7．水文・地質調査

7．水文・地質調査

7．1　水文

（1）気象状況

a) 降雨

計画地域は亜熱帯の雨期と乾期のはっきりしたモンスーン地域で、雨期には年平均降雨量：1,335 mm の殆どが集中する。本格的な雨期は、6月から9月末まで続き、流量観測所のあるJamu では700 mm を超える月降水量が記録されている。乾期は、北西モンスーンにより乾燥した寒気団がもたらされ、降雨は非常に少ない。

b) 気温

日中の最高気温は、5月には45 ℃前後となり、雨期前の雷雨が頻繁に発生する。また、最低気温は12 月から1 月にかけて記録され、10 ℃程度となる。

c) 湿度

湿度は非常に高い時期が多く、雨期71~84%、乾期53~78% である。

（以上、資料Babai Irrigation Project / Right Bank Command Area及びRoyal Bardia National Parksのパンフレットより）

（2）河川状況

a) 概要

Bheri 川はKarnali 川の左支川で、その源流は7,700 m 級のダウラギリの峯に発している。上、中流域では南西に向かい、下流域ではKarnali 川に合流するまで流れをほぼ直角に変え北西に向かって流れる。また、Babai 川はBheri 川の南側に位置し、Bheri 川を縮小した相似形の河状をなし、源流は2,000 m にも満たないシワリク山地に発している。Babai 川はインドに入りKarnali 川の下流で合流し、ガンジス川につながっている。

b) Bheri 川

Bheri 川は、取水堰予定地点より上流15 km 付近からKarnali 川合流点までは、U字谷の形状で、これより上流約30 km 区間は谷の開いた扇状地状の盆地地形となっている。流域面積は、Karnali 川に合流する直前の流量観測所Jamuで12,290 km2 であり、かなり大きな面積を有している。河川勾配は取水堰予定地点ではかなり急で、まだ雨期の終わりであったためか、水量も多く滔々として流れていた。取水堰予定地点までは、本川と支川との合流点では谷が開け、河岸に出られるが、それ以外の箇所では高捲いた道であった。河谷の植生は非常に密ではあるが、地滑りの跡が数ヵ所認められた。

c) Babai 川

流域面積3,000 km2 の Babai 川はUpper シュワリク帯にあり、上流域では峡谷状となっているがChepang 付近から下流の公園内の中流域は、谷が開け川幅も非常に広くなりその中を蛇行しながら緩やかに流下している。河谷の植生は非常に密である。

（3）流量資料

Bheri 川の流量観測所（St.No.270、地点名：Jamu、流域面積：12,290 km2）が取水堰予定地点より下流にあり、1963 年頃からの流量が観測されている。表7－1 に1963 年から1985 年までの月平均、最大、最小流量を示す。これより、観測地点での平均流量は435 m3/s、最大流量は5,120 m3/s、最小流量は50.4 m3/sとなる。

表 7-1(1/2) Bheri 川流量資料

Station name: Jamu
River: Bheri River
Station no.: 270

MEAN MONTHLY AND YEARLY DISCHARGES [in cumec]

Year:	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June.	July.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year
1963	114	91.8	102	122	200	404	1410	2160	1210	369	192	137	547
1964	105	88.0	82.1	98.4	125	298	1070	1410	1410	479	198	141	459
1965	112	92.0	88.4	126	141	264	606	928	647	236	150	107	293
1966	80.8	76.3	71.5	79.0	128	297	819	1560	797	230	140	106	368
1967	80.6	66.2	65.9	80.8	96.6	266	854	1420	865	279	158	117	365
1968	104	86.2	84.2	97.9	148	472	1130	1600	710	314	178	137	424
1969	101	81.9	78.9	102	185	303	1040	1660	1530	448	186	128	490
1970	101	84.2	78.3	88.5	99.8	590	1550	1470	965	365	183	117	474
1971	95.7	73.1	88.9	125	181	857	1330	1500	1100	296	201	132	501
1972	101	101	93.1	104	157	252	938	1100	1080	296	176	120	378
1973	116	103	115	143	188	728	1050	1530	1510	1400	360	164	621
1974	126	104	86.0	101	117	216	1090	1700	1150	342	167	119	446
1975	97.5	90.1	87.3	118	186	542	1370	1590	1320	413	205	136	516
1976	102	91.3	84.0	97.3	135	221	799	1250	1130	272	109	74.7	364
1977	67.4	60.9	53.9	62.9	85.2	199	1090	1460	807	223	134	95.6	365
1978	81.1	86.5	86.0	115	169	620	1150	1680	1160	371	156	115	488
1979	94.1	94.2	82.3	102	339	242	804	1050	398	172	119	100	302
1980	83.9	72.7	80.0	96.9	146	266	1700	1710	900	264	147	111	468
1981	96.2	81.9	80.6	108	128	226	1430	1490	703	300	145	104	412
1982	98.8	90.0	104	131	179	455	860	2060	1010	289	142	107	463
1983	98.6	81.3	73.9	83.1	158	261	426	1070	1840	408	169	96.1	398
1984	78.8	71.8	68.4	66.5	108	325	1110	1050	1190	299	165	120	388
1985	100	80.9	73.1	88.0	109	205	1050	1340	1180	808	313	173	463
Average:	97.1	84.8	82.9	102	152	370	1070	1470	1070	386	178	120	435

Station name: Jamu
River: Bheri River
Station no.: 270

MAXIMUM MONTHLY AND YEARLY DISCHARGES [in comec]

Year:	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June.	July.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year
1963	133	101	172	178	564	527	2190	3950	2500	634	239	155	3950
1964	119	96.4	111	155	172	788	2130	2210	3330	873	251	155	3330
1965	190	99.0	116	155	175	546	1000	1180	1810	300	184	125	1810
1966	89.1	99.0	89.1	101	197	873	1790	2150	1440	326	166	125	2150
1967	91.5	73.0	116	267	152	895	1310	2040	1310	484	193	135	2040
1968	343	101	86.8	143	197	895	2080	1890	1070	459	217	155	2080
1969	133	91.5	96.4	166	285	490	1800	2530	2570	774	235	152	2570
1970	125	96.4	86.8	125	133	1410	5050	1920	1470	515	243	138	5050
1971	106	89.1	132	206	223	1640	1960	2170	3670	375	254	153	3670
1972	110	192	128	150	230	355	2210	1690	2280	409	210	142	2280
1973	224	154	148	206	332	1630	1770	2710	3020	4530	468	210	4530
1974	171	122	90.2	132	148	375	3580	3720	1560	614	202	194	3720
1975	105	119	98.7	177	451	3030	2100	4570	2750	621	257	126	4570
1976	107	105	96.5	151	202	297	1310	1860	1960	618	181	8510	1960
1977	70.8	66.0	57.6	79.1	148	694	1530	2500	1190	404	169	108	2500
1978	85.9	176	166	193	199	1870	1550	2690	1650	526	193	134	2690
1979	102	182	87.6	185	892	736	2750	2570	617	342	185	171	2750
1980	139	79.1	106	126	185	708	3000	2880	2530	508	174	122	3000
1981	116	89.3	118	143	162	909	5120	2120	1600	681	236	111	5120
1982	157	96.6	146	153	233	669	2050	3150	2110	376	187	116	3150
1983	200	98.0	77.4	111	213	373	664	1640	3230	926	219	119	3230
1984	108	92.4	80.8	20.6	161	505	2480	1680	2910	430	202	133	2910
1985	117	87.6	82.5	127	165	647	1610	4040	1870	2040	426	205	4040
Extreme:	343	192	172	267	892	3030	5120	4570	3670	4530	468	210	5120

表 7-1(2/2) Bheri 川流量資料

Station name: Jamu
River: Bheri River
Station no.: 270

MINIMUM MONTHLY AND YEARLY DISCHARGES [in comec]

Year:	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June.	July.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year
1963	101	82.1	79.8	104	146	247	389	1460	546	243	157	119	79.8
1964	91.5	84.5	75.2	75.2	84.5	96.4	609	1070	955	255	160	116	75.2
1965	99.0	85.8	79.8	96.4	116	157	365	654	310	187	125	91.5	79.8
1966	75.2	70.7	62.8	62.8	96.4	130	337	1190	337	172	119	91.5	62.8
1967	68.4	62.0	60.6	59.9	66.1	127	263	986	490	197	138	96.4	59.9
1968	84.5	79.8	77.5	82.1	116	155	509	1150	423	217	152	109	77.5
1969	91.5	73.0	73.0	77.5	99.0	207	255	1090	925	247	155	106	73.0
1970	91.5	79.8	73.0	62.8	84.5	86.8	509	1040	465	243	141	96.4	62.8
1971	89.1	63.8	82.0	80.0	141	212	955	940	405	251	159	112	63.8
1972	94.0	86.8	85.2	85.2	102	171	385	761	436	202	145	105	85.2
1973	96.5	86.3	98.7	116	132	319	569	953	703	497	216	122	86.3
1974	116	92.1	82.4	80.5	88.2	114	404	979	647	210	132	103	80.5
1975	90.2	82.4	84.4	90.2	124	134	988	996	696	268	162	110	82.4
1976	96.5	86.3	76.7	71.1	98.7	129	301	762	674	136	85.0	67.0	67.0
1977	63.6	57.6	50.4	50.4	59.9	82.5	514	806	338	159	114	85.9	50.4
1978	77.4	72.7	72.7	72.7	126	166	722	972	586	202	134	102	72.7
1979	85.9	80.8	79.1	80.8	116	84.2	278	617	193	128	106	85.9	79.1
1980	75.7	68.8	72.7	80.8	114	122	743	936	550	174	126	101	68.8
1981	85.9	79.1	75.7	82.5	106	101	604	835	355	178	114	99.4	75.7
1982	87.6	82.5	89.3	117	146	210	430	1490	373	193	116	99.4	82.5
1983	82.5	74.0	71.4	71.4	111	180	299	686	926	216	122	77.4	71.4
1984	70.1	66.2	63.6	59.9	67.5	146	359	565	454	208	136	105	59.9
1985	89.3	74.0	66.2	67.5	77.4	102	278	776	828	426	205	151	66.2
Extreme:	63.6	57.6	50.4	50.4	59.9	82.5	255	565	193	128	85.0	67.0	50.4

Station name: Jamu
River: Bheri River
Station no.: 270

EXTREME DISCHARGES

MAXIMUM INSTANTANEOUS					MINIMUM INSTANTANEOUS				
Discharge (cumec)	Gauge height (meters)	Date			Discharge (cumec)	Gauge height (meters)	Date		
5330	6.20	19	Aug.	1963	79.8	1.69	5	Mar.	1963
3950	5.60	2	Sep.	1964	75.2	1.67	4	Apr.	1964
2250	4.63	10	Sep.	1965	77.5	1.68	17	Mar.	1965
2990	5.10	26	Aug.	1966	58.2	1.60	11	Apr.	1966
2150	4.66	24	Aug.	1967	59.9	1.57	16	Apr.	1967
2180	4.58	22	July.	1968	77.5	1.68	6	Mar.	1968
2910.	5.05	23	Sep.	1969	68.4	1.64	25	Feb.	1969
5610	6.31	21	July.	1970	60.5	1.61	6	Apr.	1970
3830	5.54	9	Sep.	1971	63.8	1.53	16	Feb.	1971
2310	4.68	15	Sep.	1972	83.6	1.56	21	Apr.	1972
4730	5.78	3	Oct.	1973	86.3	1.57	25	Feb.	1973
4250	5.56	5	Aug.	1974	78.6	1.53	11	Apr.	1974
4730	5.78	3	Aug.	1975	82.4	1.55	25	Feb.	1975
2210	4.63	10	Sep.	1976	71.1	1.49	10	Apr.	1976
2620	4.88	14	Aug.	1977	55.5	1.45	23	Apr.	1977
3160	5.18	11	Aug.	1978	72.7	1.59	4	Apr.	1978
4900	6.00	24	July.	1979	79.1	1.63	3	Apr.	1979
3100	5.15	31	July.	1980	68.8	1.56	28	Feb.	1980
5220	6.13	31	July.	1981	75.7	1.61	18	Mar.	1981
3160	5.89	26	Aug.	1982	82.5	1.65	28	Feb.	1982
3320	5.98	13	Sep.	1983	71.4	1.58	5	Apr.	1983
3700	6.20	27	July.	1984	59.9	1.39	10	Apr.	1984
4920	6.82	23	Aug.	1985	64.9	1.53	22	Mar.	1985

7．2　地質状況

（1）地理

ベリ・ババイ水力発電計画プロジェクトは、カトマンズから西方約400kmのMid Western州Surkhet県とBardia県にまたがって、位置している。カルナリ（Karnali）川支流のベリ（Bheri）川からババイ（Babai）川（インド国内においてカルナリ川に合流）に約60m^3/secを転流し、その過程で発電を行おうとするものである。（図7・1）

これら河川は、インド国境に近いシワリク山地内（写真7・1、図7・2～6）を流下しており、流域面積は、ベリ川の転流計画地点（取水堰計画地点）で11,815km^{2}あり、中国国境まで広がっていて、氷雪帯である標高6,000mの高ヒマラヤ山脈を水源としている。（図7・1～2）ババイ川の流域は、約1/4程度と狭く（放水口下流約20 kmにあるババイ灌漑取水堰地点で3,000km^2）、標高2,000m以下のシワリク山地にある。なお、河床標高は、取水堰付近で400m，放水口付近で240m程度である。

交通手段は、カトマンズからバルディヤ県の県都ネパールガンジ（Nepalganj）まで航空機で行き、そこから北方約65 kmのベリ川まで車で行き、ベリ川左岸に沿って約5km下って取水堰地点に到着する（図7・6）。放水口へは、ババイ（Babai）川沿いのMulkhola部落から乾期のみ徒歩約2.5時間遡上して到着出来るといわれている。勿論、ヘリコプターで直行する事も可能である。

（2）地形

ネパール王国の南北地形断面は、標高6,000m以上の高ヒマラヤ・2,000m程度のミッドランドとその南縁にある3,000m程度のマハバラート山脈からなる低ヒマラヤ・600～1,000mのシワリク山地からなる亜ヒマラヤ・600m以下のタ（テ）ライ平野に区分されている。（図7・3・図7・4）タライ平野は、ヒマラヤ山脈から供給された扇状地性堆積物からなる穀倉地帯であるが、一部にはバルディヤ国立公園（Royal Baldia National Park，以下RBNPと記す事がある）が分布している。（写真7・2，図7・6）

これらの地形は、ネパール王国の東縁から西縁にかけてほぼ連続している。これらの地形単元の境界部には、横谷＊が東流ないし西流している。ベリ川とババイ川も横谷である。ベリ・ババイ水力発電計画プロジェクトの転流は、約9kmのトンネルによって計画されており、シワリク山地の一部を貫通するものである（図7・2～5）。

横谷：山脈の伸長方向に発達している谷，あるいは、川のことを言う。川の浸食量より、山脈の隆起量が大きく、山脈を形成した構造弱線（褶曲軸や断層）にそって流下しているものである。これに対して、山脈の伸長方向を横断して発達している谷，あるいは、川のことを縦谷と言う。縦谷は、山脈の隆起前から存在しており、山脈の隆起量より浸食量が大きく、このため、山脈を深くえぐって流下するもので、カルナリ川本流やマハカリ川本流が該当する。（一部は、横谷との組み合わせになっている　図7・1、図7・6）

（3）地質

ヒマラヤ山脈の成因は、プレート・テクトニックス理論で知られているように、インド大陸が北進してチッベトなどの大陸に衝突し、両者間での褶曲・逆断層及び片麻岩の貫入により隆起したものと考えられている。（図7・5）

特に、ＭＣＴ（Main Central Thrust　=主中央衝上断層＊＊）・ＭＢＴ（Main Boundary Thrust＝主境界衝上断層）及びＨＦＴ（Himalayan Front Thrust=ヒマラヤ前縁衝上断層）の３構造線のヒマラヤ造山作用にはたした役割は大きい。

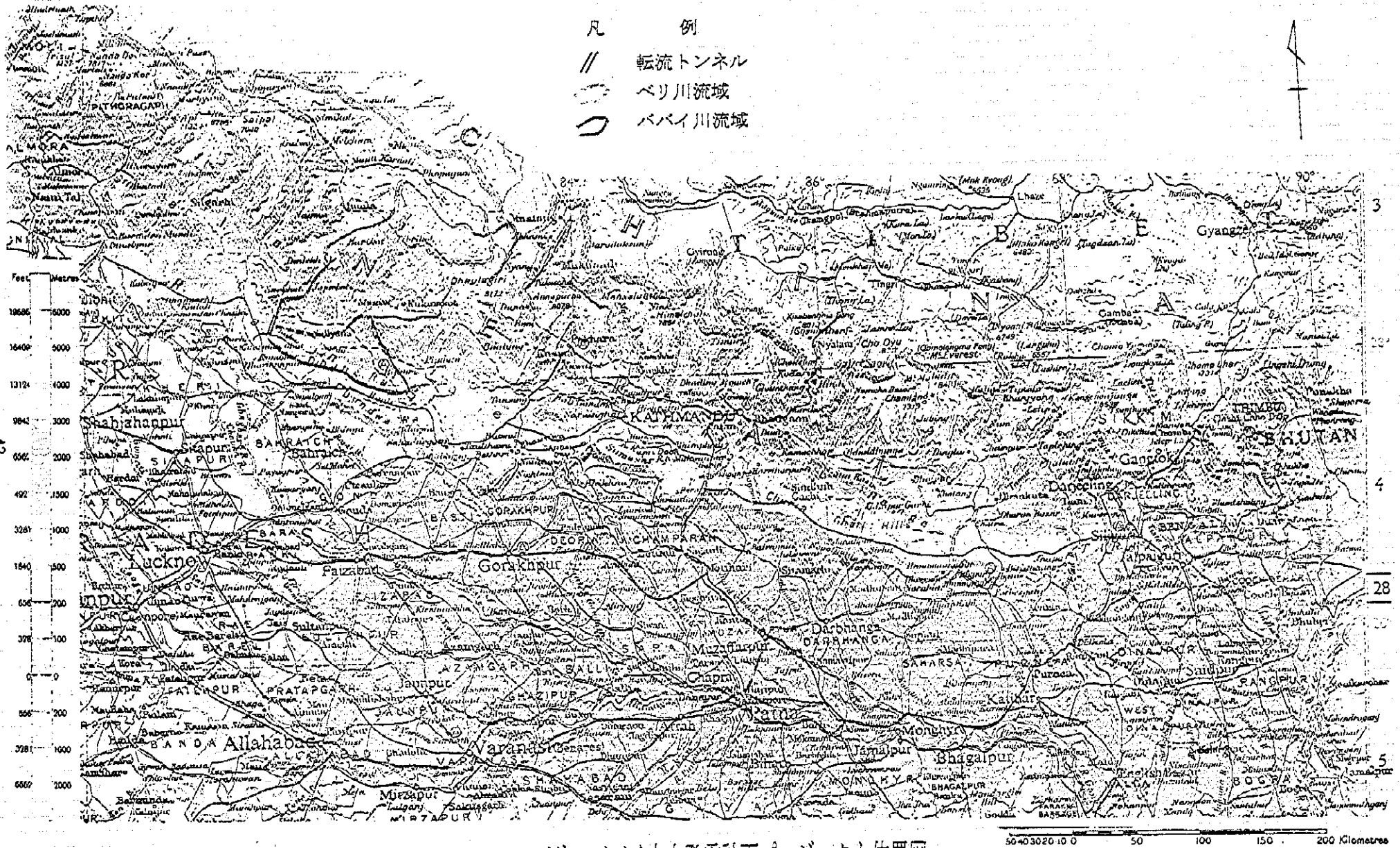


図.7-1 ベリ・ババイ水力発電計画プロジェクト位置図

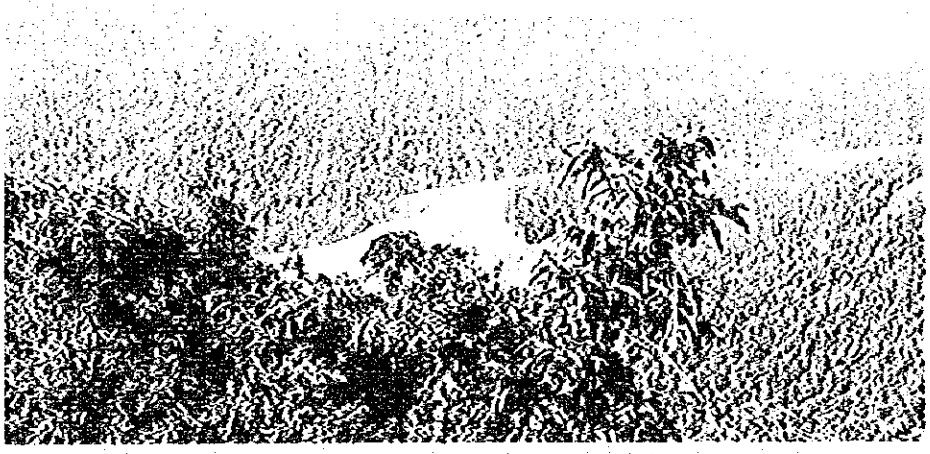


写真 7・1

シワリク山地（丘稜）から見たシワリク山地の山相（標高８４０～９００ｍ・バルディヤ国立公園）とババイ川（標高２５０～３００ｍ）.

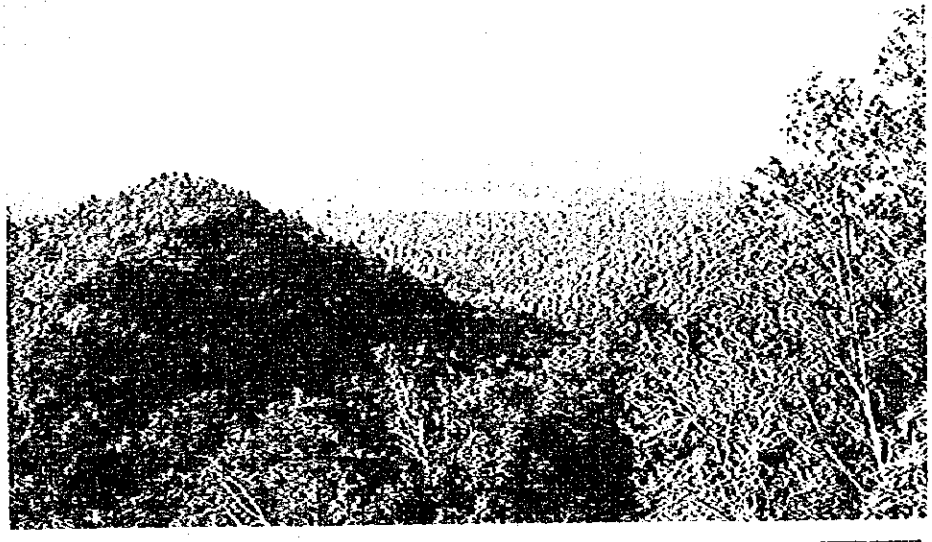


写真 7・2

シワリク山地中腹（６００ｍ）から南西方向のタライ平野（標高１６５～１９５ｍ）の眺望．森林部はバルディヤ国立公園.

写真 7・3

河床堆積物の状況（ベリ川とチンチュウ川（手前）の合流地点）.

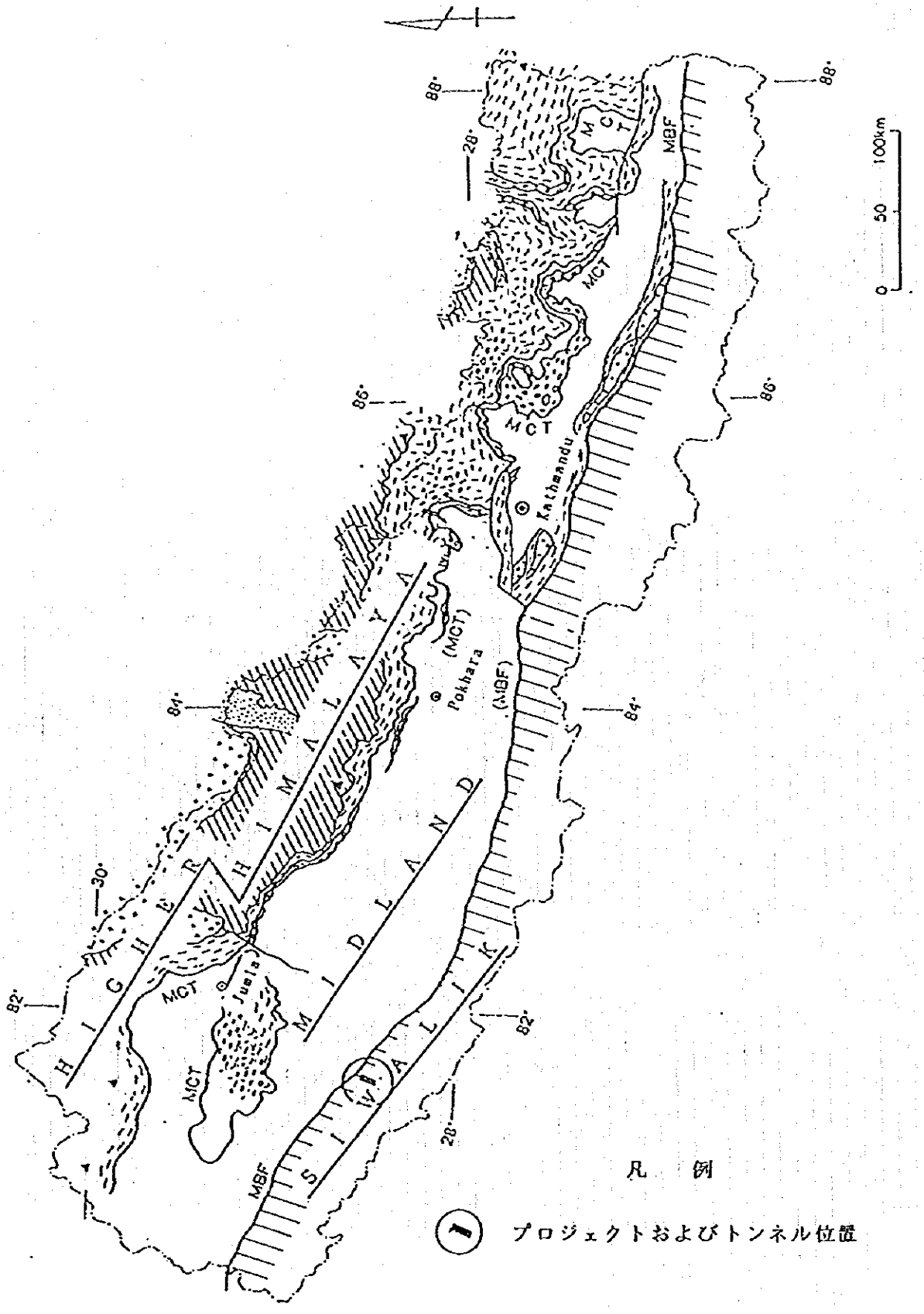
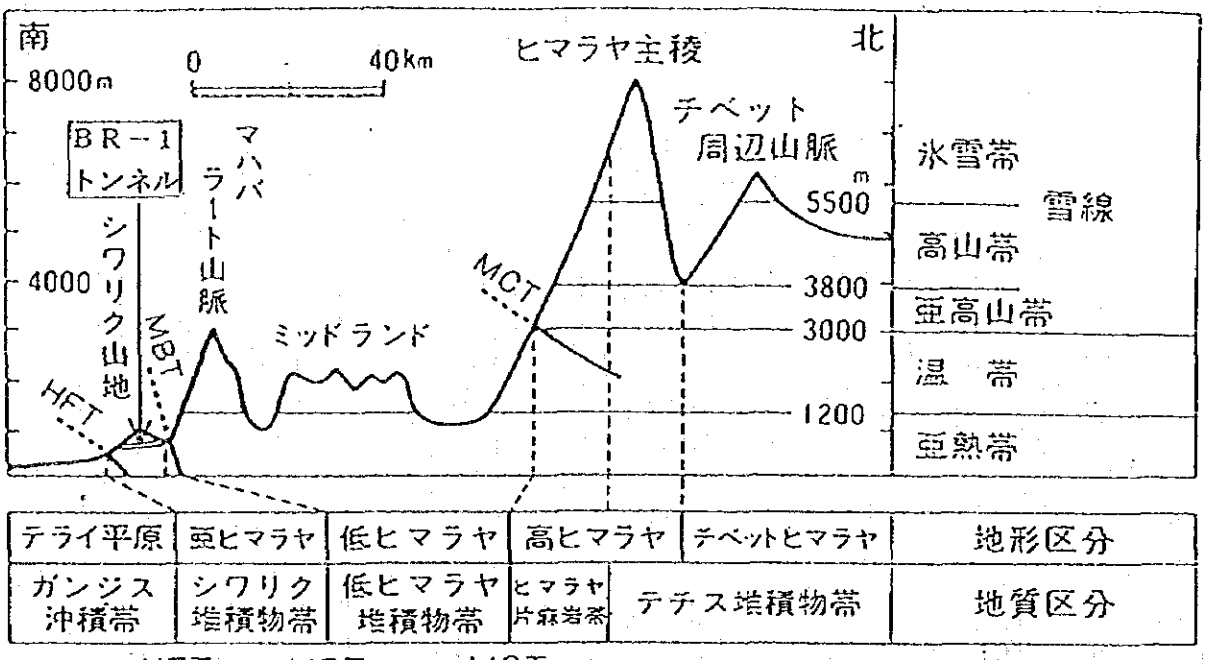


図 7・2　ネパール王国地質略図およびプロジェクト位置



MCT：主中央衝上断層，
MBT：主境界衝上断層，
HFT：ヒマラヤ前縁衝上断層

図 7・3　ヒマラヤの地形断面

（木崎甲子郎（1994）：ヒマラヤはどこから来たか，中央公論社から引用）

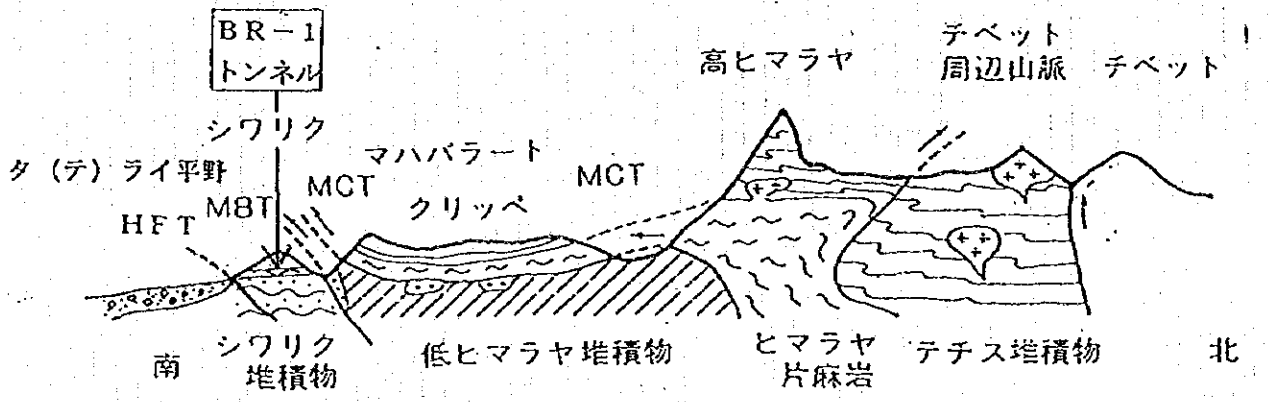


図 7・4　ヒマラヤ地質断面図

（木崎甲子郎（1994）：ヒマラヤはどこから来たか，中央公論社から引用）

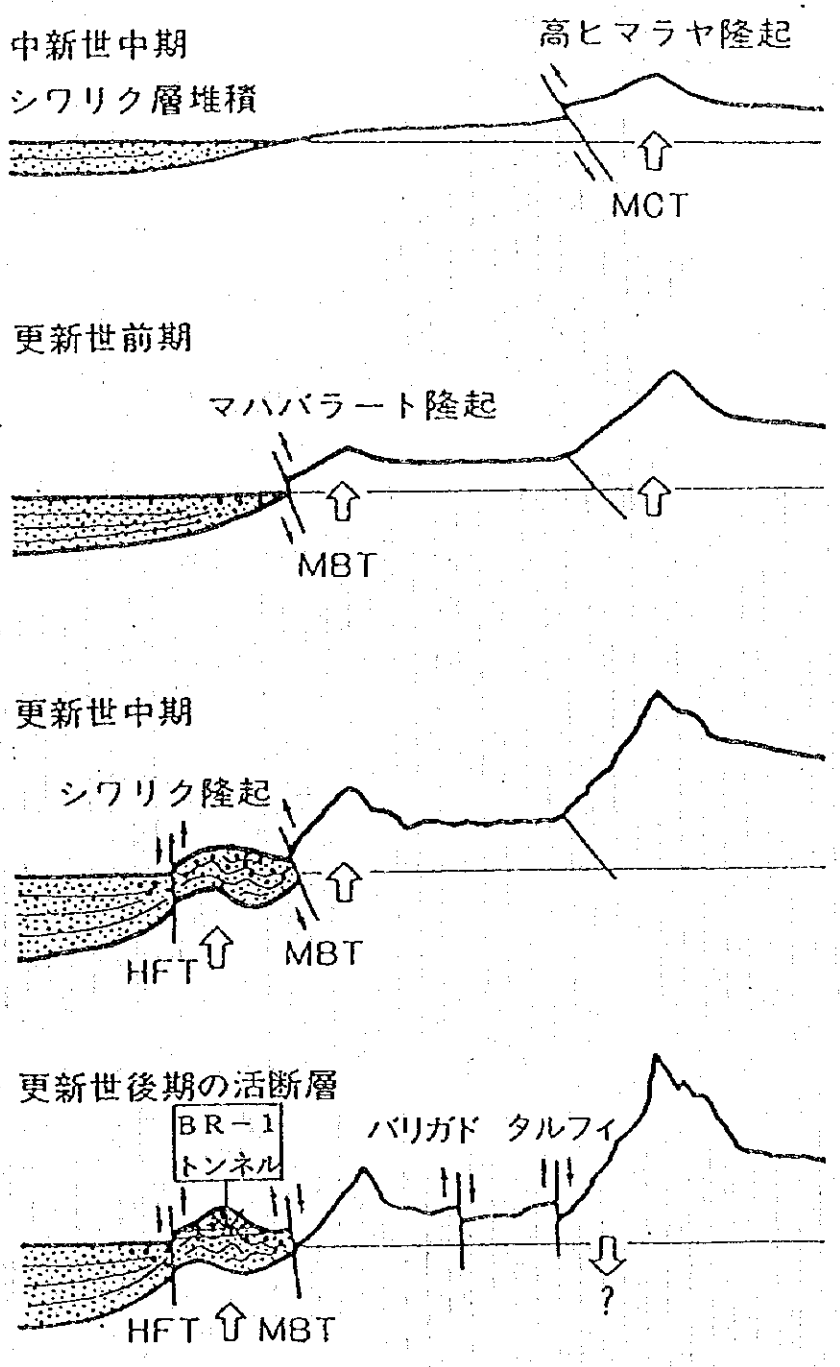


図 7・5　シワリク層群・山地の形成

（木崎甲子郎（１９９４）：ヒマラヤはどこから来たか，中央公論社から引用）

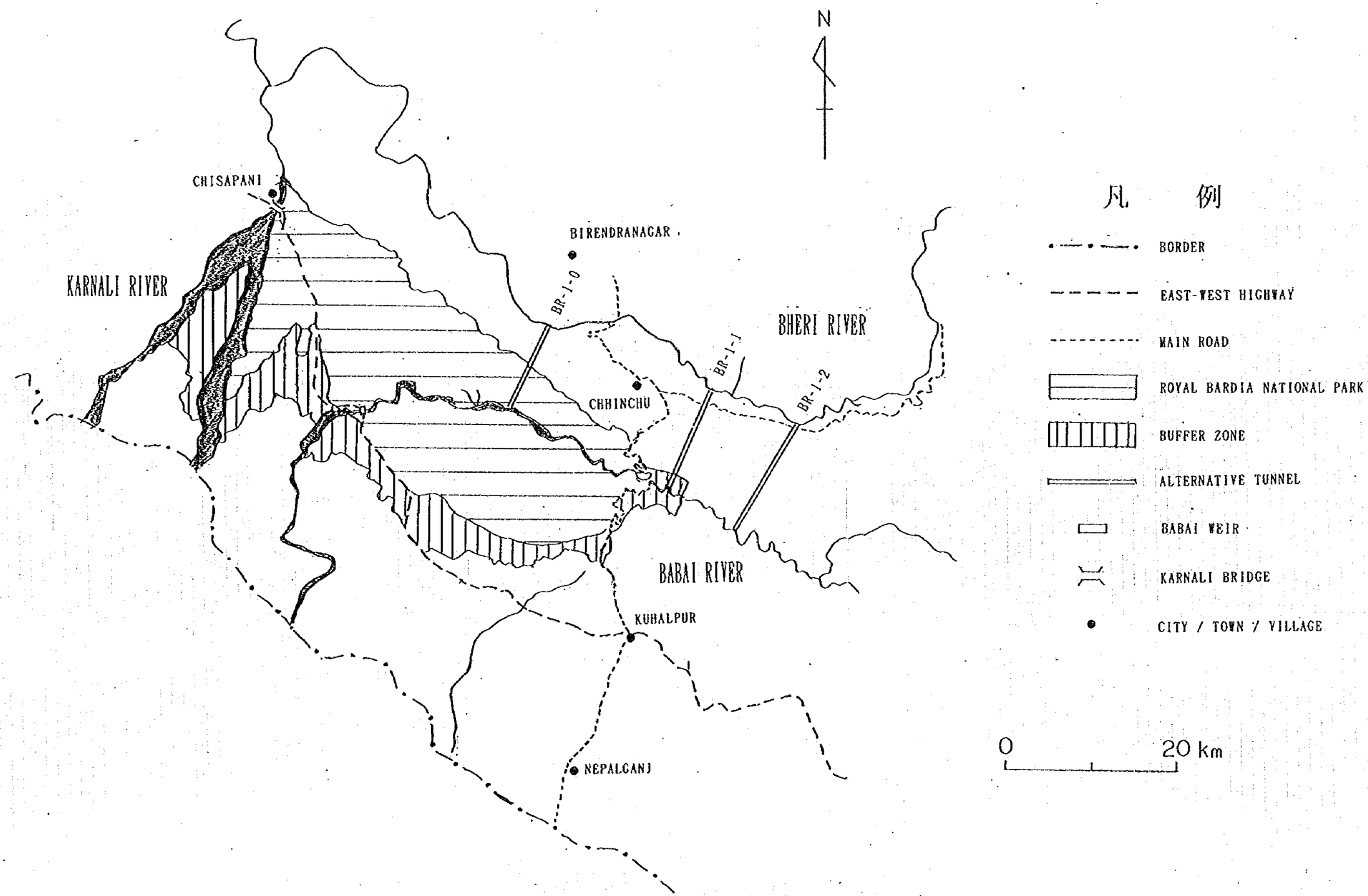


図７・６　トンネル比較路線位置図

ヒマラヤ山脈の隆起は、第3紀中新世（約1,000万年前）ぐらいから始まっており、更新世（洪積世）中期（50万年前）頃が最盛期であった。（図7・5）この間、両大陸間に堆積しつつあった堆積物(シワリク層群・Siwalik Formation）が褶曲等により隆起してシワリク山地となったものである。

ペリ・ババイ水力発電計画プロジェクトで計画されるトンネル及び地下発電所などは、いずれも、新たらしい時代に褶曲や逆断層などの構造運動をうけて脆弱化した地層中に計画されている。なお、現在の隆起量は、年４ｍｍ程度といわれており、地すべりや山地崩壊の原因にもなっており、ひいては、堆砂量の多い理由でもある。（写真7・3）

参考までに、M／Pで試算された堆砂量を示すと、Pancheshwar（Mahakali川の中流地点で流域面積は12,600 km^2)で3,060 $m^3/sec/km^2$、Chisapani（Kamali川の下流地点で流域面積43,679 km^2）で2,322 $m^3/sec/km^2$となっている。（収集資料参照）

シワリク層群は、下記のように区分されている。（収集資料参照）

表7・2　層　　序

時代		地層	区分	岩相
更新世	後期	上部シワリク層群	④	砂礫層・砂礫岩・泥（岩）
更新世	中期	中部シワリク層群	③	礫混じり砂岩・泥（岩）互層
更新世	前期	中部シワリク層群	②	砂岩・泥（岩）・アルコーズ質砂岩
中新世	中期	下部シワリク層群	①	紫色頁岩・泥（岩）・灰色石英質砂岩

これらの地層が、褶曲や逆断層によってシワリク山地内に繰り返し分布している。（図7・7）ペリ・ババイ水力発電計画プロジェクトの取水堰から放水口にかけてのトンネルは、③ ② ① ④ の順序に横断する事になる。地層は、25～60度の角度で上流方向に傾斜している。①と④は、逆断層で接している。①の走向及び傾斜の乱れは、おおきい。主要構造物である地下発電所は、③の中に位置する。

なお、ペリ川右岸約500mの地点にも逆断層がある。また、ＭＢＴ（Main Boundary　Thrust＝主境界衝上断層）は、取水堰の13km北方の比較的近い位置にあることも留意する必要がある。

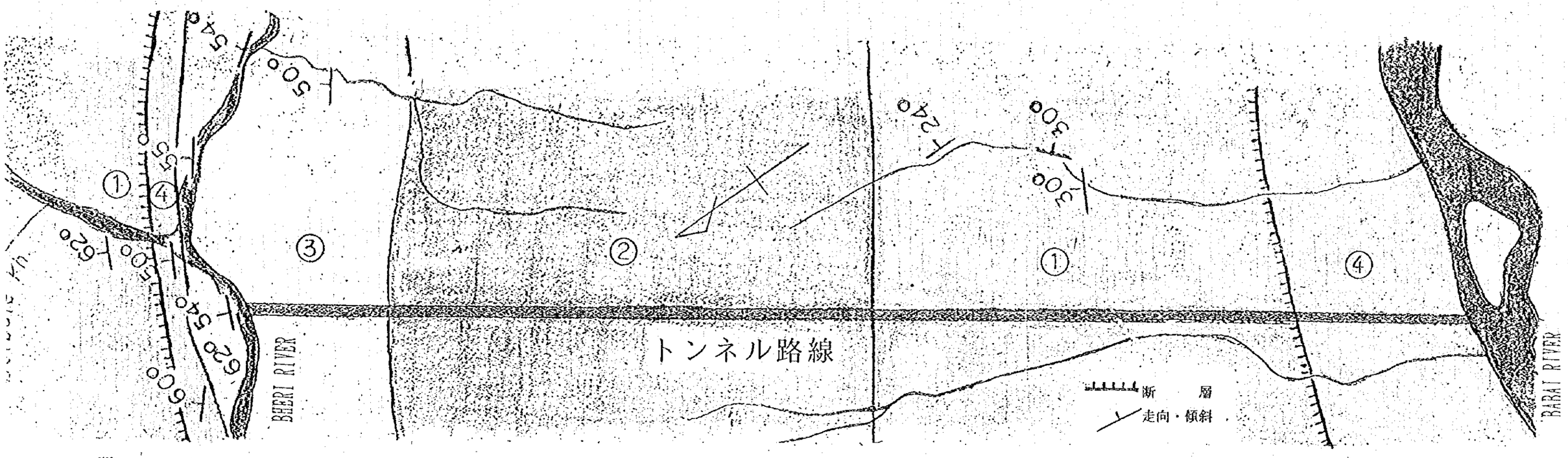
衝上断層：断層面の角度が、特に、小さい逆断層を言う。圧縮応力（大陸の衝突）によって発生する。

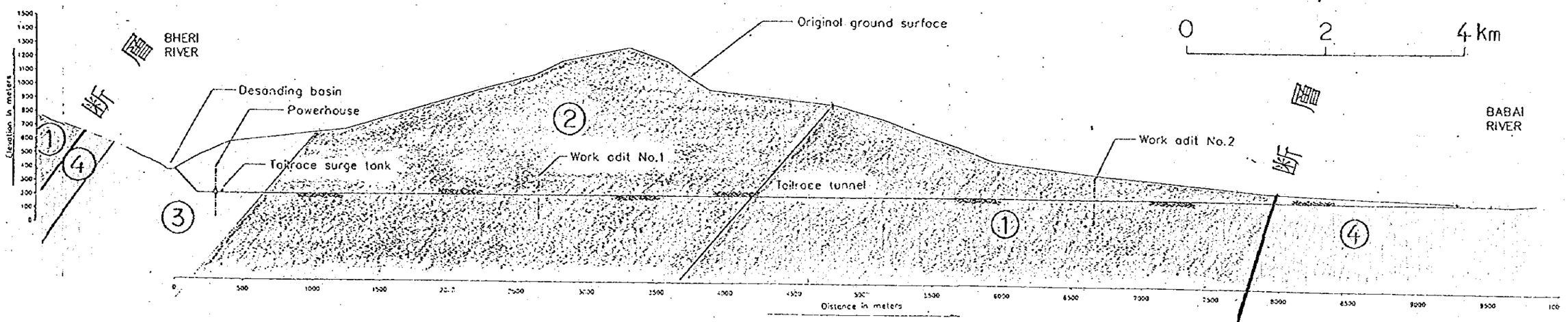
（４）地震

マグニチュード4.0以上の地震分布は、造山帯や火山帯に沿って分布している。（図７・8～9）ネパール王国においては、火山が分布しないことから、地震はヒマラヤ造山帯と関係して発生するものである。

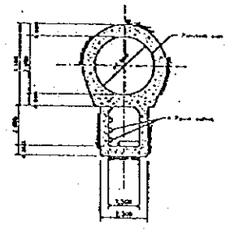
ＭＣＴ（Main Central Thrust=主中央衝上断層）とＭＢＴ（Main Boundary Thrust＝主境界衝上断層）とが現在活動中であり、ＨＦＴ（Himalayan Front Thrustヒマラヤ前縁衝上断層)はあまり活動していないようである。これら衝上断層の境界深度は、比較的浅く（図6・4）、したがって、殆どの地震活動は、100km以浅で発生している。（図７・7）

ペリ・ババイ水力発電計画プロジェクト周辺は、地震発生の比較的少ないゾーンに位置している。(図7・10）本プロジェクトの位置する東経81～ 82度、北緯28 ～29度の範囲内では、マグニチュウド4.0以上の地震は、1953～1996年間に14回しか発生していない。また、マグニチュード6.0以上の地震は、130 kmの範囲内には発生していない。（図7・10、収集資料参照）

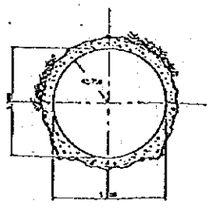




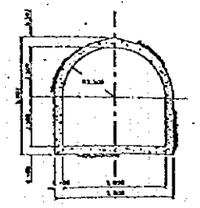
Profile of Waterway



Typical Cross Section of Penstock Line



Typical Cross Section of Tailrace Tunnel

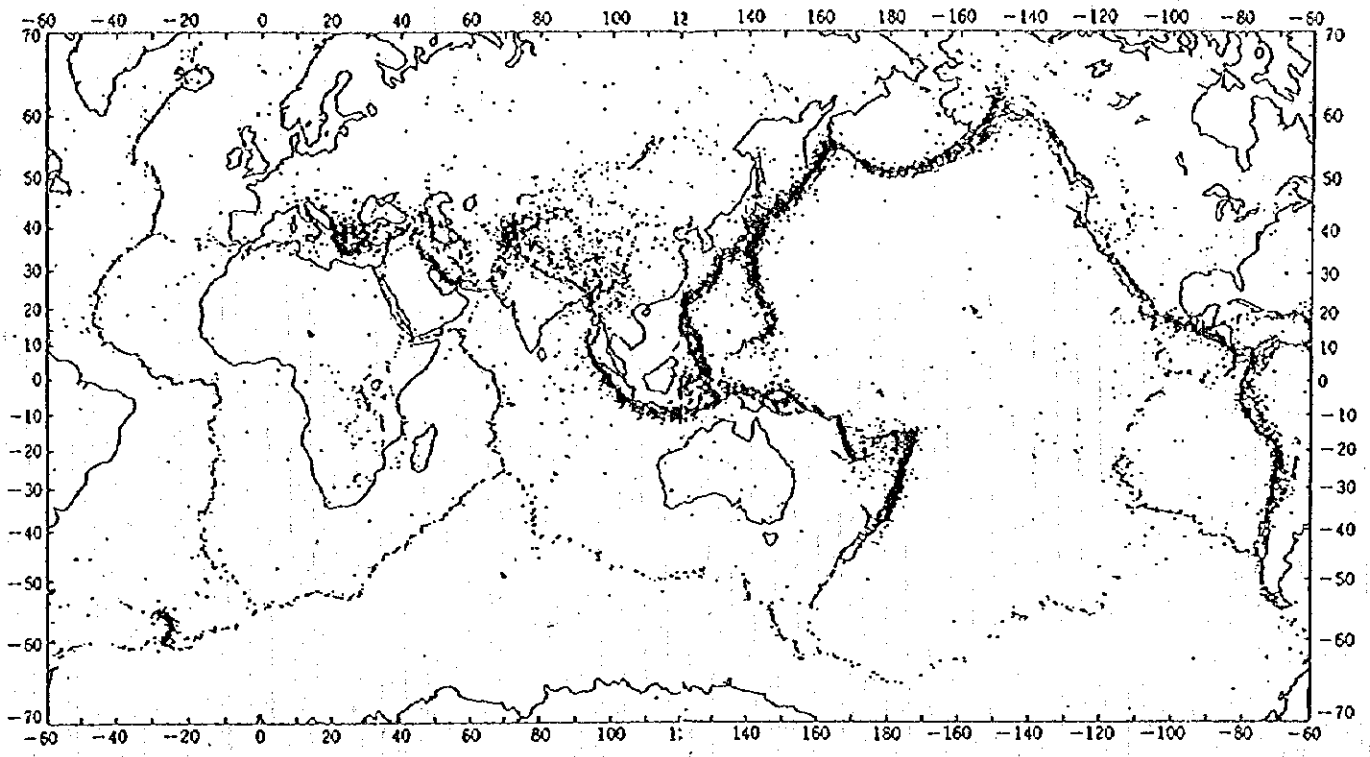


Typical Cross Section of Work Adit

表6・1 層　序

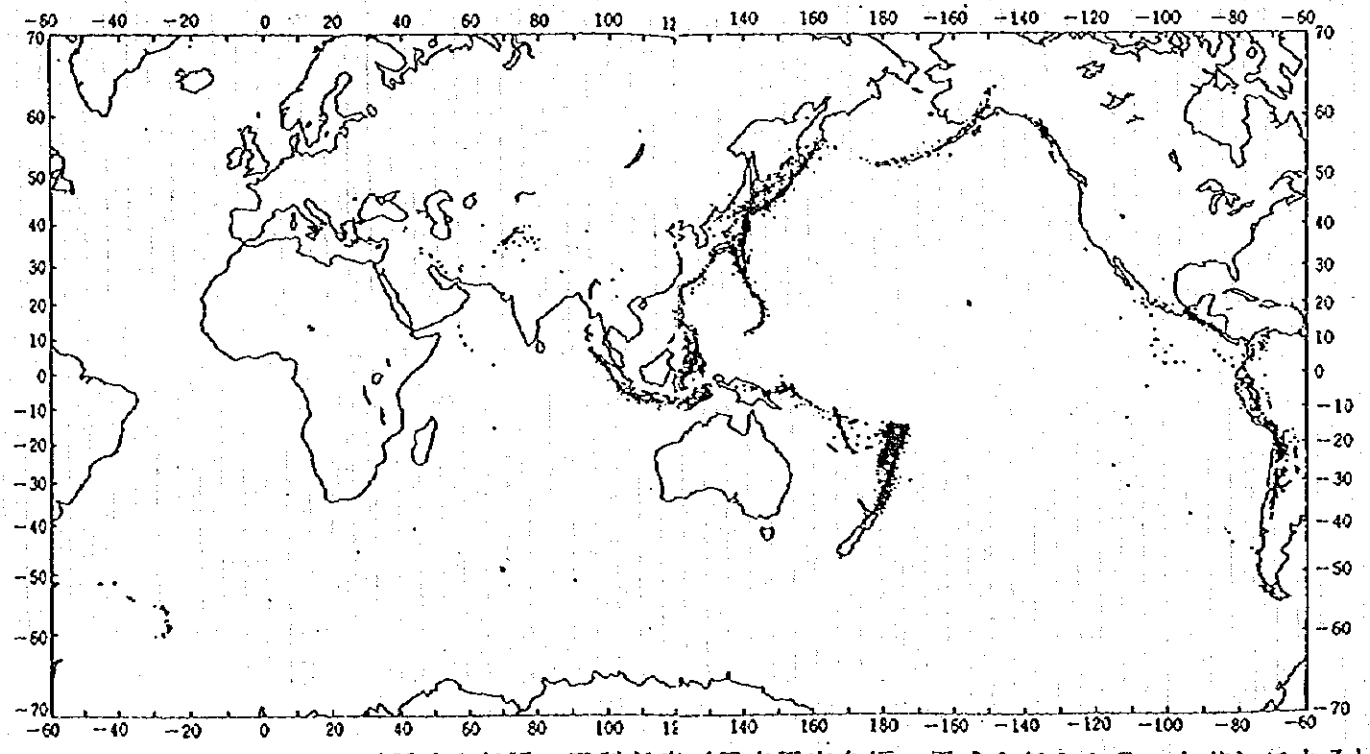
時　代	地　層	区分	岩　相
更新世　後期	上部シワリク層群	④	砂礫層・砂礫岩・泥（岩）
更新世　中期	中部シワリク層群	③	礫混じり砂岩・泥（岩）互層
更新世　前期	中部シワリク層群	②	砂岩・泥（岩）・アルコーズ質砂岩
中新世　中期	下部シワリク層群	①	紫色頁岩・泥（岩）・灰色石英質砂岩

図7・7. BR-1-0トンネル地質平面図及び発電路線構造断面図



（平成９年版　理科年表（国立天文台編・平成９年１１月・丸善）による）

図７・８　世界地震分布図（$M \geqq 4.0$，深さ100km以下，1970～1985年）



（平成９年版　理科年表（国立天文台編・平成９年１１月・丸善）による）

図７・９　世界地震分布図（$M \geqq 4.0$，深さ100km以上，1970～1985年）

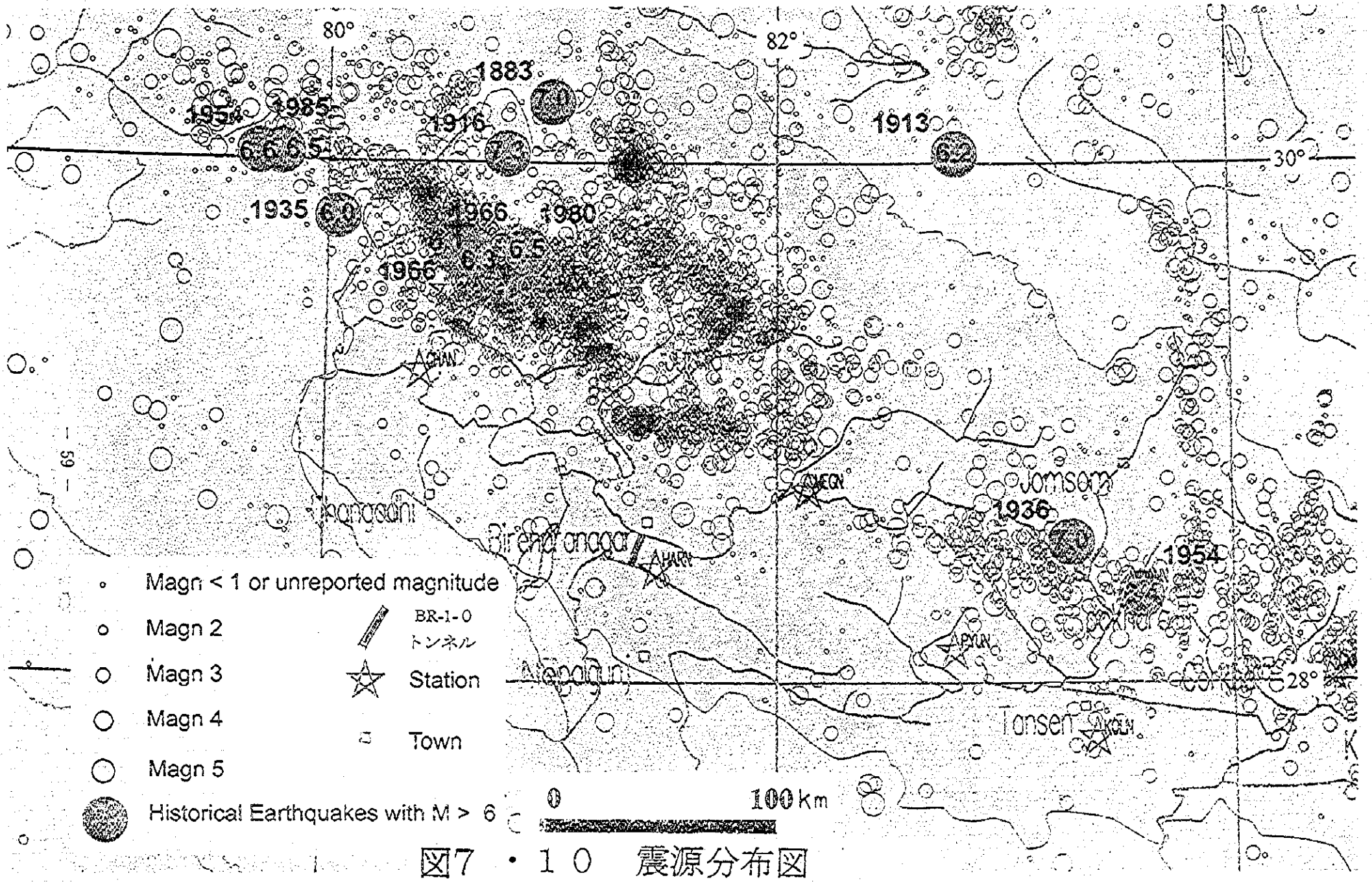


図7・10　震源分布図

(March 1994 ～December 1996)

8. 現　地　調　査

8．現地調査

8．1　取水堰等の候補地点

今回は道路状況、時間等との関係で、Bheri川の取水堰・沈砂池予定地点を踏査したのに止まった。また、Babai川の灌漑施設（取水堰及び水路）も視察した。

取水堰予定地点へは、Chhinchu川（Bheri川の左支川）が本川へ合流する手前で車を降り、ここから約6 kmの道のりであった。途中、Chhinchu川と、同じBheri川の左支川であるKalpani川を渡河したが、水量は膝下ぐらいであった。Bheri川左岸には谷の中腹に山道がついており、急な登り降りの比較的少ない道であった。しかし、結局のところ片道2時間半かかってしまった。

途中、1ケ所やや規模の大きな地滑りの跡地があり、崖錐が河岸からせりだし川幅を狭くしていたので急流になっていた。

取水堰・沈砂池予定地点では、河岸は砂岩と泥岩の互層で表面はハンマーですぐ削りとれるほど柔らかかった。EDCで実施しているボーリングのコア観察によると、内部は硬くなっており構造物の基礎としては問題ないと考えられる。

また、川の水面より20数メートル上に河岸段丘があり、植生のある平場が拡がっているが計画ではここが沈砂池予定地点となっている。

8．2　発電計画についての所見

ネパール国カルナリ川上流及びマハカリ川流域水源開発計画調査最終報告書－要約（平成5年10月）：国際協力事業団－以下M／P報告書によると、ベリ・ババイ水力発電計画プロジェクト（以下ＢＲ－１－０と記す）は、優先順位第１位であり、それを受けて、今回のプロジェクト形成基礎調査が実施された。

M／P報告書は、タイトルのとおり広域を対象にしたものであるが、ＢＲ－１－０の計画地点には、若干の測量及び地質調査が実施されている。（表8・1）

そもそも、ＢＲ－１－０の候補地は、Himalayan Power Consultants と水資源省が1989年にとりまとめた'Karnali Multipurpose Project Feasibility Study' の中で検討されたもので、その骨子は、カルナリ川支流のベリ川からババイ川に約60m^3／secを転流し、その過程で発電を行おうとするもである。（図7・6）

これらの調査において、ベリ川からババイ川への転流は、トンネル長が最短である現計画路線（ＢＲ－１－０）だけを、他案との比較検討無しに選定している。ただし、ババイ川側（トンネル9kmの下流約半分）は、バルディヤ国立公園内に位置することから，環境面に考慮して発電所を地下式にし、放水口だけを公園内に出すようにしてある。（図7・7、図8・1）

今回のプロジェクト形成基礎調査では、前述のように、ＢＲ－１－０の比較案が検討されていないことから、本格調査においては、経済面・環境面・施工面の検討をいくつかの比較案についても実施し、最適な計画を立案するよう提案する。

概略ではあるが、図上で計画した比較案を含めて図8・1、図8・2、表8・1に示した。各比較案の選定理由は、下記の通りである。なお、トンネル比較の諸元は、1/50,000地形図から読み取ったものであり、正確を期しがたい。特に、標高ひいては比高は、等高線間隔が30mの区間もあり、不確かである。実際、ＢＲ－１－０の取水口標高は、1/20,000地形図では、400m程度であり、1/50,000地形図からの読み取りとは、35 m程度の差が生ずる。（表8・1）

①ＢＲ－１－０：M／Pで優先順位第1位とされたトンネル最短の現計画位置である，取水口と放水口のほぼ中間にある分水嶺から下流側は、バルディヤ国立公園（Royal Baldia National Park）内に位置する。（図8・1）

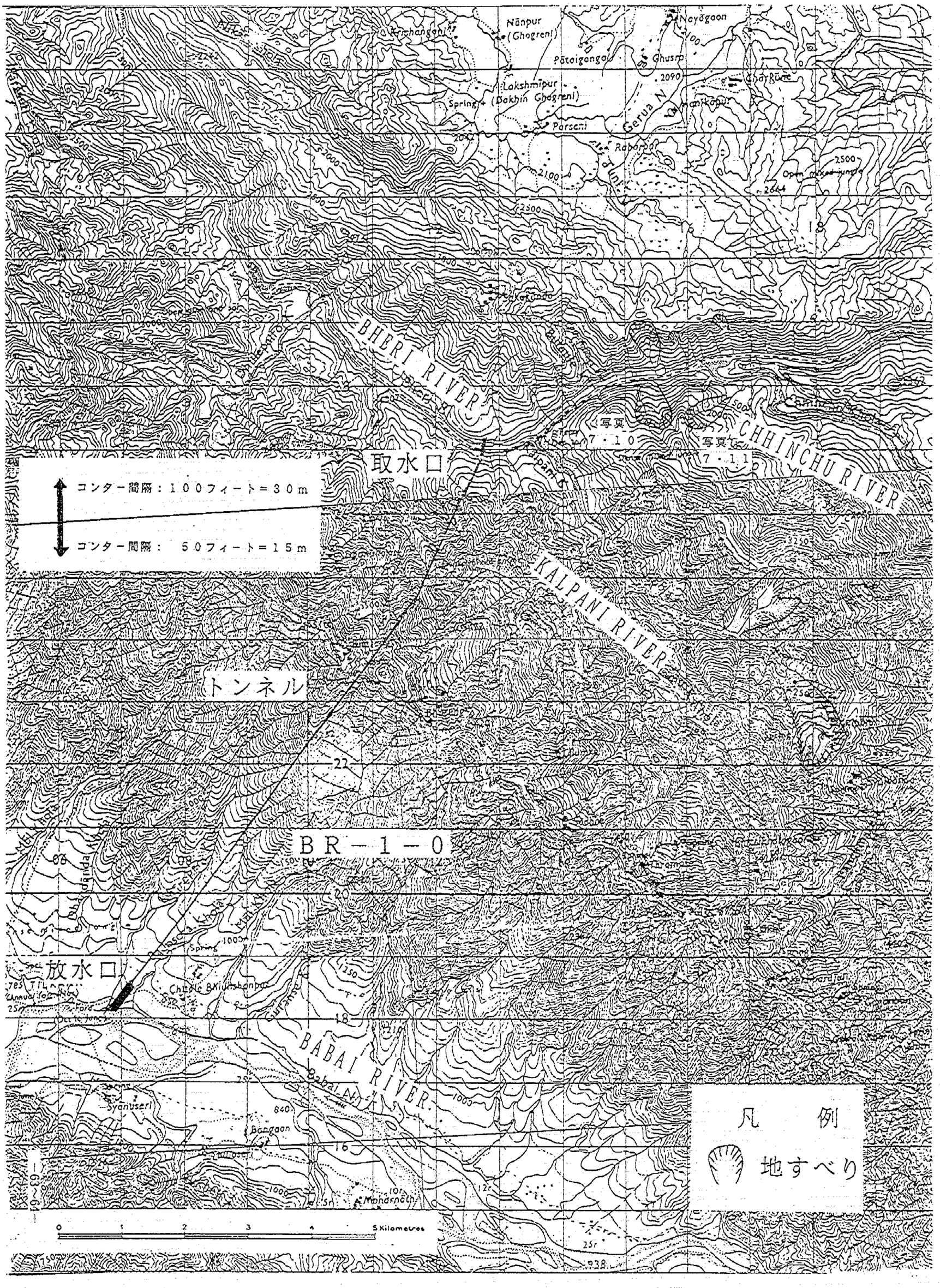


図8・1　BR－1－0計画図および地すべり分布図

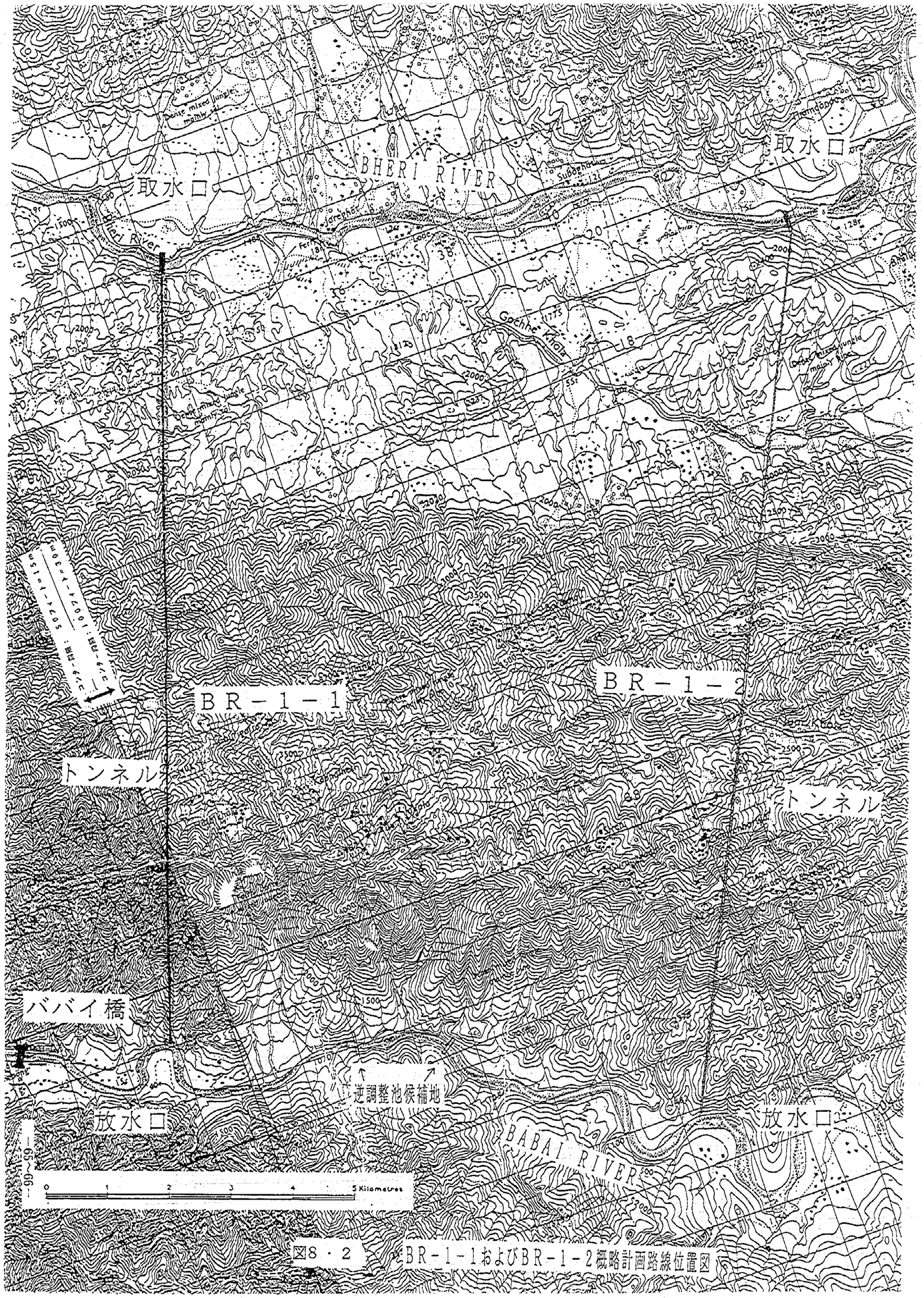


図8・2　BR－1－1およびBR－1－2概略計画路線位置図

表 8・1　トンネル比較

名　称	トンネル長 (km)	取水口標高 (Feet/m)	放水口標高 (Feet/m)	比　高 (Feet/m)	ｱｸｾｽ道路 (km)	備　考
BR－1－0	9.7	1,450 435	780 234	670 201	取水　4.5 放水　20.0	1尾根，最大土被り1,065m，放水口は国立公園内
BR－1－1	12.4	1,480 444	1,050 315	430 129	取水　2.0 放水　1.0	2尾根，最大土被り876m 取水口3.7kmは土被り100～150m，放水口はﾊﾞｯﾌｧｰｿﾞｰﾝ
BR－1－2	14.3	1,550 465	1,160 348	390 117	取水　1.0 放水　12.0	3尾根，最大土被り915m，取水口3.8kmは土被り100～300m，6km下流に逆調整池設置可能

（トンネル諸元は1/50,000地形図から読み取り）

②ＢＲ－１－１：バルディヤ国立公園（ＲＢＮＰ）をさけて、上流側にトンネル位置を選定したものである（図8・2）。ババイ橋までがバルディヤ国立公園であり、そこから約４ｋｍ上流までがバッハーゾーン（Buffer zone＝緩衝帯）であり、放水口はそのほぼ中間に位置する。トンネル長は、ＢＲ－１－０に比べて約2.7ｋｍ長くなるが、発電所を地上式にすることが出来る。（図8・2、表8・1）

③ＢＲ－１－２：環境で述べられているベリ川からババイ川への転流により、ババイ川の水温低下が懸念されている。事実、1992年12月 8日の測定結果によるとベリ川の取水口地点において14℃，ババイ川 のババイ灌漑取水堰地点において20℃が記録されている。（収集資料参照）この転流による水温低下＊を逆調整池でカバーするとすれば、放水口下流側に逆調整池用のサイトを必要とする。その候補地を考慮した計画路線である。本路線は、土地利用の規制を受けておらず、発電所を地上式にすることが出来る。（図8・2）

そのほか、Nepal Electricity Authority と Canadian International Water and Energy Consultants (CIWEC)が1997年に実施した報告書（収集資料参照）によると、ＢＲ－１－０付近に「ＢＲ－１」を計画している。しかし、この計画の内容は、ＪＩＣＡのM／Ｐで計画されたＢＲ－１とは、異なる部分があり、特に、トンネル長2.5 ｋｍ・トンネル直径11mとなっている。この計画の路線位置に関する資料を入手していないが、比較検討の対象となるものかもしれない。

以上の4案及びその他の案を含めて比較検討を行い、本格調査の初期段階で最適ベリ・ババイ水力発電計画を確定する必要があろう。

なお、上記３案の比較は、トンネル諸元・環境問題・発電量のほか、アクセス道路や送電線などの長さなど総合的に勘案して決定されるべきである。（表8・1）

水温低下＊：乾期におけるベリ川の月平均最小流量は、59.5 m^3/secである。（収集資料参照）ババイ川の月平均最小流量は、報告されていないが、ベリ川との流域比と年平均流量の比流量割合から月平均最小流量を試算すると12.0m^3/secである。両河川の月最小流量と水温をもとに、混合後の水温を求めると15.0℃となり，ババイ川の水温が 4℃低下することになる。本格調査において、通年の水温低下量試算とそれに伴う環境影響調査を実施する必要がある。

８．３　地形・地質についての所見

ＢＲ－１－０については、M／Ｐ時（1993年ＪＩＣＡ：収集資料参照、図8・3）と 現在（1997年7月～11月）、ＥＤＣ（Electricity Development Centre, 電力開発センター）によって地形・地質調査が実施されている。これらの内容及び位置などは、表8・2、図8・4~6に示した。なお、ＥＤＣは、地質図作成のみ直轄で実施し、ボーリングや弾性波探査はＮＥＡ（Nepal Electricity Authority）に委託している。

ＢＲ－１－１～－２は、今回のプロジェクト形成基礎調査で提案したものであり、図上計画のみで踏査や具体的な調査は実施されていない。

①ＢＲ－１－０：M／Ｐでの弾性波探査は３測線・延べ860m、ボーリングは1本70m実施されている。両者の位置は、約600mはなれているが、その理由は、明記されていない。また、ベリ川にある取水堰付近から約10km上流の堆砂調整堰にかけてと取水堰からババイ川の放水口にかけて1/20,000の地形図が作成されている。取水堰からババイ川の放水口にかけてのトンネル路線の中間までは、1/20,000地質図が作成されている。

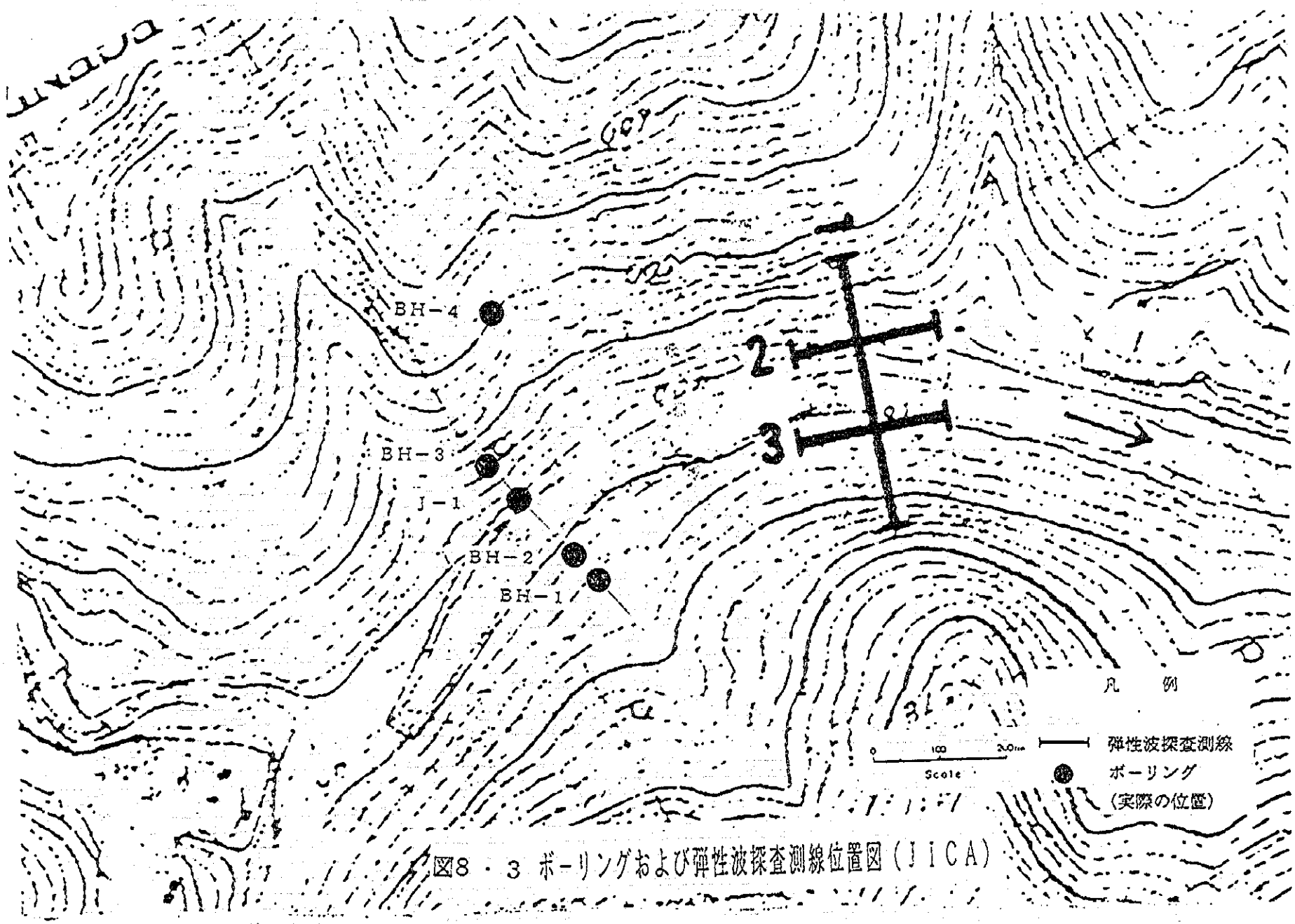


図8・3 ボーリングおよび弾性波探査測線位置図（JICA）

表 8・2　BR-1測量・地質調査内容

調査項目	調査場所	実施年	実施機関	縮　尺	面　積	備　　考
測　　量	取水堰 トンネル	1993	JICA	1/20,000	65km²	堆砂制御ダム を含む
	取水堰	1997	EDC	1/1,000	300ha	
	放水口	1997	EDC	1/1,000	100ha	
	ｱｸｾｽ道路	1997	EDC		37km	11km+26km
地 質 図	取水堰 トンネル	1993	JICA	1/20,000	1,000ha	部分
	取水堰 トンネル	1997	EDC	1/1,500	1,800ha	

調査項目	調査場所	実施年	実施機関	測線数／本数	延調査長（m）	備　　考
弾性波	取水堰	1993	JICA	3	860	
	地下発電所	1997	EDC	14	8,105	取水堰を含む:完
	作業坑	1997	EDC	4	690	完了
ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	取水堰	1993	JICA	1	70	qu：3
	取水堰	1997	EDC	3	180	1本60m完了
	地下発電所	1997	EDC	1	220	未完了

ボーリングＪ－１を含む地形断面図を見ると、左岸傾斜は30度、右岸は15度といずれも緩やかである。ベリ川の流水幅は、約60ｍであり、標高は約400ｍである。流水面から比高12ｍ程度の両岸に段丘がある。段丘堆積物である礫層の厚さは３ｍ程度である。（図8・4、写真8・5）

左岸側の水際から段丘堆積物の下面まで、シワリク層群の砂岩・泥岩互層からなる。

シワリク層群の堆積時代は、前述したように第３紀中新世（約1,000万年前）ぐらいから始まり、更新世(洪積世）後期（10万年前）まで継続したが、取水堰付近のものは更新世中期上部にあたるものである。(図7・5）逆断層によって、本来は南側に傾斜しているものが、北側に60度傾斜しており、走向はN55°Wで取水堰軸と30度斜交しているので、断面図上（図8・9）では見かけ上50度の傾斜となっている。

互層は、60～300cm程度であり、河床の表面では風化のためか、かなり軟らかくなっていて、ＣＬクラスのものである。軟質であるので、亀裂の発達は顕著ではない。左岸水際で実施されたボーリングＪ－１の結果は、コア採集率ひいては、ＲＱＤ(Rock Quality Designation）も低く、大半がＤクラス、部分的にＣＬとＣＭクラスに区分されている。（収集資料参照）コア採集率が低いのは、軟質（ルーズ）の砂岩部が循環水によって流失してしまうためである。（シルト質）泥岩は、循環水には抵抗があり、コアとして残りやすい。深度13～15ｍには、ＲＱＤが50%以上の（シルト質）泥岩コアが採集されている。ルジオンテストは、循環水遺失のため実施出来なかった（Lugeon Tests cloud not be tested because of lost circulation)とされているが、循環水によるボーリング孔壁の浸食のためパッカーが効かなかったためではないかと想像される。なお、深度11ｍと15ｍのシルト質泥岩コアの一軸圧縮強度は、204 kgf/cm^2 であった。

ボーリングコアのロスが多く，実際の岩盤は観察されるよりは、良いのではないかと思われる。ともあれ、軟質部の深さを把握する必要があり、ＥＤＣで右岸側に実施するＢＨ－１（60ｍ）及びＢＨ－２（60ｍ）で標準貫入試験を実施するようコメントした。また、コアパック付きのコアバレルを使用し、コア採集率の向上に努めるよう進言した。

現在、ＥＤＣが実施しているボーリングのうち、左岸側のＢＨ－３は深度60mの掘削が完了していた。コア採集率は、Ｊ－１に比してかなり良いようである。（写真8・7、8・8、図8・4，図8・6）砂岩コアも流失せず採取されており、200 kgf/cm^{2}以上の一軸圧縮強度を有するものであり、河床部の砂岩より古いものである可能性がある。ルジオンテストは、ダブルパッカー法により、これから実施される。なお、シングルパッカー法は、試験に長時間を要する事から実施出来ないとのことであった。

ＢＨ－４は、地下発電所計画位置の直上の標高505ｍ地点から深度220ｍの予定で掘進中である（図8・4、図8・6）。この場合、孔底の標高は、285ｍであり、地下発電所の底盤標高225ｍに達しない。したがって、標高220ｍ付近まで、すなわち、65ｍ程増掘するよう提案した（一方、ＢＨ－１とＢＨ－２は、ボーリング掘進深度を浅く出来るであろう旨、示唆してある）。

弾性波探査結果によると、４層に区分されており、第１層（0.3～0.5 km/sec）の表土・崖錐堆積物、第２層（0.8～0.9 km/sec）の亀裂の発達した風化シワリク層群、第３層（1.4～1.7 km/sec）のやや亀裂の発達し砂岩をはさむシワリク層群、第４層（2.3～2.5 km/sec ／2.8～3.0 km/sec）の新鮮なシワリク層群である。第４層は、河床下では泥岩から、山地側で砂岩からなっていると想定されている。

ＥＤＣが、1997年分として実施中の諸調査（表8・1）は、11月までにまとめられる事になっており、ＪＩＣＡの実施した１９９３年の結果とともに総括され、地質状況が明らかにされることになる。

取水堰計画地点付近（ＢＲ－１－０）には、地すべり地形は見られない。（図8・1）しかし、上流3～5kmにかけては、1990年に発生したといわれる地すべり（図8・1、写真8・10）をはじめとしていくつかの地すべり（写真8・11）が見られる。また、1km上流で合流するチンチュウ川にも大規模な地すべりが分布

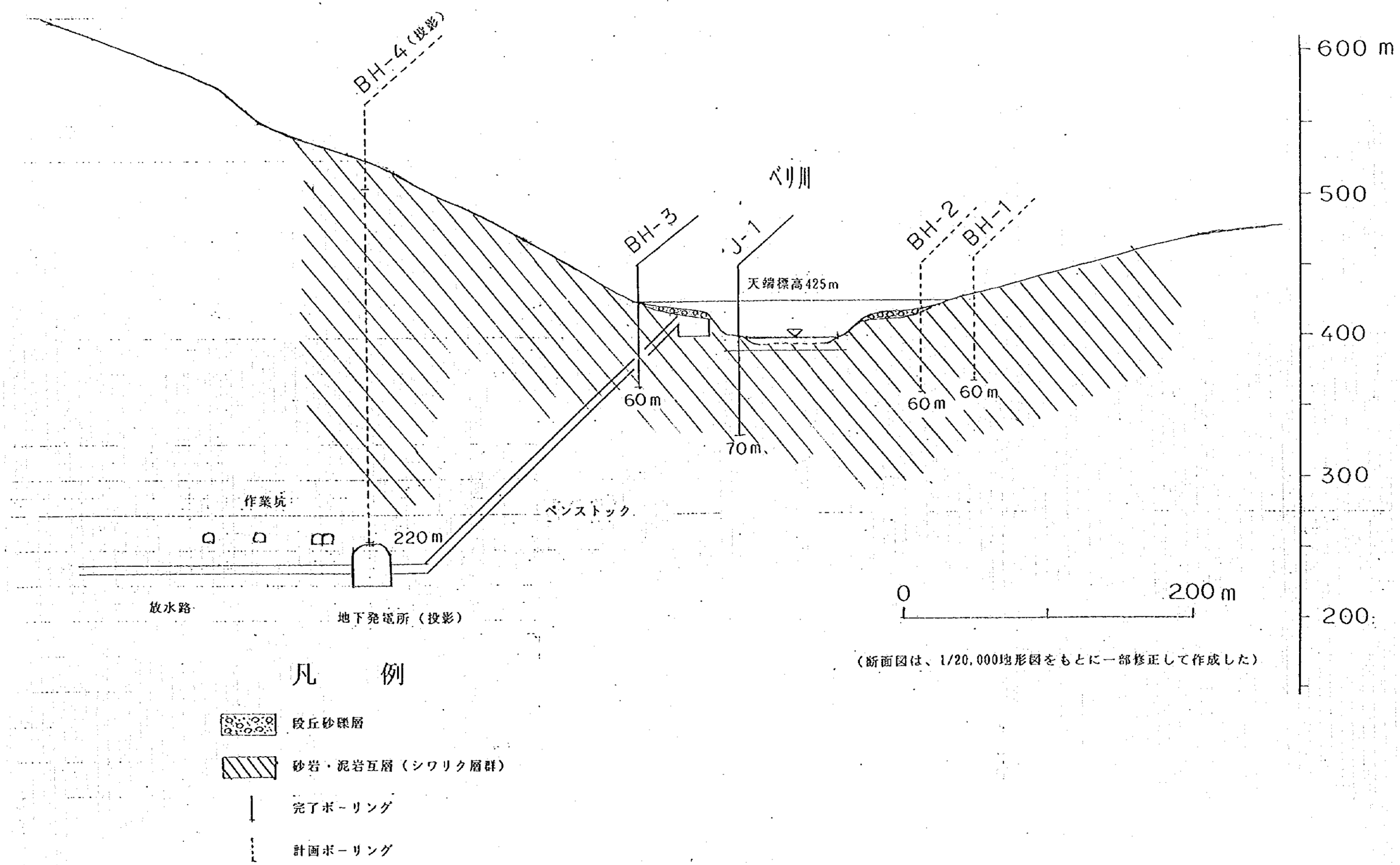

BH-4（投影）
BH-3
J-1
ベリ川
BH-2
BH-1
天端標高425m
60m
70m
60m
60m
600 m
500
400
300
200
作業坑
ペンストック
220m
放水路
地下発電所（投影）
0
200 m
（断面図は、1/20,000地形図をもとに一部修正して作成した）
凡　例
段丘砂礫層
砂岩・泥岩互層（シワリク層群）
完了ボーリング
計画ボーリング

図8・4　取水堰軸断面図

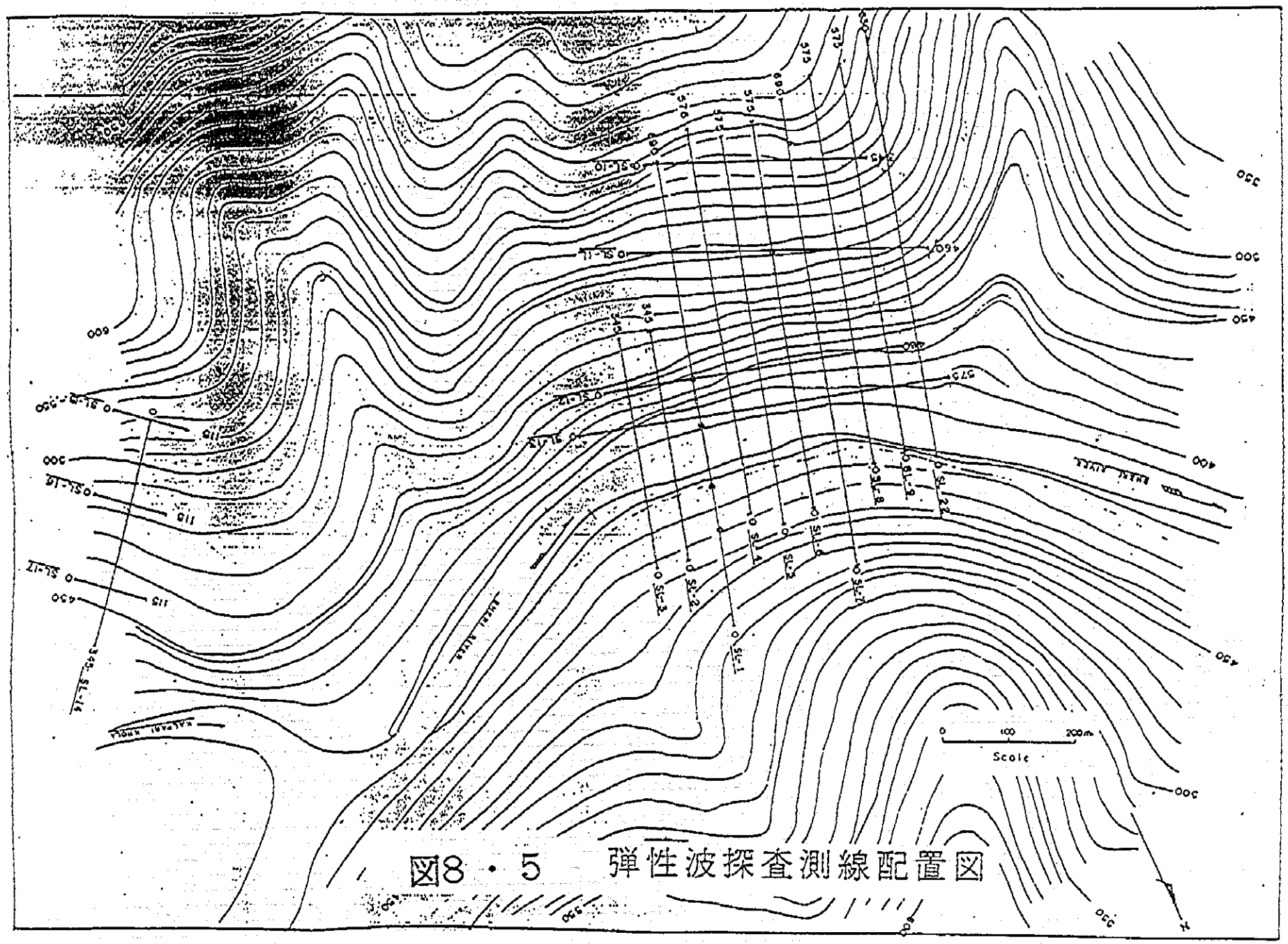


図8・5　弾性波探査測線配置図

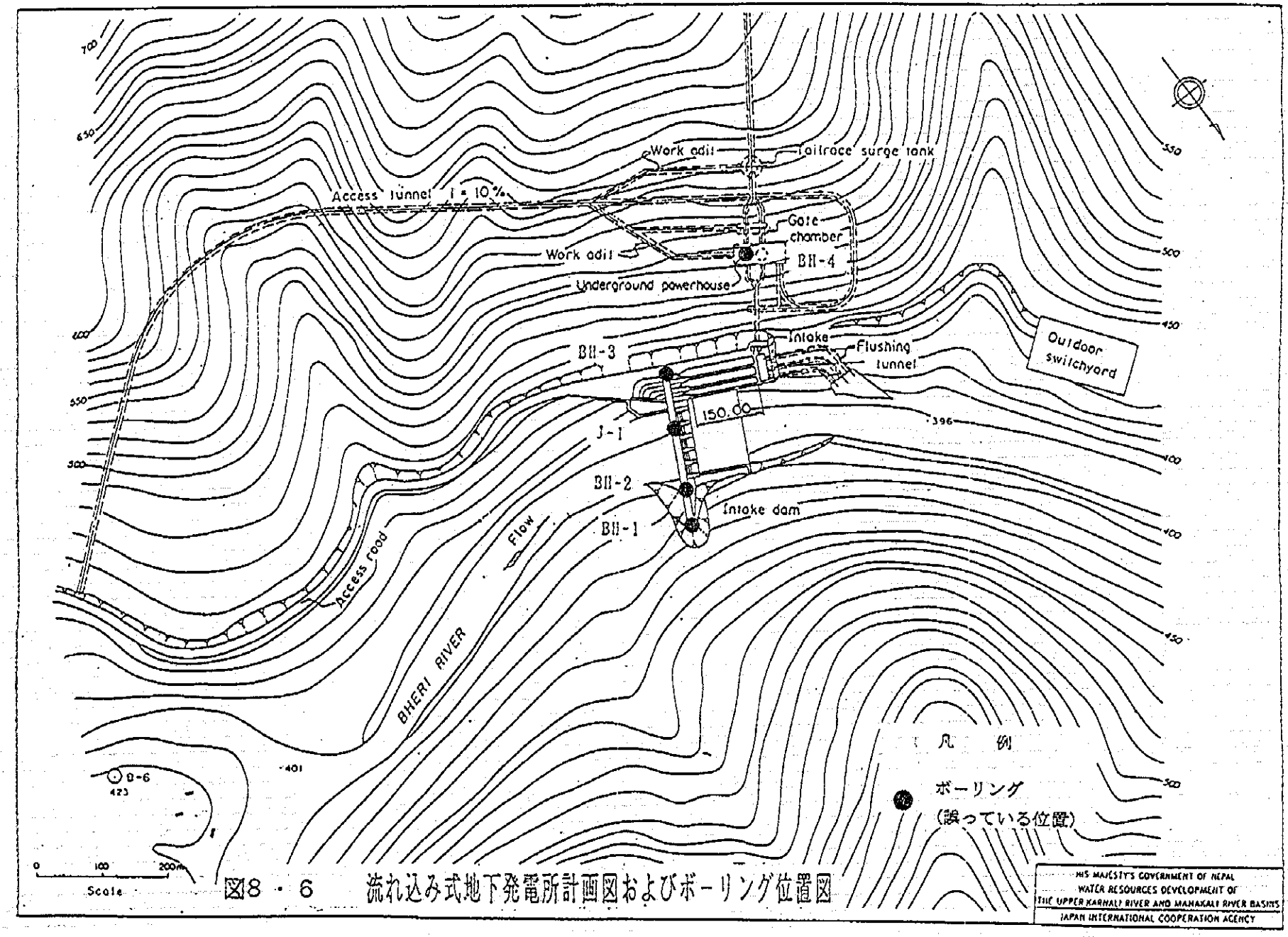


図8・6　流れ込み式地下発電所計画図およびボーリング位置図

写真 8・1

ベリ川取水堰計画地点
河床標高：４００ｍ
流水幅：約６０ｍ
堤高：３５ｍ（水面上２５ｍ）
堤長：２２０ｍ
（上流側からの眺望）

写真 8・2

ベリ川取水堰右岸（左岸側からの眺望）の地形（流水面から約１２ｍのところが段丘面.

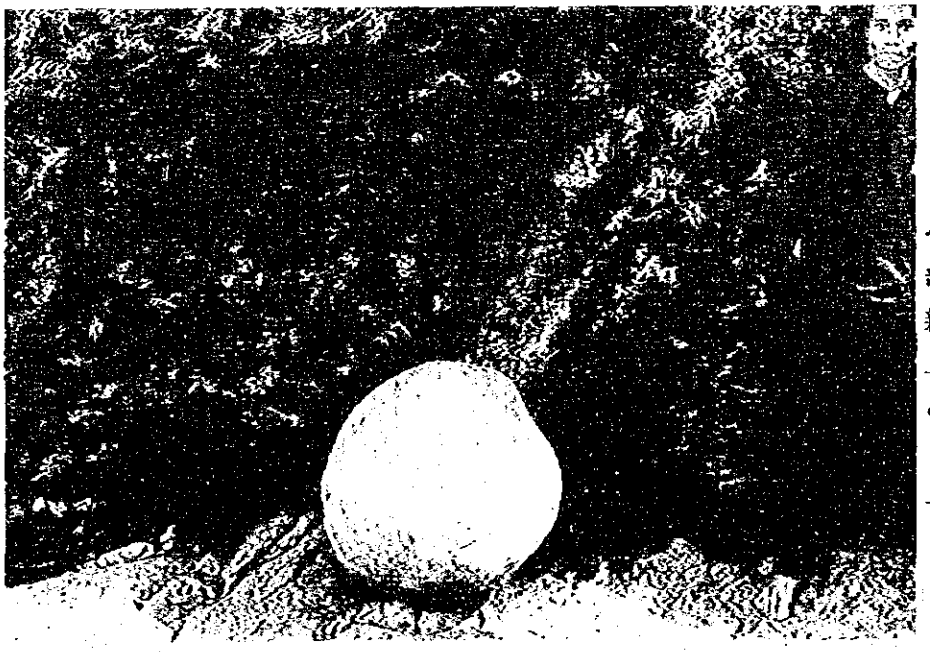


写真 8・3

ベリ川取水堰左岸河床部のシワリク層群（鮮新世・砂岩泥岩互層・上流側に６０°傾斜）と珪岩の転石．中央部４０ｃｍが泥岩でその上・下流が砂岩.

写真 8・4

ベリ川に合流するチンチュウ川左岸に露出する下部シワリク層群の紫・灰色頁岩、泥岩、砂岩（①，図6・7，中新世中期）の褶曲．軟質（CL～CM級）の頁岩・泥岩が褶曲により、もまれている：トンネル下流部約4km に分布．

写真 8・5

ベリ川取水堰左岸段丘面（流水面からの比高12m程度で、段丘礫層の厚さは3m程度）．

写真 8・6

ベリ川取水堰左岸段丘面と地山斜面の境界部（標高425m）に掘削されたボーリングBH－3（深度60m）．

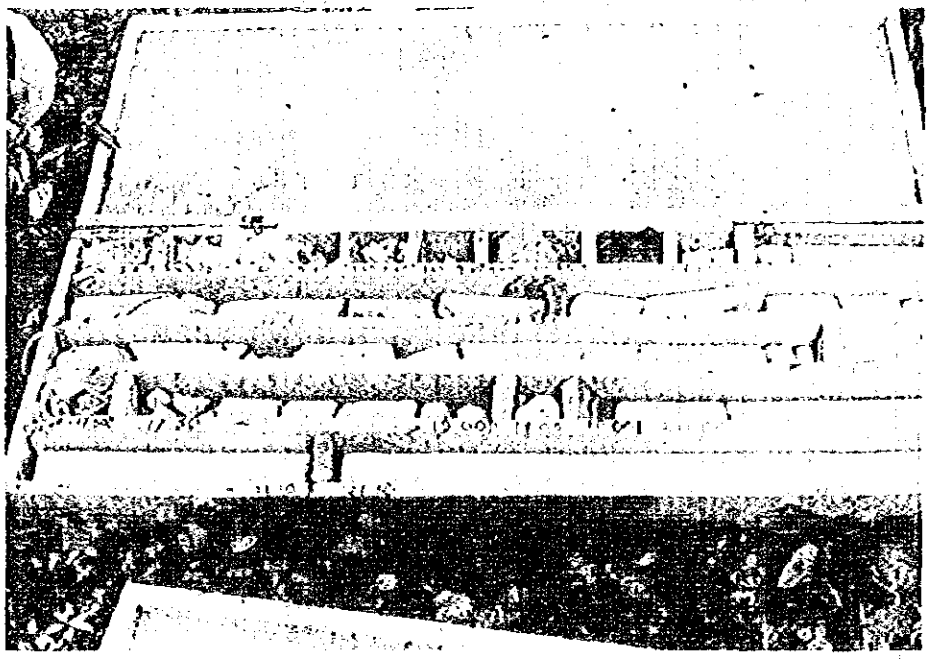


写真 8・7

同上のボーリングコア
5mのコア箱に約22
mのコアが収納されて
おり、殆ど砂岩.
コア採集率
0～12.2m 6%
～22m 44%

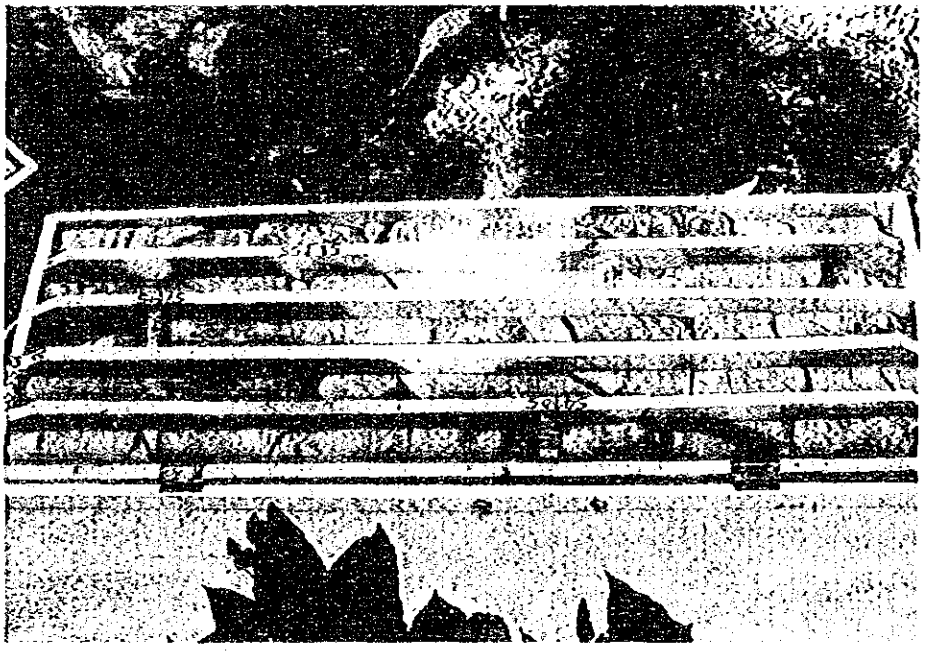


写真 8・8

同上のボーリングコア
5mのコア箱の4.5
m間に3.3mのコア
が収納されていて、コ
ア採集率は、73%.
殆ど砂質泥岩.

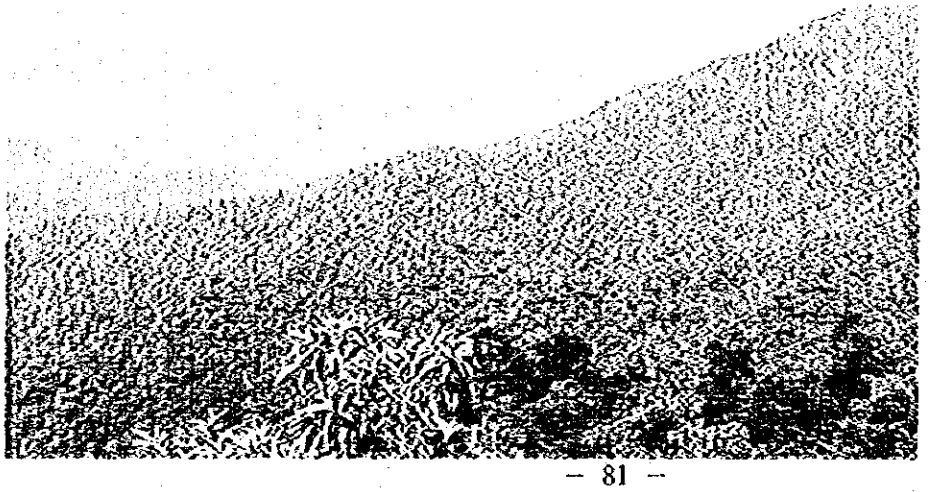


写真 8・9

パパイ川右岸のシワリ
ク山地斜面. この斜面
の約11km下流にベ
リ・パパイトンネル
(BR-1-0)の放
流口を計画.

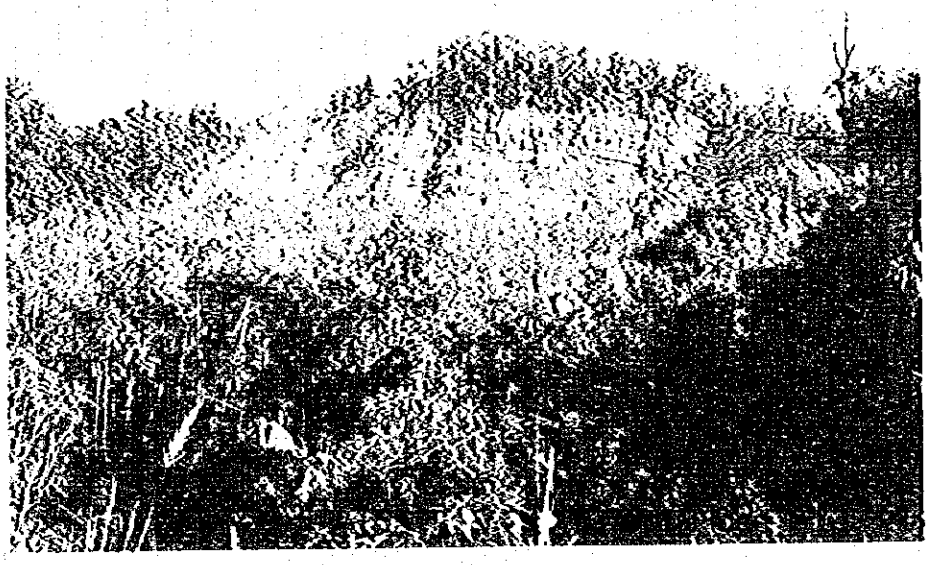


写真　8・10

ベリ川取水堰上流約3ｋｍ地点の左岸地山に１９９０年発生した地すべり（シワリク層群（鮮新世・砂岩泥岩互層内）に発生・最大幅５００ｍ・斜長６００ｍ程度）．地すべり土塊がベリ川を一時的にに閉塞．

写真　8・11

ベリ川取水堰上流約4ｋｍのチンチュウ川左岸（合流地点付近）に見られる地すべり地形

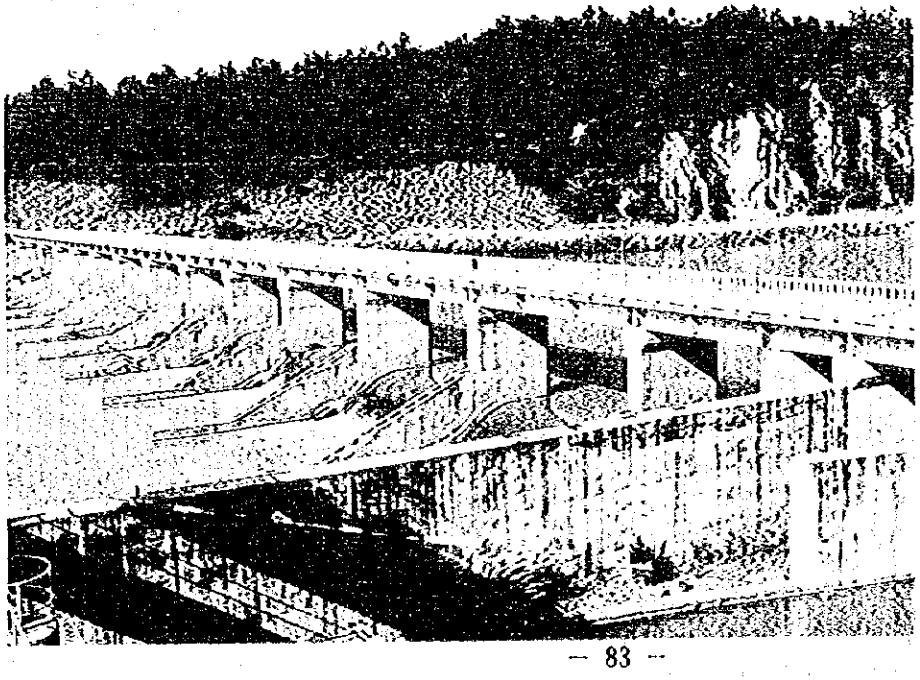


写真 8・12

ババイ灌漑頭首工
堤長：３１５ｍ
設計洪水量：
　７，４９０m³／s
設計取水量：
　　４２．５m³／s
受益面積：
　第１期　13,240 ha
　第２期　26,000 ha
基礎：シワリク層群

している。いずれも、取水堰を直撃するものではないが、十分な土砂吐けを計画する必要がある。

②ＢＲ－１－１：ベリ川左岸は、扇状地性の堆積物からなるようであり、シワリク層群が河床部に露出しているかどうか不明である。左岸から3.7ｋｍ区間は、土被り100 ～ 150mの丘陵からなり、シワリク層群からなるもと思われる。3.7kmから放水口にかけては、シワリク層群からなる山地で、最大土被りは880m程度であり、7km付近に深く切り込んだ横谷がある。放水口上流1.5ｋｍの右岸地山には、地すべりがある。

取水口や放水口は、沈砂池・地上発電所の配置や地形・地質条件を考慮して再選定する。（図8・2）

③ＢＲ－１－２：取水口から3.8ｋｍにかけては、ＢＲ－１－１とほぼ同じである。しかし、3.5ｋｍ付近にあるGochhe川の横断は、サイホンにする必要があるかもしれない。5 kmと8km付近には横谷がある。最大上被りは、920m程度であり、シワリク層群からなる。

取水口や放水口は、沈砂池・地上発電所の配置や地形・地質条件を考慮して再選定する。なお、放水口下流4～ 5.5ｋｍ付近に、逆調整池の候補地がある。（図8・2）

８．４　Babai 灌漑計画について

灌漑局のプロジェクト事務所を訪問し、Babai 灌漑計画について説明を受けると共に、灌漑施設の一部を視察した。概要等は「５．１」に述べたが、以下に捕捉事項を列挙する。

・取水堰での渇水流量は5m^3 / s 、既往最大流量は4,800m^3 / s

・水路の設計流量は62m^3/s で、その内訳は有効流量50m^3/s、フラッシング流量12m^3/s

・Stage II におけるBabai 川右岸（ 21,000ha. ）の必要水量は、26m^3/s であるが地元の農民の転流計画に対する期待が大きい。

・取水堰に立派な魚道が設置されているのには驚いたが、堰下流にはワニ数匹、大小の魚が多数見られ、魚については跳躍したり堰柱の側壁に張り付いて遡上を試みていたため、Babai 川は魚の非常に多い川という印象を受けた。

・今年度の工事は、Eastern Main Canal（全長約28 km）の残り4.5km

・プロジェクト事務所の今年度の予算（7 月15 日から新年度）は50 mil.Rp. でこの内建設費は46.4 mil.Rp.

９．今後の調査に当たっての留意事項

9．今後の調査に当たっての留意事項

（1）水文

① 予備調査段階（Preliminary Investigation Stage）

・ベリ川の取水堰計画地点における流量及び水温測定を行う。

・ババイ川の放水口計画地点における流量及び水温測定を行う。

② 詳細調査段階（Detailed Investigation Stage）

③ 実施設計検討段階（Feasibility-grade Design Study Stage）

（2）環境

① 予備調査段階（Preliminary Investigation Stage）

・ベリ・ババイ転流計画によるババイ川の水温低下量の試算を行う。

・上記水温低下によるEIAを行う。

・許容水温低下量の試算と水温上昇のための対策工法を概定する。

② 詳細調査段階（Detailed Investigation Stage）

③ 実施設計検討段階（Feasibility-grade Design Study Stage）

（3）地形・地質

① 予備調査段階（Preliminary Investigation Stage）

・今まで実施された調査結果及び現在実施中の調査結果を早急に再解析及び再評価を行い、ＢＲ－１－０計画の総括を行う。

・提案した比較案（図7・6、表8・1）及び新たに提案されるであろう比較案について、地質調査（1/50,000～1/25,000地質図作成）を行う。

・比較路線の取水口及び放水口の地盤標高を測量する。

・上記３項目の調査結果をもとに、各比較路線について地形・地質から見た優先順位をきめる。

・別途実施される環境調査及び発電計画などとともに、総合的な評価を行い、詳細調査の対象とする計画（発電所・路線）を確定する。

② 詳細調査段階（Detailed Investigation Stage）

・確定した計画について、必要な地形図作成・地質図作成・弾性波探査・ボーリング・骨材調査を行う。

・取水堰・導水トンネル・発電所・放水トンネル・放水口・作業坑（トンネル）などの施設が、全て、シワリク層群の上、あるいは中に建設されることになると思われるので、詳細な調査を必要とする。特に、各種トンネル及び発電所の基礎地盤調査に留意する。

・ババイ川筋は、シワリク層群の下部層（④の砂礫岩あるいは砂礫）からなる。この層は、流水による浸食作用を受けやすく、このためババイ川の河床幅が広くなっていて、生物の生息適地になっている。また、この部分の山地傾斜も緩くなっている。ＢＲ－１－０の断面では、放水口から約2kmの区間が土被りの薄い砂礫層／岩からなっている。礫は、主として花崗岩や片麻岩の硬質巨礫（径25cm以上）からなってをり、トンネルボーリングマシン（ＴＢＭ）による掘削が困難かもしれない。ＢＲ－１－１～－２の取水口付近もおなじ砂礫層／岩からなっている可能性がある。

・コンクリート用骨材の採取場所と品質を確認し、骨材調整方式を決定する。

・取水堰及び堆砂調整堰の付近及びそれらの上流側における地すべりの可能性を検討し、必要な対策工を計画する。

・トンネル路線の上部にある尾根には、住民の住居があり、生活用水のおおくを、近辺にある湧水に頼っていると言われる。それらの実態とトンネルなどの地下掘削による湧水への影響を予測し、必要な対策を計画する。

・地下に空洞を掘削する計画にあっては、孔内水平載荷試験の実施が必要である。特に、地下発電所等の大空間を建設しようとする時は、尚更である。しかし、この試験装置をネパール政府並びに民間コンサルタントも所有していないの、本格調査実施時に我が国から機材供与するか、持参する必要がある。コアパック型のコアバレルの供与も、今回の調査結果によては検討する事が望まれる。

・補足：仮に、ＢＲ－１－０が詳細調査の対象になったとすれば、下記の事実を理解しておく必要がある。

Ｍ／Ｐ段階の取水口付近における地質調査は図8・3に、取水堰等の配置計画は図8・6にそれぞれ示してある。すなわち、ボーリングと弾性波探査測線間は、約600m離れており、ほぼその中間部に取水堰が設計されている。Ｍ／Ｐの報告書には、このようなズレがあることについての説明文や両者が一緒にプロットされた図面が掲載されていないことからか、ＥＤＣは、ボーリング地点と設計取水堰軸が一致しているもの誤解している。すなわち、ＥＤＣは、図8・6にしめした計画図上でＢＨ－１～－４のボーリング地点を実施していると思っている。しかし、実際のボーリングＢＨ－１～－３の地点は、図8・3のボーリングＪ－１を通る軸上である。これにともない、ＢＨ－４の位置も図8・6の位置より約350 m上流側で実施されている訳である。弾性波探査測線も同様に図8・6をベースにして、図8・5のように配置されているが、実際には、約350 m上流で実施されている。

このため、詳細調査段階，あるいは、実施設計検討段階で追加地質調査が行われ、さらに、設計が行われることになれば、上記の事実を考慮する必要がある。

③ 実施設計検討段階（Feasibility-grade Design Study Stage）

・詳細調査段階での調査結果の良否により、各種の追加調査を実施する。

・設計内容の修正あるいは、変更があれば、それに応じた各種調査を実施する。

（４）その他

・代替案の作成に当たっては、取水口と放水口の標高を実測で押えておく必要がある

・放水口へ通じる道路は、雨期に受けた被害の補修があるため、2ケ月後（11 月後半）には通れるようになる（East-West Highway より四輪駆動車で2.5 時間）

・国立公園内での調査方法の検討が必要である（放水口へのアクセス道路の調査時には20 人程度の集団で移動したとのこと）

・国立公園内での調査は、調査方法を説明した申請を事前にMinistry of Forest & Soil Conservation の Dept. of National Parks & Wild Life Conservation 提出し、許可を受けてからでないと現地立ち入りはできない。この審査は、簡単な調査であれば早いが、複雑な調査（例えば弾性波探査のように測線の伐採、火薬の使用等が考えられる）の場合、最大６ケ月程度かかるため、調査工程の作成には注意が必要である

・Bheri 川へは、スルケット県の県庁であるBirendranagar（通称スルケットと呼ばれている）のほうが遥かに近く、20~30 分程度とのこと。一方、標高の低いネパールガンジは高温多湿で且つBheri 川へは3 時間程度かかる。従って、調査時の現地事務所はスルケットに置くほうが便利

・Bheri 川の流れは非常に早く、地元で漁労に従事している人が溺死することもあるため、調査時、特に流量観測時には十分な準備と注意が必要である。

・コブラ等の毒蛇が多いようで、これらに対する注意と血清などの準備をしておくことが望ましい。

・流量観測所はBheri川、Babai川に各1ヶ所、計2ケ所が望ましい
・放水口までのアクセス道路／橋を除きD／Dは完了
・ChepangのBabai橋から放水口までの直線距離は20km、道路距離で26km