

Phonyeng 村から Xiangkhong 村にかけて、褶曲した頁岩、砂岩、礫岩が分布するが、赤褐色の頁岩層については著しい劣化風化が見られた。Naxay 村から Viengthong 村に至る道路がナムニアップ川に接する所では、路肩が河川浸食で崩壊しており、侵食は雨季に毎年繰り返されていると見られることから、小規模の地滑り地である可能性がある。しかし、この 1 箇所を除くと、崩壊地はほとんどみられなかったことから、あまり多くはないものと思われる。

Xiengkong 村の近くでは、古生層が分布するが露頭では、火山岩および花崗岩質脈岩が見られた。Phonyeng 村 から Phonehom 村にかけては、緑灰色の変成岩(NW-SE 走行を持つ片理面を有する)が Phonehom 村の周辺で見られた。Phonyeng 村から Pou 村では、褶曲した頁岩・砂岩等が河川沿いに分布している。

4.2.2 貯水池下流域

ハトカム村の北約 13km にある Muangbo 村の東では、道路造成法面に緑灰色の変成岩が分布し、ナムサオ川を堰きとめた農業用取水施設(高さ 3m 堤長約 20m)の基礎部に古生層の石英質砂岩の分布が確認された。その南約 3km にある Nahan 村の北側の尾根は古生層の分布が期待されたが、踏査の結果は中生層の砂岩であった。Nahan 村から西へ約 10km にあるナムニアップ川沿いのソプヨーク村(ダム地点上流北西 12km)付近には花崗岩及び古生層が分布する。

ハトカム村の北東約 15km の Muanghuang 村では、村の中に大きな石灰岩の露岩がそびえている他、稼働中の石灰岩採取場もあった。Muanghuang 村の南東約 2.5km にある Muang 村の南西、Muang 山の西側麓部では、建設中の小規模な農業用堰の基礎に中生層の砂岩・頁岩が分布していた。ハトカム村の東約 4km にはスネーク山と呼ばれる北西-南東方向に延々と延びる山並みがあるが、ここには中生層の砂岩・泥岩の互層が分布している。ハトカム村の北西約 2.5km には Tek 山と称される西北西-南南東の稜線があり、ここには中生層の砂岩・泥岩の分布を確認したが、礫岩はみられなかった。

4.3 ダムサイト周辺の地質

4.3.1 概要

ハトカム村の西約 8km 地点では塊状の石英質砂岩、砂岩、礫岩層、赤色泥岩、砂岩泥岩互層が分布し峡谷を形成しており、ここが計画ダム地点である。周辺には白亜紀前期からジュラ紀中期の層準が分布し、地層は緩く東に約 10° 傾斜し、地形的にも東に傾斜した標高 700 m~400 m の丘陵地である。地形測量によると峡谷の両岸の勾配は $30^\circ \sim 33^\circ$ である。

逆調整池周辺も含めた地質構造概要を、図 4.3.1 に示した。

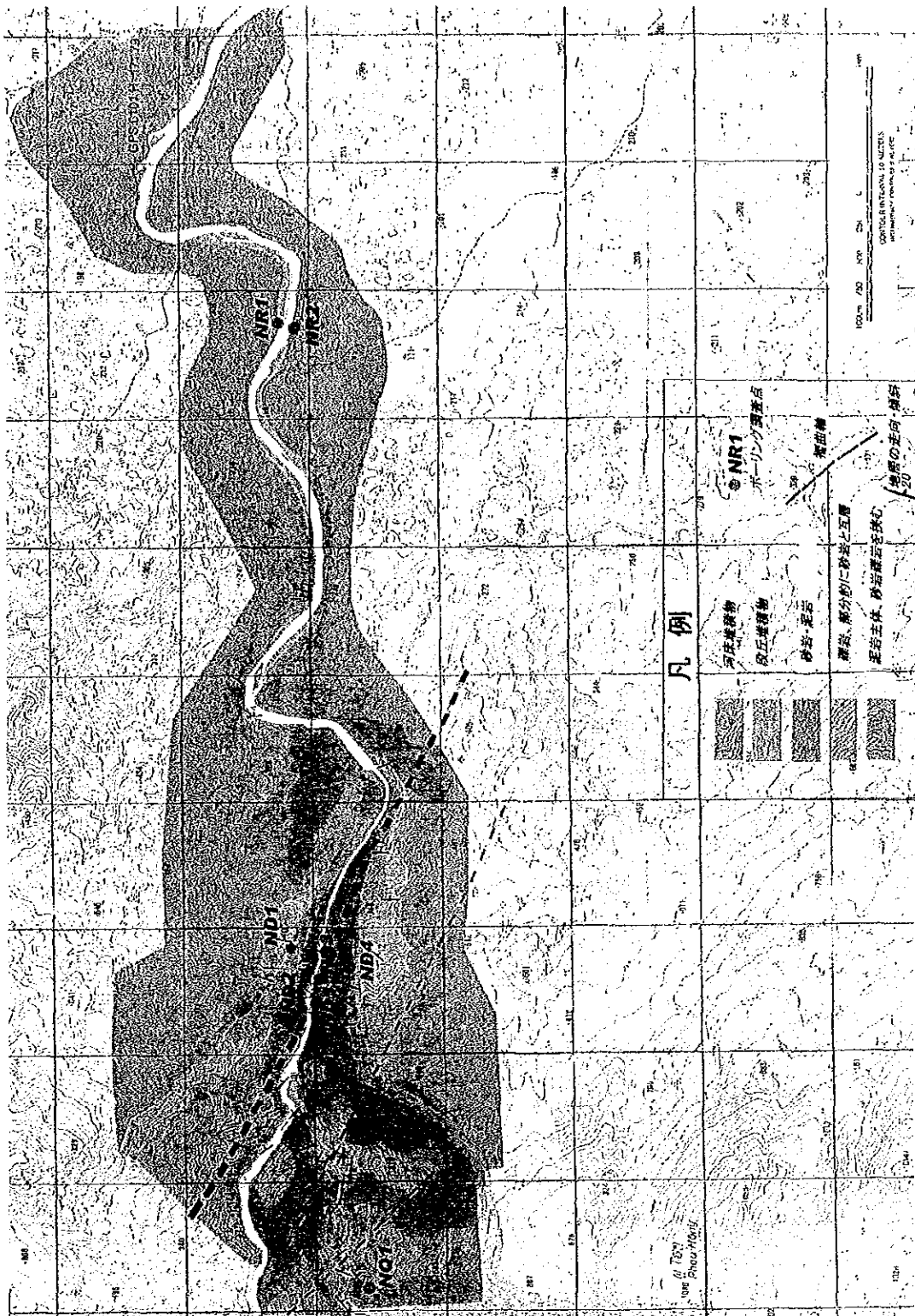


図 4.3.1 ダムサイト周辺の地質構造概要図

また、ダムサイト周辺の地質は、地質平面図として、図 4.3.2 に示した。また、ダム軸上の地質構造横断面図を図 4.3.3 に示した。仮排水路トンネル、洪水吐、導水路トンネルに沿った各地質縦断面図を、図 4.3.4、図 4.3.5、図 4.3.6 にそれぞれ示した。

4.3.2 ボーリング等地質調査概要

2002年2月、地質ボーリング調査地点選点を行い、同年3月より現地委託によるボーリング調査・弾性波探査・岩石コアによる室内強度試験等を実施した。ボーリングは表 4.3.1 に示す通り実施した。弾性波探査は、ダムサイト地点の6測定線(測定長計 2km)で実施した。岩石試験はダムサイト 16 試料、ナムカタ川沿い原石山 2 試料、ソプヨーク村近傍原石山 2 試料とした。またアルカリ骨材試験は、ダムサイトのボーリングコアを用いて、礫岩及び砂岩を対象に実施した。

表 4.3.1 ボーリング調査一覧

No.	名称	深度 (m)	位置(E)	位置(N)	標高 (EL.m)	場所
1.	ND1	150	344,459.90	2,062,512.39	321.493	ダムサイト左岸
2.	ND2	100	344,251.46	2,062,390.35	211.497	ダムサイト左岸河床近く
3.	ND3	100	344,203.12	2,062,278.90	205.044	ダムサイト右岸河床近く
4.	ND4	150	344,304.06	2,062,041.60	322.335	ダムサイト右岸
5.	ND5	100	344,203.12	2,062,278.90	205.044	ダムサイト右岸褶曲部
6.	NR1	20	349,340.69	2,062,541.71	172.442	逆調整池
7.	NR2	20	349,319.41	2,062,454.84	167.565	逆調整池
8.	NQ1	50	341,800E	2,061,960	325	ナムカタ原石山
9.	NQ2	50	329,863E	2,071,591	400	ソプヨク原石山

4.3.3 地質分布と地質構造

(1) 地質層序

ボーリング調査結果でダムサイト周辺を構成する基盤岩石の層状の構成が明らかとなった。また、褶曲構造部に削孔(ND5 斜 45° 100m)したことにより、褶曲部分での地質状況・岩盤状況が把握された。まず地質構成として、ダムサイト周辺を大きくは 6 つの地層グループに分けた。第 1 フェーズ調査での地質踏査で 30~50m と推定していた変位は、褶曲を介した約 70m の変位(右岸側が左岸側に比較して相対的に標高が高い)と判明した。

ダムサイト左岸の崖上では礫岩の分布が狭く、ND1 ボーリング結果によれば、深度 54.6m まで同層が分布し、風化による浸食が本層準に及んでいないものと考えられる。一方、右岸の ND4 結果によれば、第 1 地層群(Formation 1)から第 4 地層群下部までを捉えたものの、全く礫岩層が卓越する第 5 地層群を捕えていない。第 5 地層群は、広範囲に右岸の崖の上に露出し、台地を形成し、風化浸食により深い鉛直の開口節理や割れ目が発達する結果となっているものと思われる。

表 4.3.2 ダムサイトボーリングに出現する地層

名称	層厚 (m)	主要な構成層	出現ボーリング孔
第6地層群 (Formation 6)	100+	Ms > Ss	
第5地層群 (Formation 5)	80	Ss, Cg >> Ms	ND1
第4地層群 (Formation 4)	30	Ms > Ss	ND1, ND4
第3地層群 (Formation 3)	50	Ss > Ms	ND1, ND2, ND3, ND4, ND5
第2地層群 (Formation 2)	40	Ss = Ms	ND1, ND2, ND3, ND4, ND5
第1地層群 (Formation 1)	30+	Ms >> Ss	ND2, ND3, ND4, ND5

(注)>>, >, = は量的な関係を記号であらわしたもの。ND1~ND2は左岸、ND3~ND5は右岸。

(2) 岩相

岩石については次のような特徴が見られた。礫岩は径数 mm から最大 20mm 程度の古生層や火山岩起源の礫を多く含み、マトリクスは粗粒で石英粒子を多く含む。砂岩には粗粒のものから細粒のものまであり、シルト岩との細互層状のものもある。また一部、石灰岩質の粗粒砂岩の可能性ある部分があり、今後調査上留意する必要がある。ND1 の 15.6m~17.0m の風化した白色軟質な砂岩は、チョークの可能性はある。

泥岩には細粒の粒子からなる粘土質岩石から粗粒のシルト岩まであり、場所により凝灰質である。また、後述するように強度的に硬質でマトリクスの固結した岩相と風化や含水により脆弱化しやすい岩相があり、泥岩の内部分類は今後課題になるものと思われる。多くは成層した堆積時の構造を残しており、地層の層理面や細互層のような堆積構造を有している。しかし褶曲部においては、これらの堆積構造が大きく乱され、砂岩や泥岩がボーリングコアのオーダー(数センチのオーダー)で不規則に混じる岩相が見られた。このような細かい混在岩相がボーリングコアで見られたのは次の場所である。

表 4.3.3 ダムサイトボーリング孔に出現する岩相が混じる部分

孔	深度 (m)	記事	層
ND3	46.7-47.8	泥岩>砂岩	Formation2
	48.6-49.55	泥岩>砂岩	
ND5	30.8-31.4	泥岩>砂岩	Formation2
	32.5-33.2	泥岩<砂岩	
	35.0-36.5	泥岩<<砂岩	
	37.7-38.6	泥岩=砂岩	
	39.1-39.5	泥岩>砂岩	
	46.0-48.8	泥岩>砂岩	
	49.7-51.7	泥岩=砂岩	
	54.6-58.8	泥岩>砂岩	
	94.6-99.4	泥岩>>砂岩	Formation1

(3) 褶曲構造

ダムサイト右岸河床部付近を通り、上流左岸から下流右岸方向に走る褶曲構造については、ナムニエップ川に沿いナムカタ川にかけて比較的連続して露頭が続くことから、褶曲構造は次の解釈が出来る。

- ① 右岸から左岸にかけて傾斜が大きくなる部分はよく見えており、この部分には一部に地層面に沿う粘土化した弱部があるものの、地層面の乱れはなく成層した状態で曲がり(ナムニアップ川左岸露岩)、最大 75° 程度まで地層は傾斜する(右岸露岩)。
- ② 左岸で緩い成層に戻る部分の詳細な露頭が現在のところ見つかっておらず、上記最大急傾斜部から河床の左右岸で 15° 程度の緩傾斜に戻るのにナムニアップ川沿いで約 150m である(褶曲に対する直線距離では数 10m)。この褶曲の左岸側の緩傾斜への戻り部分の地層の連続性と岩盤性状については、今回のボーリングである程度明らかになったが、今後とも詳細な調査が必要である。

(4) 地形と崖錐堆積物

峡谷に沿って長径 10m 内外の巨礫が積重なり、構成岩主は、下流部では礫岩が多く上流では砂岩であることは従来分かっていた。また露岩が顕著でないことから、崖錐堆積物の層厚は厚いことが従来指摘されている。特に右岸側で斜面下部に厚い堆積物があり、地質構造との関係が推定されてきた。

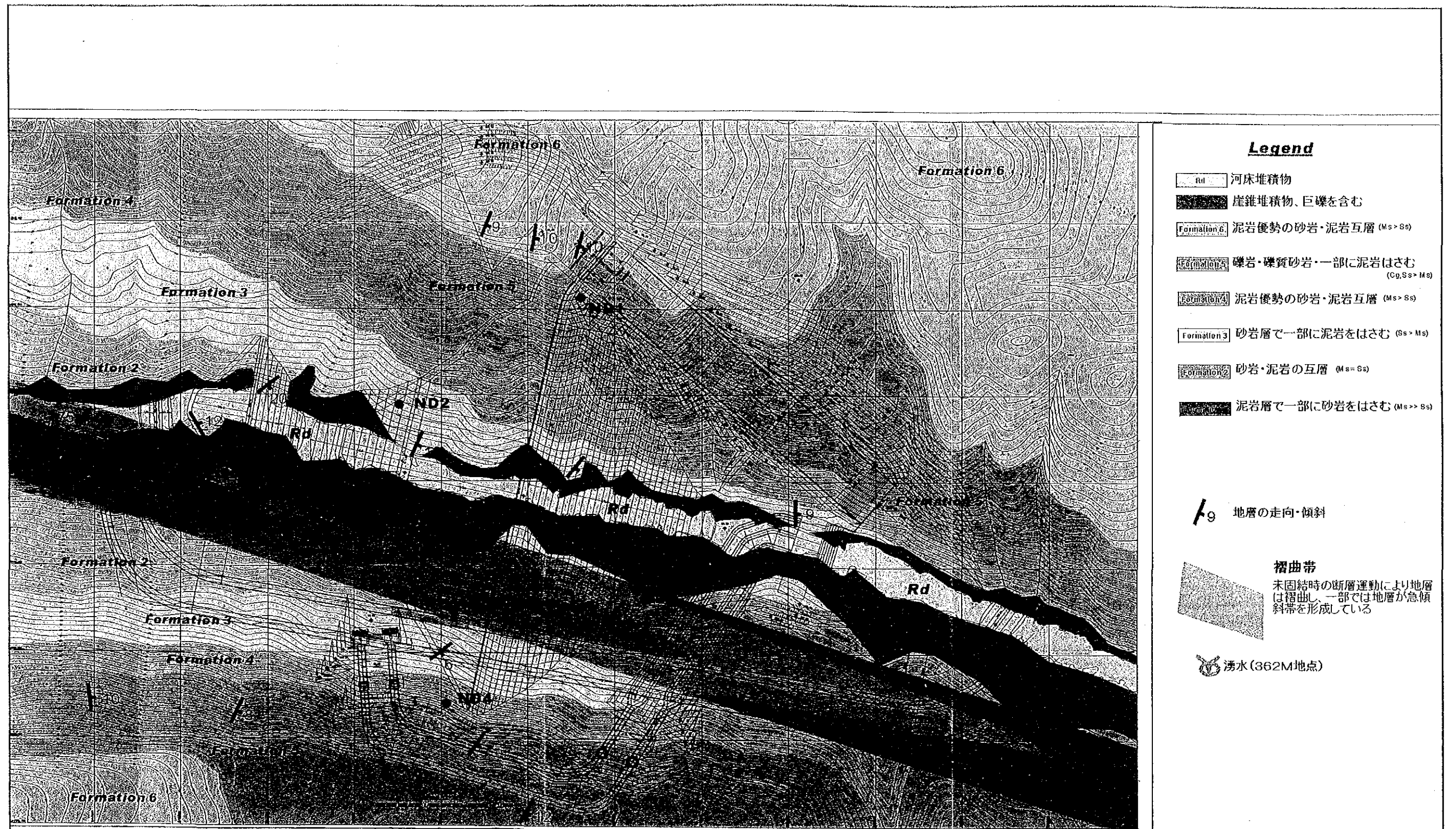
斜面途中に突然岩盤の露頭があらわれる部分があり、熱帯の植生で多くが覆われているために、第 1 フェーズ調査では崖錐堆積物の分布の推定は地層構成とあわせて把握できていない部分であった。しかし今回の調査で、左岸崖錐堆積物の層厚は数 m 程度と推定された。第 3 地層群には層厚 50m の砂岩が、第 5 地層群には層厚 80m の砂岩・礫岩が含まれ、これらを起源とする巨大な岩石が斜面を落下して河道に到達したと考えられる。

また、強固な岩質をもつ砂岩・礫岩は、階段状の侵食地形を形成して露頭している。強度の弱い泥岩層が侵食され、土砂や植生でおおわれる一方、強度の強い砂岩や礫岩は、斜面に露出し階段状の地形を形成している。さらに右岸斜面下部では、褶曲で川に向かって流れ盤状の地質構造となるため、褶曲とあいまって深部まで風化や岩盤の劣化が進行し、崩れた岩石が右岸河床部付近では 20m 程度の層厚で崖錐堆積物を形成している。

斜面上部では、褶曲構造が終わり地層は逆に斜面に対して水平かやや受け盤状となり、斜面上部には急崖が形成され、安定した露岩が分布している。ただし、礫岩については鉛直の亀裂が深く発達している。図 4.3.7 に礫岩露崖のスケッチを示した。

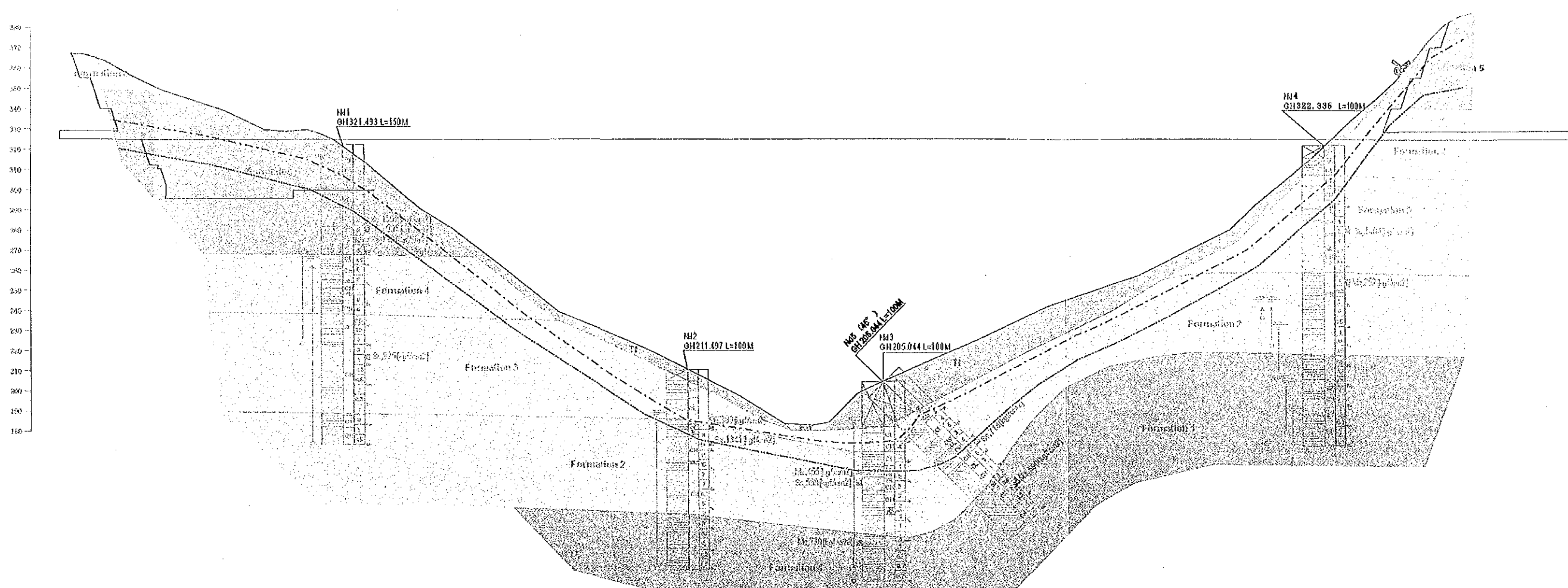
(5) 河床堆積物

第 2 フェーズ調査では、河床部でのボーリング調査で河床部分の堆積物や基盤岩石の深度を調べてはいない。このため、河床両岸のボーリング地層構成と成層から基盤岩石の推定を行い、河床の水流による洗掘に対する耐性から砂岩岩盤と泥岩岩盤の繰返しによる階段状の基盤岩分布を推定した。



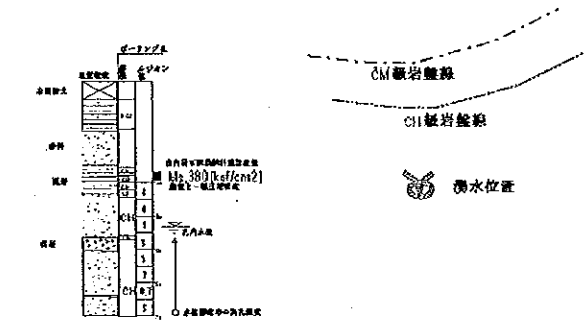
FEASIBILITY STUDY
ON THE NAM NGIEP-1 HYDROELECTRIC POWER PROJECT (Phase II)
IN THE LAO PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 4.3.2
ダムサイト周辺の地質構造平面図



凡例

- Rd 河床堆積物、巨礫及び砂礫
- 基盤堆積物、巨礫 (径10~100m) 含む粘土質土
- Formation 6 泥岩優勢の砂岩泥岩の互層 (Ms > Ss)
- Formation 5 泥岩・深質砂岩に一部泥岩をばさむ (Cg, Ss > Ms)
- Formation 4 泥岩優勢の砂岩泥岩の互層 (Ms > Ss)
- Formation 3 砂岩に泥岩を一部はさむ (Ss > Ms)
- Formation 2 泥岩砂岩の互層 (Ms = Ss)
- 泥岩に砂岩を一部含む (Ms >> Ss)



FEASIBILITY STUDY
ON THE NAM NGIEP-1 HYDROELECTRIC POWER PROJECT (Phase II)
IN THE LAO PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 4.3.3
ダム軸上の地質構造横断面図

T2

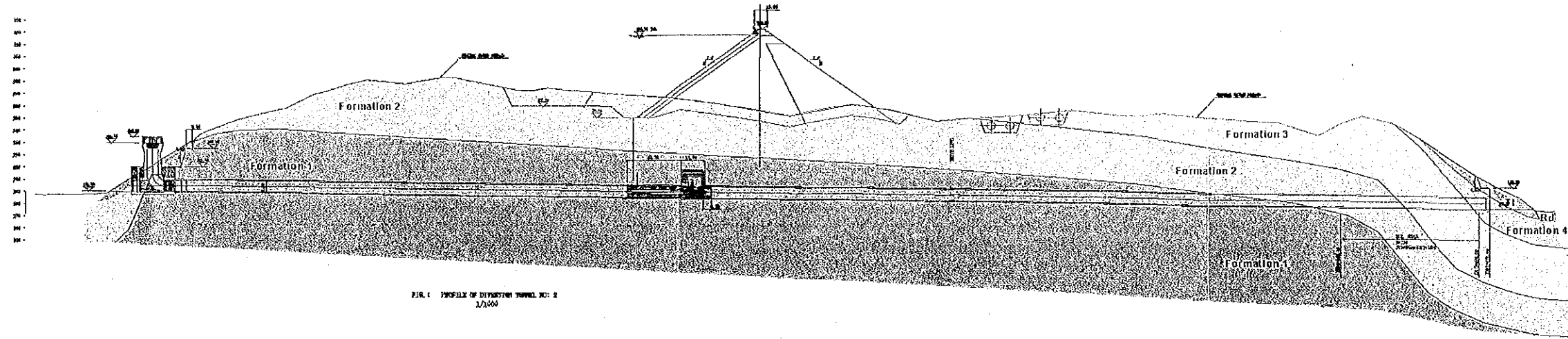


FIG. 1 PROFILE OF DIVERSION TUNNEL NO. 2
1/1000

T1

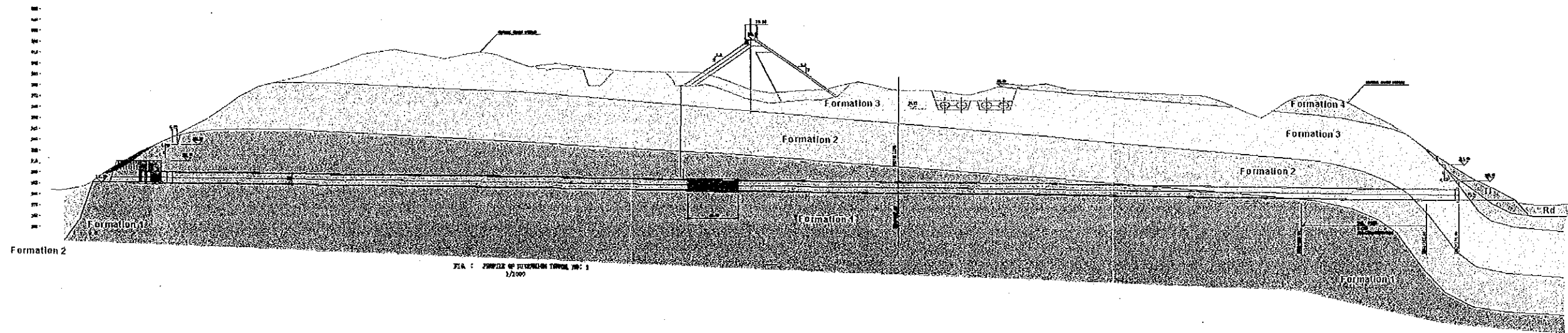


FIG. 2 PROFILE OF DIVERSION TUNNEL NO. 1
1/1000

凡例

- Rd 河床堆積物、巨礫・砂礫
- 崖堆積物、巨礫(径1mから10mまで)を含む粘性土
- Formation 6 泥岩優勢の砂岩泥岩の互層 (Ms > Ss)
- Formation 5 礫岩・礫質砂岩中に泥岩を一部挟む (Cg, Ss > Ms)
- Formation 4 泥岩優勢の砂岩泥岩の互層 (Ms > Ss)
- Formation 3 砂岩中に泥岩を一部はさむ (Ss > Ms)
- Formation 2 砂岩泥岩の互層 (Ms = Ss)
- Formation 1 泥岩中に砂岩を一部挟む (Ms >> Ss)

FEASIBILITY STUDY
ON THE NAM NGIEP-1 HYDROELECTRIC POWER PROJECT (Phase II)
IN THE LAO PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 4.3.4
仮排水トンネルに沿った各地質縦断面図

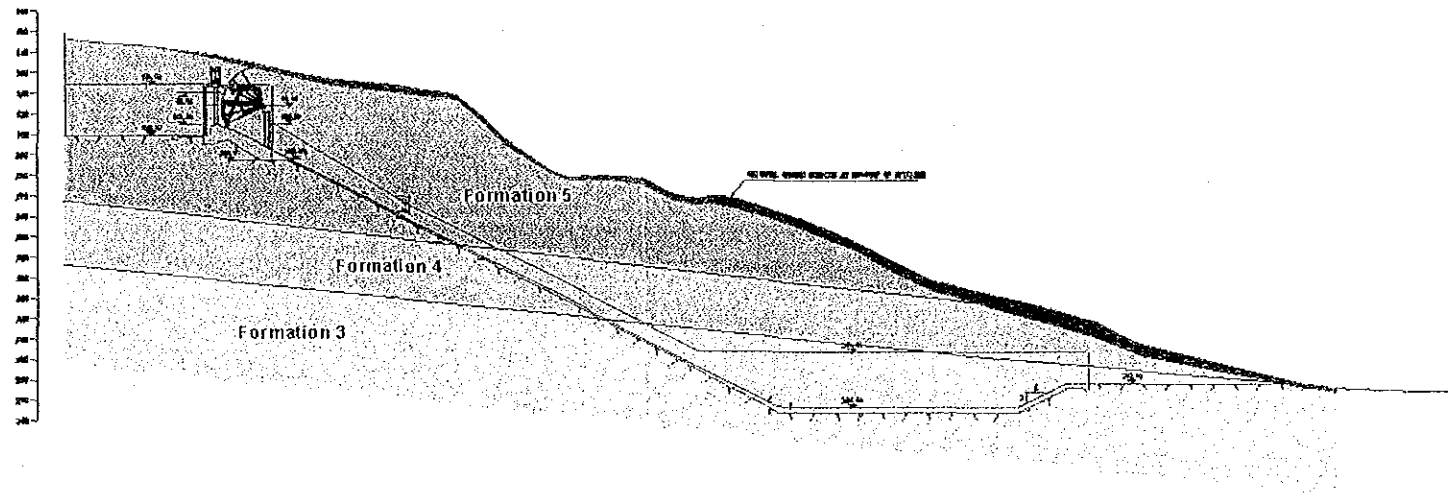




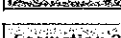





FIG. 1 PROFILE OF SPILLWAY

凡例

- | | | |
|---|-------------|--------------------------------|
|  | Rd | 河床堆積物、巨礫・砂礫 |
|  | Formation 6 | 炭錐堆積物、巨礫(径1mから10mまで)を含む粘性土 |
|  | Formation 6 | 泥岩優勢の砂岩泥岩の互層 (Ms > Ss) |
|  | Formation 5 | 礫岩・礫質砂岩中に泥岩を一部挟む (Cg, Ss > Ms) |
|  | Formation 4 | 泥岩優勢の砂岩泥岩の互層 (Ms > Ss) |
|  | Formation 3 | 砂岩中に泥岩を一部挟む (Ss > Ms) |
|  | Formation 2 | 砂岩泥岩の互層 (Ms = Ss) |
|  | Formation 1 | 泥岩中に砂岩を一部挟む (Ms >> Ss) |

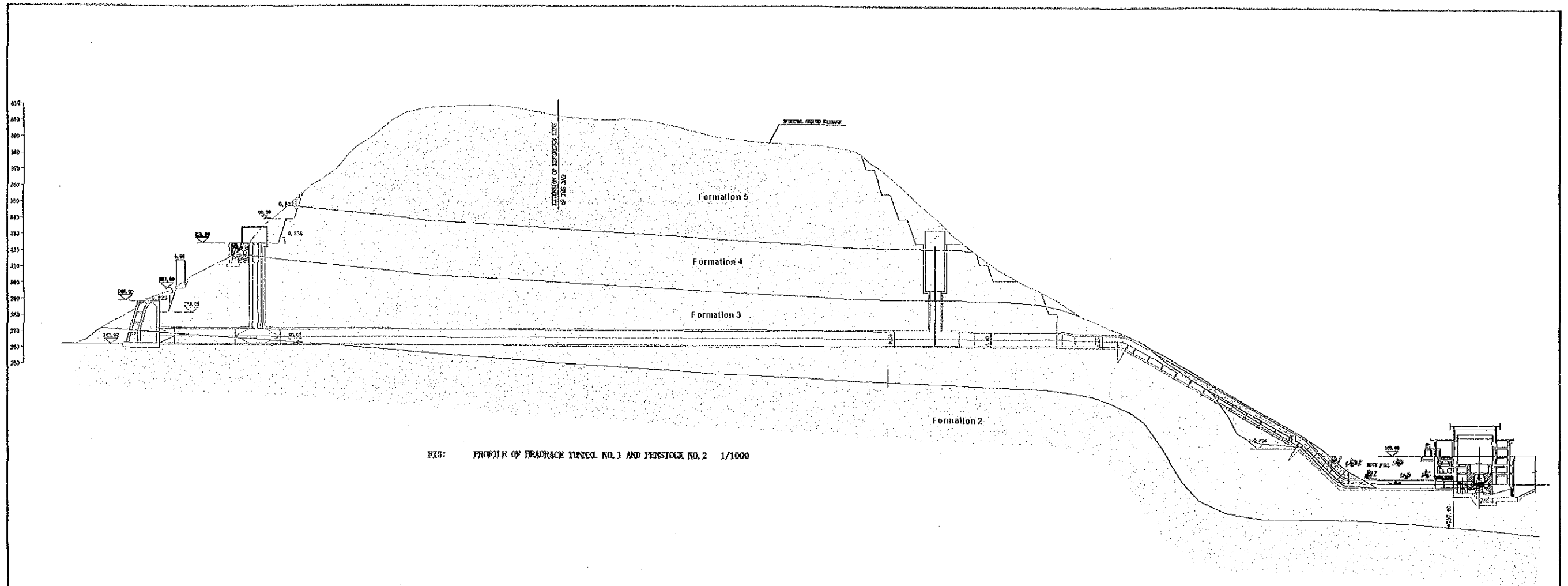


FIG: PROFILE OF HEADRACE TUNNEL NO.1 AND PENSTOCK NO.2 1/1000

凡例

- Rd 河床堆積物、巨礫・砂礫
- Formation 6 炭錐堆積物、巨礫(径1mから10mまで)を含む粘土
- Formation 6s 泥岩優勢の砂岩泥岩の互層 (Ms > Ss)
- Formation 5 礫岩・礫質砂岩中に泥岩を一部含む (Cg, Ss > Ms)
- Formation 4 泥岩優勢の砂岩泥岩の互層 (Ms > Ss)
- Formation 3 砂岩中に泥岩を一部含む (Ss > Ms)
- Formation 2 砂岩泥岩の互層 (Ms = Ss)
- Formation 1 泥岩中に砂岩を一部含む (Ms >> Ss)

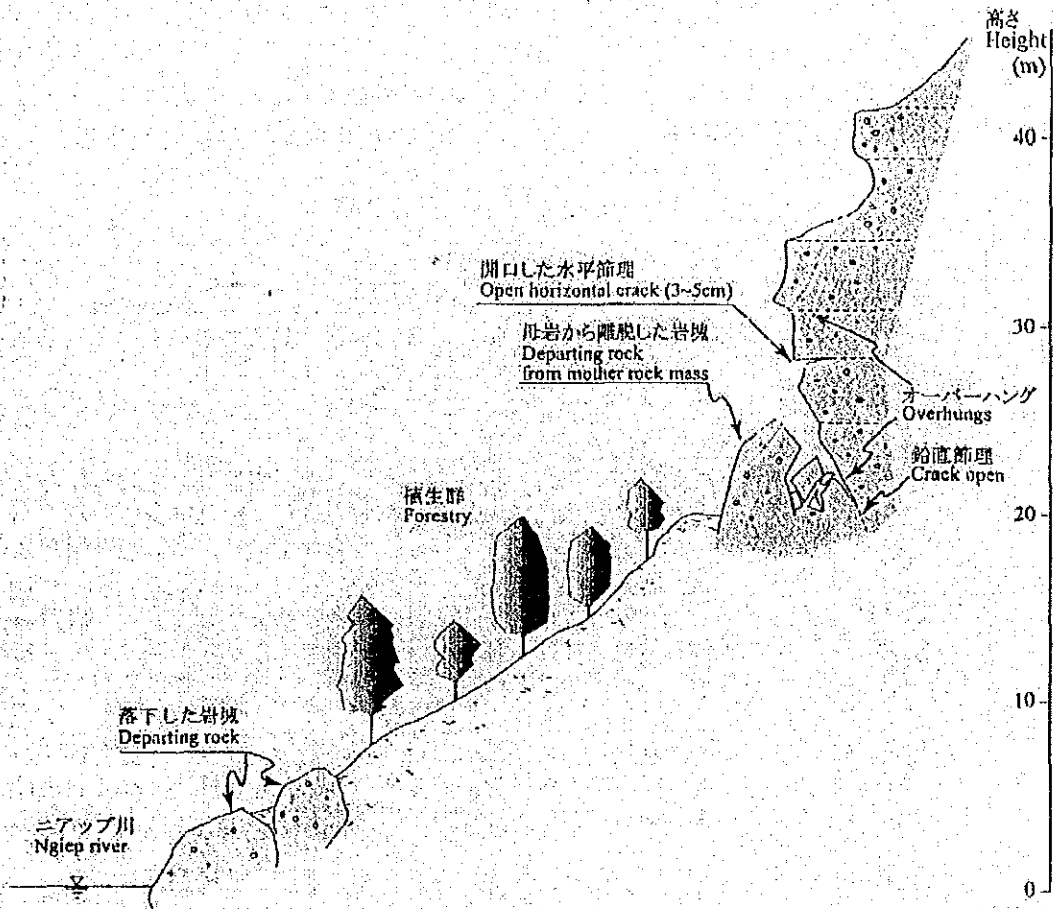


図 4.3.7 礫岩露崖のスケッチ

4.3.4 基礎岩盤の強度と止水性

(1) 岩盤分類

ダムサイトの岩盤区分は、本ダムが水力発電専用ダムであることから、日本国内の水力発電ダムの多くに適用されている電研式岩盤分類を適用した。これは、広がりをもつ岩盤の観察に基づいた岩盤分類といわれるものの一つで、調査坑や野外観察のように広がりをもった岩盤を、その強度的な性質により分類するものである。A/B/CH/CM/CL/Dの6種に分類する。

表 4.3.4 ダムサイト岩盤分類

記号	特徴
A	極めて新鮮なもので、造岩鉱物および粒子は変質を受けていない。亀裂・節理はほとんどなく、あってもよく密着し、それらの面に沿って風化の跡は見られないもの、岩質は極めて堅硬で、ハンマーによって打診すれば澄んだ音をだす
B	岩質堅硬で開口した亀裂あるいは節理はなく、よく密着している。ただし、造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化・変質が見られる。
CH	造岩鉱物及び粒子は石英を除けば風化作用を受けているが、岩質は比較的堅硬である。一般に褐鉄鉱などに汚染され、節理或いは亀裂間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目に沿って岩塊がはく脱し、はく脱面には粘土物質の薄層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば少し濁った音をだす。
CM	造岩鉱物及び粒子は、石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。節理或いは亀裂間の粘着力は多少減少しており、ハンマーの普通程度の打撃によって割れ目に沿って岩塊がはく脱し、はく脱面には粘土物質の層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば多少濁った音をだす。
CL	造岩鉱物及び粒子は石英を除けば風化作用を受けて軟質化しており、岩質も軟らかくなっている。節理或いは亀裂間の粘着力は減少しており、ハンマーの軽打によって割れ目に沿って岩塊がはく脱し、はく脱面には粘土物質が残留する。ハンマーによって打診すれば濁った音をだす。
D	造岩鉱物及び粒子は、風化作用を受けて著しく軟質化しており、岩質も著しく軟らかい。節理或いは亀裂間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけで崩れ落ちる。はく脱面には粘土物質が残留する。ハンマーによって打診すれば著しく濁った音をだす。

ボーリングコアは、局所的に細かい情報も同時に捕らえており、10cm から数 m の単位で岩石情報の整理を行うことができる。これらの分類は柱状図に記載される。この場合、RQD、コア採取率、岩石試験結果等を組合せて、その調査現場で統一した判断基準を今後作成していく必要がある。工学的な判断の必要性から、各岩盤の深度の判定を下表の通り行った。

表 4.3.5 各ボーリング孔のダムサイト岩盤分類とその深度

ボーリング孔名	着岩深度	D級岩盤表面	CL級岩盤表面	CM級岩盤表面	CH級岩盤表面
ND1	6.0m	6.0m	9.6m	15m	32.5m
ND2	5.6m	5.6m	13.4m	25.4m	33.9m
ND3	22.6m	22.6m	22.6m	30.0m	45.0m
ND4	5.4m	5.4m	8.7m	15.0m	27.0m
NDS5	20.4m	20.4m	20.4m	23.4m	51.7m

ボーリング調査結果をもとに、岩盤線と岩盤線に囲まれたダムサイト岩盤内部の性状を評価すると、一般的には深度と共に D 級から CL 級、CM 級、CH 級岩盤へと強度の増加を示す。しかし、褶曲の影響を受けている部分では、深度による漸移的な強度増加傾向を示さず、強度的に大きなバラツキで分布する傾向が認められる。

表 4.3.6 褶曲部岩盤の特徴

岩盤	定義	ダム岩盤(褶曲部を除く)	ダム岩盤(褶曲部)
D 級岩盤	D 級-CL 級岩盤線間の岩盤	深度と共に D から CL へ漸移的に強度増加	D 級が主。
CL 級岩盤	CL 級-CM 級岩盤線間の岩盤	深度と共に CL から CM へ漸移的に強度増加	CL 級が主。D 級/CM 級も混在
CM 級岩盤	CM 級-CH 級岩盤線間の岩盤	深度と共に CM から CH へ漸移的に強度増加	CM 級が主。D 級/CL 級も混在
CH 級岩盤	CH 級岩盤線以深の岩盤	深度と共に CH から更に強度増加	CH 級が主。

(2) エロディビリティ

CFRD 基礎に対し、エロディビリティ (Erodibility) に注目して岩盤を 4 分類した。岩盤分類との対応は次の通りである。なお、褶曲部岩盤のコア観察では、深度とともに強度を増す通常の風化による岩盤状況と異なり、やや不規則に強度の弱い岩盤も含んでいることから、基礎タイプの評価を褶曲部では 1 ランク落としている。

表 4.3.7 Erodibility と岩盤分類

No.	基礎タイプ	地質	岩盤分類
1.	Non-erodible	CM 級以上の砂岩・泥岩	CM 級以上の岩盤(褶曲部を除く)
2.	Moderately-erodible	CL 級の砂岩、CL 級の泥岩の一部	CL 級の砂岩岩盤、CL 級の泥岩岩盤、褶曲部の CM 級岩盤
3.	Erodible	CL 級の泥岩の一部	CL 級の泥岩岩盤、褶曲部の CL 級岩盤
4.	Highly erodible	D 級の砂岩・泥岩・破碎帯	D 級の砂岩・泥岩・破碎帯

(注) 参考資料「Concrete face rockfill dam foundation Jesus M. Sierra」

今後実施する詳細調査では、調査横坑による岩盤面の観察を行い、Erodibility が疑われるような岩質、亀裂の挟在物質・岩片等を詳しく調べる必要がある。また、ボーリング調査では、調査技術の向上に努めコア採取率を向上させ、岩盤評価の精度を上げる必要がある。

(3) 地下水位

地下水位については、左岸高標高部のボーリング ND1 孔において、GL-55m(標高 265m 付近)に安定した孔内水位が確認された。渇水期に第 5 地層群の最下部(深度 54.6m)に水位があり、泥岩の多い第 4 地層群が地下水を支えていると考えられる。

河床近くの ND2、ND3 の 2 孔では、概ね河川水位より若干高い孔内水位が渇水期に得られている。ND4 では、ボーリングの進行とともに 75m~90m 付近に水位が留まるようにも見えたが、最終的に 150m のボーリング孔底に到達した段階では、孔内水位は 131m 付近まで低下した。

表 4.3.8 ボーリング孔内最終水位

孔番	位置	標高	孔番	位置	標高
ND1	GL-55m	EL265m	ND3	GL-19m	EL186m
ND2	GL-22m	EL189m	ND4	GL-131m	EL191m

ND4 は孔口標高 322.3m であり、この位置では第 4 地層群に相当しており、左岸で地下水を有する第 5 地層群は標高 340m 付近から上位に分布している。実際、ND4 から約 40m 上方の急崖に沿った小道の崖には、第 5 地層群の礫岩を主体とし、砂岩・泥岩の薄層が下位に分布する崖下部(標高 362m)に湧水がある。ここには竹筒で作った水飲器が置かれ、滴水を集めて長期にわたり地元民の狩猟や少数民族の交通時の飲用に使われていたと思われる。渇水期でも、2~3 分/分の湧水がある。また、ND4 のボーリング用水としても導水して使用した。これは、泥岩優勢の第 4 地層群が難透水性帯を形成し、地下水が深部に涵養されていないことを示唆している。

(4) 地下水位と風化深度

コア観察による各ボーリング地点での風化状況は次の通りである。

表 4.3.9 ボーリング孔に見られる風化と地盤深部の風化節理

ボーリング孔	風化深度 (m)	弱風化深度 (m)	風化節理位置深度 (m)
ND1	25.0	57.5	74.3
ND2	33.9	46.8	-
ND3	35.0	42.0	-
ND4	21.3	58.4	130.75
ND5	23.4	47.0	-

ND4 では深度 130.75m の節理が褐色化していたことに加え、水位記録がほぼ符合することから、この深部の亀裂を通してボーリング孔内水位の逸水が生じたものと考えられる。また、この深度は標高では河川水位に近く、亀裂からの逸水が河川浸食か褶曲に関係した岩盤の緩みに連続していると考えられる。地下水の涵養が絶たれている部分で、褶曲に関係した透水ゾーンの存在が考えられるので、この部分を特定するための調査が必要である。

(5) 基盤岩に見られる空隙の大きな部分

ボーリング各孔で、岩盤に不規則な溶蝕状の空孔(長径数 mm~10mm)が見られた区間がある。ルジオン値との対応は特にないことから今の所問題点とは考えていないが、地下水位や褶曲との関係で今後留意する必要があるものと思われる。

表 4.3.10 ボーリング孔に見られる空隙の大きい層

ボーリング孔	深度 (m)	地層	岩石
ND1	55.4-55.5	第 5 地層群	Ss
	55.5-56.0		Ms
	91.2-91.5		Ms
ND4	51.2-51.35	第 3 地層群	Ss
	75.5-77	第 2 地層群	Ms & Ss
	121-121.7	第 1 地層群	Ss,crack

ボーリング孔	深度 (m)	地層	岩石
ND5	28.5-30.0	第2地層群	Ms
	35.75-36.3		Ss>Ms Mixed
	45.4-46.0		Ss
	50.8-51.7		Ss=Ms Mixed
	59.4-60		Ms>Ss
	60.0-60.5		Ss
	68.5-69.7		Ss

(6) ルジオン試験結果

岩盤の透水性を調べるため、ボーリング孔によるルジオンテストを実施した。削孔深度 5m 区間毎にルジオンテストを実施したが、当初、パッカー空気圧が不十分で、パッカー周囲からの漏水が疑われたために、ND2 孔を除きダブルパッカーを使用しての再試験を実施した。なお一部の基盤岩の表層部分(特に CL 級および一部 CM 級岩盤)でルジオンテストを実施できなかった。

表 4.3.11 ルジオン試験実施区間

孔名称	ルジオン試験区間(m)	岩盤区間(m)
ND1	30-150	6.0-150
ND2	30-100	5.6-100
ND3	30-100	22.6-100
ND4	20-150	5.4-100
ND5	25-100	20.4-100

測定結果で得られたルジオン値は次の通りである。

表 4.3.12 ルジオン試験実施区間とルジオン値

孔名称	CL 級岩盤試験数	Lu 値	CM 級岩盤試験数	Lu 値	CH 級岩盤試験数	Lu 値
ND1	0	-	0	-	24	0-2.5
ND2	0	-	1	7.7	13	0-15.1
ND3	0	-	3	1.2-3.8	11	0-2.7
ND4	0	-	1	3.9	25	0-3.0
ND5	0	-	5	2.1-6.1	10	0-5.7

CH 級岩盤は 0Lu ~5Lu 程度と透水性は小さいと判断されるが、CM 級は 2Lu ~10Lu 程度と比較的小さく、CL 級においては 10Lu 以上と透水性は大きい。

(7) 岩石試験結果

岩石試験の試料は、いずれも風化の及んでいない新鮮な岩石(CH 級)から採取されている。試験結果は次の通りである。

表 4.3.13 ボーリングコアによる岩石試験結果 (注) 1 MP=10.1972 kgf/cm²

孔番号	試料番号	採取深度 (GL-m)	地層	岩種	単位体積重量 (ton/m ³)	含水比 (%)	比重	1軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	Vp (km/s)
ND-1	R-1	53-54	第 5 地層群	Cg,Ss	2.61	0.71	2.62	2032.6	3.60
	R-2	41-42		Cg	2.58	0.79	2.62	996.9	3.23
	R-3	36-37		Ss	2.61	0.87	2.61	1552.3	3.18
	R-4	47-48		Ss	2.66	0.67	2.69	709.5	4.67
	R-5	69-70	第 4 地層群	Ms	2.70	1.34	2.86	506.2	4.47
	R-8	107-108	第 3 地層群	SSs	2.62	0.96	2.61	1925.4	3.98
ND-2	R-6	36-37	第 2 地層群	Ss	2.68	0.39	2.69	1340.7	5.02
	R-9	28-29		Ms	2.7	1.68	2.64	379.8	3.78
ND-3	R-10	45-46	第 2 地層群	Ms	2.71	1.05	2.69	454.5	4.34
	R-13	52-53	第 2 地層群	Ss	2.58	0.48	2.64	598.6	3.78
	R-15	81-82	第 1 地層群	Ms	2.7	1.20	2.67	770.2	4.64
ND-4	R-7	42-43	第 3 地層群	Ss	2.59	1.08	2.6	1404.0	3.67
	R-12	68-69	第 2 地層群	Ms	2.72	1.24	2.69	251.9	2.78
ND-5	R-11	56-57	第 2 地層群	Ms	2.61	2.99	2.54	554.0	3.05
	R-14	53-54		SSs	2.51	1.13	2.6	714.0	3.53
	R-16	81-82	第 1 地層群	Ms	2.7	0.43	2.7	589.9	5.29
NQ-1	R-17	35.15-35.70		Ms	2.69	1.25	2.6	567.1	3.27
NQ-1	R-18	45.00-45.30		Ss	2.7	0.25	2.69	2030.0	4.00
NQ-2	R-19	38-42.6	Weathered	Granite	2.55	0.65	2.64	221.8	3.02
NQ-2	R-20	43-48	Weathered	Granite	2.52	1.39	2.65	184.9	3.02

礫岩の強度は 2 試料で 1,000~2,000kgf/cm²、砂岩で 7 試料 600~1,500 kgf/cm²、泥岩では 7 試料 250~770 kgf/cm² が得られた。この内、2 資料 (R-5, R11)は整形時に壊れたため再度サンプルを変えて試験した結果である。礫岩・砂岩はダム基礎岩盤として十分な力学的な強度を有している岩盤である。

泥岩は、強度が強く露岩でも安定している部分がある一方で、含水比の変化や除荷による膨潤が生じる部分が存在する可能性がある。今後スレーキング試験を各層準で多数実施し、弱い層準を特定し対策をとる必要がある。一部に要注意の部分があるものの、新鮮部分は概ね十分な強度を有する岩石といえる。

なお、1990 年にフランス政府が行った Pre-F/S 調査では、ダムサイト周辺の転石を採取し、岩石材料試験を実施している。ISRM の一軸圧縮強度分類におけるフランクリン試験結果は表 4.3.14 に示す通りである。

表 4.3.14 Pre-F/S でのフランクリン試験結果

番号	岩種	一軸圧縮強度(Mpa)	性質	自然含水比(%)	単位体積重量(ton/m ³)
1.	礫岩	44 - 64	Medium strength	< 2	2.5
2.	砂岩	8 - 74	Low strength to Moderate	2 - 6	2.3 - 2.5
3.	泥岩	2 - 10	Very low to Low strength	6 - 12	2.1 - 2.5

第 2 フェーズ調査でのコアによる岩石試験結果は、新鮮な岩石(CH 級)で試験を行ったために、Pre-F/S の地表付近でのサンプルによる風化の影響をうけた岩石の試験結果と比較して大きな値が得られたものと解釈される。

4.3.5 逆調整池ダムサイト周辺の地質

逆調整池ダムは、本ダム地点の 5km 下流に計画されている。この付近では、丘陵が標高 210～230m に広がっている。これらの丘陵は、主としてジュラ期中期から白亜紀後期の赤色泥岩・砂岩から構成される。

沖積層は河床に存在するだけで、段丘も河岸に沿って分布するが広くはない。兩岸とも河岸の一部に赤色泥岩が露岩しており、河床砂礫は薄い(2m 以下)と考えられる。兩岸には丘陵をきざんで小さな支谷が多数あり、これらを堰止める必要があるが、基盤岩である泥岩・砂岩の深度は風化帯の下で浅く分布している。ボーリング調査結果では、NR1(左岸)では 6.7m、NR2(右岸)では 1.5m で基盤岩である泥岩に到達している。未固結堆積物は河床砂礫である。

4.4 地震資料調査

MIH によると、ラオス国内では地震観測は行われていない。このため、ラオス国中央部に関して出された以下の 3 冊の報告書を参考にした。

- ① Hydropower Layout of Nam Ngiep-1 Pre-Feasibility Study Report, January 1991 by Sogreah
- ② Nam Mo Hydropower Project, Lao PDR Pre-feasibility Study, Main Project Report (Draft), September 1997 by Electrowatt Engineering
- ③ Nam Ngum-3 Hydropower Project Feasibility Study Final Report, March 1996 by SMEC

上記のレポート①によれば、ナムニエアップ川流域での地震活動は極くまれで、過去 20 年間においてマグニチュード 5 を超える地震は無い。

計画地域東隣のナムモ川について書かれた上記報告書②によると、米国コロラド州の National Geophysical Data Centre が調べた 1912 年～1976 年の地震記録を下に、東経 96°～109°、北緯 10°～25° に位置するラオス国中央部ではマグニチュード 6 を超える地震は発生していないし、6 以下についても極く小数記録されているのみである。

また、最後の報告書③に示された、東南アジア地域に於ける有史以来の全記録 2,100 件の地震データを下に「Seismology Research Centre at RMIT University」が解析した結果からも、ラオス国中央部での地震活動は極く希であると判断できる。

4.5 材料調査結果

4.5.1 材料の強度

ダムサイト周辺に分布するのは中生層の礫岩・砂岩・泥岩であり、表 4.3.13 に岩石試験結果を示した。礫岩では一軸圧縮強度で 1,000～2,000 kgf/cm²、単位体積重量 2.6 ton/m³、含水比 0.8% で

ある。砂岩では一軸圧縮強度で 600~1,500 kgf/cm²、単位体積重量 2.5~2.7 ton/m³、含水比 0.25~1.1%である。泥岩では一軸圧縮強度で 250~770 kgf/cm²、単位体積重量 2.7 ton/m³、含水比 0.4~3.0%であり、7 試料で力学試験を実施したが 2 試料では試料の整形等時に壊れ再試験したことを併せて考えると泥岩は強度的にばらつきが大きく、含水比もやや大きい。

ナムカタ川沿い原石山から採取された泥岩・砂岩それぞれ 1 試料であるが、ダムサイトの同種岩石と比べても強度の強い部類に入る。これは、地層としてダムサイトに出現する層準に比較して下位の層準に位置しより地盤深部に存在するため固結度が大きいと考えられる。また、現地再委託調査地質報告書では、火成岩が深度 27~30m で岩脈として入っていると報告しており、このことが周囲の岩石を強固にしている可能性もある。

砂岩・礫岩については十分な力学的な強度を有してはいるが、骨材に含まれる 2 次石英の影響を調べるためにコア試料を用いて Mortar-Bar Method (ASTM C227) でアルカリ骨材反応の可能性を調べた。ASTM C33 Appendix では、歪が 3 ヶ月で 0.05% を超えるか、6 ヶ月で 0.1% を超える場合、過剰な膨張と判断され有害なアルカリ骨材反応の可能性があるとされる。当地区の砂岩・礫岩についてはコンクリート供試体作成後 14 日の時点で 0.1% を超えており、コンクリート骨材としては不適である可能性が考えられる。

表 4.5.1 アルカリ骨材試験結果 Mortar-Bar Method (ASTM C227)

孔名	サンプル名	採取深度 (m)	岩石名	湿潤室内養生 24hrs 後	水中養生 80°C for 24 hrs. (total of 48 hrs.) 2 日後歪[%]	養生時間 14 日後歪[%]	14 日後の値から 2 日後の値を引いたもの歪[%]
ND-1	C-1	42-43	Conglomerate	0.000	0.121	0.334	0.213
ND-1	C-2	110-111	Sandstone	0.000	0.107	0.232	0.125

(注)使用セメント Portland cement Type I

古生層中の石灰岩は、ダムサイトから北東に直線距離で 20km にある Muanghuang 村に石灰岩の採石場があり、石灰岩・砂岩等の硬質の骨材が得られる。岩石試験は行っていない。

古生層中に貫入している花崗岩の岩体が、ダムサイトから 12km~15km 北方、ナムニアップ川の上流部ソプヨーク村近傍にありボーリング調査(NQ2)を実施した。ソプヨーク地点では尾根上でボーリングを実施したが風化層が約 30m と厚く、ボーリング最深度 50m では新鮮な花崗岩には至らなかった。岩石試験は 30m~50m の 2 深度で試料を採取したが、花崗岩は風化しており一軸圧縮強度で 185~221kgf/cm²、単位体積重量 2.5ton/m³、含水比 0.6~1.4%であり、新鮮な花崗岩が得られる深度はもう少し深いと考えられる。

4.5.2 原石山

(1) ロック材

礫岩及び砂岩は、ダムサイト周辺では及びに豊富に含まれ、ロック材として期待される。礫岩の分布としては層厚 80m の第 5 地層群に多く含まれる。図 4.5.1 に示す通り、①ダム地点下流

部峡谷の兩岸部台地に広い分布、②洪水吐掘削部等がある。砂岩分布としては、層厚 50m の第 3 地層群と層厚 80m の第 5 地層群に多く含まれる他、泥岩層の間に挟まれて各所に出現する。砂岩を採取する場合、泥岩と互層になっており、砂岩の卓越する層を捜す必要がある。この他、ダムサイト河床付近の巨礫には砂岩・砂礫岩が大量に分布しており、ナムカサ川沿いの礫層も対象になる。

(2) コンクリート骨材

コンクリート骨材としてはこの砂岩・礫岩を用いることが考えられるが、以下に示すような問題もあり、今後詳細な調査が必要である。

- ① 礫岩・砂岩の強度 : 砕石とした場合、原石は塊状で亀裂の少ない岩石であるため、適度な礫の形状を保つのが困難である。
- ② アルカリ骨材反応 : コア試料を用いて Mortar-Bar Method で行った試験結果では、砂岩・礫岩各 1 試料共に、供試体に過剰な膨張がみられた。

別のコンクリート骨材源として、強度や材質から問題のない古生層や花崗岩を採取することも考えられるが、この場合ダムサイトからの距離が遠くなり、アクセス道路がない等の問題がある。ダムサイトから 12km~15km 北方、ナムニアップ川の上流部ソプヨーク村に花崗岩及び古生層が分布しているが、ナムニアップ川沿いに工事用道路を設ける必要がある。ソプヨーク村ではボーリングにより花崗岩の分布を確認したが、風化層が 30m と厚く、50m の深度で新鮮岩には到達しなかった。当地点を含む周辺地区で浅く花崗岩の得られる場所を探す必要がある。

一方、ハトカム村の北東側には古生層が広く分布している。Muanghuang 村には石灰岩の採石場があり、石灰岩・砂岩等の硬質の骨材が得られるが、ダムサイトから直線距離で 20km あり、道路も現状では Muangbo 村経由で一時間以上かかる上、雨期の交通が困難である。原石山に関してダムサイト周辺で実施した現場踏査地点は図 4.5.1 に示した。

(3) その他の堤体材料

河床堆積物は、ナムニアップ川に沿って少量であるが分布している。ナムカサ川沿いには、大量の礫が分布しており、径 0.1cm~1m の砂岩が多く含まれている。段丘堆積物はナムニアップ川の兩岸ダムサイト~ハトカム村間に分布するが、礫分の他にシルト分を多く含んでいる所が多い。

また、これらの礫分にはダムサイト周辺に分布する礫岩・砂岩を起源とするものが多く含まれている。透水性材料については、河床堆積物は量的に多くないので、原石山から採取することを検討することが考えられる。

4.6 結論と提案

4.6.1 結論

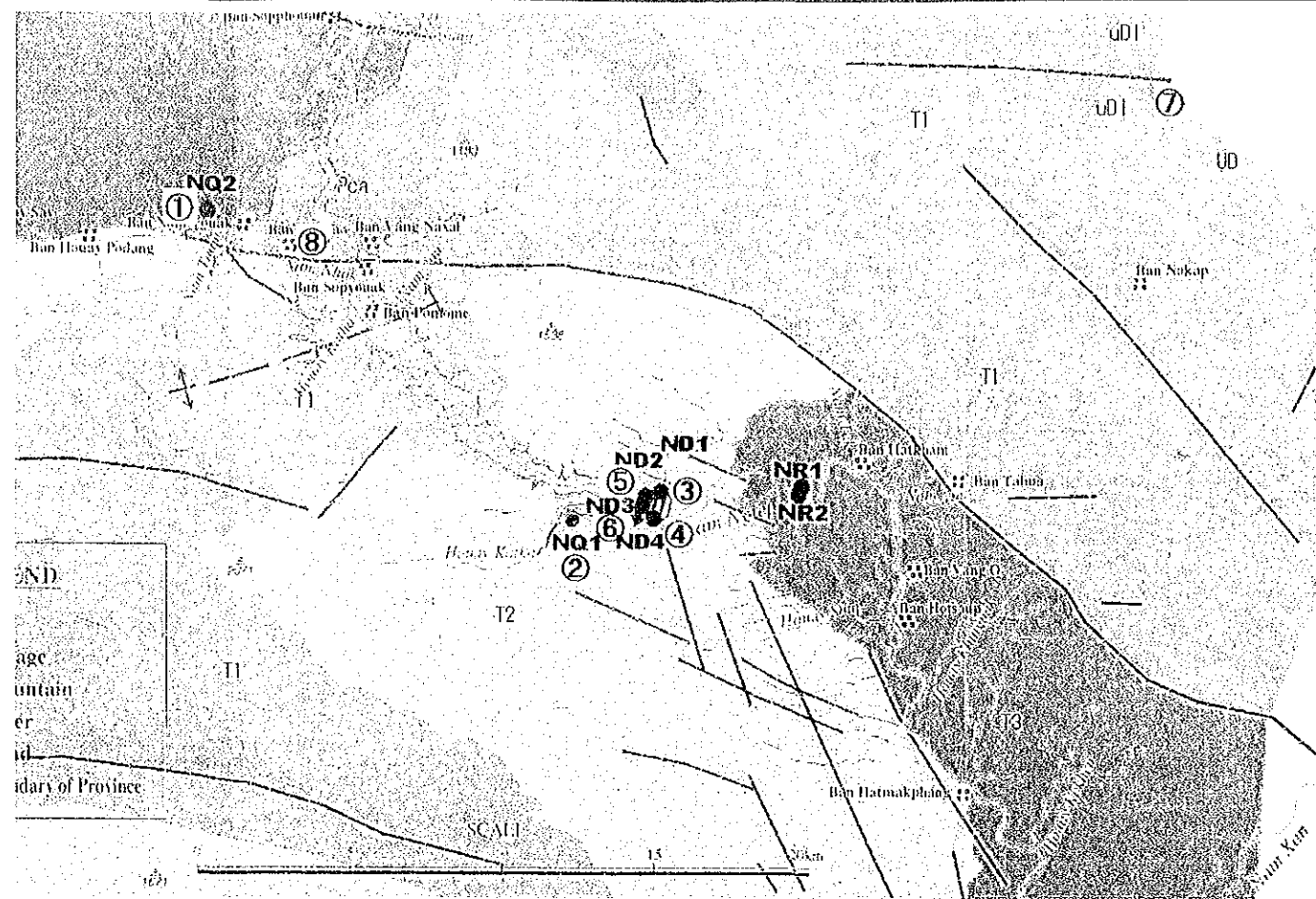
ダムサイトは成層した砂岩・礫岩・泥岩から構成されている。崖錐堆積物は層厚数m程度であるが、ダムサイト右岸の褶曲部では堆積物が約 20m と厚い。CL 級岩盤は深度 10m 程度、CM 級岩盤は深度 15～20m、CH 級岩盤も深度 30m 付近で得られる。しかし褶曲部では CM 級岩盤は 30m、CH 級岩盤は 50m 付近と深い。1 軸圧縮強度で砂岩・礫岩は 600～2,000[kgf/cm²]あり、泥岩も 200～800[kgf/cm²]ありコンクリート表面遮水型ロックフィルダム基礎として十分な力学的強度を有している。ルジオン値は、CM 級岩盤で 2～10Lu 程度、CH 級岩盤で 0～5Lu 程度であることから、ダムサイトはダム基礎として十分に小さな透水性を有している。カーテングラウチングにより止水を確実に行うことができる。

ロック材については、ダムサイト及び周辺で十分に得ることができる。コンクリート骨材については、ダムサイト上流にあるソプヨーク村周辺の花崗岩地区で得られると考えられる。しかし、第 2 フェーズ調査ではボーリング 1 本(深度 50m)を実施したが、厚い風化層のために骨材適地の確認は出来ていない。

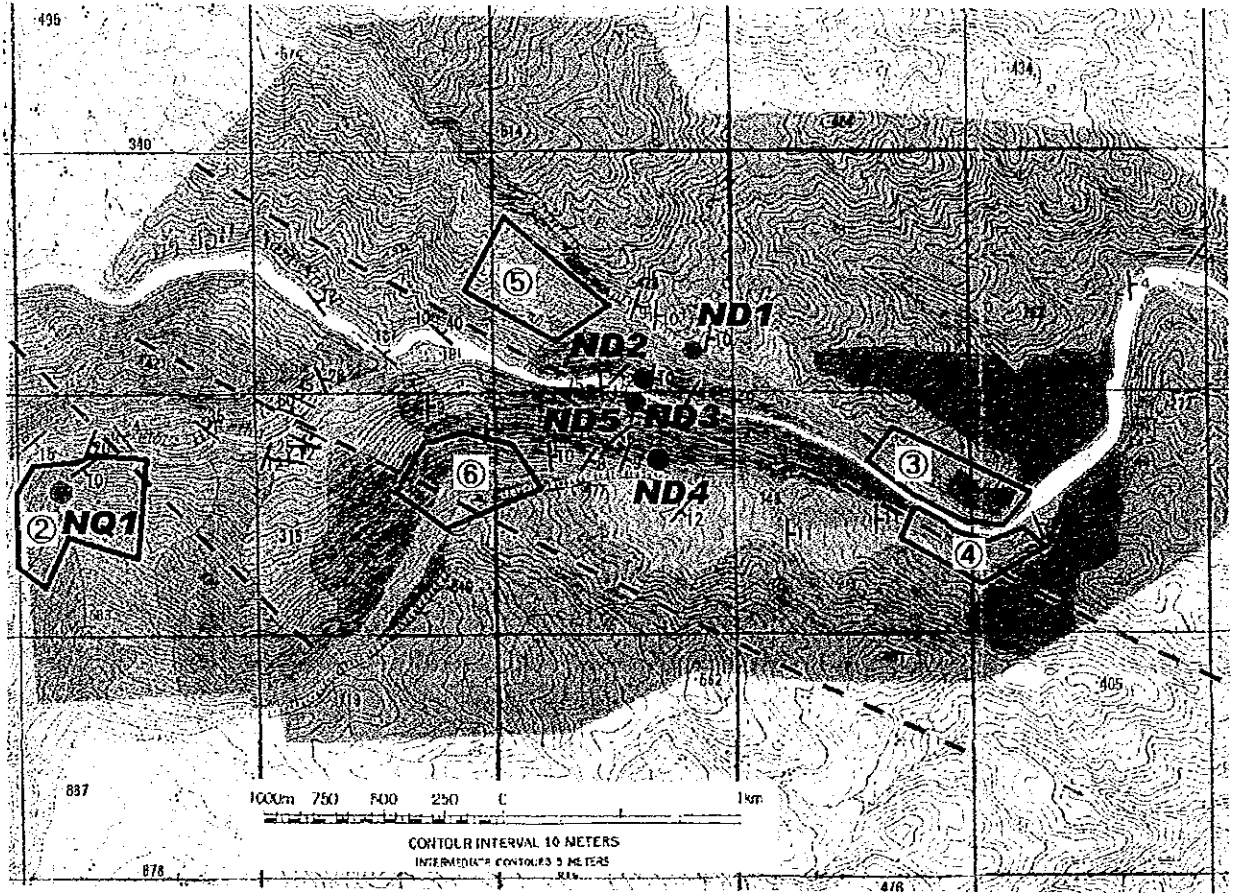
4.6.2 提案

ダムサイトでの各構造物基礎及び止水線等の詳細設計に際しての地質調査及び材料調査実施には、次の留意点ある。

- ① ダムサイト河床部でボーリング等の詳細な調査を実施する。
- ② 左岸側洪水吐部の砂岩・礫岩では、鉛直亀裂の有無に留意する。
- ③ 褶曲部ではコア採取に細心の注意を払い、褶曲による成層構造の乱れた部分での粘土や破碎部分の有無を注意深く調査し、エローディピリティ判断の材料とする。
- ④ ボーリング孔での透水試験と水位測定から、右岸側での水位状況を詳細に把握し、必要な止水対策をとる。
- ⑤ 泥岩の一部には含水による膨潤性と劣化が懸念されるため、調査によりその部分を特定し、掘削時の対策を立てる。
- ⑥ コンクリート骨材調査は、下記の可能性を調査し、最適なものを選ぶ。
 - ソプヨーク周辺の花崗岩を踏査し、風化層が薄く硬岩が得られる場所を見つける。
 - ナムカタ原石山は、ダムサイト周辺でも地層は最下位にあり岩石試験結果でも強度も大きく、アルカリ骨材試験は実施していないが、この周辺及び奥地の岩石は使える可能性がある。
 - ダムサイト周辺の岩石を使える可能性は小さいが、調査は必要である。



- Quarry Sites**
- ① Sopyok Granite(weathering 30m deep)
 - ② Nam Katha Sandstone and Mudstone
 - ③ Around damsite conglomerate and sandstone are available from Formation3 and Formation5. Rocks are supplied from excavation of spillway and tunnels.
 - ④
 - ⑤
 - ⑥
 - ⑦ Muanghuang Limestone
 - ⑧ Sopyok Palaeozoic Sandstone and Mudstone



FEASIBILITY STUDY
ON THE NAM NGIEP-1 HYDROELECTRIC POWER PROJECT (Phase II)
IN THE LAO PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

图 4.5.1

原石山調査位置図