床部で掘削された B-10 孔で 15 m、B-11 孔で 18 m、ダム軸沿いの河床部で掘削された B-7 孔(傾斜 45°)で 18 m

(ボーリング深度では 25 m) である。

3) 岩盤分類

本地点では、岩盤の風化、硬さ、割れ目間隔の 3 要素に基づいて分類を行い、その 3 要素の組み合わせにより岩盤評価を実施した。分類要素基準を**Table 7.3.2-1**に、岩盤評価基準を**Table 7.3.2-2**に示す。

Table 7.3.2-1 Standard of Rock mass Classification(for Drilled Core)

CLASS	WEATHERING	HARDNESS	JOINT SPACING
1	Very fresh. No weathering of mineral component.	Very hard. Broken into knife-edged pieces by strong hammer blow.	over 30 cm
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually, no brown crack.	Hard. Broken into pieces by strong hammer blow.	10 to 30 cm
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered mineral.	Brittle. Broken into pieces by medium hammer blow.	5 to 10 cm
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.	Very brittle. Easily broken into pieces by slight hammer blow.	1 to 5 cm
5	Strongly weathered. Most of minerals are weathered and altered to secondary minerals.	Soft. Able to dig with hammer.	under 1 cm

Table 7.3.2-2 Standard of Rock Mass Evaluation

		Joint Spacing								
Weathering	Hardness	1	1~2	2	2~3	3	3~4	4	4~5	5
1 1~2	1	A								
	1~2		B							
2 2~3	2				CH					
	2~3									
3 3~4	3					CM				
	3~4									
4 4~5	4								CL	
	4~5									D
5	5									

a) ダム右岸

右岸斜面高標高部で掘削された B-9 孔では、深度 42 m まで CH 級を主体とする良好な岩盤よりなるが、深度 42 m から 105 m の区間では CM 級および CM~CL 級となり、深度 105 m 以深では CL 級を主体とする割れ目の非常に発達した状態となっている。RQD は、深度 5 m ~ 42 m の区間で 0 ~ 74%、平均 34%、深度 42 m ~ 105 m の区間で 0 ~ 44%、平均 6%、深度 105 m ~ 150 m の区間で 0 ~ 37%、平均 4% である。斜面中腹部に掘削された B-8 孔では、深度 33 m までと深度 91 m ~ 100 m の区間で CM~CL 級および CL 級の割れ目の非常に発達した岩盤となっているが、深度 33 m ~ 91 m の区間では CM 級、CH 級の比較的良好な岩盤となっている。RQD は、深度 0 ~ 33 m で 0 ~ 26%、平均 2%、深度 33 m ~ 91 m の区間で 0 ~ 49%、平均 12%、深度 91 m ~ 100 m の区間で 0% である。同じく斜面中腹部で掘削された B-12 孔では、割れ目の発達した CM~CL 級の岩盤と比較的良好な CM~CH 級の岩盤が孔底まで繰り返し出現しており、RQD は 0 ~ 67%、平均 9% である。斜面下部で掘削された B-6 孔では、深度 74 m 以深で CM~CL 級および CM 級の岩盤となっているが、それ以外では CH 級を主体とした比較的良好な岩盤となっている。RQD は深度 0 m ~ 74 m の区間で 0 ~ 82%、平均 32%、深度 74 m ~ 91 m の区間で 0 ~ 22%、平均 5% である。

b) 河床部

河床部で掘削された B-5 孔、B-7 孔では、CH 級、CM 級と一部 CH ~ B 級の比較的良好な岩盤からなっている。RQD は、B-5 孔で 0 ~ 78%、平均 15%、B-7 孔で 0 ~ 78%、平均 21%である。

c) ダム左岸

左岸斜面高標高部で掘削された B-1 孔は、CH 級を主体とする良好な岩盤であるが、溶食空洞の見られる深度 138.0 m から 144 m の区間は割れ目の多い CL 級の岩盤となっている。RQD は、0 ~ 89%、平均 33%である。斜面中腹部で掘削された B-2 孔では、深度 6.4 m までは割れ目の発達した CM ~ CL 級の岩盤であるが、深度 6.4 m ~ 65 m 区間は B 級を主体にした非常に良好な岩盤、深度 65 m ~ 100 m の区間は CH 級および CH ~ CM 級の概ね良好な岩盤となっている。RQD は、深度 6.4 ~ 65 m の区間で 0 ~ 93%、平均 59%、深度 65 m ~ 100 m の区間で 0 ~ 69%、平均 30%である。斜面下部で掘削された B-3 孔、B-4 孔では、CH 級、CM 級の概ね良好な岩盤からなっている。RQD は B-3 孔で 0 ~ 89%、平均 35%、B-4 孔で 0 ~ 88%、平均 42%である。

4) 地下水

a) ダム右岸

ダム右岸で掘削された B-8 孔、B-9 孔、B-12 孔では孔内水位は確認されていない。しかしながら、ダム軸のやや下流側で Option II の地下発電所地点に対して掘削された BP-1 孔（傾斜 50°）では、深度 56 m (EL.328.07)で、また、ダム軸上流の取水口地点で掘削された BH-1 孔では深度 81 m (EL.350.70)で地下水位が確認されている。このことから、右岸側では地下水位は深いものの、山側に向かって地下水位が上昇していることが確認される。

b) ダム左岸

ダム左岸で掘削された 4 孔のボーリング孔のうち、河川に近い B-3 孔（傾斜 45°）で深度 21 m (EL.313.65 m)、B-4 孔（傾斜 80°）では深度 20 m (EL.308.8 m)で地下水位が確認されている。一方、斜面中腹部に掘削された B-2 孔では孔内水位は確認されず、斜面上部で掘削された B-1 孔では、乾季には孔内水位が確認されないが、雨季には深度 139 m ~ 144 m (EL.377.1 ~ 376.1)に地下水位が観察される。

5) 透水性

ダム地点で実施された透水試験の結果をTable 7.3.2-3に示す。

Table 7.3.2-3 Results of the Lugeon Tests at the Damsite

Left Bank								River Bed						Right Bank																	
B-1		B-2		B-3		B-4		B-5		B-6		B-7		B-8		B-9		B-12													
Depth(m)	Lu	Depth(m)	Lu	Depth(m)	Lu	Depth(m)	Lu	Depth(m)	Lu	Depth(m)	Lu	Depth(m)	Lu	Depth(m)	Lu	Depth(m)	Lu	Depth(m)	Lu												
0-5	NT	0-5	NT	0-5	NT	0-5	NT	0-5	NT	0-5	NT	0-5	NT	0-5	NT	0-5	NT	0-5	NT												
5-10	NT	5-10	NT	5-10	NT	5-10	NT	5-10	NT	5-10	NT	5-10	NT	5-10	NT	5-10	NT	5-10	NT												
10-15	1.35	10-15	53.0	9.85-14.85	35.86	10.8-14	12	10-15	NT	10-15	1.8	10-15	NT	10-15	NT	10-15	NT	10-15	NT												
15-20	8.8	15-20	65.0	14.95-19.95	34.56	15.3-18.5	30.82	15-20	NT	15-20	1.2	15-20	NT	15-20	NT	15-20	NT	15-20	13.3												
						18.3-21.5	44.3																								
20-25	NT	20-25	63.0	20-25	4.49	22.8-26	36.74	22.5-25.5	3.4	20-25	10.0	20-25	NT	20-25	9.11	20-25	29.0	20-25	NT												
25-30	2.7	25-30	55.0	25-30	3.19	26.0-30.3	NT	25.5-28.5	2.68	25-30	1.40	25-30	NT	25-30	11.0	25-30	31.0	24.4-29.4	52.0												
								28.5-31.5	4.14																						
30-35	1.7	30-35	34.0	30-35	4.53	30.3-33.5	43.8	31.5-34.5	1.37	30-35	27.0	30-35	7.75	30-35	NT	30-35	28.0	30-35	NT												
35-40	NT	35-40	38	35.6-40.6	5.33	37.8-41	2.00	34.5-39	1.86	35-40	1.48	35-40	3.10	35-40	31.8	35-40	18.0	35-40	0.13												
40-45	23.9	40-45	26.0	40.5-45.5	15.09	41-44.2	2.57	39-43.5	2.93	40-45	1.30	40-45	1.70	40-45	NT	40-45	22.0	40-45	5.18												
45-50	NT	45-50	17.0	45-50	NT	44.05-47.25	6.45	43.5-48	3.08	45-50	2.10	45-50	2.15	45-50	1.23	45-50	25.0	45-50	1.0												
						47.2-50.4	1.57																								
50-55	16.21	50-55	15.0	51.3-56.3	2.11	51.3-54.5	2.45	48.15-54.15	4.33	50-55	1.60			50-55	5.02	50-55	15.0	50-55	NT												
55-60	2.23	55-60	14.0	56.75-61.75	2.71	55.8-59	1.64	54.15-58.65	4.61	55-60	1.0			55-60	2.88	55-60	14.0	54-59	1.92												
60-65	1.17	60-65	13.0	60-65	NT	59.8-63	1.82	58.65-63.15	1.46	60-65	1.40			60-65	1.21	60-64.95	12.0	60-65	NT												
						63.4-66.6	5.22																								
65-70	1.0	65-70	18.0	64-69	2.50	67.97-71.17	2.38	63.15-67.65	0.90	65-70	2.90			65-70	NT	65-70	NT	65-70	0.61												
70-75	1.7	70-75	5.0	69.9-74.9	2.00	72.3-77.3	1.05	67.65-72.15	1.26	70-75	2.35			70-75	18.0	70-75	NT	70-75	NT												
								72.15-76.65	0.93																						
75-80	1.49	75-80	6.0	75.05-80.05	1.79	77.4-82.4	1.27	76.65-81.15	13.7	75-80	NT			75-80	4.5	77-82	2.0	73.35-80.35	1.36												
80-85	1.67	80-85	NT	80.2-85.2	2.10	82.65-87.65	2.00	81.15-85.65	0.46	80-81.2	1.38			80-85	18.3	80-85	NT	80.65-85.65	3.86												
85-90	1.04	85-90	7.0	85-90	1.50	88.6-93.6	1.30	85-90	NT					85-90	6.49	85-90	NT	85-90	NT												
90-95	11.7	90-95	9.0	90-95	NT	93.7-98.7	1.95	90-95	NT					90-95	22.4	90-95	NT	91.3-96.3	3.86												
95-100	0.57	95-100	10.0	95.5-100.5	2.55			96-100.5	0.88					95-100	13.9	95-100	7.0	95-100	NT												
100-105	NT					99.1-104.1	1.42									100-105	NT	100-105	1.72												
105.8-110.8	4.49					104.3-109.3	2.09									104-109	6.0	105-110	12.6												
110-115	NT					110-115	NT									110.2-115.2	10	110-115	NT												
115-120	1.76					115.5-120.5	3.39									115-120	NT	115-120	5.08												
120-125	NT															120-125	NT														
125-130	0.84															125-130	NT														
130-135	NT															129-134	7.0														
135-140	NT															135-140	NT														
140-145	NT															140-145	NT														
145-150	1.6															145-150	5.0														

Remarks: NT stands for No Lugeon Test

a) ダム右岸

右岸斜面高標高部で掘削された B-9 孔では、深度 65 m まで $Lu = 10 \sim 30$ と大きな透水性を示すのに対し、深度 65 m ~ 150 m の区間では $Lu = 5 \sim 10$ と透水性はやや小さくなっている。但し、この区間では岩盤に割れ目が発達しているため、ルジオン試験が実施されているのは約 40% の区間のみである。斜面中腹部部で掘削された B-8 孔、B-12 孔では深度 30 ~ 40 m まで、 $Lu = 10 \sim 50$ と大きく、それ以深では $Lu = 1 \sim 3$ 程度と全般に透水性は小さくなっている。しかしながら、深部においても透水性の大きな部分が存在しており、B-8 孔の深度 70 ~ 100 m の区間では $Lu = 10 \sim 20$ を示している。斜面下部で掘削された B-6 孔では、 $Lu = 1 \sim 3$ と透水性は全般に小さいが、深度 35 m まで $Lu > 10$ の区間が所々で見られる。

b) 河床部

河床部で掘削された B-5 孔（ルジオン試験実施区間 22.5 ~ 100 m）、B-7 孔（ルジオン試験実施区間 30.0 ~ 50.0 m）では、基礎岩盤の透水性は $Lu = 1 \sim 4$ と小さい。B-5 孔の 15 m 下流で掘削されている DDH-1 孔では深度 27.7 m まで $Lu > 50$ と非常に透水性が大きく、深度 32 m 以深で $Lu = 1 \sim 4$ と小さな透水性となっている。このことから、B-5 孔で試験が実施されていない深度 0 ~ 22.5 m 区間も透水性は大きいものと推定される。

c) ダム左岸

左岸斜面高標高部で掘削された B-1 孔では、深度 20 m ~ 55 m の区間で $Lu = 15 \sim 30$ と透水性が大きいが、それ以外では $Lu = 1 \sim 2$ と透水性は小さい。しかしながら、深度 100 m 以深ではルジオン試験は 40% の区間でしか実施されておらず、径 60 cm の溶食空洞が確認されている深度 138 m 付近では、大きな透水性になっているものと推定される。斜面中腹部で掘削された B-2 孔では、深度 70 m まで $Lu = 13 \sim 65$ と大きな透水性を示しているが、深度 70 m 以深では、 $Lu = 5 \sim 10$ とやや小さな透水性となっている。斜面下部で掘削された、B-3 孔、B-4 孔では、深度 25 ~ 35 m まで $Lu = 30 \sim 40$ と透水性が大きいが、それ以深では $Lu = 1 \sim 5$ と透水性は小さい。

(3) 地質工学的評価

地表の地質状況および透水試験を含むボーリングの結果から判断すると、ダム地点に対して以下の土木地質的評価がなされる。

- 1) ダム地点には先カンブリア紀から古生代のドロマイトが分布している。このドロマイトは一般に堅硬で風化の程度も小さいが、割れ目の発達した層準や小断層が所々に認められる。ダム地点で掘削されたボーリングの結果では、左岸側は CH 級から B 級の良好な岩盤、河床部は CH 級を主体とする CH 級 ~ CM 級の概ね良好な岩盤よりなっている。一方、右岸側は河床に近い低標高部を除いて全体に割れ目が発達しており、コアロスの区間や岩片状コアの部分が多いが、斜面中腹部で掘削された B-12 孔（満水位標高より 15 m 下）では、地表から 30 m 以深で CH ~ CM 級の比較的良好な岩盤が分布している。

以上のことから、本地点の基礎岩盤は高さ 140 m 級のコンクリート重力式ダム基礎とし

て概ね十分な地耐力を有するものと判断される。しかしながら、右岸側の岩盤状態については D/D 段階において調査横坑を掘削し、岩盤性状を確認するとともに、原位置試験により変形性、せん断強度の確認を行うことが必要である。

- 2) ルジオン試験の結果によると、 $Lu = 10$ 以上の大きな透水性を示す部分は左岸側で地表から深度 70 m、右岸側で地表から深度 40 m までの区間である。それ以深では右岸深部の一部を除き透水性は小さくなり、 $Lu = 2 \sim 10$ または $Lu < 2$ となっている。河床部では、深度 30 m 付近まで透水性が大きいが、それ以深では $Lu = 1 \sim 4$ と透水性は小さくなっている。兩岸斜面で深い深度まで透水性が大きくなっているのは、急峻な地形のため節理沿いの緩みが深部にまで及んでいることが原因と推定される。

本地点の基礎岩盤の透水性は、以下の理由から溶食空洞の影響は小さく、岩盤内の節理等の不連続面に支配されているものと考えられる。したがって、透水性の高いゾーンに対しては一般的に用いられているセメントグラウチングを適用することにより、十分止水処理が可能と判断される。

- 岩盤の透水係数が深部に向かって徐々に小さくなっていること、
 - 地下水位が兩岸とも低いものの山側に向かって上昇していること
 - ダム地点で掘削された総延長 1,290 m のボーリングで節理面に溶食現象が観察されるのが極わずかであること。
- 3) グラウト範囲を詳細に検討するためには、基礎岩盤の透水性と地下水位の把握が不可欠である。本地点では地下水位が兩岸で山側に向かってわずかに上昇していることは確認できているものの、確認されている地下水位は満水位より 70 m 以上低い位置である。従って、D/D 段階においては兩岸とも、さらに山側での地下水位の確認が必要である。1)で述べた調査横坑内からのボーリングまたは地表からの長尺ボーリングを実施することを提案する。
- 4) ダム地点において地すべり地形はなく、またダム掘削に支障をきたすような厚い崖錐堆積物も分布していない。

7.3.3 水路・発電所地点 (Option-II)

(1) 地形

Option-II のレイアウトは、取水口、地下発電所、放水口を東西方向に延びる右岸尾根部に設けるものである。導水路トンネルの長さは約 170 m、放水路トンネルの長さは約 100 m で、土被りは最大 230 m である。地下発電所予定地点は、尾根中心部より北側斜面に近い。ため、土被りは、鉛直方向で約 90 m、北側斜面からは約 50 m となっている。取水口は尾根の南側斜面に位置しており、斜面の傾斜は約 50°である。放水口は尾根の北側斜面に位置している。この斜面は、標高 390 m 以上では、55～65°の急斜面をなしているが、標高 390 m 以下では崖錐堆積物が厚く分布しているため、30～40°の緩やかな斜面となっている。

(2) 地質

水路・発電所地点は、**Fig. 7.3.2-1, Fig. 7.3.3-1**に示すようにダムサイトと同じドロマイトからなり、放水口地点には河床堆積物と厚い崖錐堆積物が分布している。

1) 地下発電所・水路トンネル

発電所地点に掘削された BP-1 孔の結果によると、地下発電所地点は全体に割れ目の発達したドロマイトからなる。深度 10～77 m では CM 級を主体とし、一部に CH 級、CL 級を挟在する岩盤となっているが、深度 77 m 以深では割れ目が発達した CL 級の岩盤となっている。RQD は、深度 10～75 m の間で 0～47%、平均 9%、深度 75～100 m で 0～13%、平均 1%である。

岩盤の透水性は、BP-1 孔でのルジオン試験の結果によると、深度 10～52 m までルジオン値が $Lu = 10 \sim 30$ と大きいものの、深度とともにルジオン値は小さくなり、深度 52 m ～70 m で $Lu = 3 \sim 6$ 、深度 70～100 m で $Lu < 2$ となっている。地下水位は、深度 56 m (EL.328.07 m)で確認されている。

水路トンネル経過地はドロマイトよりなる。水路経過地には規模の大きな断層はないものとの考えられるが、BH-1 孔、BP-1 孔、B-9 孔の結果から判断すると、水路経過地のドロマイトには割れ目は発達した部分が多いものと推定される。

2) 取水口

取水口予定地点の斜面はドロマイトからなり、顕著な表層堆積物は分布していない。取水口地点で掘削された BH-1 孔の結果によると、深度 39 m までは CH 級を主体とした比較的良好な岩盤が分布しているが、深度 39 m 以深では CM～CL 級、CL 級の割れ目の発達した岩盤となっている。RQD は、深度 3 m～39 m の区間で 0～88%、平均 32%、深度 39 m～90 m の区間で 0～31%、平均 4%である。

岩盤の透水性は深度 15 m～45 m で $Lu = 28 \sim 90$ と非常に大きい、深度 55 m 以深では $Lu = 0.5 \sim 3$ と小さくなっている。

3) 放水口

放水口予定地点には基盤岩のドロマイトとそれを覆う河床堆積物、崖錐堆積物が分布している。崖錐堆積物は放水口が位置するダム右岸尾根の北側斜面に厚く分布しており、放水口地点に掘削された BH-3 孔の結果では、約 30 m の厚さ、BH-3 孔より 40 m 高い位置に掘削された BP-1 孔で 10 m の厚さとなっている。また、ドロマイトと河床堆積物の境界は深度 39.9 m (EL.291.9 m)に確認される。

(3) 地質工学的評価

- 1) 計画されている地下発電所のアーチ部は、BP-1 孔の深度 60 m 付近に位置している。BP-1 孔の結果では深度 10 m から深度 77 m までの区間では、割れ目がやや多い CM 級の岩盤からなり、発電所空洞下部に相当する深度 77 m から、割れ目の発達した CL 級の岩盤となっている。アーチ部近傍の深度 50 m～65 m 区間の RQD は、0～47%、平均 18%となっている。

- 2) 地下発電所地点の岩盤状態は、Deer (1967) の RQD の分類では、「非常に悪い」～「悪い」に、Bieniawski (1989) の RMR の分類では、Table 7.3.3-1 に示すようにアーチ部付近が RMR = 43 ~ 48、発電所空洞下部が RMR = 27 ~ 37 となり、アーチ部付近は「普通の岩盤」、空洞下部は「悪い岩盤」と評価される。
- 3) 上述した地下発電所の岩盤評価は、BP-1 孔の結果のみに基づいたものである。割れ目の発達した CL 級岩盤の分布状態が明らかになっておらず、アーチ部に CL 級岩盤が分布する可能性もある。
- 4) 空洞掘削時の湧水に関しては、地下水位が低いこと（アーチ部の約 5 m 上部）、BP-1 孔のルジオン試験の結果では透水性が小さいことから、湧水量は少ないものと判断される。
- 5) 取水口地点で掘削された BH-1 孔の結果によると、深度 39 m までは CH 級の良好な岩盤が分布しており、取水口ゲート立坑の掘削に大きな支障はないものと判断される。また、取水口の位置する斜面には厚い崖錐堆積物や地すべり地形は分布していない。
- 6) 放水口地点には厚い崖錐堆積物と河床堆積物が分布しており、放水口敷は厚さ約 10 m の河床堆積物の上に位置することとなる。また、法高約 20 m の放水口背後法面はすべて崖錐堆積物からなる。

Table 7.3.3-1 RMR of the Underground Powerhouse of Option-II

	Arch		Lower portion of Cavern	
Strength of intact rock material	50-100 Mpa	50-100 Mpa	25 – 50 Mpa	25 – 50 Mpa
Rating	7	7	4	4
RQD	< 25%	< 25%	< 25%	< 25%
Rating	3	3	3	3
Spacing of discontinuities	6 – 20 cm	6 – 20 cm	< 6cm	< 6cm
Rating	8	8	5	5
Condition of discontinuities	S.R & S.W.	S.R & S.W.	S.R & H.W.	S.R & H.W to Slickesided
Rating	25	25	20	15
Groundwater condition	Damp	Damp	Damp	Damp
Rating	10	10	10	10
Discontinuity orientation	Fair	Unfavourable	Fair	Unfavourable
Rating	- 5	-10	- 5	- 10
RMR	48	43	37	27

< Note> S.R; Slightly Rough, S.W.; Slightly Weathered, H.W.; Highly Weathered

7.3.4 水路・発電地点 (Option-IIIb)

(1) 地形

Option-IIIb のレイアウトは、ダム軸の約 250 m 上流右岸斜面に取水口を設置し、そこから東南東方向に約 1.5km の水路と地下発電所を設け、Madi 川との合流点付近から大きくカーブして南流するセティ川（ダム地点の約 5 km 下流）に放水するものである。水路トンネルは、貯水池右岸を南北方向に走る標高 600 ~ 1,000 m の尾根に直交しており、土被りはトンネル経過地で 200 m ~ 650 m、地下発電所地点では 300 m ~ 400 m である。

(2) 地質

1) 地下発電所・水路トンネル

水路トンネル経過地には、Fig. 7.3.4-1、Fig. 7.3.4-2、およびFig. 7.3.4-3に示すように上流側に千枚岩（および粘板岩質千枚岩）が、下流側にドロマイトが分布している。取水口から下流約 700 m の区間には千枚岩が、その下流側の、水圧管路、地下発電所、放水口を含む水路系の約 60%の区間にはドロマイトが分布しているものと推定される。

千枚岩、ドロマイトおよびその下位の粘板岩の層理面の方向は、E-W, 45-50S ないし NW-SE, 45-50SW であり、トンネル軸に平行に近い方向となっている。

2) 取水口

取水口地点には、千枚岩、粘板岩質千枚岩が分布している。取水口地点で掘削された BH-4 孔の結果によると、地表から深度 35 m 付近まで、割れ目の発達した千枚岩からなり、特に深度 15 m から 35 m にかけては、コアロス区間が多く小さな岩片が少量採取されているのみである。岩盤の透水性は $Lu = 2 \sim 8$ と全般に小さく、地下水位は深度 18.7 m (EL.408.3 m) と高い位置にある。取水口が位置する斜面は傾斜 40°程度と比較的緩やかであるが厚い崖錐堆積物は分布しておらず、地すべり等も確認されない。

3) 放水口

放水口地点は、ドロマイトからなる崖のすぐ東側に位置しており、発電所地点から連続するドロマイトが分布している。放水口地点の北北西約 100 m の地点の崖では、ドロマイトは堅硬な黒色粘板岩と接しており、北東方向に向かって境界部から離れるに従い粘板岩質千枚岩、千枚岩へと変化している。放水口地点はドロマイトと黒色粘板岩、粘板岩質千枚岩との境界部の近傍に位置していることから、ドロマイト中に粘板岩、粘板岩質千枚岩層が一部に挟在されている可能性がある。放水口地点には、厚い表層堆積物は分布していない。

(3) 地質工学的評価

- 1) 導水路トンネル約 1,000 m のうち、取水口から導水路トンネル中央部の約 70%の区間は千枚岩、粘板岩質千枚岩からなり、下流側の 30%の区間はドロマイトよりなるものと推定される。この千枚岩とドロマイトは、東西方向に直線的に延びる貯水池中流部、下流部では断層で接しているものと推定されているが、ダム右岸側では地形的にも、地表露頭においても規模の大きな断層を示唆する現象は確認されていない。また、千枚岩の片理面の走向がトンネル軸とほぼ平行で約 45-50°南側に傾斜しているため、片

理面に沿うシームや破砕部等が頻繁に出現するような場合にはトンネル掘削にとって必ずしも好ましい状態とは言えないが、トンネル掘削が著しく困難になることもない。

- 2) 水圧管路、地下発電所地点はドロマイトよりなる。地下発電所地点付近ではドロマイト層の厚さは 200 m 程度 (水平面上での幅 300 m 程度) と推定され、地下発電所空洞、水圧管路を設置するのに十分な広がりを持っているものと考えられる。本地点のドロマイトは、地表露頭での観察では堅硬で比較的割れ目の少ない良好な岩盤であるが、地下深部における岩盤状況および岩体の広がりとは確認されていない。現在、発電所地点近傍で NEA が調査ボーリングを実施中であるが、これらの調査結果を検討するとともに、D/D 段階において、調査横坑および調査横坑内からの調査ボーリングにより、岩盤の性状と岩体の広がりを確認することが必要である。
- 3) 放水口地点は、発電所地点と同じ良好なドロマイトからなっており、大きな問題はないものと判断される。

7.3.5 推定される基礎岩盤の物性

(1) 岩石室内試験結果

本計画地点で掘削されたボーリングコアの室内試験結果をTable 7.3.5-1、Table 7.3.5-2、およびTable 7.3.5-3に示す。ドロマイト、粘板岩／千枚岩の比重・吸水率、一軸圧縮強度、引張強度は以下の通りである。

ドロマイト

比重；2.64～2.82 (平均 2.74)、吸水率；0.17～0.79 (平均 0.38)

一軸圧縮強度；20～100 MPa (平均 54 MPa)、引張強度；6.9～20 MPa (平均 14.8 MPa)

粘板岩／千枚岩

比重；2.67～2.78 (平均 2.71)、吸水率；0.27～0.69 (平均 0.52)

一軸圧縮強度；16～105 MPa (平均 59 MPa)、引張強度；7.6～18.7 MPa (平均 14.2 MPa)

一軸圧縮強度はドロマイト、粘板岩／千枚岩ともに大きくばらついているが、これは供試体内の微小クラックの存在や片理面の状態が試験結果に大きく影響しているためと考えられる。

Table 7.3.5-1 Physical Properties of the Drilled Core

Drill Hole No.	Depth (m)	Rock Type	Specific Gravity	Absorption %
B - 2	25.00 - 25.55	Dolomite	2.75	0.52
B - 2	59.15 - 59.75	Dolomite	2.76	0.43
B - 2	99.00 - 99.50	Dolomite	2.74	0.35
B - 5	37.55 - 38.10	Dolomite	2.75	0.35
B - 5	63.65 - 64.50	Dolomite	2.72	0.19
B - 7	33.00 - 33.50	Dolomite	2.76	0.37
B - 9	32.00 - 32.50	Dolomite	2.75	0.17
B - 9	85.00 - 85.30	Dolomite	2.75	0.36
BP-1	64.00 - 64.40	Dolomite	2.64	0.32
BH-1	44.00-45.00	Dolomite	2.82	0.54
BH-2	36.65-37.55	Dolomite	2.73	0.14
BH-2	47.35-48.00	Dolomite	2.71	0.45
BH-3	49.55-50.00	Dolomite	2.73	0.79
Average			2.74	0.38
BH-2	4.00-5.00	Dolomite (Fragment in Colluvium)	2.66	0.38
BH-3	3.50-4.00	Dolomite (Fragment in Colluvium)	2.75	0.84
BH-5	5.50-6.00	Dolomite (Fragment in Colluvium)	2.66	1.44
Average			2.69	0.89
BH-1	24.65-25.00	Dolomitic Quarzite	2.62	0.38
BH-5	26.00-26.50	Dolomitic Quartzite (Fragment in Colluvium)	2.74	0.48
BH-6	5.10-5.70	Quartzite (Fragment in Colluvium)	2.71	0.24
Average			2.69	0.37
BH-4	43.53-44.00	Slate/Phyllitic Slate	2.68	0.27
BH-5	42.00-43.00	Phyllitic Schist	2.67	0.61
BH-6	22.13-22.50	Phyllite	2.78	0.69
Average			2.71	0.52

Table 7.3.5-2 Tensile Strength of the Drilled Core

Hole No	Hole Depth (m)	Rock Type	Tensile Strength (MPa)
BH-1	7.28 to 7.50	Dolomite	6.9
BH-1	8.65 to 8.93	Dolomite	8.6
BH-1	14.41 to 14.64	Dolomite	13.9
BH-1	30.15 to 30.51	Dolomite	20.0
BH-1	30.63 to 30.89	Dolomite	15.9
BH-1	31.03 to 31.30	Dolomite	19.6
BH-6	31.60 to 31.84	Dolomite	13.8
BH-6	32.17 to 32.46	Dolomite	15.9
BH-6	32.50 to 32.76	Dollomite	18.9
Average			14.8
BH-1	25.08 to 25.39	Dolomitic Quarzite	20.7
BH-1	27.67 to 27.98	Dolomitic Quarzite	20.2
BH-1	29.30 to 29.60	Dolomitic Quarzite	19.3
Average			20.1
BH-4	53.80 to 54.10	Slate/Phyllitic Slate	16.2
BH-6	23.48 to 23.82	Phyllite	18.7
BH-6	35.13 to 35.48	Phyllite	7.6
Average			14.2

Table 7.3.5-3 Uniaxial Compressive Strength of the Drilled Core

Name of Drilled Hole	Depth of Sample(m)	Rock Type	Uniaxial Compressive Strength (MPa)	Remarks
B-2	25.0 - 25.5	Dolomite	72.3	
B-2	59.15 - 59.75	Dolomite	91.6	
B-2	99.0 - 99.5	Dolomite	77.8	
B-3	11.35 - 11.70	Dolomite	42.8	
B-3	55.68 - 56.17	Dolomite	44.8	
B-3	97.70 - 98.10	Dolomite	35.1	
B-4	18.55 - 19.00	Dolomite	89.9	
B-4	54.17 - 54.50	Dolomite	140.2	*-1) Crystallized
B-4	104.78 - 105.16	Dolomite	60.0	
B-5	37.55 - 38.10	Dolomite	49.5	
B-5	63.65 - 64.5	Dolomite	22.3	
B-7	33.0 - 33.5	Dolomite	14.8	*-2) Foliation
B-9	32.0 - 32.5	Dolomite	74.5	
B-9	85.0 - 85.5	Dolomite	34.8	
BP-1	64.00 - 64.40	Dolomite	19.9	
BH-1	4.24 to 4.39	Dolomite	99.0	
BH-1	17.00 to 17.15	Dolomite	78.0	
BH-1	37.35 to 37.51	Dolomite	24.6	
Average			53.9	
BH-1	8.33 to 8.50	Dolomitic Quartzite	125.7	
BH-1	15.47 to 15.61	Dolomitic Quartzite	13.7	
BH-1	24.17 to 24.35	Dolomitic Quartzite	169.4	
BH-6	8.35 to 8.56	Schistose quartzite	22.9	
Average			82.9	
BH-4	44.76 to 44.89	Slate/Phyllitic Slate	82.8	
BH-4	48.86 to 49.00	Slate/Phyllitic Slate	75.5	
BH-4	51.65 to 51.79	Slate/Phyllitic Slate	104.7	
BH-4	83.22 to 83.37	Slate/Phyllitic Slate	17.3	
BH-6	26.00 to 26.17	Pyllite	3.1	*-2) Foliation
BH-6	36.47 to 36.59	Pyllite	15.5	
Average			59.1	

*-1): High compressive strength because of the crystallization. This data is excluded from the average.

*-2): Low compressive strength because of remarkable foliation. This data is excluded from the average.

(2) 各構造物地点の推定岩盤物性

本計画地点においては原位置の岩盤試験が実施されていないため、各構造物基礎の岩盤物性はTable 7.3.2-2に示す岩盤評価とRMR(Rock Mass Rating)から以下のように推定した。

ダム地点、Option IIの地下発電所地点に関しては、地表踏査の結果、調査ボーリングの結果、室内コア試験の結果から岩盤評価とRMRを求め、この岩盤評価とRMRから基礎岩盤の物性を推定した。物性の推定には、既往文献の「岩盤評価と岩盤物性の関係」(Table 7.3.5-4)、「RMRと弾性係数の関係」(Hoek and Brown 1997)、「RMRとせん断強度の関係」(Bieniawski 1999, Aydan 2000)を用いた。一方、Option IIIbの水路、地下発電所地点に関しては、取水口地点以外に調査工事が実施されていないため、地表踏査の結果から地下深部の岩盤評価とRMRの推定を行い、ダム地点と同様の方法で岩盤物性を推定した。推定された各構造物基礎岩盤の物性をTable 7.3.5-5に示す。

Table 7.3.5-4 Rock Mass Classification and Mechanical Properties

Rock Class	Modulus of deformation	Modulus of elasticity	Shear strength	
	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	τ_0 (kgf/cm ²)	ϕ (Degree)
A – B	> 50,000	> 80,000	> 40	55 - 65
CH	50,000 – 20,000	80,000 – 40,000	40 - 20	40 - 55
CM	20,000 – 5,000	40,000 – 15,000	20 - 10	30 - 45
CL	< 5,000	< 15,000	< 10	15 - 38

(Kikuchi et al, 1984, JSEG ; Rock Mass Classification, Engineering Geology Special Issue.)

Table 7.3.5-5 Estimated Mechanical Properties of Foundation Rocks

	Dam			Option II				Option IIIb			
				Underground Powerhouse				Underground Powerhouse	Wtaerway		
	River bed	Left bank	Right bank	Arch		Lower portion of Cavern			Dolomite	Rock Cover is less than 40m	Rock Cover is larger than 40m
Strength of intact rock	50-100 Mpa	50-100 Mpa	50-100 Mpa	50-100 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	25-50 Mpa	50-100 Mpa	50-100 MPa	25-50 Mpa	50-100 MPa
Rating	7	7	7	7	7	4	4	7	7	4	7
RQD	<25%, 25-50%	25-50%, 50-	<25%	< 25%	< 25%	< 25%	< 25%	25-50%	25-50%	< 25%	< 25%
Rating	5.5	10.5	3	3	3	3	3	8	8	3	3
Spacing of discontinuities	6-20cm, 20-60cm	20 - 60cm	6 - 20cm	6 – 20 cm	6 – 20 cm	< 6cm	< 6cm	6-20cm, 20-60cm	6-20cm, 20-60cm	< 6cm	6 – 20 cm
Rating	9	10	8	8	8	5	5	9	9	5	8
Condition of discontinuities	S.R & S.W.	S.R & S.W.	S.R & S.W to S.R.& H.W.	S.R & S.W.	S.R & S.W.	S.R & H.W.	S.R & H.W to Slickesided	S.R & S.W.	S.R & S.W.	S.R & H.W.	S.R & S.W.
Rating	25	25	22.5	25	25	20	15	25	25	20	25
Groundwater condition	—	—	—	Damp	Damp	Damp	Damp	Damp	Damp	Damp	Damp
Rating	—	—	—	10	10	10	10	10	10	10	10
Discontinuity orientation	—	—	—	Fair	Unfavourable	Fair	Unfavourable	Fair	Fair	Unfavourable	Unfavourable
Rating	—	—	—	-5	-10	-5	-10	-5	-5	-10	-10
RMR	54.7	61.8	47.6	48	43	37	27	54	54	32	43
	Good to Fair	Good	Fair	Fair	Fair	Poor	Poor	Fair	Fair	Poor	Fair
Rock Evaluation	CH	CH-B	CH-CM	CM	CM	CL	CL	CH	CH	CM-CL	CM-CH
Rock Type	Dolomite	Dolomite	Dolomite	Dolomite	Dolomite	Dolomite	Dolomite	Dolomite	Dolomite	Slate/Phyllite	Slate/Phyllite
σc (MPa)	35 - 100 (Ave. 65)										15-105 (60)
Specific Gravity	2.64 - 2.82 (Ave. 2.74)										2.67 - 2.78 (2.71)
Absorption (%)	0.17 - 0.79 (Ave. 0.38)										0.27 - 0.69 (0.52)

Estimated Modulus of elasticity

Ed (MPa) 1)	7,900	11,900	5,300	5,400	4,000	2,900	1,600	7,600	7,600	2,100	3,900
Ed (MPa) 2)	4,000-8,000	6,000-8,000<	2,700-6,000	1,500-4,000	1,500-4,000	<1,500	<1,500	4,000-8,000	4,000-8,000	<1,500 - 2,700	2,700-6,000

Estimated Shear strength

C (MPa) 3)	2 - 3	3 - 4	2 - 3	2 -3	2 - 3	1 - 2	1 - 2	2 - 3	2 - 3	1 - 2	2 - 3
C (MPa) 2)	2 - 4	3 - 4<	1.5 - 3	1 - 2	1 - 2	< 1	< 1	2 - 4	2 - 4	< 1 - 1.5	1.5 - 3
φ (Degree) 3-*)	25 - 35	35 - 45	25 - 35	25 - 35	25 - 35	15 - 25	15 - 25	25 - 35	25 - 35	15 - 25	25 - 35
φ (Degree) 2)	40 - 55	48 - 60	38 - 48	30 - 45	30 - 45	15 - 38	15 - 38	40 - 55	40 - 55	26 - 38	38 - 48
φ (Degree) 4)	47	51	44	44	42	39	34	47	47	36	42

1) $E_d = (\sqrt{q_c}) / 10 \times 10^{(RMR-15)/40}$ Gpa, $q_c B < 100MPa$, Hoek and Brown, 1997

2) See Table 7.3.5-4

3) Bieniawski, 1979 * Relationship between the shear strength and RMR proposed by Bieniawski is applicable to slopes only in saturated and weathered rock.

The cohesion is one order of magnitude higher in the case of tunnel. (B. Singh & Goel, 1999). According to this statement, C proposed by Bieniawski is decupled in this table. 3-*) Furthermore, Mehrotra, 1993, pointed out that values of Bieniawski are somewhat conservative. According to Mehrotra, 1993, φ values are lager than that of Bieniawski. The difference between both φ values is more than 10 degree.

4) φ = 20 + 0.5 × RMR, Aydan, 2000

5) Average uniaxial compressive strength for the calculation Ed 1) excludes the test results affected by micro cracks or shistosity.

7.4 建設材料

(1) 調査工事

本計画地点で必要な建設材料のコンクリート骨材に関しては、NEAによりセティ川とMadi川の河床砂礫を対象とした調査が実施され、その結果はFeasibility Study Report on Upper Seti Storage Hydroelectric Project, 2001 (by NEA) と Additional Geological and Geotechnical Investigation Final Report, 2005 (by NEA)に取りまとめられている。これらの調査対象地域、調査数量をTable 7.4-1に、調査位置をFig. 7.4-1に示す。

Table 7.4-1 Investigation Area for Concrete Aggregate

Name of Area	Location	Number of Test Pits	Number of Sample	Remarks
GMA	Madi River	4	5	Feasibility Study by NEA in 2001
GMB	Madi River	2	2	
GSA	Seti River	4	5	
GSB	Seti River	3	3	
GSC	Seti River	2	3	
GSD	Seti River	2	2	
GSE	Seti River	2	2	Upgrading Feasibility Study by NEA in 2005
GSAA	Seti River	4	9	
GSAB	Seti River	5	16	
GMAA	Madi River	7	10	

(2) 調査結果

調査結果をTable 7.4-2およびTable 7.4-3に示す。粒度組成に関しては、場所による変化が大きく全体に細粒分がやや多い傾向にある。比重は2.67～2.74、吸水率は0.15～0.35、安定性は0.5～2.1、すり減り減量は29.8～37.3であり、いずれもASTM基準、JIS基準を満たしている。アルカリ骨材反応試験（化学法）では、Sc = 530～1,300 mmol/l, Rc = 15～65 mmol/lという結果が得られており、反応性を有する材料と評価される。

賦存量に関しては、調査された10地点の合計で、14,200,000 m³となり、細粒分の少ない地点を選定した場合でも、本計画地点で必要となる1,300,000 m³の骨材は量的には十分確保できるものと考えられる。

河床砂礫以外では、ダム左岸上流のドロマイトを対象として調査されているが、材質についてはTable 7.4-2に示すようにセティ川、Madi川の河床砂礫とほぼ同じである。このドロマイトはダム地点に連続するものであり、ダム基礎に分布するドロマイトもほぼ同じ性状と推定される。

Table 7.4-2 Test Results of the Concrete Aggregate (2001)

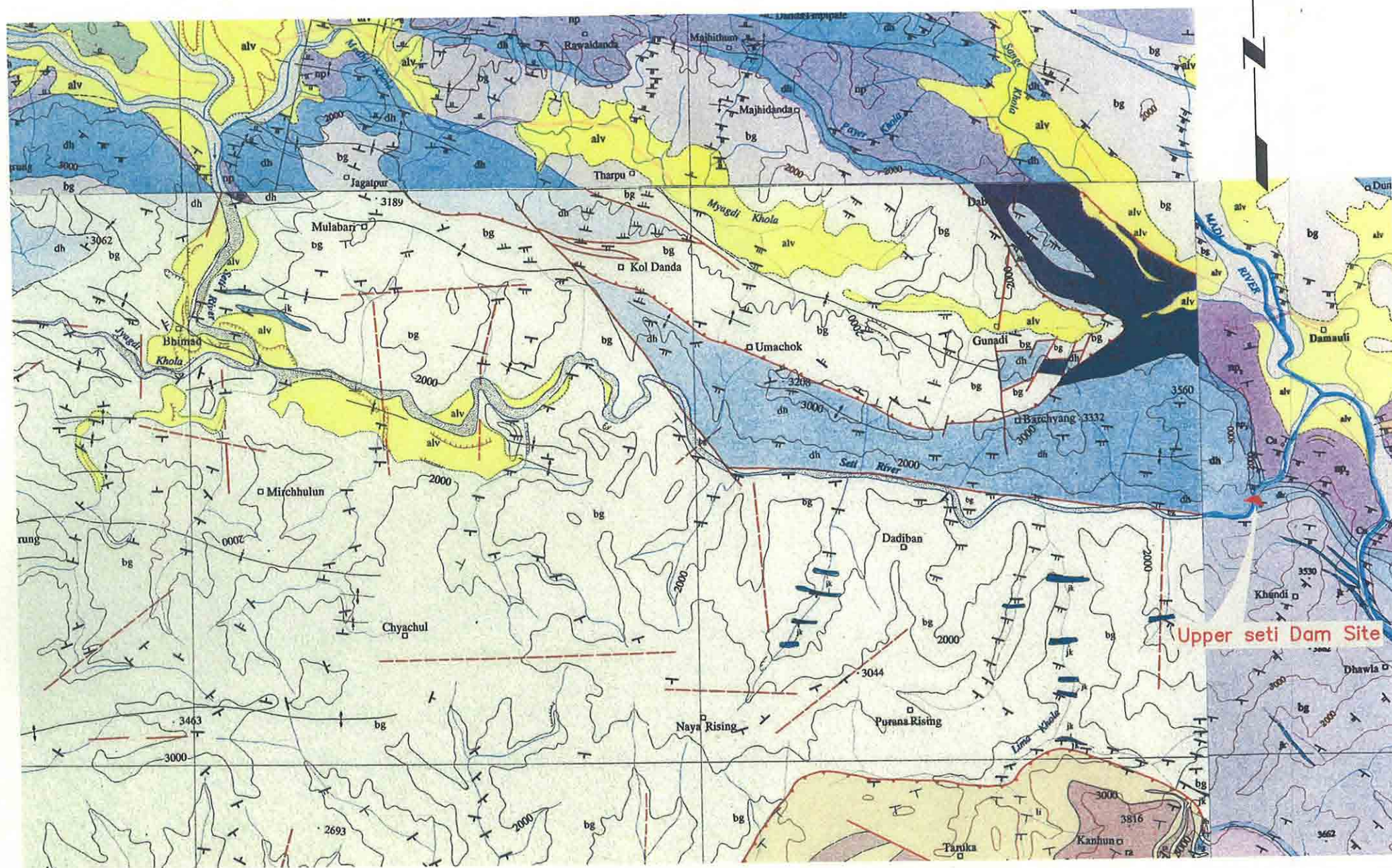
	GMA	GMB	GSA	GSB	GSC	GSD	GSE
Particle Size Distribution							
Gravel (4.76mm <)	0 - 61.5	29.1 - 58.7	6.3 - 70	65.9 - 74.8	0.2 - 35.8	55.5 - 59.6	60.0 - 61.8
Sand	37.4 - 94.4	40 - 68.6	26.1 - 86.8	17.7 - 32.0	62.3 - 93.6	35.8 - 42.7	338.3 - 36.8
Fines (< 0.074mm)	1.0 - 5.6	0.4 - 2.3	4.0 - 8.7	1.3 - 15.2	1.8 - 6.2	1.8 - 4.9	1.4 - 1.7
USCS Classification	GP, SP, SP-SM	GP,SP	GP,SP,GP-GM	GM,GW	SP,SP-SM	GP	GP,GW
Area (m ²)	160,000	700,000	21,000	120,000	74,375	393,125	297,500
Thickness (m)	2.05	2.35	1.75	2.85	2	2.5	2.5
Volume (m ³)	328,000	1,645,000	36,750	342,000	148,750	9,828,125	743,750

Table 7.4-3 Test Results of the Concrete Aggregate (2005)

	GSAA	GSAB	GMAA	Left bank upstream of dam (Dolomite)
Particle Size Distribution				
Gravel (4.76mm <)	2.5 - 60.2	0.5 - 63.8	1.6 - 63.9	
Sand	5.8 - 47.4	30.1 - 72.8	39.8 - 94.4	
Fines (< 0.074mm)	4.5 - 91.5	2.9 - 65.1	0.1 - 12.1	
USCS Classification	ML,SM,GP,GW	SM,ML,GP,GW	GP,SP,SM,SW	
Soundness(Na2SO4)	1.8 - 2.1	0.5 - 2.5	1.3 - 1.9	1.2 - 1.4
Abration	29.8 - 34.3	28.9 - 33.7	33.9 - 37.3	22.5 - 23.3
Alkali Aggregate Reaction				
Sc mmol/l	527	1305		664 - 693
Rc mmol/l	65	15		32 - 33.3
Dry density	2.73	2.72	2.67 - 2.74	2.67 - 2.70
Absorption	0.15 - 0.30	0.17 - 0.35	0.2 - 0.3	0.15 - 0.23
Area (m ²)	38,500	80,600	427,500	
Thickness (m)	2	3	1.97	
Volume (m ³)	77,000	241,800	842,175	

(3) 地質工学的評価

- 1) ダム地点下流のセティ川、Madi 川の河床砂礫は全体に細粒分が多い傾向にあるが、細粒分の少ない地点を選定すること、細粒分の洗浄を行うことでコンクリート骨材として利用可能と考えられる。また、賦存量の点でも十分に必要量が確保できるものと判断される。アルカリ骨材反応に関しては、反応性が高いという試験結果が得られているが、現在実施されている化学法の試験はドロマイトのような炭酸塩岩には適していないことが多く、D/D 段階ではモルタルバー法を含むさらに詳細な調査・検討を実施することが必要である。
- 2) 河床砂礫以外では、ダム掘削ズリをコンクリート骨材として利用することが考えられる。現在までの調査結果では、ダム基礎を構成しているドロマイトは河床砂礫とほぼ同様の材質を有しておりコンクリート骨材として利用可能と考えられるが、河床砂礫の場合と同様にアルカリ骨材反応に関しては、今後詳細な検討が必要である。



LEGEND

SURFICIAL DEPOSITS (Quaternary to Recent)

- alv Alluvial Deposits : Silt, sand, gravel in terraces, flood plain and stream - channels.

SIWALIK GROUP (Neogene)

- si₁ Upper Siwalik : Conglomerates with subordinate sandstones and shales.
 si₂ Middle Siwalik : Sandstone with shale and siltstone.
 si₃ Lower Siwalik : Vari-coloured shale with sandstone and siltstone.

U. NAWAKOT GROUP (? U. Paleozoic)

- bg Benighat Slates : Dark slates and phyllites, carbonaceous slates with Jhiku carbonates and rare quartzites.

L. NAWAKOT GROUP (U. Precambrian to L. Paleozoic)

- dh Dhading Dolomite : Light blue-grey stromatolitic dolomite

Nourpul Formation

- np₁ Upper : Pink to light cream dolomitic quartzite to siliceous dolomite, thin vari-coloured calc- phyllite and impure quartzite.
 np₂ Middle : Grey to dark green and purple phyllites with subordinate impure quartzites, rare white quartzites and minor discontinuous carbonates. Local boulder bed in Phundi Khola.
 np₃ Lower : White to greenish grey ripplemarked orthoquartzite to impure quartzite with vari-coloured phyllite intercalations.

- da Dandagaon Phyllite : Green-grey phyllites with rare quartzites and minor carbonates

- fg Fagfog Quartzite : White ripplemarked quartzite with minor phyllite intercalations

- kn Kanchha Formation : Light green-grey gritty phyllites, quartzitic phyllites, metasandstones and gneisses with minor amphibolites

BHIMPHEDI GROUP (Precambrian)

- ra Raduwa Formation : Grey to dark-green, garnetiferous mica-schist with white micaceous quartzite beds.

BASIC ROCK

- gd Amphibolite

0 2.5km

<note>

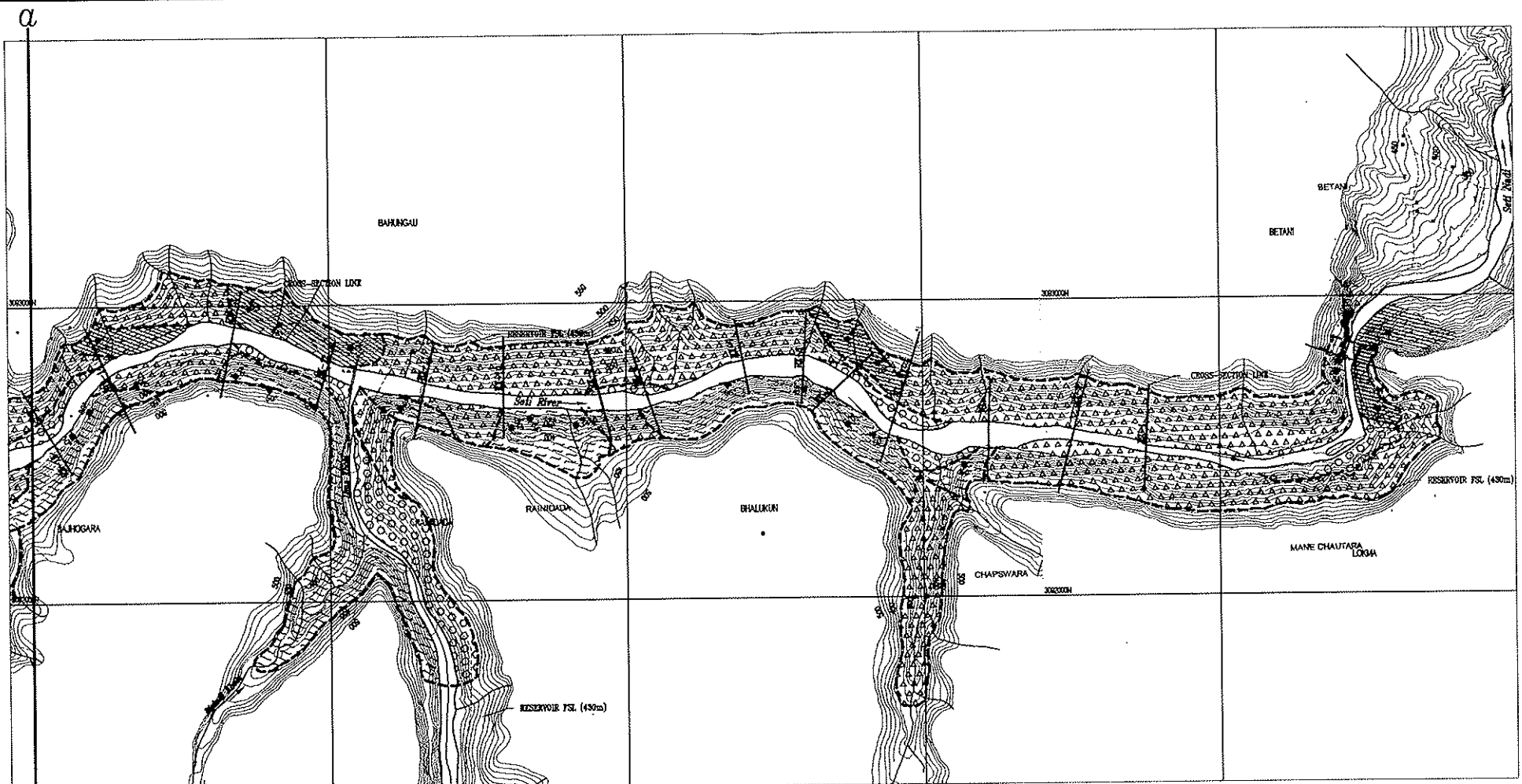
This geological map is compiled from "Geological Map of Parts of TANAHAM and NAWALPARASI Districts" (1/50,000) and "Geological Map of Parts of TANAHAM, GORKHA and NAWALPARASI Districts" (1/50,000) published by Department of mines and Geology, Nepal, 1999 & 1996.

Upgrading Feasibility Study on
Upper Seti (Damauli)
Hydroelectric Project, NEPAL

GEOLOGIC PLAN OF PROJECT AREA

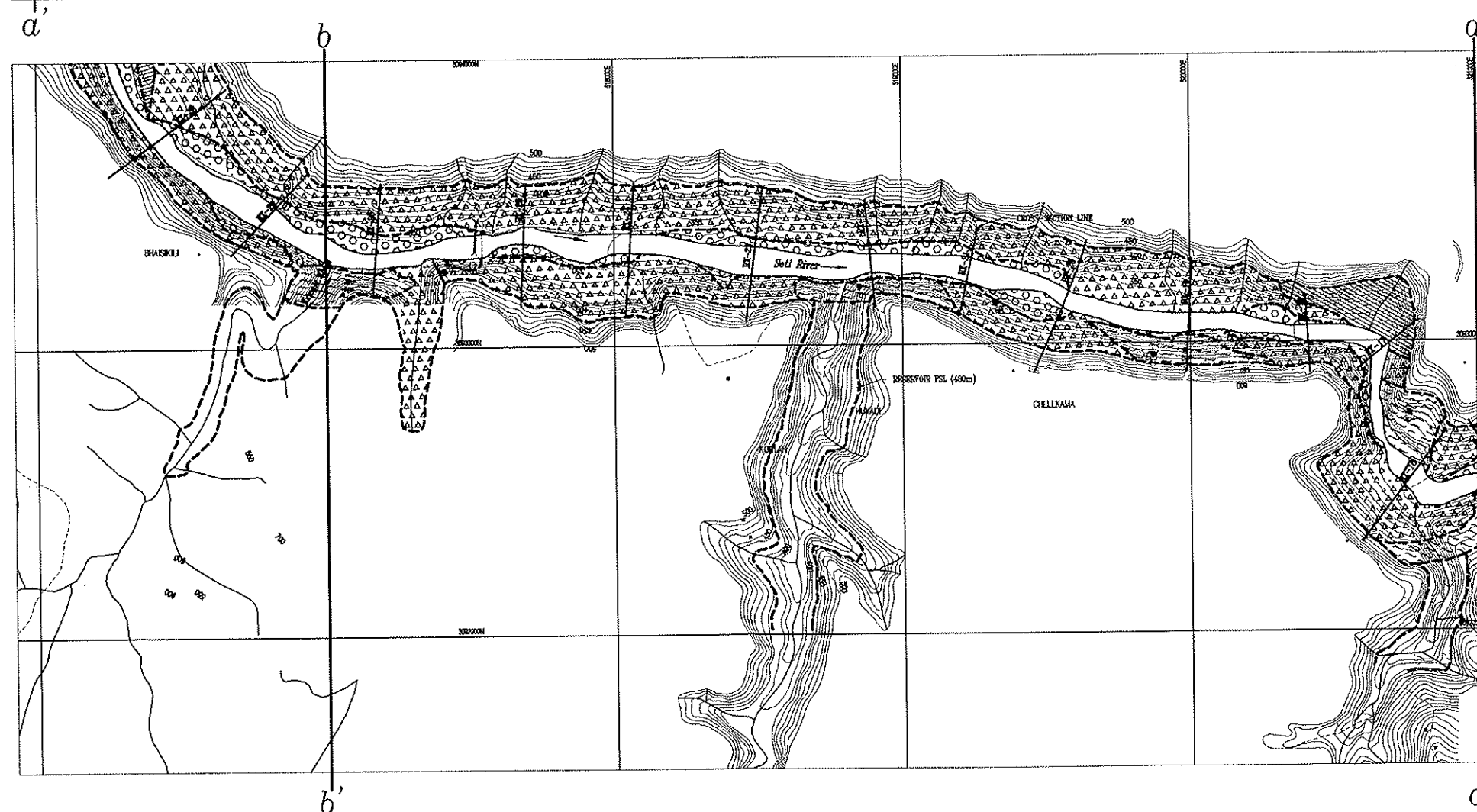
Fig. : 7.1-1

Date : June, 2007

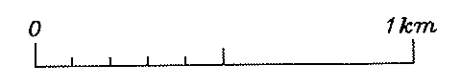


L E G E N D

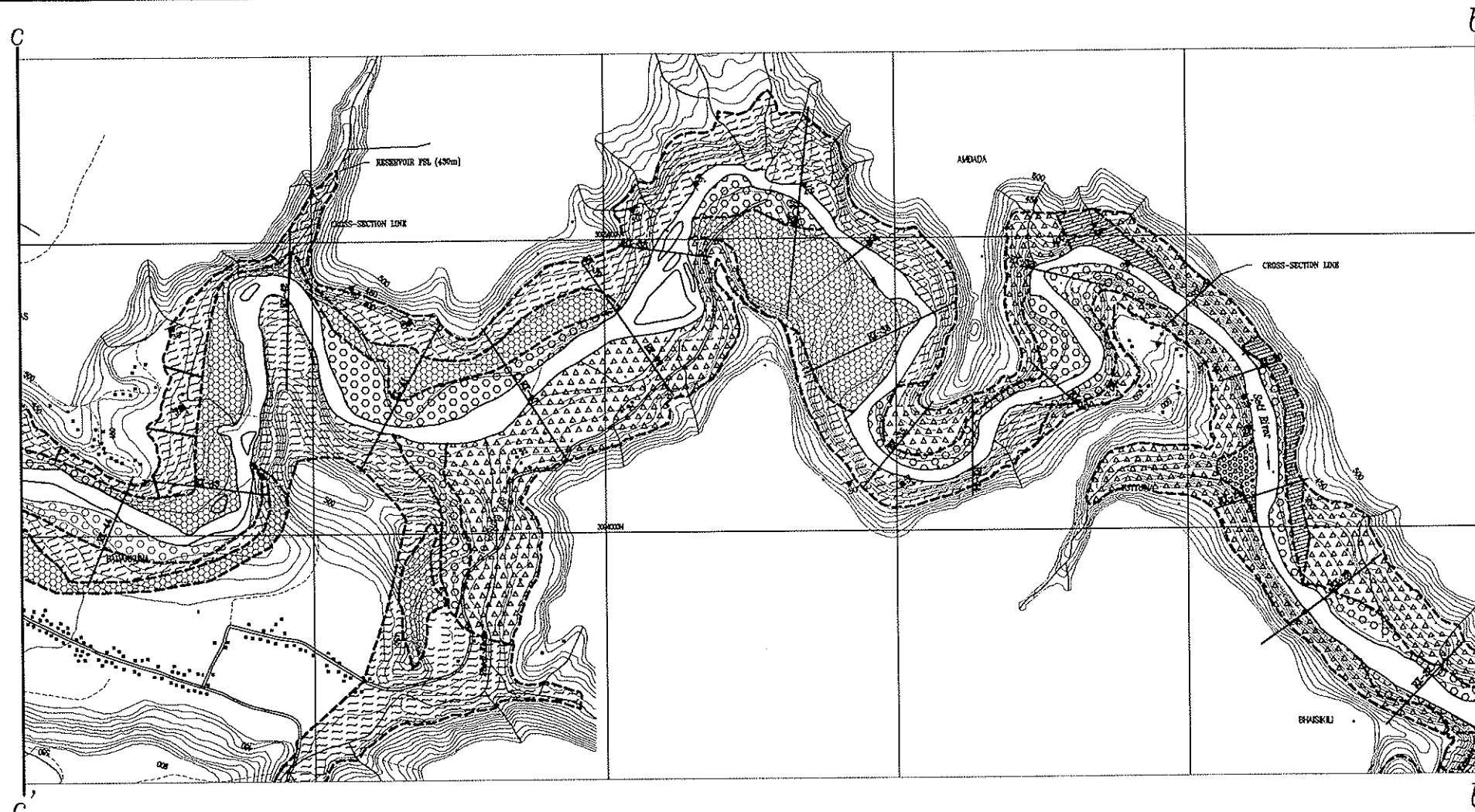
-  ALLUVIUM
-  COLLUVIUM
-  RESIDUAL SOIL
-  PHYLLITE
-  DOLOMITE
-  LAND SLIDE
-  GEOKOGICAL BOUNDARY
-  ATTITUDE OF FOLIATION
-  ATTITUDE OF JOINTS



<SOURCE>
Additional Geological and Geotechnical Investigation
Final Report , 2005 by NEA

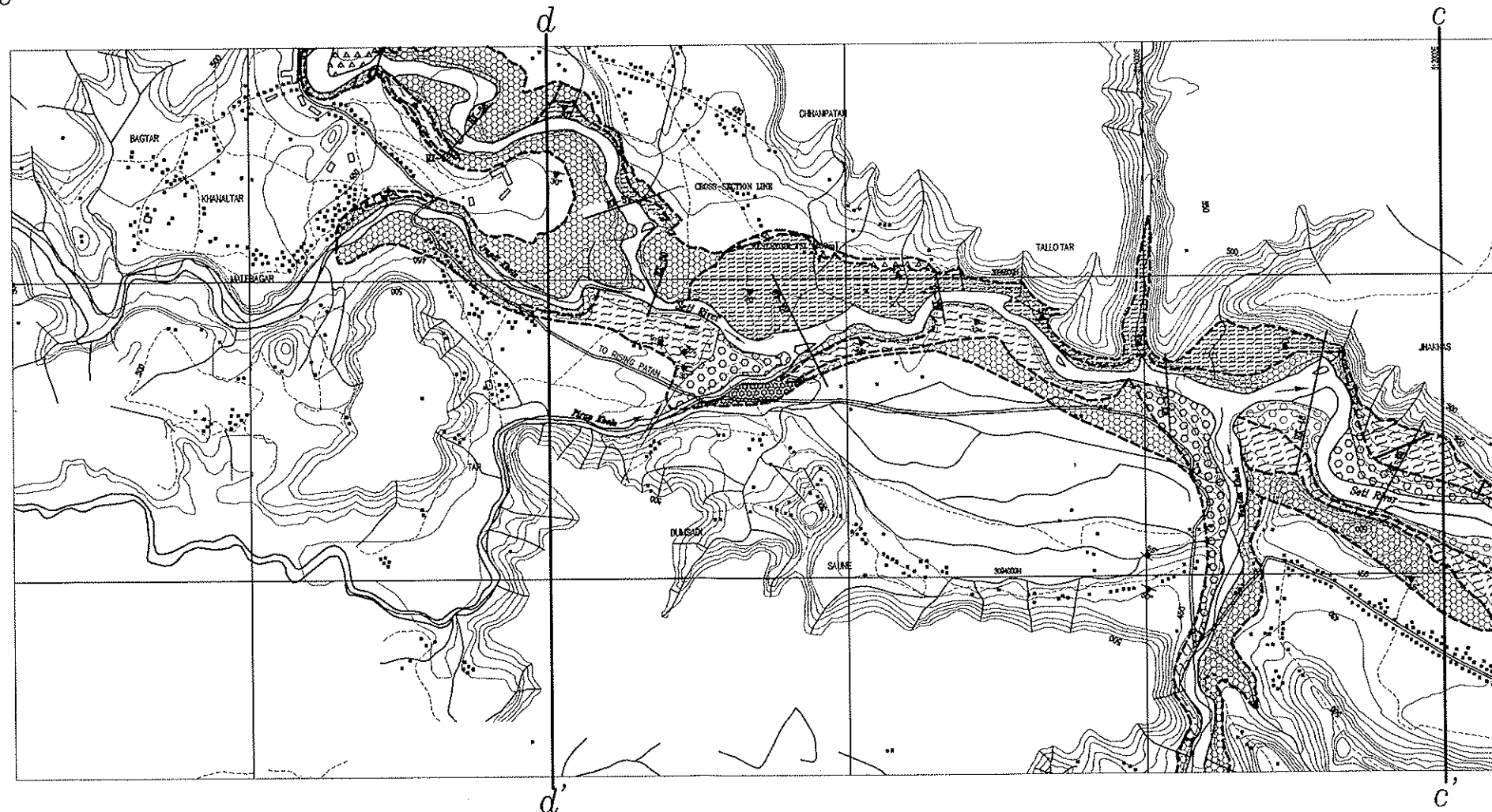


Upgrading Feasibility Study on Upper Seti (Damanuli) Hydroelectric Project , NEPAL	
GEOLOGIC MAP OF RESERVOIR AREA(1/3)	
Fig. : 7.3.1-1	Date : June,2007



LEGEND

- ALLUVIUM
- COLLUVIUM
- RESIDUAL SOIL
- PHYLLITE
- DOLOMITE
- LAND SLIDE
- GEOKOCICAL BOUNDARY
- ATTITUDE OF FOLIATION 30°
- ATTITUDE OF JOINTS 40°



<SOURCE>
Additional Geological and Geotechnical Investigation
Final Report , 2005 by NEA



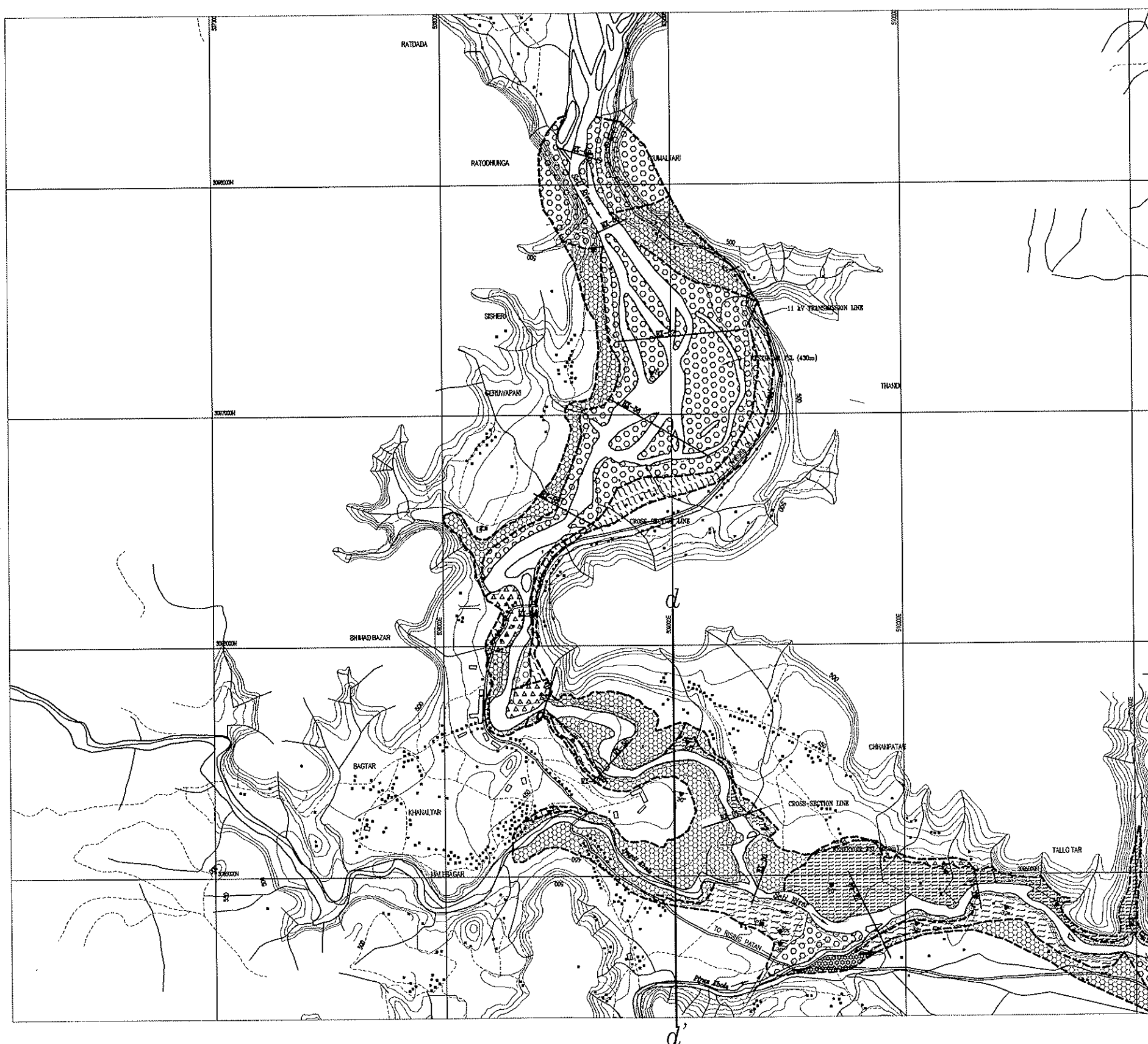
Upgrading Feasibility Study on
Upper Seti (Damauli)
Hydroelectric Project , NEPAL

GEOLOGIC MAP OF RESERVOIR AREA(2/3)

Fig. : 7.3.1-2 Date : June, 2007

L E G E N D

-  ALLUVIUM
-  COLLUVIUM
-  RESIDUAL SOIL
-  PHYLLITE
-  DOLOMITE
-  LAND SLIDE
-  GEOKOCICAL BOUNDARY
-  ATTITUDE OF FOLIATION
-  ATTITUDE OF JOINTS



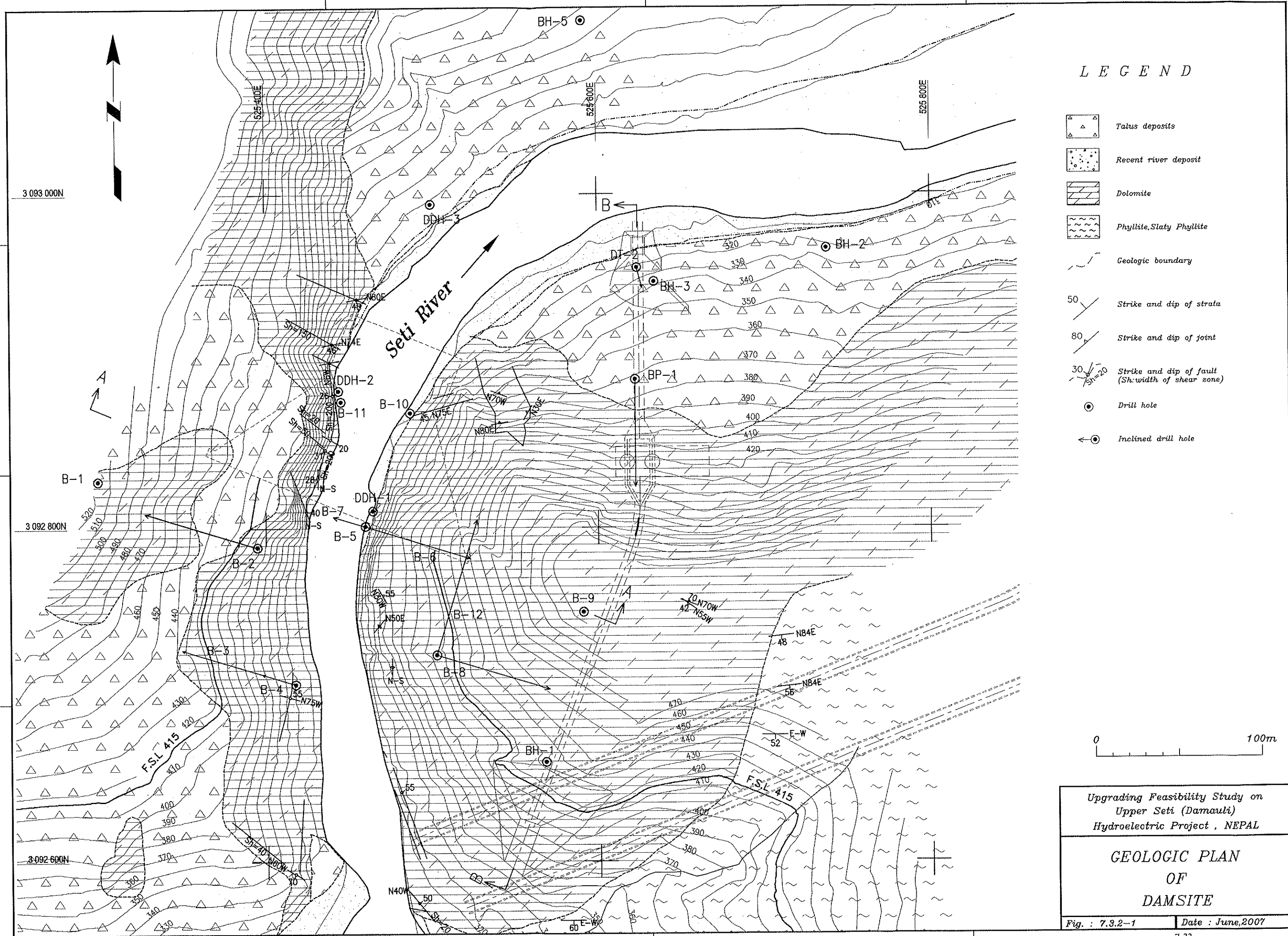
<SOURCE>
Additional Geological and Geotechnical Investigation
Final Report , 2005 by NEA

0 1 km

Upgrading Feasibility Study on
Upper Seti (Damauli)
Hydroelectric Project , NEPAL

GEOLOGIC MAP
OF
RESERVOIR AREA(3/3)

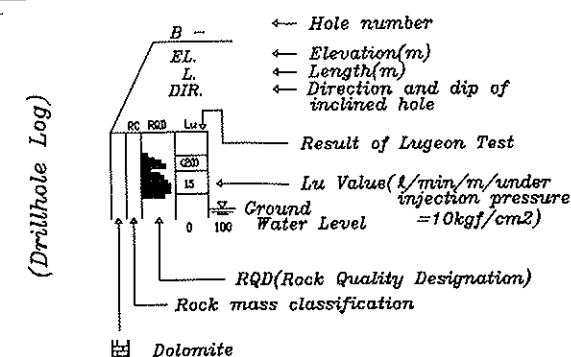
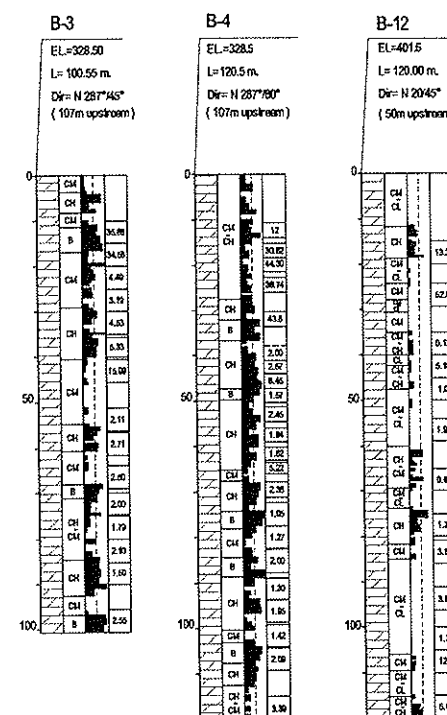
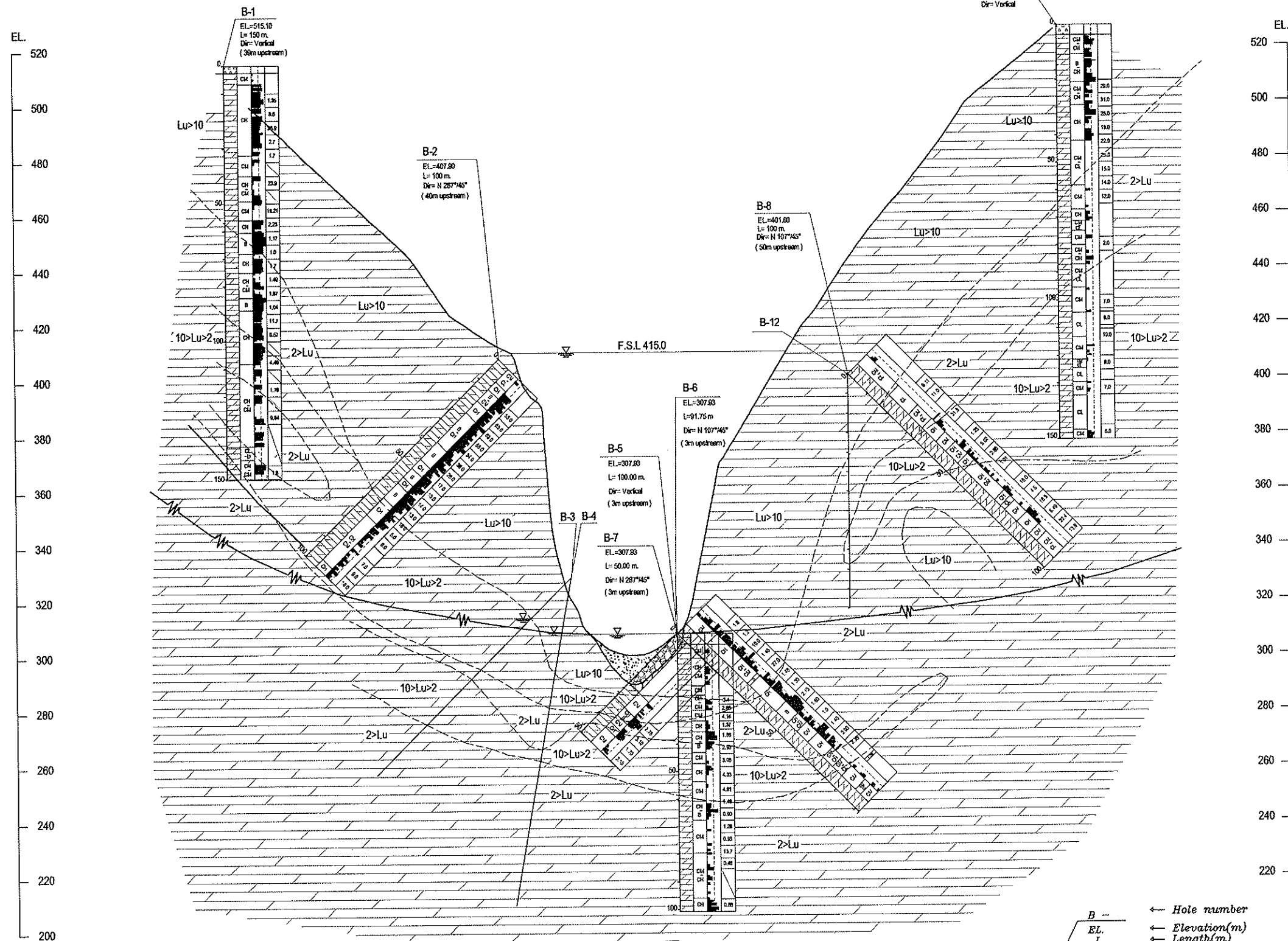
Fig. : 7.3.1-3 Date : June,2007



A-A

LEGEND

-  Talus deposits
-  Recent river deposit
-  Dolomite
-  Ground water level
-  Lugeon Value and its boundary

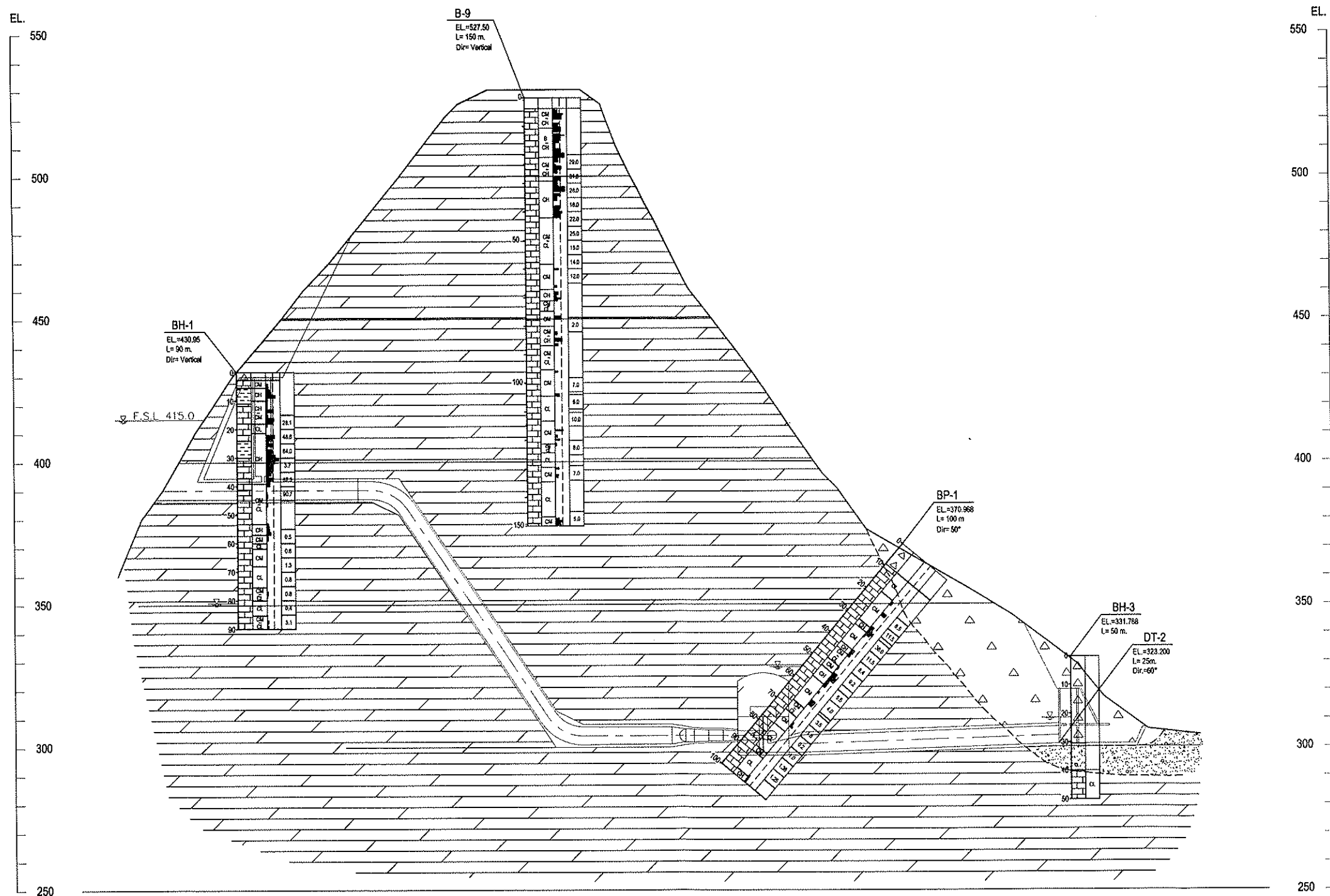


Upgrading Feasibility Study on
Upper Seti (Damsuli)
Hydroelectric Project, NEPAL

GEOLOGIC SECTION OF DAMSITE (A - A)

Fig. 7.3.2-2 Date : June, 2007

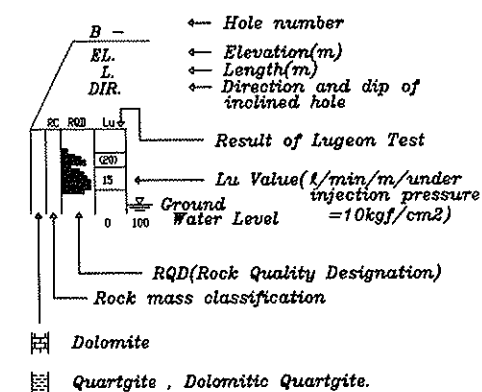
B-B



LEGEND

- Talus deposits
- Recent river deposit
- Dolomite
- Phyllite, Slaty Phyllite
- Geologic boundary

(Drillhole Log)

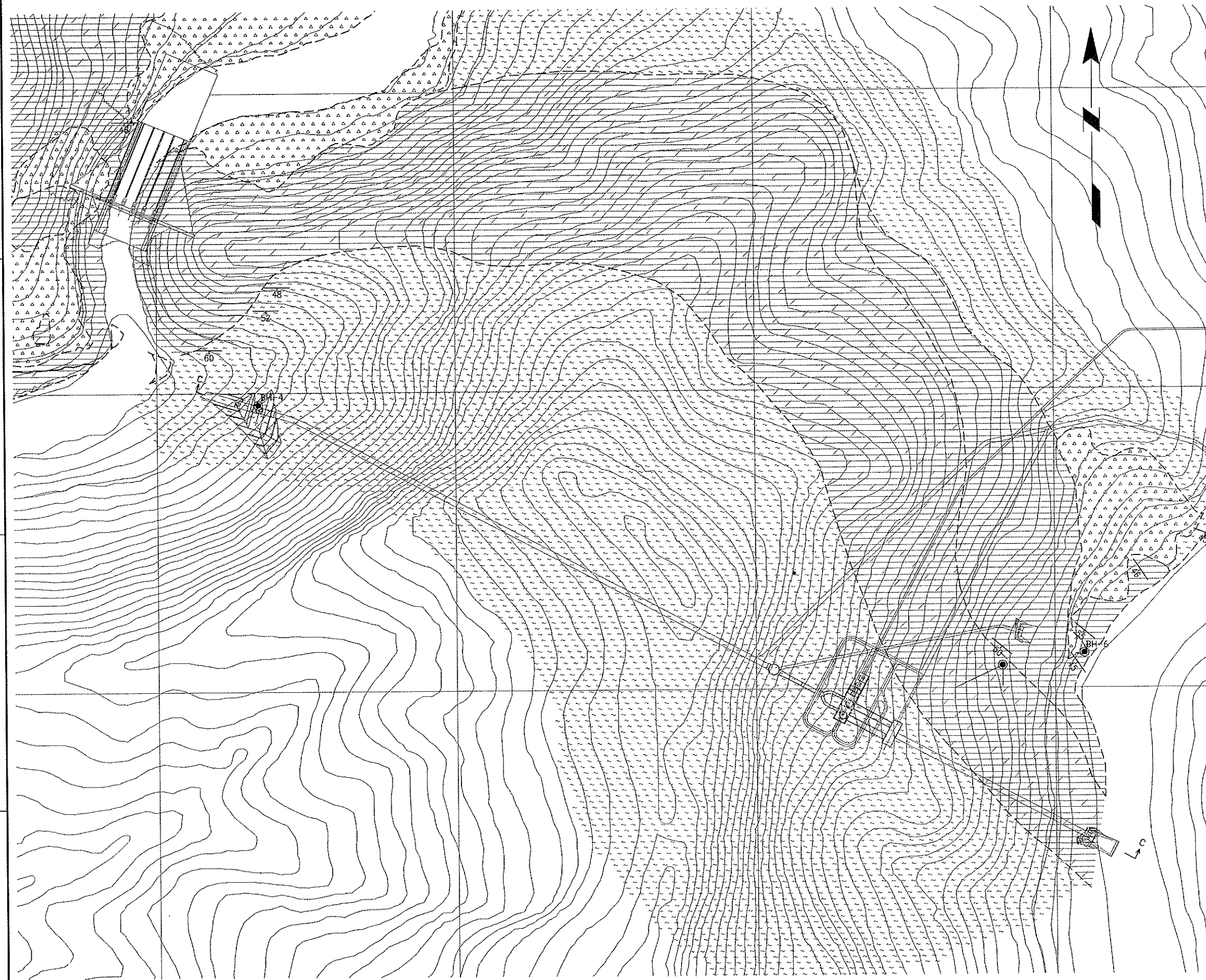


Upgrading Feasibility Study on
Upper Seti (Damauli)
Hydroelectric Project, NEPAL

GEOLOGIC PROFILE OF Waterway & Powerhouse (Option-II)

Fig. : 7.3.3-1

Date : June, 2007



L E G E N D

-  Talus deposits
-  Recent river deposit
-  Dolomite
-  Phyllite, Slaty Phyllite
-  Slate, Phyllitic Slate
-  Geologic boundary
-  50 / Strike and dip of strata
-  30 / Sh=20 Strike and dip of fault (Sh: width of shear zone)
-  Drill hole

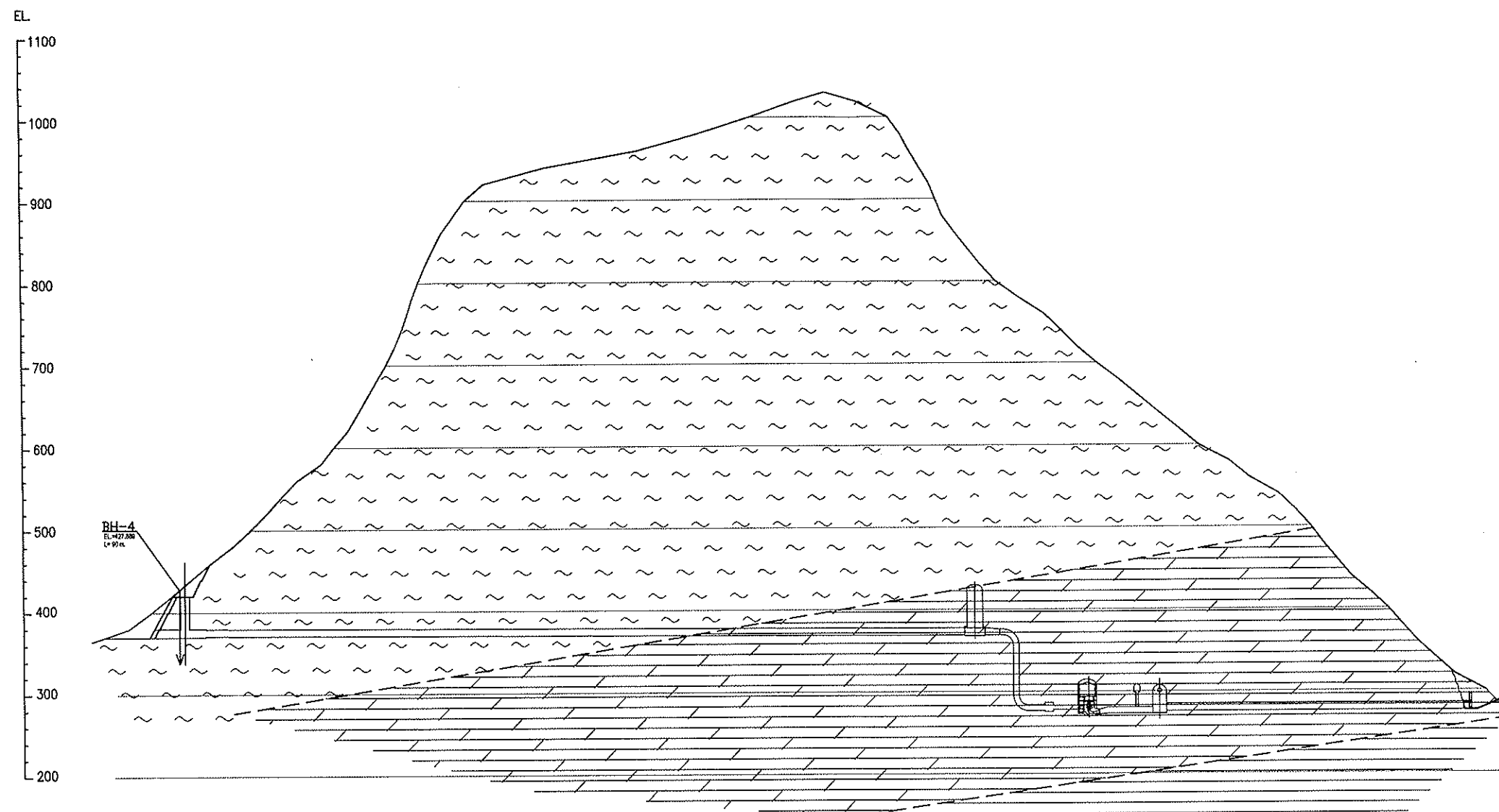
0 400m

Upgrading Feasibility Study on
Upper Seti (Damauli)
Hydroelectric Project , NEPAL

GEOLOGIC PLAN
OF
Waterway & Powerhouse
(Option-III b)

Fig. : 7.3.4-1 Date : June, 2007

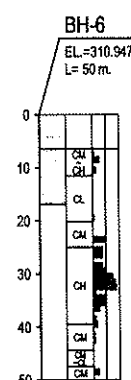
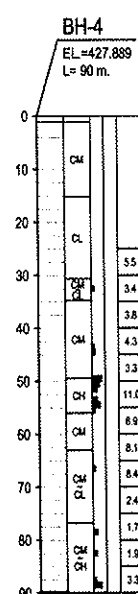
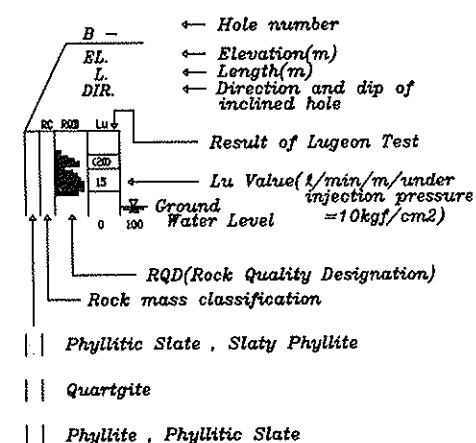
C-C



LEGEND

- Talus deposits
- Recent river deposit
- Dolomite
- Phyllite, Slaty Phyllite
- Slate, Phyllitic Slate
- Geologic boundary

(Drillhole Log)



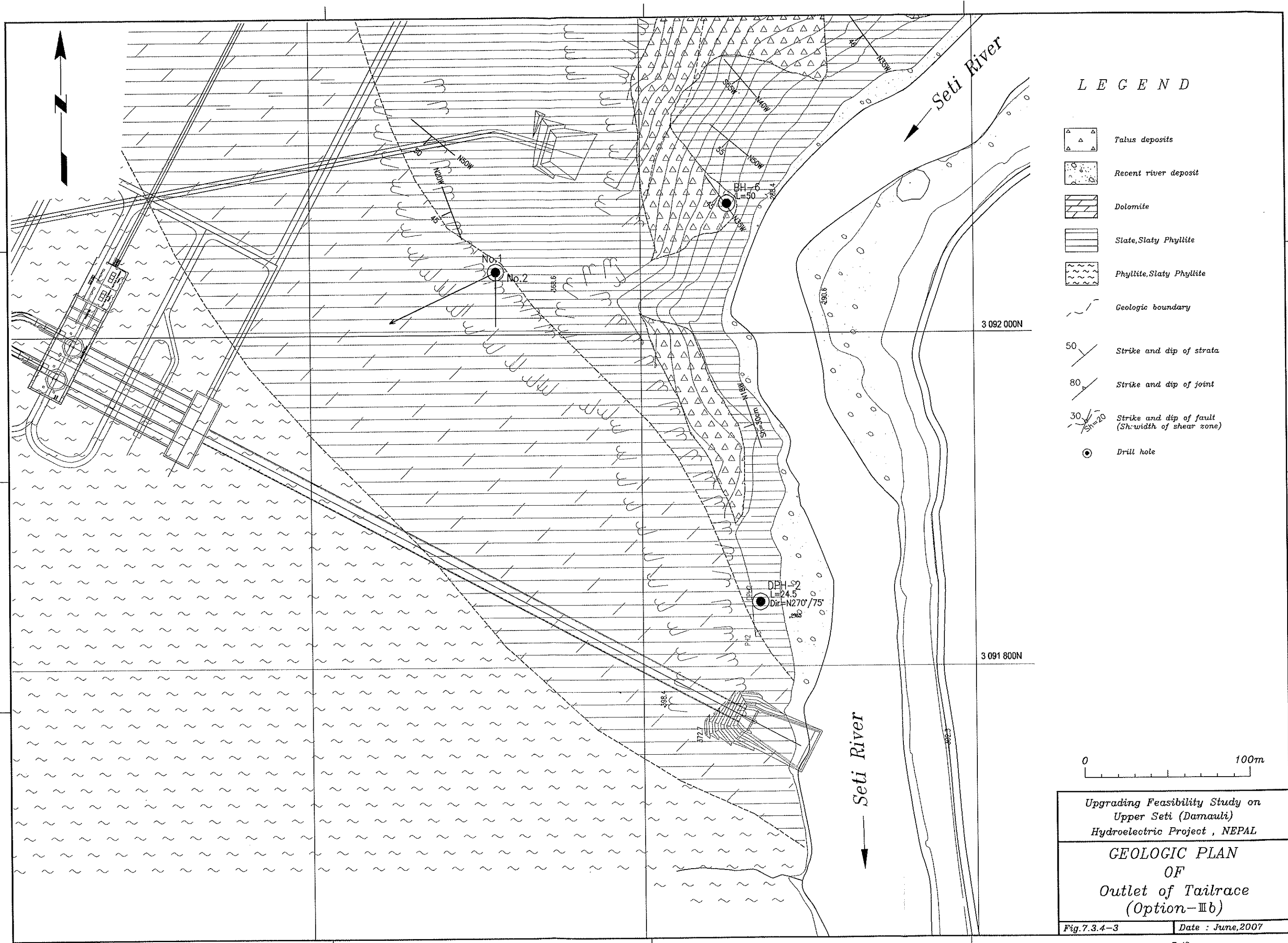
0 300m

Upgrading Feasibility Study on
Upper Seti (Damauli)
Hydroelectric Project, NEPAL

GEOLOGIC PROFILE
OF
Waterway & Powerhouse
(Option-IIIb)

Fig. : 7.3.4-2

Date : June, 2007



L E G E N D

- Talus deposits
- Recent river deposit
- Dolomite
- Slate, Slaty Phyllite
- Phyllite, Slaty Phyllite
- Geologic boundary
- Strike and dip of strata
- Strike and dip of joint
- Strike and dip of fault (Sh. width of shear zone)
- Drill hole

0 100m

Upgrading Feasibility Study on
Upper Seti (Damauli)
Hydroelectric Project , NEPAL

GEOLOGIC PLAN
OF
Outlet of Tailrace
(Option-IIIb)

Fig.7.3.4-3 Date : June, 2007

LEGEND

-  Granular Borrow Area ^{※-1}
(GSAA, GSAB and CMAA)
-  Granular Borrow Area ^{※-2}
(GSA ~ GSE)
-  PITS

※-1: Upgrading Feasibility Study Report
by NEA, 2005

※-2: Feasibility Study Report
by NEA, 2001

0 1km

Upgrading Feasibility Study on
Upper Seti (Damauli)
Hydroelectric Project, NEPAL

LOCATION MAP
OF
Investigation for
Concrete Aggregate

Fig. : 7.4-1

Date : June, 2007

528000E

526000E

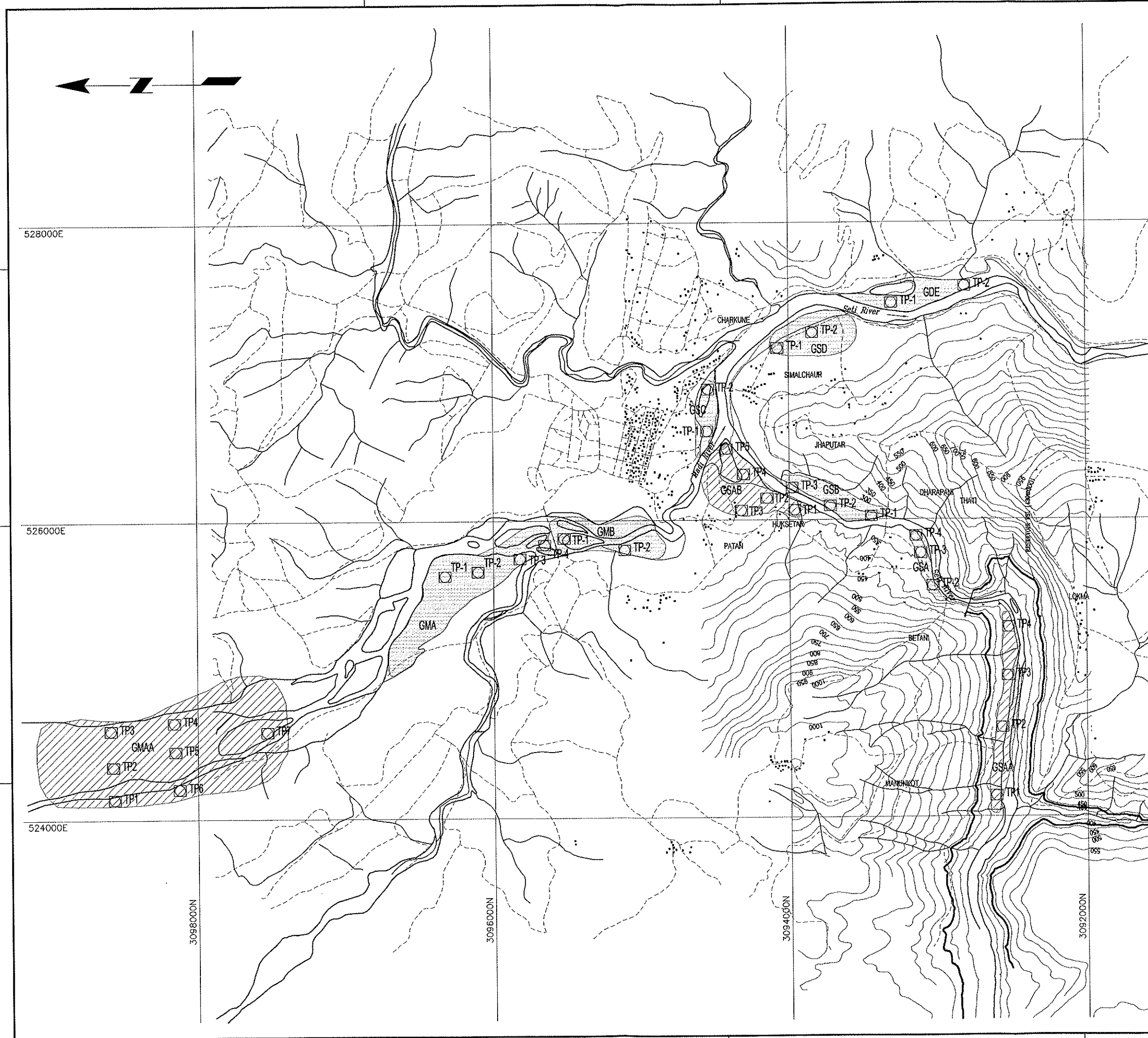
524000E

3098000N

3096000N

3094000N

3092000N



第 8 章 地 震

目 次

第 8 章	地 震.....	8-1
8.1	地震活動性.....	8-1
8.1.1	計画地点周辺域の歴史地震.....	8-1
8.2	地震危険度解析.....	8-2
8.2.1	確率論的手法に基づく地震危険度解析.....	8-2
8.2.2	ダム地点の最大加速度の推定.....	8-12
8.2.3	設計水平震度.....	8-19

LIST OF TABLES

Table 8.1.1-1	Earthquakes in the Himalayan area of Magnitude over 7.5 since 1897.....	8-1
Table 8.2.1-1	Occurrence Frequency of Magnitude among the Collected Data.....	8-3
Table 8.2.1-2	Occurrence Frequency of Seismic Center Depth among the Collected Data	8-7
Table 8.2.2-1	Annual Maximum Acceleration during Observation.....	8-13
Table 8.2.2-2	Maximum Acceleration Value by Each Equation to the Advent Period	8-14
Table 8.2.3-1	Basic Seismic Coefficient in the Indian Seismic Hazard Region	8-21
Table 8.2.3-2	Summary of Maximum Acceleration Estimation at the Upper Seti Dam Site	8-21
Table 8.2.3-3	Seismic Coefficient Based Upon Maximum Acceleration	8-22
Table 8.2.3-4	Result of Seismic Coefficient Estimation obtained in Various Ways	8-23

LIST OF FIGURES

Fig. 8.2.1-1	Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude less than 3	8-4
Fig. 8.2.1-2	Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude 3 to 4	8-4
Fig. 8.2.1-3	Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude 4 to 5	8-5
Fig. 8.2.1-4	Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude 5 to 6	8-5
Fig. 8.2.1-5	Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude 6 to 7	8-6
Fig. 8.2.1-6	Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude more than 7	8-6
Fig. 8.2.1-7	Epicenter Distribution of Earthquakes less than 6 km in Depth	8-8
Fig. 8.2.1-8	Epicenter Distribution of Earthquakes between 6 and 10 km in Depth	8-9
Fig. 8.2.1-9	Epicenter Distribution of Earthquakes between 10 and 20 km in Depth	8-9
Fig. 8.2.1-10	Epicenter Distribution of Earthquakes between 20 and 40 km in Depth	8-10
Fig. 8.2.1-11	Epicenter Distribution of Earthquakes between 40 and 60 km in Depth	8-10
Fig. 8.2.1-12	Epicenter Distribution of Earthquakes between 60 and 80 km in Depth	8-11
Fig. 8.2.1-13	Epicenter Distribution of Earthquakes between 80 and 100 km in Depth	8-11
Fig. 8.2.1-14	Epicenter Distribution of Earthquakes more than 100 km in Depth	8-12
Fig. 8.2.2-1	Maximum Acceleration for the Return Period by Equation (1)	8-15
Fig. 8.2.2-2	Maximum Acceleration for the Return Period by Equation (2)	8-16
Fig. 8.2.2-3	Maximum Acceleration for the Return Period by Equation (3)	8-17
Fig. 8.2.2-4	Maximum Acceleration for the Return Period by Equation (4)	8-18
Fig. 8.2.3-1	Seismic Hazard Map in Nepal	8-19
Fig. 8.2.3-2	Seismic Hazard Map in India	8-20
Fig. 8.2.3-3	Seismic Hazard Map in Nepal	8-23

第 8 章 地 震

8.1 地震活動性

8.1.1 計画地点周辺域の歴史地震

1897年以降、ネパール近傍で発生したマグニチュード7.5を超える大規模地震はTable 8.1.1-1に示す通りである。Assam地震（マグニチュード8.7、1987年6月12日発生）、Kangra地震（マグニチュード8.6、1905年4月4日）、Bihar地震（マグニチュード8.4、1934年1月12日発生）、Quetta地震（マグニチュード8.7、1935年5月30日）、Assam地震（マグニチュード8.7、1950年8月15日）がよく知られた歴史地震で、大災害を招いた。

Table 8.1.1-1 Earthquakes in the Himalayan area of Magnitude over 7.5 since 1897

Occurrence date	Latitude (North degree)	Longitude (Earth degree)	Location	Magnitude	Seismic center depth (m)
1897.06.12	25.9	91.8	Assam	8.7	1,600
1905.04.04	33.0	76.0	Kangra Valley	8.6	19,000
1908.12.12	26.5	97.0	Burma	7.5	
1916.08.28	30.0	81.0	Far Western Nepal	7.5	
1918.07.08	24.5	91.0	Assam	7.6	
1934.01.15	26.5	86.5	Bihar-Nepal	8.4	11,000
1935.05.30	29.5	66.7	Quetta	7.6	30,000
1947.07.29	28.5	94.0	NE Assam	7.9	
1950.08.15	28.5	96.7	Assam	8.7	1,526

これらの大地震はヒマラヤ構造線と南で接触する Sindhu – Gunga 沖積平原に引き起こされるものである。

地震は、地盤間の緊張は地殻プレートの相対的な変位により発生する地盤間の緊張により生じる岩盤の破壊の結果生じるものである。ヒマラヤ地構帯はインド大陸プレートとユーラシア大陸プレートの境界の一部である。

8.2 地震危険度解析

地震危険度解析とは、「ある注目地点（サイト）に将来の一定期間に來襲するであろう地震動の特性を予測すること」である。将来発生する地震および地震動を予測する場合、多くの不確定な要素のもとで判断を行わなくてはならないが、そのために個々の現象を支配する物理的背景の解明、および定量的評価の根拠となるデータの蓄積の両面からその不確定性を低減する努力が行われてきた。それらの不確定性を考慮するために、地震動の性質を、それが発生する可能性を表す「リスク指標」とともに示すことが重要となる。

リスク指標としては、年発生確率や再現期間などの確率論的指標が広く用いられてきた。そのために地震の発生および地震動の性質が確率モデルとして表現される。これは、必ずしも地震現象が本来的に確率事象であることを主張するのではなく、関連するパラメータを定量的に評価する際に現れる不確定性を相対頻度（確率分布）の形でモデル化することにより、問題をリスク指標を求めるルールに乗せるところに意義がある。

一般的に確率論的手法に基づく地震危険度解析は、手法の意味も結果の解釈も明快で、工学的な有用性が高いとされており、ダム耐震設計における設計水平震度の決定にも広く採用された事例が多いため、本検討においてもこれに基づいて設計水平震度を決定することとした。具体的な手順は以下の各項に示す通りである。

8.2.1 確率論的手法に基づく地震危険度解析

今回の調査において使用されたデータはネパール国の国立地質データセンターおよびアメリカ商務省の NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) から発行された地震データファイルに基づく。計画地点(東経 84 度 15 分 30 秒、北緯 27 度 57 分 14 秒)から半径 1,000 km 以内のエリアに震央を有する地震については、同ファイル内に 1905 年から 2004 年までの期間の約 4,000 個の地震データが保有されていた。ネパール国内の地震活動はヒマラヤにおけるプレートの衝突と地殻の収縮という地殻活動の過程で発生するものとされており、以下に示す通り本検討で収集した地震データにおいても震央の分布はヒマラヤの構造帯に沿っており、北部の Main Central Thrust を境界とする中央クォーツ帯に限定されている。

得られた地震データに基づいて以下により計画地点の地震特性を検討した。

(1) マグニチュードによる震央分布状況

これらのデータにおけるマグニチュードの発生頻度は**Table 8.2.1-1**の通りである。

Table 8.2.1-1 Occurrence Frequency of Magnitude among the Collected Data

Magnitude	Number Of data	Amount
<3	69	69
<4	137	206
<5	2,479	2,685
<6	1,010	3,695
<7	315	4,010
<8	50	4,060
Total	4,060	

Table 8.2.1-1の各マグニチュードレベルで震央分布を細分化すると**Fig. 8.2.1-1** ~ **Fig. 8.2.1-6**のようになる。これらの図より以下のことが判明した。

ネパール国内に震央のある地震はマグニチュード4~5のレベルのものが圧倒的に多く、次いで5~6のレベルのものが多。その分布はヒマラヤ構造帯とほぼ一致している。また、マグニチュード7を超える地震は計画地点近傍では発生していない。

$0 < M < 3$

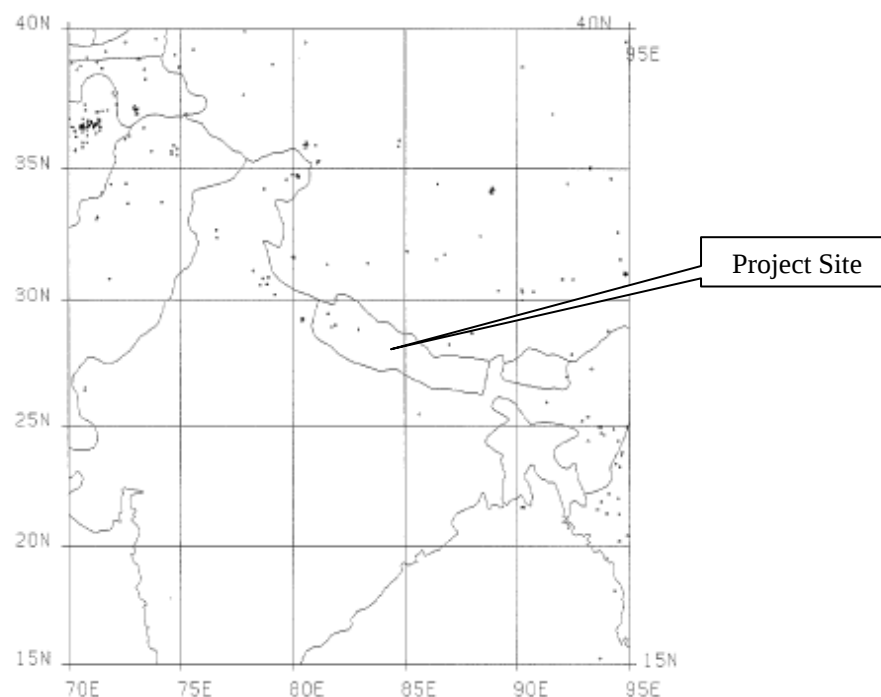


Fig. 8.2.1-1 Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude less than 3

$3 < M < 4$

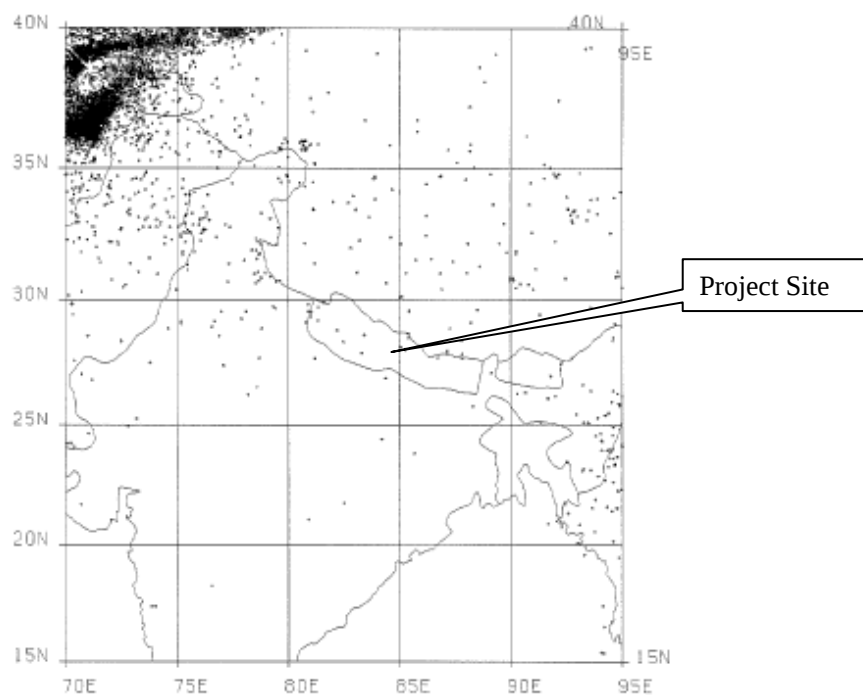


Fig. 8.2.1-2 Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude 3 to 4

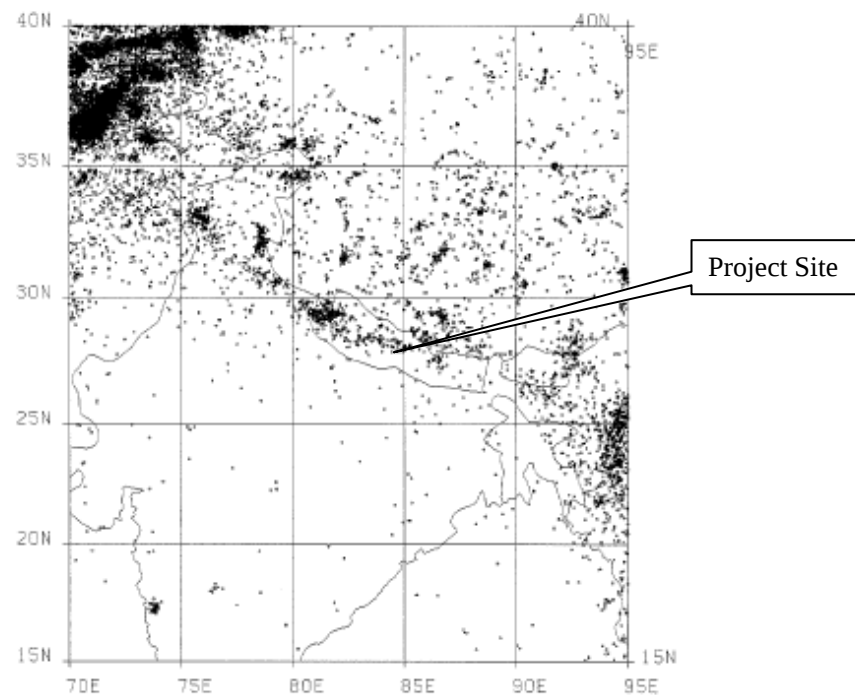
$4 < M < 5$ 

Fig. 8.2.1-3 Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude 4 to 5

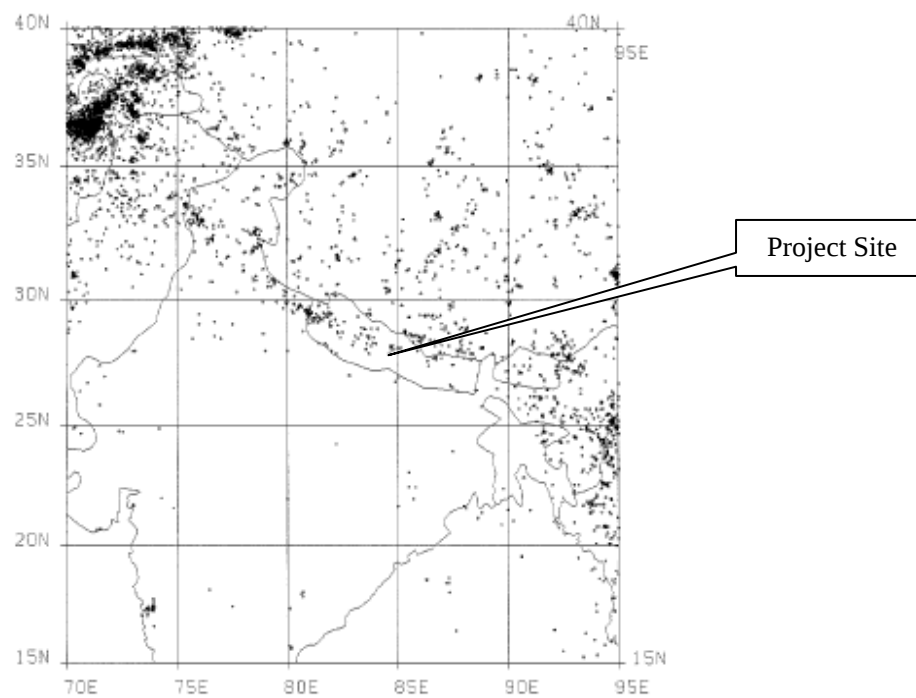
 $5 < M < 6$ 

Fig. 8.2.1-4 Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude 5 to 6

6 < M < 7

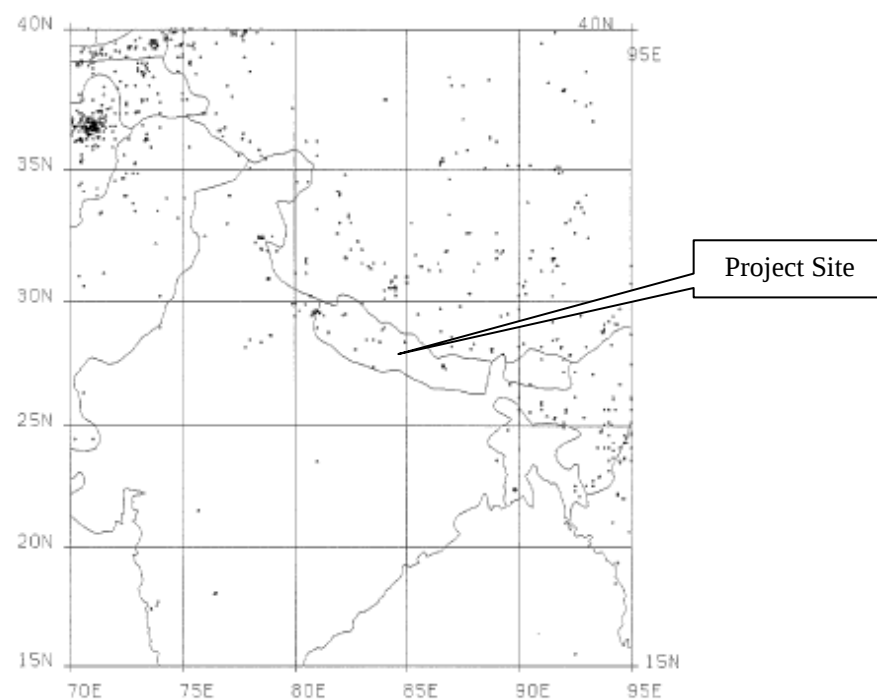


Fig. 8.2.1-5 Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude 6 to 7

7 < M

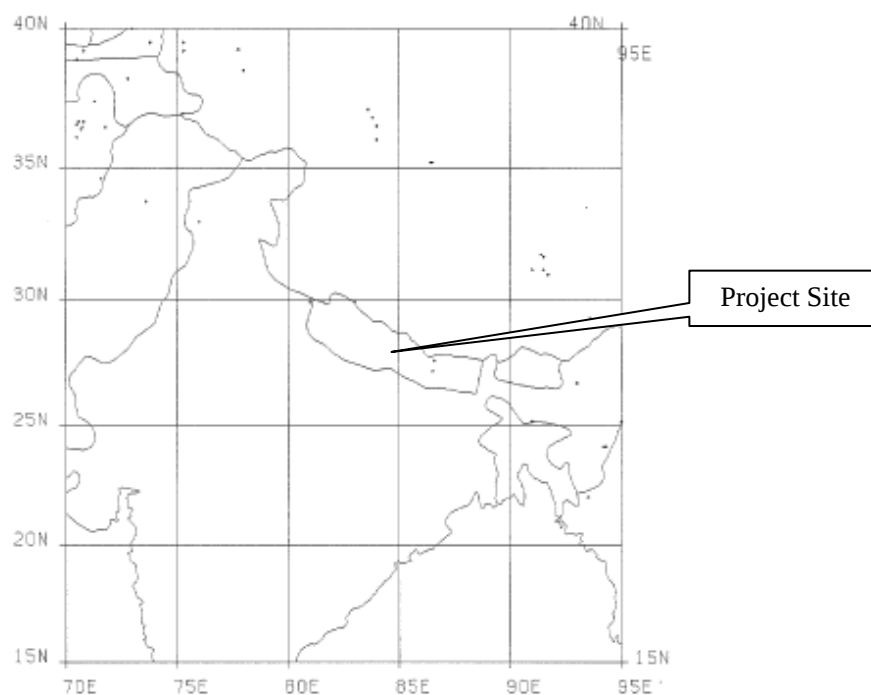


Fig. 8.2.1-6 Epicenter Distribution of Earthquakes of Magnitude more than 7

(2) 震源深さによる震央分布状況

同じく、本調査で得られた地震データについて、その発生頻度を震源深さで整理したのがTable 8.2.1-2である。

Table 8.2.1-2 Occurrence Frequency of Seismic Center Depth among the Collected Data

Seismic Center depth (km)	Number of data	Amount	Regards
<6	113	113	Surface earthquake
<10	53	166	Crust floating earthquake
<20	333	499	
<40	2,915	3,414	
<60	401	3,815	
<80	158	3,973	
<100	42	4,015	
100>	45	4,060	
Total	4,060		

Table 8.2.1-2の各震源深さレベルで震央分布を細分化するとFig. 8.2.1-7 ~ 8.2.1-14のようになる。これらの図から以下のことが判明した。

震源深さが 10 km よりも浅い地震はネパール国内では比較的ランダムに分布するが、10 km を越える深さの地震は概ねヒマラヤ構造帯に沿って分布している。また、計画地点近傍では 60 km を越える震源深さの地震は発生していない。

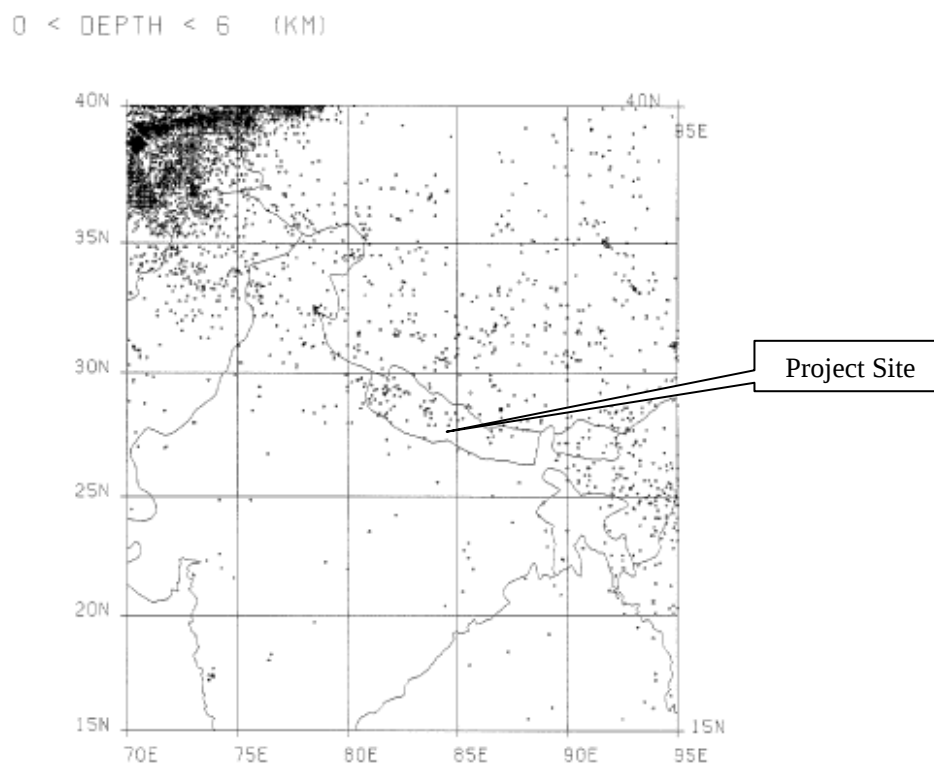


Fig. 8.2.1-7 Epicenter Distribution of Earthquakes less than 6 km in Depth

6 < DEPTH < 10 (KM)

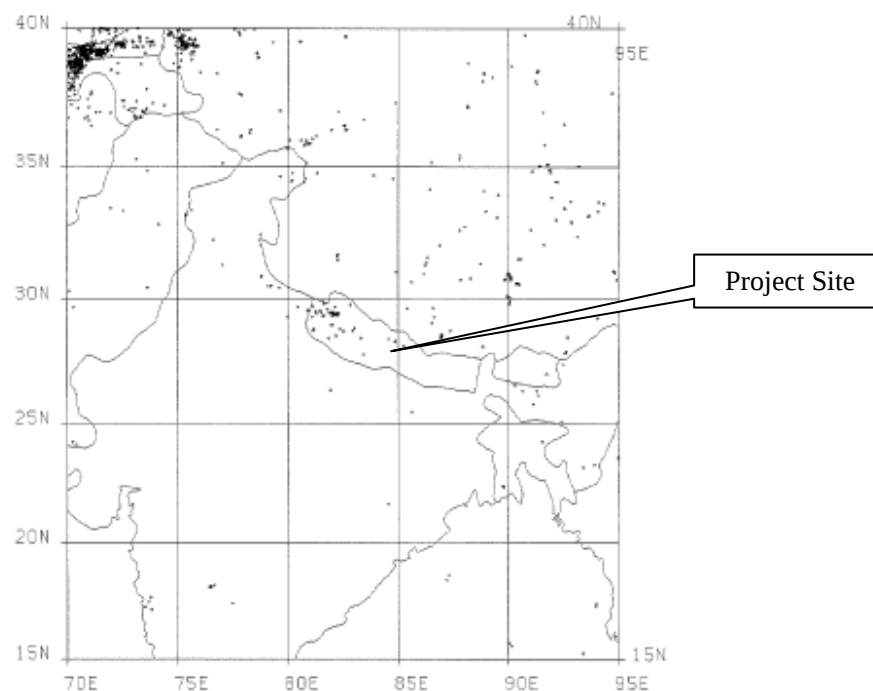


Fig. 8.2.1-8 Epicenter Distribution of Earthquakes between 6 and 10 km in Depth

10 < DEPTH < 20 (KM)

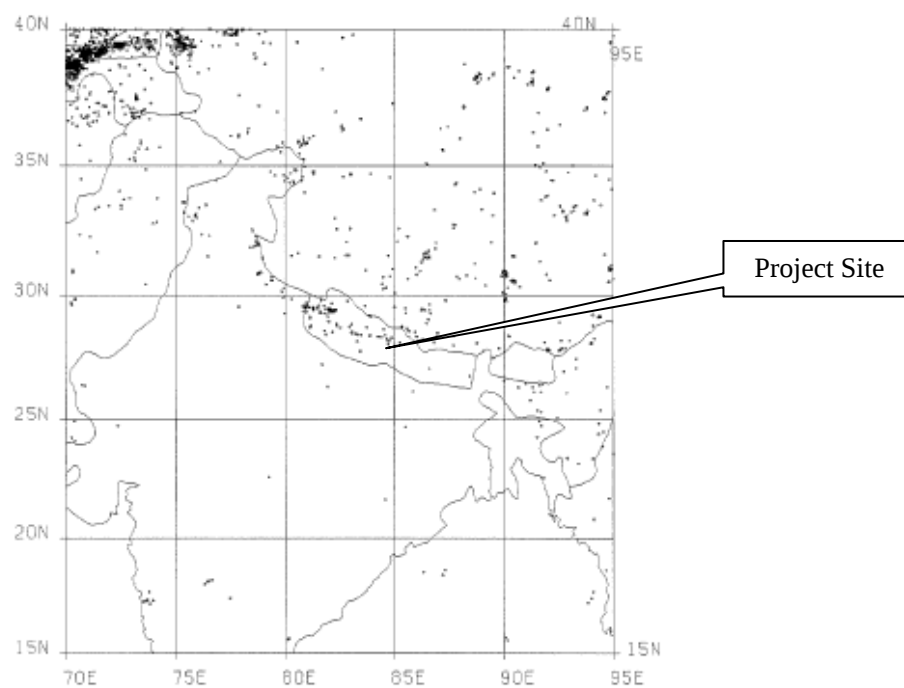


Fig. 8.2.1-9 Epicenter Distribution of Earthquakes between 10 and 20 km in Depth

20 < DEPTH < 40 (KM)

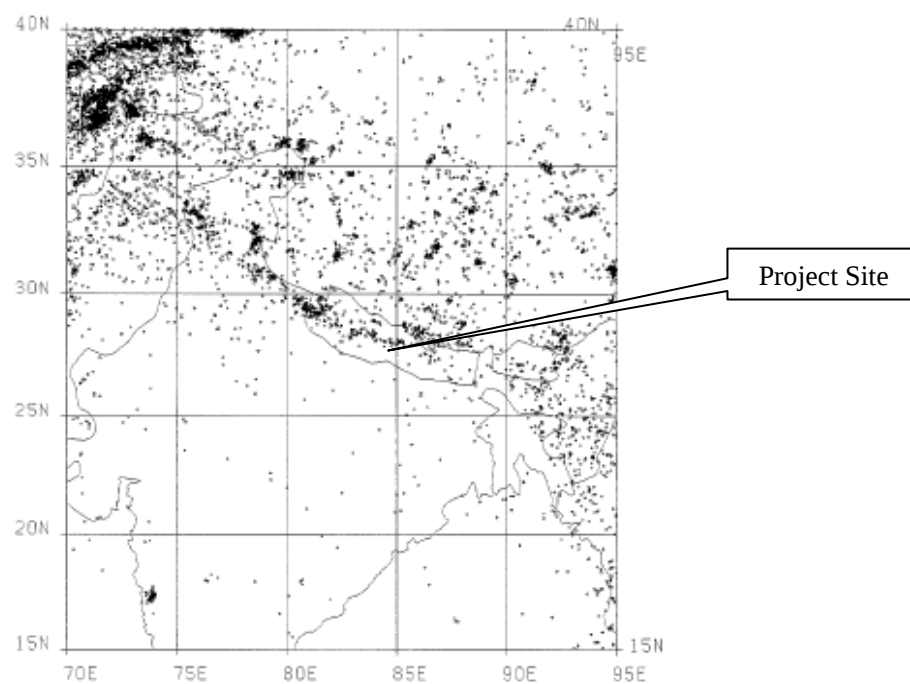


Fig. 8.2.1-10 Epicenter Distribution of Earthquakes between 20 and 40 km in Depth

40 < DEPTH < 60 (KM)

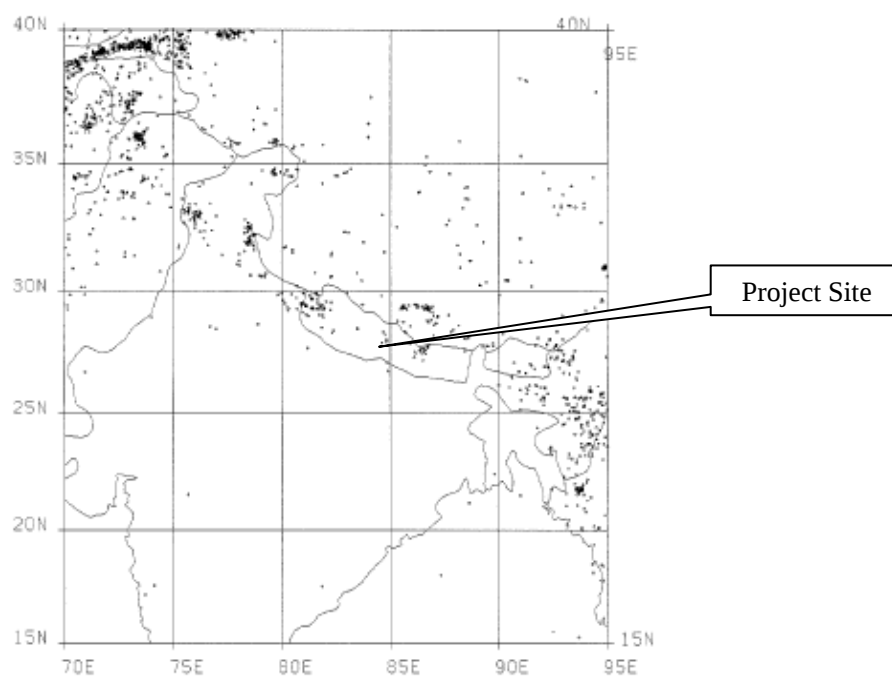


Fig. 8.2.1-11 Epicenter Distribution of Earthquakes between 40 and 60 km in Depth

60 < DEPTH < 80 (KM)

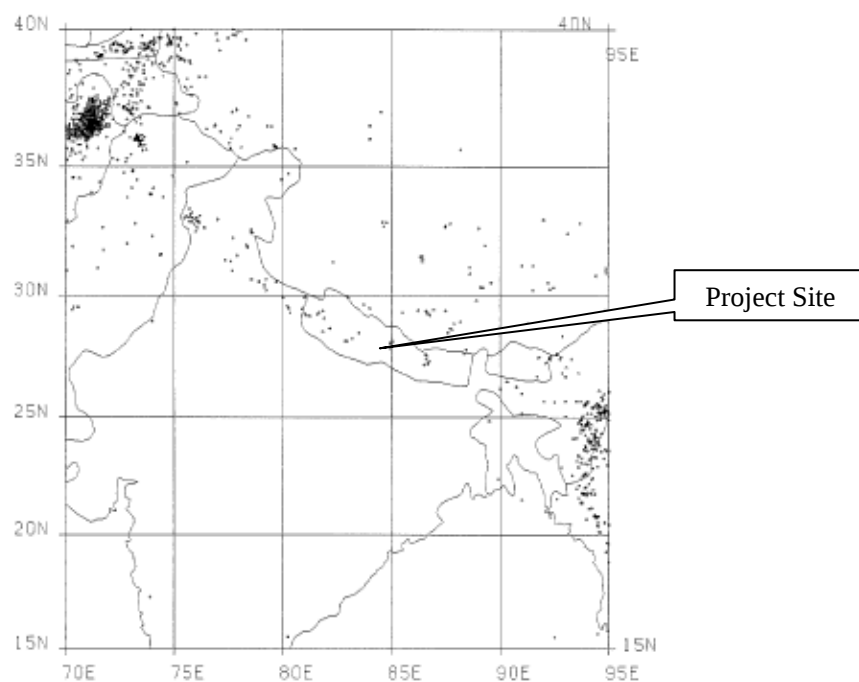


Fig. 8.2.1-12 Epicenter Distribution of Earthquakes between 60 and 80 km in Depth

80 < DEPTH < 100 (KM)

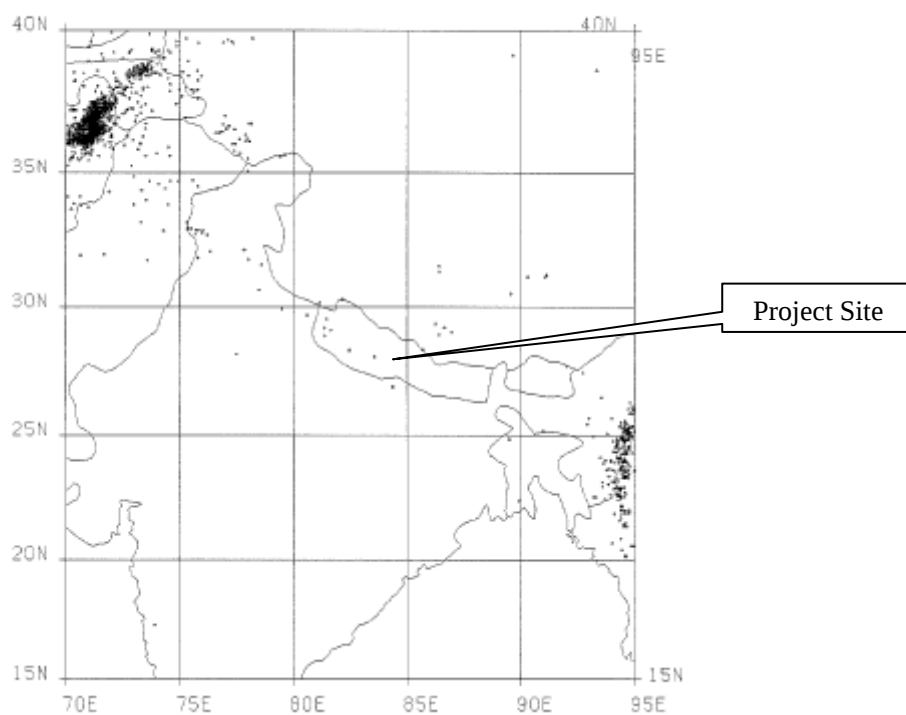


Fig. 8.2.1-13 Epicenter Distribution of Earthquakes between 80 and 100 km in Depth

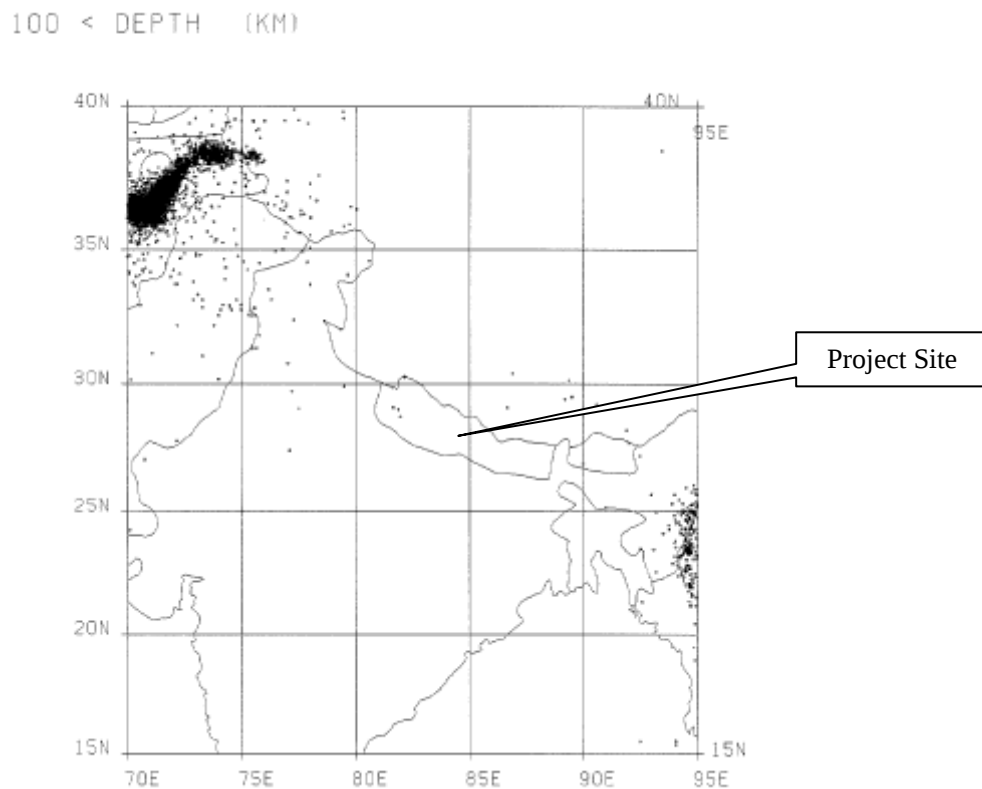


Fig. 8.2.1-14 Epicenter Distribution of Earthquakes more than 100 km in Depth

8.2.2 ダム地点の最大加速度の推定

ネパール国内の他水力地点の検討事例に基づき、地震のマグニチュード M と震央距離 R (km) あるいは震源距離 D (km) による地表の最大加速度 A (gal) を用いて、最大加速度を推定する過去に提案された減衰式のうち、本検討においては、以下の 4 つの式を採用した。

$$\text{Log } A = 3.090 + 0.347 M - 2 \text{ Log } (R+25) \dots\dots\dots (1)$$

By C. Oliveria

$$\text{Log } A = 2.674 + 0.278 M - 1.301 \text{ Log } (R+25) \dots\dots\dots (2)$$

By R. K. McGuide

$$\text{Log } A = 2.041 + 0.347 M - 1.6 \text{ Log } D \dots\dots\dots (3)$$

By L. Esteva and E. Rosenblueth

$$\text{Log } A = 2.308 + 0.411 M - 1.637 \text{ Log } (R+30) \dots\dots\dots (4)$$

By T. Katayama

全ての地震データについて、最大加速度が上記の式を用いて計算し、その結果、得られた観測期間中の年間最大加速度は **Table 8.2.2-1** に示す通りである。

Table 8.2.2-1 Annual Maximum Acceleration during Observation

YEAR	Attenuation Model 1		Attenuation Model 2		Attenuation Model 3		Attenuation Model 4	
	ACC.	LOG(ACC.)	ACC.	LOG(ACC.)	ACC.	LOG(ACC.)	ACC.	LOG(ACC.)
1905	0.69	-0.16079	9.41	0.97339	1.02	0.00763	4.46	0.64937
1906	0	0	0	0	0	0	0	0
1907	0	0	0	0	0	0	0	0
1908	0.69	-0.15969	8.34	0.92131	0.89	-0.05263	3.31	0.52025
1909	0	0	0	0	0	0	0	0
1910	0	0	0	0	0	0	0	0
1911	0.99	-0.00638	10.3	1.01267	1.16	0.06632	4.21	0.62398
1912	0	0	0	0	0	0	0	0
1913	4.26	-0.62983	27.85	1.44483	4.25	0.62832	15.27	1.18375
1914	0.24	-0.62765	3.99	0.60069	0.35	-0.45765	1.26	0.09966
1915	0.57	-0.24568	7.39	0.86851	0.76	-0.12038	2.87	0.4581
1916	2.48	-0.39449	20.17	1.3048	2.74	0.43735	10.63	1.02661
1917	0	0	0	0	0	0	0	0
1918	1.07	-0.02993	10.27	1.01172	1.18	0.07179	3.91	0.59229
1919	0	0	0	0	0	0	0	0
1920	0.22	-0.64826	3.79	0.57893	0.33	-0.48451	1.15	0.06233
1921	0.39	-0.41444	5.38	0.73102	0.51	-0.29175	1.79	0.25259
1922	0	0	0	0	0	0	0	0
1923	0.56	-0.25117	7.33	0.86494	0.75	-0.12493	2.84	0.45363
1924	0.61	-0.21767	7.37	0.86739	0.76	-0.11893	2.71	0.43312
1925	0	0	0	0	0	0	0	0
1926	0.21	-0.67881	3.62	0.55905	0.31	-0.50959	1.09	0.03745
1927	0.63	-0.20077	7.56	0.87838	0.79	-0.10484	2.8	0.44684
1928	0	0	0	0	0	0	0	0
1929	0	0	0	0	0	0	0	0
1930	0.75	-0.12674	8.83	0.94588	0.95	-0.02172	3.59	0.55476
1931	1.58	-0.19997	12.86	1.10926	1.61	0.2059	4.98	0.69682
1932	0.32	-0.49169	4.56	0.65934	0.42	-0.38012	1.37	0.13692
1933	0.33	-0.4851	4.61	0.66363	0.42	-0.37464	1.39	0.14228
1934	6.86	-0.83649	41.24	1.61532	6.9	0.8391	27.6	1.44096
1935	1.01	-0.00512	10.29	1.01231	1.17	0.06776	4.11	0.61384
1936	19.48	-1.28958	73.12	1.86406	17.16	1.23441	48.31	1.68405
1937	0.28	-0.55627	4.11	0.6142	0.37	-0.43723	1.25	0.09643
1938	1.6	-0.20454	12.86	1.1091	1.61	0.20721	4.93	0.69261
1939	0	0	0	0	0	0	0	0
1940	0.32	-0.49438	4.78	0.67902	0.44	-0.35784	1.54	0.18758
1941	0.43	-0.36297	5.94	0.7739	0.58	-0.23922	2.12	0.32587
1942	0	0	0	0	0	0	0	0
1943	0.4	-0.39448	5.96	0.77537	0.58	-0.23886	2.22	0.34604
1944	1.64	-0.21468	14.34	1.15647	1.79	0.25333	6.35	0.80298
1945	0.95	-0.02057	9.9	0.9956	1.11	0.04611	3.92	0.59302
1946	0.31	-0.51457	4.63	0.66589	0.42	-0.37449	1.48	0.17115
1947	0.97	-0.01278	9.82	0.9923	1.11	0.04399	3.79	0.57855
1948	0.22	-0.66286	3.71	0.56942	0.32	-0.4965	1.12	0.05044
1949	0	0	0	0	0	0	0	0
1950	0.24	-0.62571	4	0.60195	0.35	-0.45606	1.26	0.10124
1951	0.93	-0.03274	10.88	1.03682	1.23	0.08995	5.07	0.70469
1952	0.64	-0.19152	8.27	0.91733	0.87	-0.05998	3.43	0.53564
1953	2.74	-0.4373	18.22	1.26051	2.59	0.41304	7.58	0.87957
1954	28.75	-1.45869	90.75	1.95786	26.07	1.41615	59.29	1.77296
1955	2.15	-0.33207	15.85	1.1999	2.12	0.32538	6.53	0.81499
1956	0.53	-0.27544	6.6	0.81967	0.66	-0.17938	2.34	0.36907
1957	3.69	-0.56722	23.88	1.37796	3.57	0.55252	11.68	1.06737
1958	8.02	-0.90435	37.7	1.57635	7.11	0.85189	19.17	1.28261
1959	0.39	-0.40423	5.49	0.73923	0.52	-0.28151	1.84	0.26475
1960	1.37	-0.13587	11.6	1.06443	1.4	0.14751	4.34	0.63729
1961	1.62	-0.21042	13.16	1.1192	1.65	0.21771	5.17	0.71313
1962	10.38	-1.01606	41.71	1.62027	9.22	0.96491	19.7	1.29456
1963	0.78	-0.10772	7.35	0.86624	0.8	-0.09876	2.19	0.34115
1964	1.49	-0.17372	11.81	1.07232	1.47	0.16646	4.22	0.62563
1965	7.46	-0.87274	35.74	1.55317	6.62	0.82083	17.81	1.25077
1966	14.57	-1.16332	51.2	1.70926	13.5	1.13042	24.58	1.39054
1967	1.72	-0.2366	12.89	1.11009	1.66	0.21968	4.66	0.66819
1968	2.47	-0.39302	16.29	1.21184	2.29	0.36028	6.22	0.79347
1969	15.24	-1.18291	52.72	1.722	14.22	1.15292	25.45	1.40566
1970	11.72	-1.06894	44.45	1.64787	10.59	1.02494	20.77	1.31745
1971	3.5	-0.54409	19.21	1.28345	3.1	0.49069	6.99	0.84475
1972	0.93	-0.03358	8.3	0.91917	0.93	-0.0302	2.59	0.4127
1973	3.01	-0.47854	17.66	1.24708	2.69	0.42964	6.44	0.80913
1974	3.47	-0.54078	20.1	1.30325	3.12	0.49429	7.93	0.89917
1975	12.9	-1.1106	46.63	1.66869	11.92	1.07616	21.51	1.33266
1976	1.76	-0.24544	11.87	1.07454	1.59	0.20243	3.71	0.56975
1977	0.78	-0.10522	7.83	0.89401	0.85	-0.07256	2.56	0.40866
1978	13.77	-1.13903	48.08	1.68196	13.01	1.11434	21.89	1.34024
1979	8.38	-0.92331	30.49	1.48413	8.66	0.93737	10.35	1.01509
1980	1.63	-0.21335	14.05	1.14776	1.76	0.2446	6.06	0.78232
1981	11.6	-1.06462	39.06	1.59173	12.32	1.09057	14.68	1.16663
1982	2.73	-0.43643	15.06	1.17787	2.41	0.38127	4.64	0.66645
1983	3.16	-0.4996	16.76	1.22419	2.78	0.44468	5.37	0.72994
1984	5.99	-0.77717	26.02	1.41536	5.49	0.73996	10.49	1.02098
1985	2.53	-0.40327	14.51	1.16153	2.23	0.34851	4.51	0.65411
1986	14.68	-1.16664	55.17	1.74174	13.04	1.11519	29.86	1.47515
1987	14.02	-1.14689	50.8	1.70589	12.76	1.10586	25.84	1.41226
1988	20.16	-1.30453	63.87	1.8053	19.58	1.29176	32.41	1.51069
1989	10.5	-1.02114	36.6	1.56345	10.8	1.03332	13.6	1.13363
1990	3.88	-0.58924	19.4	1.28773	3.43	0.53549	6.52	0.81414
1991	1.21	-0.08372	8.99	0.95366	1.11	0.04507	3.51	0.54499
1992	1.23	-0.08871	9.83	0.99258	1.16	0.06586	3.24	0.51022
1993	5.26	-0.72096	25.09	1.39955	4.64	0.66623	9.7	0.98687
1994	3.61	-0.55714	17.72	1.24855	3.22	0.50755	5.5	0.74013
1995	12.65	-1.10211	42.63	1.62971	12.93	1.11159	17.12	1.23345
1996	17.15	-1.23431	50.12	1.70003	22.05	1.34335	19.41	1.28809
1997	6.99	-0.84438	32.92	1.51747	6.16	0.7899	15.25	1.18326
1998	4.24	-0.62754	24.08	1.38165	3.85	0.58499	10.59	1.02486
1999	7.2	-0.85721	28.25	1.45106	6.9	0.83879	10.8	1.03324
2000	2.78	-0.44333	15.87	1.20065	2.45	0.38954	5.25	0.71999
2001	25.83	-1.4122	78.28	1.89364	24.92	1.39653	44.05	1.64398
2002	6.07	-0.78296	24.65	1.39178	5.81	0.76427	8.15	0.91137
2003	7.91	-0.89832	32.53	1.51231	7.14	0.85361	13.13	1.11842
2004	9.6	-0.98205	36.04	1.55684	9.05	0.95662	14.32	1.15609

この表において(2)式より得られた 1954 年の加速度が最大となる。この加速度に対応する地震は 1954 年 9 月 4 日に発生したマグニチュード 6.6、震央距離 59 km、震源深さ 30 km の地震である。

超過確率理論に基づく確率モデルを適用して再来周期に対する最大加速度値の推定を行った。プロジェクト地点の最大加速度の確率関数は未知であるが、その関数をガンベル第 3 漸近法により推定した。その結果を Fig. 8.2.2-1 ~ 8.2.2-4 に示す。これを元に各式による 50 年、100 年、150 年、200 年、300 年、500 年、1,000 年、10,000 年の再来周期に対する最大加速度値を算出した。その結果を Table 8.2.2-2 に示す。

Table 8.2.2-2 Maximum Acceleration Value by Each Equation to the Advent Period

MAIN-CURVE

NO.	Return Period	Probability	Attenuation 1	Attenuation 2	Attenuation 3	Attenuation 4
1	50	0.98	32.5316	78.4983	23.0424	38.7179
2	100	0.99	42.9713	91.5436	28.1659	45.4992
3	150	0.9933333	49.3353	98.6746	31.0141	49.1623
4	200	0.995	53.8979	103.4791	32.9455	51.6087
5	300	0.9966667	60.325	109.8698	35.5243	54.8318
6	500	0.998	68.3022	117.268	38.5155	58.5133
7	1000	0.999	78.6862	126.1414	42.0955	62.847
8	10000	0.9999	107.2284	147.0039	50.3481	72.5741

REFERENCE-CURVE

NO.	Return Period	Probability	Attenuation 1	Attenuation 2	Attenuation 3	Attenuation 4
1	50	0.98	21.3023	75.2575	20.6293	47.5956
2	100	0.99	26.943	87.4151	24.9746	56.9454
3	150	0.9933333	30.2738	94.0416	27.3733	62.0627
4	200	0.995	32.6204	98.4988	28.9939	65.504
5	300	0.9966667	35.8743	104.4197	31.1507	70.0657
6	500	0.998	39.8387	111.2629	33.6429	75.3129
7	1000	0.999	44.8933	119.4556	36.6137	81.5363
8	10000	0.9999	58.2942	138.6613	43.4174	95.6761

この結果を比較すると(2)式による結果が他の式と比較して大きい。

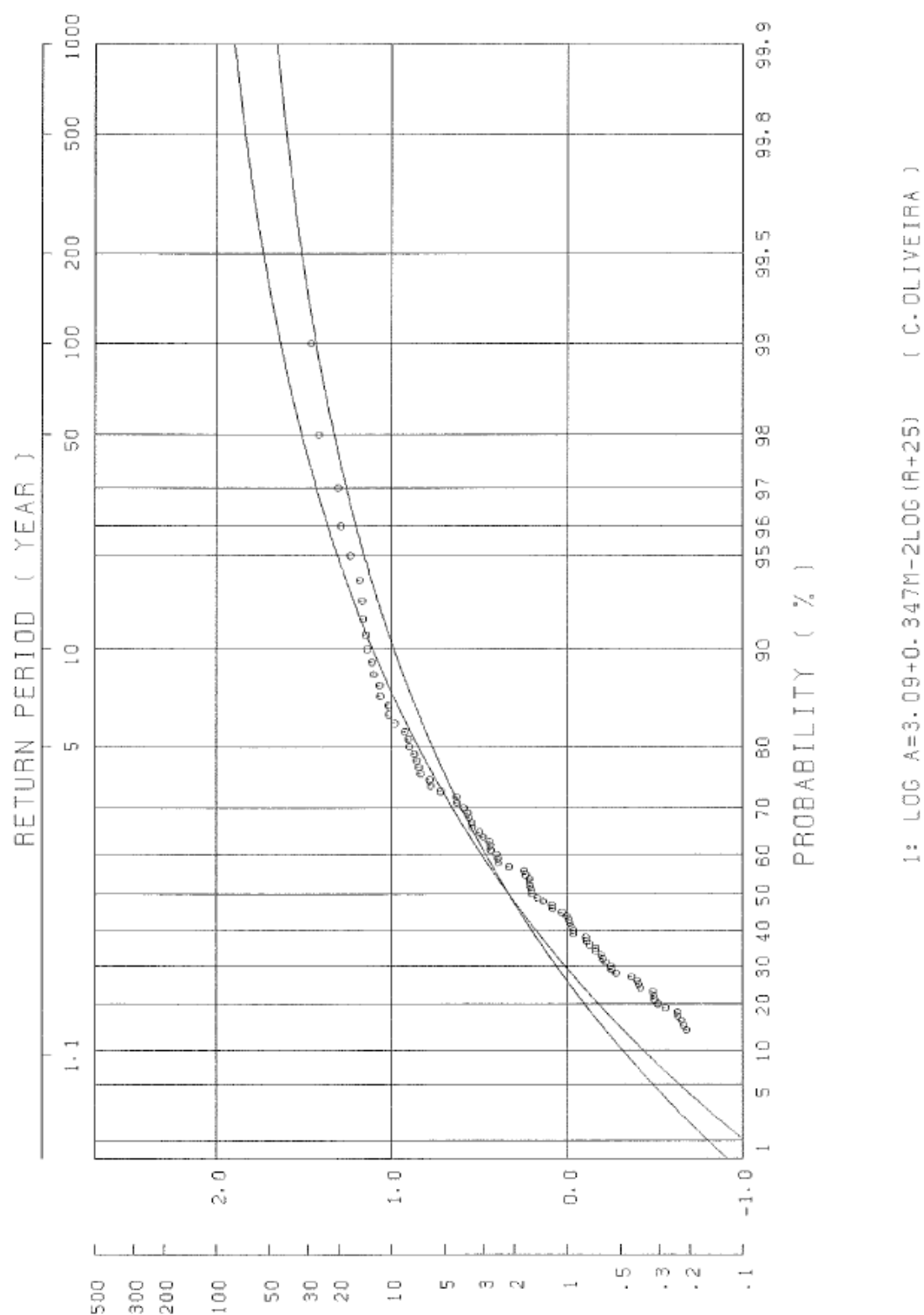


Fig. 8.2.2-1 Maximum Acceleration for the Return Period by Equation (1)

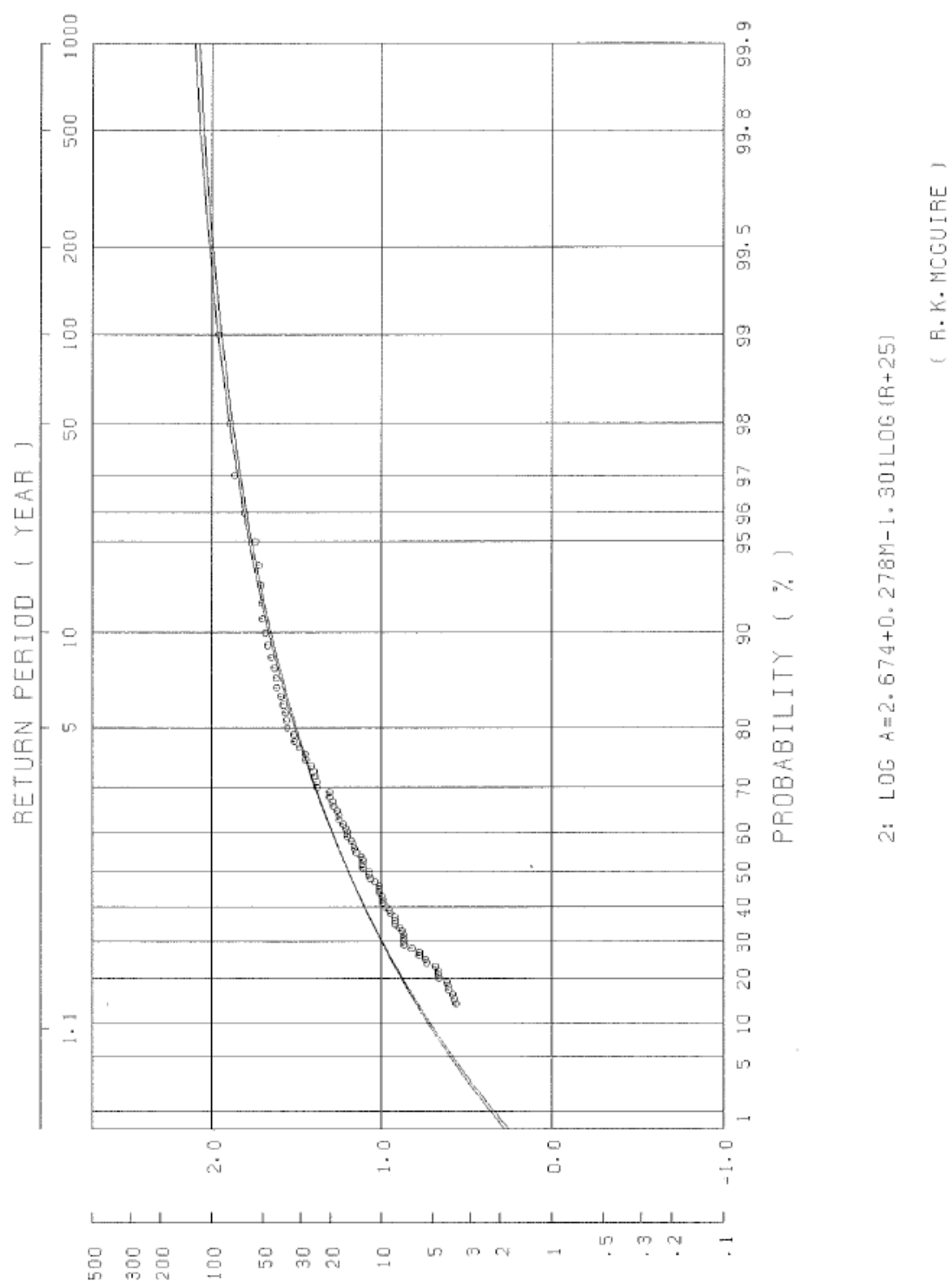


Fig. 8.2.2-2 Maximum Acceleration for the Return Period by Equation (2)

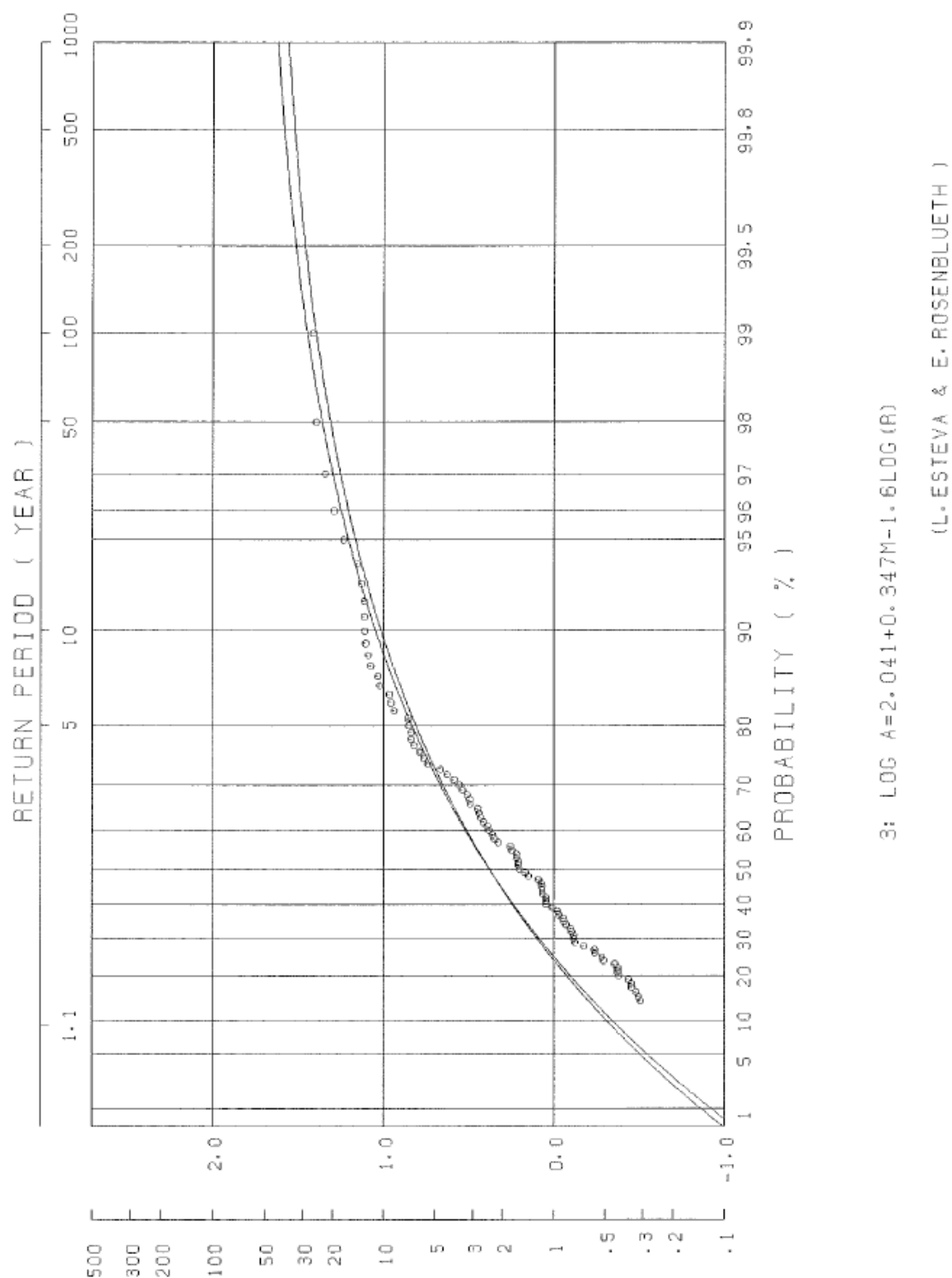


Fig. 8.2.2-3 Maximum Acceleration for the Return Period by Equation (3)

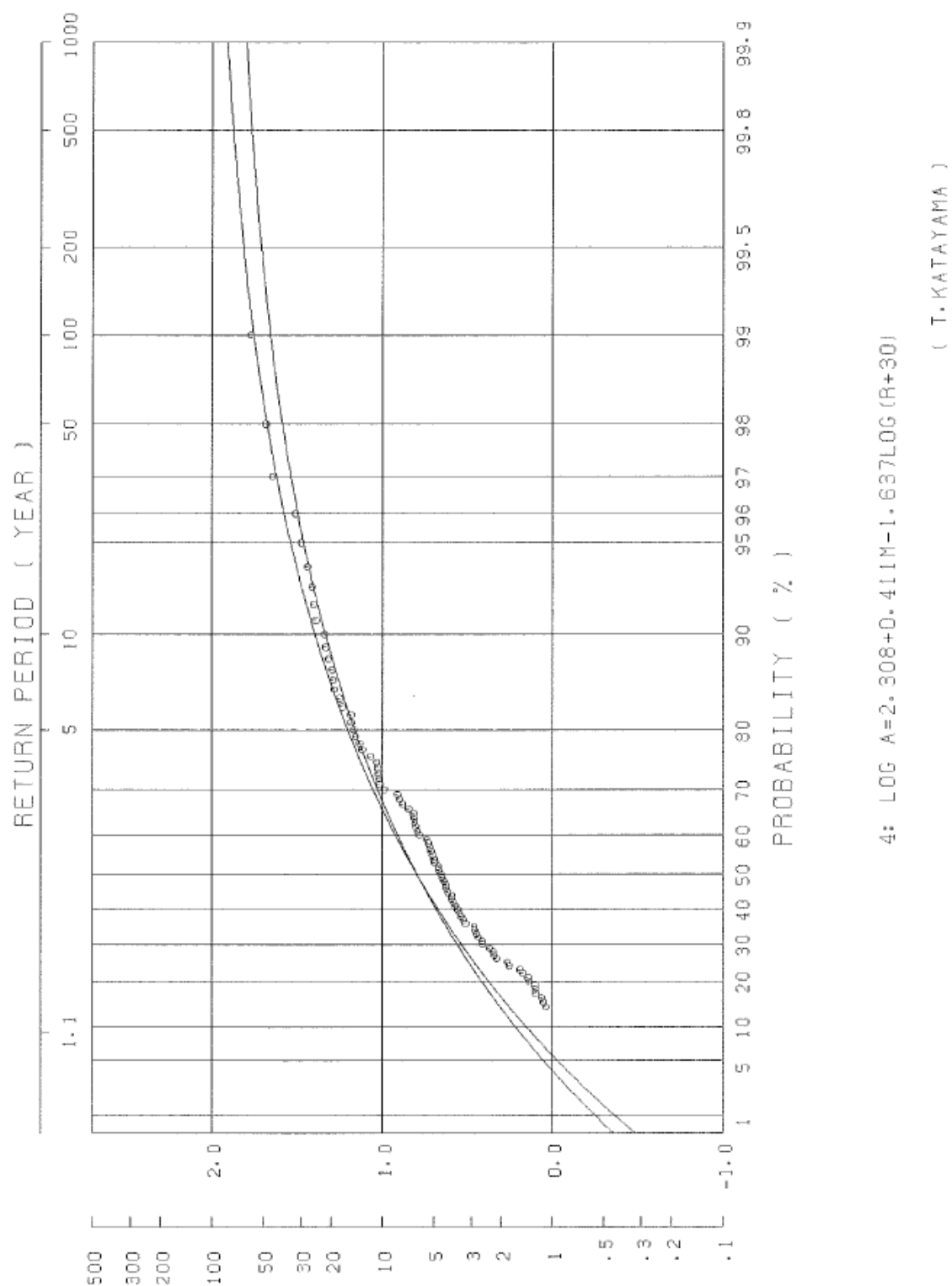


Fig. 8.2.2-4 Maximum Acceleration for the Return Period by Equation (4)

8.2.3 設計水平震度

(1) ネパールの耐震設計基準に基づく評価

ネパールの耐震設計基準は、**Fig. 8.2.3-1**に示す地震危険度マップに基づく。設計震度を決定するために国は3つの地震危険領域に分割され、そこで地盤が耐力に応じて3つの階級に分類されている。

アッパーセティ計画地点は第2種危険領域に位置し、ダムサイトの基礎地盤は「硬い地盤」に属する。それ故、基本的な設計水平震度は0.05と考えられる。ダムの場合、重要度で1.5を考慮しなくてはならない。結果的に Upper Seti Dam の設計水平震度はネパール国の耐震設計基準によれば0.075となる。

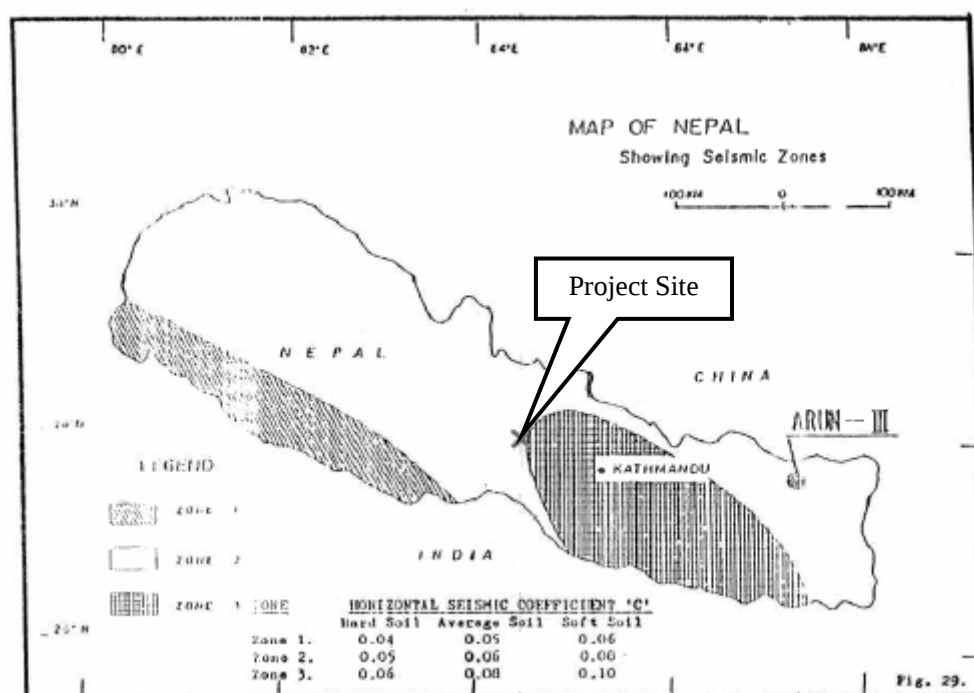


Fig. 8.2.3-1 Seismic Hazard Map in Nepal

(2) インドの耐震設計基準に基づく評価

インドの耐震設計基準における地震危険度マップは**Fig. 8.2.3-2**の通りである。インドの基準では国は5つの地震危険度ゾーンに分割されている。**Fig. 8.2.3-1**と**Fig. 8.2.3-2**を比べると、ネパールの地震危険領域3がインドの地震危険領域5に相当すると考えられる。したがって、アッパーセティ計画地点はネパールの地震危険領域3よりは低いレベルの地域に位置するので、インドの地震危険領域4に相当すると考えられ、**Table 8.2.3-1**に示す通り、基本水平設計震度は0.05となる。

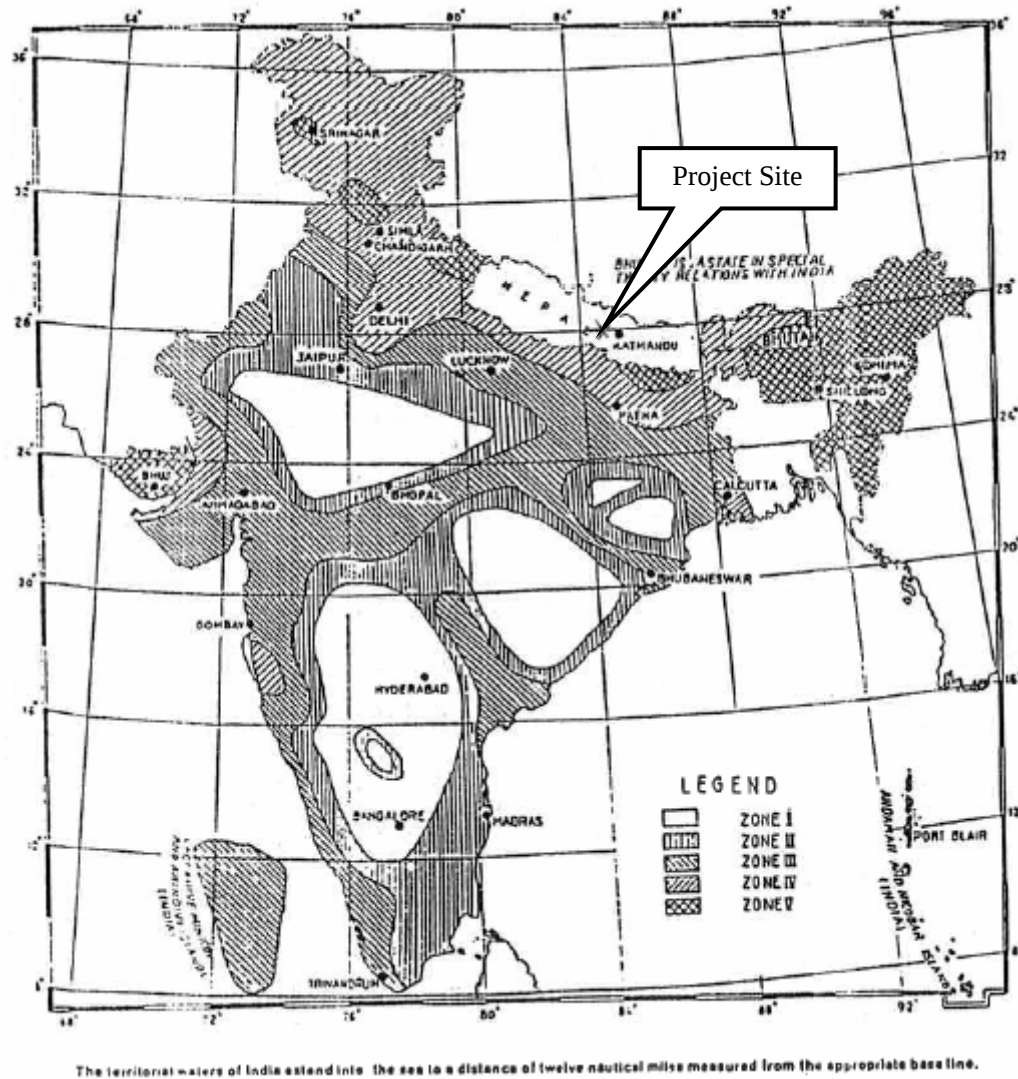


Fig. 8.2.3-2 Seismic Hazard Map in India

ところでインドの基準において水平設計震度は次式により定義されている。

$$\alpha_h = \beta * I * \alpha_0$$

- ここに、 α_h : 水平設計震度
 B : 地盤係数
 I : 重要度
 α_0 : 基本水平震度

ダムに対する地盤係数 β が 1、ダムに対する重要度 I が 2 とされていることから、結果的にアッパーセティダムの水平設計震度はインドの基準に適合するには、0.10 としなくてはならない。

Table 8.2.3-1 Basic Seismic Coefficient in the Indian Seismic Hazard Region

Seismic hazard region	Basic horizontal seismic efficient
V	0.08
IV	0.05
III	0.05
II	0.02
I	0.01

(3) 既往地震記録に基づく評価

アッパーセティダムサイトにおける既往地震による最大加速度の評価値を総括すると **Table 8.2.3-2** のようになる。

Table 8.2.3-2 Summary of Maximum Acceleration Estimation at the Upper Seti Dam Site

	Date	Location	LAT(N)	Long(E)	M	R	Depth	D	Eq.(1)	Eq.(2)	Eq.(3)	Eq.(4)	Remarks
Historical Damaging Earthquake	18970612	Assam	22.5	91.8	8.7	1036.04	1.6	1036.04	1.14	14.33	1.72	1.14	
	19050404	Kangra	33	76	8.6	1077.32	19	1077.49	0.98	12.78	1.49	0.98	
	19081212	Burma	26.5	97	7.5	1427.57		1427.57	0.23	4.42	0.39	0.23	
	19180708	Assam	24.5	91	7.6	843.22		843.22	0.71	9.20	0.99	0.71	
	19340112	Bihar	26.5	86.5	8.4	297.43		297.43	9.73	55.68	9.96	9.73	
	19350530	Quetta	29	66.7	7.6	1958.00	11	1958.04	0.14	3.14	0.26	0.14	
	19470729	NE Assam	28.5	94	7.9	1086.12	30	1086.53	0.55	8.08	0.84	0.55	
	19500815	Assam	28.5	96.7	8.7	1386.31	1.526	1386.31	0.65	9.88	1.08	0.65	
Near Field Earthquakes around Site	19540904		28.3	83.8	6.6	59.188	30	66.357	28.75	90.75	26.07	59.29	Max data
	19960127		28.067	84.267	4.5	12.63	22	25.37	31.66	51.35	22.68	17.67	
	20010716		27.967	84.717	5.9	51.08	20	54.86	23.70	69.07	20.21	21.51	
Return Period (year)		Probability (%)											
50		98.0%											
100		99.0%											
200		99.5%											
50		98.0%											
100		99.0%											
200		99.5%											
50		98.0%											
100		99.0%											
200		99.5%											

地震動の最大加速度を設計震度に変換する方法は、以下の通りである。

$$\alpha_{\text{eff}} = R * \alpha = R * A_{\text{max}} / 980$$

α_{eff} : 有効設計震度

R : 減衰係数（経験的な値で概ね、0.55 ~ 0.65）

ここで、減衰係数 R を考慮する理由は、

- 静的解析は、解析モデルに地震荷重として静的な慣性力を入力し、応力と変形を算出するものである。言い換えると静的解析手法は周期 ∞ の地震波を地震力として入力した一種の動的解析とも考えられる。それ故、減水係数を考慮しないと設計震度を過大に評価してしまう。
- R は、初めは経験的な知識に基づいて提案されたが、同様の結果が動的解析や静的解

析の研究でも報告されている。

上記を考慮して、上記により最大加速度から震度を算出することとし、**Table 8.2.3-2**に示すようにUpper Setiダムの水平震度は 0.06 となった。

Table 8.2.3-3 Seismic Coefficient Based Upon Maximum Acceleration

Estimated Value	Basis of Estimation
R = 0.6	The estimated maximum acceleration by statistical analysis is controlled by near-field earthquakes. Near-field earthquakes→Excel in high frequency→High reduction
Amax = 97.12 gal	a. Maximum acceleration of historical earthquakes by attenuation models 90.75 gal on September 4, 1954 by Eq. (2) b. Statistical Analysis 103.48 gal: by Eq. (2) Amax is estimated as the average of a. to b.
$\alpha_{eff} = 0.06$	$\alpha_{eff} = R * Amax / 980 = 0.06$

(4) ネパール国地震ハザードマップに基づく評価

現地調査において**Fig 8.2.3-3**に示すネパール国地震ハザードマップを入手できた。これにより計画地点における最大加速度の推定が可能である。これによれば、計画地点の加速度推定値は 230 galとなる。

これより、前項に示した地震動の最大加速度を設計震度に変換する方法によれば、以下により水平震度は 0.15 なる。

$$\begin{aligned}
 \alpha_{eff} &= R * \alpha = R * Amax / 980 \\
 &= 0.6 * 230 / 980 \\
 &= 0.1408 \Rightarrow 0.15
 \end{aligned}$$



Fig. 8.2.3-3 Seismic Hazard Map in Nepal

(5) アッパーセティ計画の設計水平震度

異なる方法による設計水平震度の算出結果をTable 8.2.3-4に示す。本検討においては、ネパールの地震特性、ダムサイトの地盤条件、ダムの規模、震度法の意味を考慮してUpper Setiダムの設計水平震度は0.15 とすることとした。

Table 8.2.3-4 Result of Seismic Coefficient Estimation obtained in Various Ways

Evaluation Basis	Design Horizontal Seismic Coefficient
Seismic Design Code in Nepal	0.075
The India Standard	0.10
Estimate based on Earthquake data records	0.06
Estimate based on the Nepalese Hazard Map	0.15
Proposed value for the Upper Seti Dam	0.15