# 第7章 地形・地質

## 7.1 地形

ナムグム第一発電所拡張計画候補地点は、既存発電所の周辺とダム右岸近傍に限られる。既存ダ ムはナムグム川の狭窄部(川幅約 100-150 m)を利用して築造されており、ダム軸の下流 200 m で 川幅は一気におよそ 300 m に広がる。ダム軸から下流 140 m 付近が最も狭い狭窄部でダム築造前 は両岸から岩の尾根が突き出た地形だったようである。その地点河床には硬い岩が洗掘されずに 露出していると推定される。その岩盤河床が標高 164 m 前後と想定され、それが発電所放水庭の 水位を制御する堰の役目をしていると考えられる。1960 年代の測量地形図を見ると、その狭窄部 の下流 200 m ほどの区間は深く抉られた河床になっており最深部は標高 145 m 以下となっていた ようである。

発電所下流 500 m付近の河床に岩の露頭が河を横切っているのが見られる。それから判断して河 床全体が概ね岩盤であろうと予想される。

ダムの両岸は南北に伸びる長い尾根に繋がっており、尾根筋標高は概ね250mを超える。

ダム・発電所付近の取り付け道路はナムグム川の左岸に沿って設けられている。その道路はダムの下流 2 km で国道 10 号線への分岐点があり、更に 2 km 下流で 1968 年に架設されたコンクリート橋でナムグム川を渡って国道 13 号線方面に繋がっている。橋は幅 5.2 m (車道幅 3.7m) で全長は 8 スパン合計 245 mである。橋は 35 トントレーラー荷重で設計されている。 橋はナムグム川と Nam Lik 川の合流点の 700 m 下流に位置している。

ダムの右岸取り付け部にはスキージャンプ式の洪水吐き水路が設けられているが、ダムの堤頂道路(有効幅 5.5 m)を通ってダム左岸から右岸周辺に行くことは出来る。しかし下流の右岸側一帯には自動車が通る道路は無く、ダム下流でナムグム川を渡って右岸に行く橋も無い。 堤頂道路を通って洪水吐きの上を渡る橋は幅 6.0 m で長さ4 径間合計 57.5 m の合成桁鋼橋である。橋は40トントレーラー荷重で設計されている。

ダム両岸山腹を含む全体の地形はダム築造前の 1960 年代に測量された縮尺 1/1000 の地形図でカ バーされている。しかし、ダム・発電所築造工事 (1968-1971) によって近傍の地形はかなり変え られたので、今回の拡張計画検討には適用できない部分がある。変化後の地形は F/S 時 (1995 年) に作成された縮尺 1/500 の測量図が放水庭右岸周辺と発電所左岸側 (山腹含む) をカバーしてい る。しかし、多少の測量誤差が見られ、また放水庭の水中部分の地形はカバーされていない。

今回の準備調査において、ダム周辺の地形測量を再委託調査を実施した。測量調査内容は以下の 通りである。

- 拡張候補地地形測量(1/500 地形図作成含む): 13.5 ha
- ダム下流河川横断測量 (23.5 km 区間):

準備調査実施の途中で EdL 側から調査団に対し、下流の河川内に露頭している岩を除去して放水 庭水位を下げる検討を依頼された。この依頼について JICA と協議し、予備的な検討を今回の準備 調査に追加して行うことになった。追加検討のため、岩露頭区域を含む河川横断測量を実施した。 その内容は以下の通りである。

25 断面

- 発電所下流河川横断測量 (1 km 区間): 15 断面

### 7.2 地質

計画地域の地質概要

ラオス国を含むインドシナ半島の地質に関しては、ラオス、ベトナム、カンボジアによる共同調 査報告書 (IIDMG,1989) に詳しい。この報告書ではプレートテクトニクスの考えを取り入れてい ないため構造発達史の一部には曖昧な点が残る (MMAJ, 2005) ものの、大局的な地質構造区分や 地質区分は大きく変化するものではなく、サイトの地質評価には影響しないと判断される。そこ で、以下の地質概要の説明は主にこの報告書の添付図に基づいて行う。インドシナ半島の地質構 造区分図を Figure 7.2.1 に示す。



Source: IIDMG,1989 Figure 7.2.1 Geological Regions of Kampucha, Laos and Vietnam

計画地域は Kontum- Savannakhet 区に位置し、それまでは古生代後期のヘルシニアン造山運動を受けた地域 (Hercynian folded belt) とされていたが、原生代末のバイカル造山運動または古生代前期のカレドニア造山運動を受けた地域 (Baicalian folded belt, Caledonian folded belt) へと見直され、一部地域ではこれらを中生代の Platform 堆積岩が覆っているとしている。計画地域は Platform 堆積

岩の分布域にあり、中生代に厚く堆積した土砂が圧縮応力を受けて北西 - 南東方向に軸を持つ大きな褶曲構造を形成しており、これら褶曲構造と同時期に生じた断層とによって主要な地質構造が形成され、現在の地形を形成している。

計画地域を含む広域地質図を Figure 7.2.2 に示す。



Source: Nam Ngum 1 Hydropower Station Extension Feasibility and Engineering Study (Lahmeyer, 1995); partly correction (original geological map is from IIDMG, 1989)

Figure 7.2.2 Regional Geology

ここに示される様に、ナムグム1ダムサイト周辺には大きく4つの地層が分布している。

a all-lll 第四系:礫、砂、土b J3-K 上部ジュラ系 - 白亜系(0.7-1.5 億年前):礫岩、砂岩、シルト岩、泥岩c J1-2 ジュラ系(1.5-2 億年前):礫岩、砂岩、シルト岩、石炭質頁岩d T3 三畳系(2-2.5 億年前):シルト岩、瓦岩、流紋岩、凝灰岩

このうち、bのJ3-Kのジュラ紀から白亜紀にかけての堆積岩がナムグム1ダムサイトの基盤岩として広く分布しており、河床部ではそれを all-lllの第四紀の堆積物が覆っている。

ナムグム1ダムサイト周辺の地質構造および地形を Figure 7.2.3 に示す。ナムグム1ダムサイトは ナムグム川の標高 170 m 付近に位置する。ナムグム川は約4km下流にて支流ナムリク川と合流す る。貯水池の東側から北側にかけては標高 1,500 m 以上の山岳地帯末端部のなだらかな斜面に接 し、西側から南側にかけては標高 300 から 400 m で北西 - 南東方向に伸びる直線状の尾根に接し ている。ナムグム川はこの直線状の尾根の切込み部から西に流下しており、この切込み部がナム グム1ダムサイトとなっている。ナムグム川はナムリク川との合流点から約10km下流に渡って 低い台地を南方に流下し、Vientiane 平野に入ると蛇行しながら流路を南から東へと変え、メコン 川に合流する。また、ナムグム地域の基盤岩は Vientiane 平野の向斜軸と Phou Khao Khoay 台地の 背斜軸によって大きく褶曲しており、ダムサイト周辺の北西 - 南東方向に伸びる地形は、この褶 曲構造とそこに分布する地質に調和している(Lahmeyer, 1995)。すなわち、急斜面を持つ尾根には 砂岩や礫岩が主に分布しており、緩やかな低地には泥岩や一部砂岩の弱部が主に分布している。



Source: Nam Ngum 1 Hydropower Station Extension Feasibility and Engineering Study (Lahmeyer, 1995)

Figure 7.2.3 Topography and Geological structure

### (2) 地質調査工事

地質調査の実施時期は過去も含め3期に分けられる。発電所建設時、1995年の拡張計画 FS 調査 時、そして今回の事業準備調査で実施する調査である。最も多くの調査が行われたのは発電所建 設時であるが、現在は調査資料の所在が不明であり、ボーリング柱状図など調査の基礎資料は今 回のスタディでは確認していない。1995年の FS 調査については、基礎資料も調査報告書 (Lahmeyer, 1995)に添付されており、今回のスタディに反映している。今回のスタディで実施し たボーリングを含め、拡張計画のために実施されたボーリング調査位置を Figure 7.2.4 に示す。



Figure 7.2.4 Location of Drill Holes

### 1) 既往地質調査工事

既往の地質調査ならびに地質記録のリストを Table 7.2.1 から Table 7.2.3 示す。発電所建設時 の調査工事に関しては、完成報告書(Nippon Koei, 1972-1)に調査数量や試験結果概要が示さ れているものの、個々の調査報告書類は今回のスタディでは確認できなかった。また竣工図 集(Nippon Koei, 1972-2)には基礎掘削面の地質スケッチと地質断面図が添付されていたが、 各々は厳密には整合していないため、地質スケッチを正確な記録として扱うことにした。1995 年の FS 調査では、拡張案のうち A1 案および A4 案に対してボーリング調査が実施された。 このほか、コンクリート骨材の材料試験が実施されている。

Area	type	reference	remarks
Dam Site area	Geological Plan	As Built Drawings (Nippon Koei,1972-2)	
ditto	Geological Plan	FS report (Lahmeyer,1995)	
ditto	Geological Sections	As Built Drawings (Nippon Koei,1972-2)	37 sections
ditto	Foundation Sketch	As Built Drawings (Nippon Koei,1972-2)	obscure
ditto	Log of Inspection Adits	(Logs are not left.)	2 in each abutment
Spillway	Geological Section	As Built Drawings (Nippon Koei,1972-2)	included in dam sections
ditto	Foundation Sketch	As Built Drawings (Nippon Koei,1972-2)	
Power House	Geological Sections	As Built Drawings (Nippon Koei,1972-2)	24 sections, sound rock line
Diversion Tunnel	Geological Profile	Completion Report (Nippon Koei,1972-1)	

Table 7.2.1 L	ist of Geo	logical Draw	vings
---------------	------------	--------------	-------

 Table 7.2.2
 List of Existing Investigation Drillings

drill hole No.	length	elevation	inclination	direction	location	coordi	nates	stage	remarks
	(m)	(m)	(degree)	(degree)		E	Ν		
D-,DX-,B-, P-,Q-,S- total 94 holes	total 1,714	(respective)	90	(N/A)	dam site, powerhouse	(respective)	(respective)	construction	Logs are not left. Test results are written in completion report.
XA1/1	30	178.192	90	(N/A)	A1 option	18,240,899	2,051,670	FS,1995	
XA1/2	25	177.498	90	(N/A)	A1 option	18,240,855	2,051,663	FS,1995	
XA4/1	30	177.108	90	(N/A)	A4 option	18,240,930	2,051,522	FS,1995	
XA4/2	25	177.169	90	(N/A)	A4 option	18,240,913	2,051,521	FS,1995	
XA4/3	25	177.102	90	(N/A)	A4 option	18,240,894	2,051,527	FS,1995	20m very weak rock

Prepared by the JICA Survey Team

Table 7.2.3	List of Investigations for the construction materials
-------------	---

Coordinates are revised by the topographic survey carried out in this study.

type	number	geology	place	reference	material	
Drilling 20 halas		Nom Lik olluvium	a few kirometers upstream of	Completion Report	cand and graval	
Dinnig	50 noies	INAIII LIK alluvlulli	the confluence	(Nippon Koei,1972-1)	sand and graver	
		ditto	ditto	Completion Report		
Test Fit	15 pits	unto	ditto	(Nippon Koei,1972-1)	unto	
Test Dit 2 mits		ditto	ditto	FS report	ditto	
Test Fit	2 pits	ultio	ditto	(Lahmeyer, 1995)	uitto	

Prepared by the JICA Survey Team

#### 2) 今回実施した地質調査工事

代替案の比較および引続く基本設計の基礎資料とするため、既存ボーリングのなかった左岸 トンネル案(B2案)と右岸トンネル案(D2案)において、発電所位置の基盤岩性状の確認、 およびトンネルルートとなる尾根部の風化深度の確認を目的としたボーリング調査を実施し た。また、本命案の A1 地点についても、発電機周辺の岩盤性状の確認のため追加ボーリン グを実施した。各々のボーリング孔において標準貫入試験を実施したほか、基盤岩の遮水性 が重要となる A1 案の発電所部とD2 案の取水口側斜面のボーリング孔においてルジオン試験 を実施した。さらに、代替案周辺の岩盤露頭を観察し、基礎岩盤の性状を確認した。今回作 成した地質資料および実施した地質調査は以下の通りである。

<b>Table 7.2.4</b>	List of Geological Mapping and Drawings Prepared in This Study
--------------------	--

area type		output	remarks		
Dom Sito Aroo	Outeron Manning	Appendix			
Dain Site Area	Outerop Mapping	"Outcrop Map"			
ditto	Coological Plan	Drawing	revision		
unto	Geological Flair	"Geological Plan"	(integration of all investigation results)		
Water Way	Geological Profile	Figure 7.2.14-19	all alternatavive options		
New Power House	Geological Section	Drawing "Geological Section"	optimum option(A1) only		

Prepared by the JICA Survey Team

#### Table 7.2.5 List of Investigation Drillings Carried Out in This Study

drill hole	length	elevation	inclination	direction	location	coordi	nates	stage	in-situ test
No.	(m)	(m)	(degree)	(degree)		E	Ν		
JCA-1	20	177.296	90	(N/A)	A1 option	18,240,872.7	2,051,663.3	preparatory survey,2009	Standard Penetration Test water pressure test
JCB-1	25	177.689	90	(N/A)	B2 option	18,240,810.6	2,051,466.8	preparatory survey,2009	Standard Penetration Test
JCB-2	25	204.893	90	(N/A)	B2 option	18,240,869.3	2,051,458.8	preparatory survey,2009	Standard Penetration Test
JCD-1	25	176.887	90	(N/A)	D2 option	18,240,736.2	2,051,800.3	preparatory survey,2009	Standard Penetration Test
JCD-2	55	224.777	90	(N/A)	D2 option	18,240,938.0	2,051,859.8	preparatory survey,2009	Standard Penetration Test water pressure test

Prepared by the JICA Survey Team

#### Table 7.2.6 List of Laboratory Tests Carried Out in This Study

				,		
test name	JCA-1	JCB-1	JCB-2	JCD-1	JCD-2	
	nos.	nos.	nos.	nos.	nos.	
Specific Gravity and Absorption test	2	2	2	2	4	
Unconfined Compression Strength test	6	0	0	0	0	
Splitting Tensil Strength test	6	0	0	0	0	

Prepared by the JICA Survey Team

### (3) 推定される基礎岩盤の特徴

### 1) 岩盤区分

発電所地点には、粗粒な堆積岩と細粒な堆積岩が互層状に繰返して分布している。粗粒な堆 積岩は砂岩を主体とし、様々な岩石の円礫を多く含む層が挟在されている場合がある。これ らは連続的に分布しており、風化への耐性や節理の発達状況などに大きな違いが認められな いことから、ここでは砂岩と総称する。一方、細粒な堆積岩に対しては、これまで泥岩、シ ルト岩、粘土岩、頁岩などの表記がなされているが、砂岩と比較してやや脆弱である傾向が 共通して指摘されており、また既往資料では厳密に区分されていないことから、ここでは泥 岩と総称することとする。これら岩種の違いに加え、風化の程度による物性の変化が認めら れることから、これまでの地質記録の精度、調査量を鑑み、強風化、風化、新鮮の3区分を 行うこととした。本スタディにおける岩盤区分を Table 7.2.7 に示す。

		Weathering					
		slightly weathered, unweathered	moderately weathered	completely weathered,			
Lithology	sandstone, conglomerate	FRESH SANDSTONE	MODERATELY WEATHERED SANDSTONE	HIGHLY WEATHERED SANDSTONE			
	mudstone, siltstone, claystone, shale,	FRESH MUDSTONE	MODERATELY WEATHERED MUDSTONE	HIGHLY WEATHERED MUDSTONE			

Table 7.2.7	Rock Mass	Classification	in This	Study
-------------	-----------	----------------	---------	-------

それぞれの岩種が示す岩盤性状は以下の通りである。

i) 砂岩

砂岩は堅硬で泥岩と比較して風化に対する耐性が強く、地表に露頭しやすい。構成粒子 は細粒砂から粗粒砂であり、所々で円礫を含む層準がある。色は灰白または青灰色であ るが、風化すると褐色から紫色を示す。所々で斜交層理が見られ、沿岸部の堆積層と推 察される。また、薄い泥岩層またはレンズ状の泥岩層を挟在している場合が多い。風化 すると泥岩層や層理に沿って分離し易い。低角な節理および高角な節理がしばしば発達 しており、これらは層理と45度から90度で交差する。

a Fresh Sandstone

割目間隔 30cm 以上で良好な岩盤性状を示す。既存の地質断面図から推定して、地表から概ね 5-10m 程度以深に分布すると推察される。

b Moderately Weathered Sandstone

割目間隔は10cm以上あり、岩片は十分な強度を保っている。

c Highly Weathered Sandstone

割目間隔は 10cm 以下で、岩片も脆くなっている。大局的には基盤岩の表層や破砕部 などに分布するが、露頭では、比較的粗粒な砂岩層が Moderately Weathered Sandstone となり、比較的細粒な砂岩層が Highly Weathered Sandstone となって互層状に分布する 場合が多い。

ii) 泥岩

泥岩は新鮮部では塊状で割目が少なく均質な岩盤であるが、砂岩と比較すると一軸圧縮 強度は半分程度である。構成粒子はシルトから粘土であり、粒度によって地層区分が可 能な場合もある。色は黒または暗灰色を示すが、風化すると褐色から赤褐色を示す。環 境の変化に対する耐性が小さく、掘削して露出した岩盤は応力の開放および乾湿の繰り 返しによって劣化が進行する傾向がある。既設仮排水トンネル工事では、泥岩区間の踏 前が粘土状にまで劣化した(Nippon Koei, 1972-1)。また新鮮な砂岩に挟まれて風化した 泥岩が出現する場合がある。さらに、過去の褶曲運動の際に層理方向のせん断破壊を受

- け、新鮮部においても劣化層となっている場合がある。
- a Fresh Mudstone

割目は少なく掘削直後は良好な岩盤性状を示すものの、時間の経過と共に劣化が進行 する傾向がある。既存の地質断面図やボーリング柱状図から推定して、地表から概ね 10-20m 程度以深に分布すると推察される。

b Moderately Weathered Mudstone

割目間隔は 10cm 以上あるものの、岩片の強度は低下している。掘削直後から劣化が 生じる場合がある。Highly Weathered Mudstone と混在する場合が多いと推察される。

c Highly Weathered Mudstone

割目間隔は 10cm 以下で、岩片は劣化し非常に脆くなっている。基盤岩の表層に分布 するほか、砂岩に挟在されて局所的に風化している場合がある。構造運動に伴うせん 断破砕を受け劣化している部分も含む。

### 2) 地質構造

発電所地点には大規模な断層は確認されておらず、Figure 7.2.3 に示す Nam Xan 断層の西端は Phou Khao Khoay 台地の背斜軸の延長部によって止まっているものと考えられ、ダム付近には 到達していない(Lahmeyer, 1995)。また調査団が実施した地表踏査では地すべりなどの大規模 な不安定土塊も認められない。

ダムサイト周辺の地層は、ダム上流の背斜軸からダム下流の向斜軸に向かって傾斜しており、 ほぼ一様な走向傾斜を持つ。これまでの地質記録や露頭調査によれば、傾斜は 45 度から 65 度の幅があるものの、殆どは 55 度から 60 度の範囲に含まれる。また、傾斜方向も S75W か ら W 方向に限定され、ダムの下流に向かって傾斜している。

3) 劣化部

泥岩層は相対的に風化が深く、新鮮部でも強度が低く掘削面の劣化が進行する傾向があるため、注意が必要である。1995年のFS調査では、左岸A4案のXA4/3孔において泥岩中に20mに及ぶ破砕状の劣化部が見つかっている。この劣化した泥岩層の地上露頭や他孔の柱状図では再固結状の破砕部が見られ、過去の褶曲運動に伴う劣化層と推定される。柱状図および地表露頭を見る限り、この劣化層は右岸に比べて左岸側での劣化が強いものと思われる。

砂岩においては、層理に沿って挟在する薄い粘土層やスリッケンサイドを伴う割れ目が発達 し、すべり面となる場合がある。また最大 1.5 m 幅程度で挟在される泥岩層および細粒砂岩 層が局所的に風化し、劣化している場合がある。

(4) 推定される基礎岩盤の物性

ナムグムダム地点の基礎岩盤を対象に実施された力学特性試験およびルジオン試験の結果を以下 に示す。

#### 1) 物理特性

本スタディにおいてボーリングのコアを用いて表乾状態での比重計測を行った。また強度試験に用いた試料では自然乾燥状態での単位体積重量を計測した。試験値一覧を Table 7.2.8 に示す。また、比重および単位堆積重量のプロットを Figure 7.2.5 に示す。試料は全て新鮮な砂岩であり、一般的な砂岩の値を示し、風化の進行により値がやや小さくなる傾向が見られた。



Prepared by the JICA Survey Team



Drillhole	Sample	De	pth	Material Type			Specific Gravity		total unit	executed	remarks
									weight	year	
(no.)	(no.)	(m)	~(m)	(geology)	(feature)	(weathering)	% Water Absorption	Saturated Surface Dry	(kPa/m)		
JCA-1	sample 1	10.72	10.93	Sand stone	mudstone spot	SW	1.98	2.641	25.9	2009	
JCA-1	sample 2	17.72	17.87	Sand stone		UW	1.02	2.644	25.9	2009	
JCB-1	sample 3	17.73	18.00	Sand stone	grey,brown spot	SW	1.13	2.643	25.9	2009	
JCB-1	sample 4	18.12	18.29	Sand stone	dark grey	UW	4.32	2.602	25.5	2009	
JCB-2	sample 5	10.40	10.60	Sand stone	dark grey	UW	3.95	2.483	24.3	2009	
JCB-2	sample 6	22.00	22.19	Sand stone	grey,brown spot	SW	5.05	2.573	25.2	2009	
JCD-1	sample 7	9.85	10.00	Sand stone	grey,brown spot	SW	4.86	2.353	23.1	2009	
JCD-1	sample 8	22.77	23.00	Sand stone	grey,brown spot	SW	2.87	2.547	25.0	2009	
JCD-2	sample 9	5.50	5.66	Sand stone	dark grey	UW	3.86	2.513	24.6	2009	
JCD-2	sample 10	17.00	17.20	Sand stone	dark grey	UW	1.75	2.612	25.6	2009	
JCD-2	sample 11	41.64	41.89	Sand stone	dark grey	UW	2.28	2.510	24.6	2009	
JCD-2	sample 12	54.00	54.31	Sand stone	dark grey	UW	1.28	2.625	25.7	2009	
JCA-1	TT-1	10.10	10.14	Sand stone	grey,brown spot	SW			24.8	2009	naturally dry condition
JCA-1	TT-2	10.14	10.18	Sand stone	grey,brown spot	SW			24.9	2009	naturally dry condition
JCA-1	TT-3	10.18	10.22	Sand stone	grey,brown spot	SW	•	-	25.0	2009	naturally dry condition
JCA-1	TT-4	16.49	16.53	Sand stone	dark grey	UW	-		25.5	2009	naturally dry condition
JCA-1	TT-5	16.53	16.58	Sand stone	dark grey	UW			25.5	2009	naturally dry condition
JCA-1	TT-6	16.58	16.62	Sand stone	dark grey	UW			25.6	2009	naturally dry condition
JCA-1	UC-1	11.20	11.33	Sand stone		SW	•	•	25.4	2009	naturally dry condition
JCA-1	UC-2	11.33	11.43	Sand stone		SW			25.3	2009	naturally dry condition
JCA-1	UC-3	11.43	11.53	Sand stone		SW	÷ .	- F	25.7	2009	naturally dry condition
JCA-1	UC-4	17.10	17.20	Sand stone		UW	-		25.5	2009	naturally dry condition
JCA-1	UC-5	17.20	17.31	Sand stone		UW	-	1	25.6	2009	naturally dry condition
JCA-1	UC-6	17.31	17.42	Sand stone		UW		-	25.7	2009	naturally dry condition

 Table 7.2.8
 List of Specific Gravity and Total Unit Weight

Prepared by the JICA Survey Team

### 2) 変形特性

変形特性については建設時にダム横坑で行った平板載荷試験結果が完成報告書(Nippon Koei, 1972-1)に示されている。弾性係数のプロットを Figure 7.2.6 に、試験値一覧を Table 7.2.9 に 示す。





							m . 1	m + 1				
	Rock condition		Diameter Max load	Creep	Max load time		Lotal	Load of failure	Young's moduls		executed	
	Rock condition		Diameter	Max 1			settlement	Load of failure			year	
(geology)	(feature)	(weathering)	(cm)	(kgf/cm2)	(mm)	(hr)	(hr)	(mm)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(Mpa)	
Sandstone	fresh	SW	350	104.1	0.214	22:58	26:35	1,320	no failure	41,000	4,184	1960's
Sandstone	weathered	MW	350	72.9	0.210	22:31	25:42	1,450	no failure	21,000	2,143	1960's
Sandstone	weathered	MW	350	83.3	0.343	23:10	26:35	2,912	no failure	19,000	1,939	1960's
Sandstone	weathered	MW	350	83.3	0.307	46:00	49:25	3,185	no failure	15,000	1,531	1960's
Sandstone	seriously weathered	HW	350	83.3	0.641	22:10	25:35	7,610	no failure	9,000	918	1960's
Mudstone	fresh, shale	SW	350	78.1	0.349	20:20	117:05	3,381	no failure	12,000	1,225	1960's
Mudstone	decomposed, stiff clay	CW	350	23.9	-	-	141:10	50.8	16.7	-	-	

 Table 7.2.9
 List of Loading Test of Dam Foundation Rock

Source: based on the completion report (Nippon Koei, 1972-1)

### 3) 強度特性

強度特性については直接的な試験は実施されておらず、ダム基礎の安定計算では Table 7.2.10 に示す想定値が用いられた(Nippon Koei, 1972-1)。一軸圧縮強度と引張強度から簡易な理論 式で求めた強度特性、および一軸圧縮強度のみから経験則により推定した強度特性を Table 7.2.11 に示す。泥岩では新鮮岩であっても設計強度に対する余裕が余り無く、実際の岩盤で は割目や風化部を混在するため強度はさらに低くなることに留意が必要である。

 Table 7.2.10
 Mechanical Strength of Dam Safety Design for Nam Ngum 1

Bearing capacity of foundation rock	$400 \text{ tons/m}^2$	3.92 MPa
coefficient of internal friction	0.65	33 degree
shear resistance	$200 \text{ tons/m}^2$	1.96 MPa

Source: based on the completion report (Nippon Koei, 1972-1)

			Test I	Result	Estima	ation A	Estimation B	
	Rock Type	Weathering	UCS	TS	SS	IFA	SS	IFA
			(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(°)	(Mpa)	(°)
Sandstone	Fresh	UW	82.2	20.1	20.3	37.4	12.1	39
		SW	50.0	5.8	8.5	52.4	7.8	37
	Moderately weathered	MW	33.1	-	E .		5.4	35
Mudstone	Fresh	SW	22.4	0	-	1	3.8	34
	Moderately weathered	MW	13.0	×	÷	-	2.4	32

#### Table 7.2.11 Mechanical Strength Estimated with Unconfined Compressive Strength and Tensile Strength

UCS: Unconfined Compression Strength

TS: Tensile Strength

SS: Shear Strength

IFA: Internal Friction Angle (degree)

Estimation A : Mohr's stress circle SS= 1/2\*√(UCS\*TS) sin(IFA)= (UCS-TS)/(UCS+TS) SW: Slightly weathered MW: Moderately weathered HW: Highly weathered CW: Completely weathered Estimation B: empirical formula (JAEA,2000)

> SS= 0.24 \* UCS^(0.89) IFA= 22.7+8.30log(UCS)

UW: Unweathered

Prepared by the JICA Survey Team

i) 一軸圧縮強度

一軸圧縮強度は設計に直接用いることの無い物性値であるが、比較的簡便に正確な値が 求められるため、力学特性の参照値として用いることが出来る。一軸圧縮試験結果のプ ロットを Figure 7.2.7 に、試験値一覧を Table 7.2.12 に示す。泥岩はやや低い値を示し、 いわゆる軟岩に近い。砂岩は硬質岩としての強度が期待できるものの、多少とも風化を 受けると値が極端に小さくなる試料が存在し、層理面など弱面の有無が値に影響を与え ているものと推察される。なお、1995 年に実施したダム提体 No20 ブロックコンクリー トの試験結果も Figure 7.2.8、Table 7.2.13 に示す。



Figure 7.2.7 Point Diagram of Unconfined Compressive Strength

Drillhole	Sample	De	pth	Mat	erial Type		Diameter	Length	UCS		Elasticity	Poisson ratio	total unit	executed
(no.)	(no.)	(m)	~(m)	(geology)	(feature)	(weathering)	(cm)	(cm)	(kgf/cm2)	(MPa)	(MPa)	racio	(kPa/m)	year
(dam foundation)	A-1	-	•	Sand stone	medium coarse	SW	49.00	98.00	265.00	27.0				1967
(dam foundation)	A-2	-	•	Sand stone	medium coarse	SW	49.00	106.00	366.00	37.3				1967
(dam foundation)	A-3	-	-	Sand stone	medium coarse	SW	49.00	100.00	414.00	42.2				1967
(dam foundation)	A-4	•	•	Sand stone	medium coarse	SW	49.00	98.00	541.00	55.2				1967
(dam foundation)	A-5	•		Sand stone	medium coarse	SW	49.00	100.00	371.00	37.9				1967
(dam foundation)	B-1 B-2	-		Sand stone	coarse	SW	39.00	80.00	8/9.00	89.7				1967
(dam foundation)	B-2 B-3			Sand stone	coarse	SW	39.00	63.00	433.00 \$44.00	44.4				1967
(dam foundation)	B-4			Sand stone	coarse	SW	39.00	78.00	368.00	37.6				1967
(dam foundation)	B-5	-		Sand stone	coarse	SW	39.00	84.00	335.00	34.2				1967
(dam foundation)	C-1	-	-	Sand stone	fine medium	SW	49.00	93.00	604.00	61.6				1967
(dam foundation)	C-2	-		Sand stone	fine medium	SW	49.00	100.00	419.00	42.8				1967
(dam foundation)	C-3		-	Sand stone	fine medium	SW	49.00	97.00	700.00	71.4				1967
(dam foundation)	C-4	-	-	Sand stone	fine medium	SW	49.00	104.00	387.00	39.5				1967
(dam foundation)	D-1	-		Sand stone	medium	SW	49.00	100.00	153.00	15.6				1967
(dam foundation)	D-2	-	•	Sand stone	medium	SW	49.00	98.00	381.00	38.9				1967
(dam foundation)	D-3	•	•	Sand stone	medium	SW	49.00	86.00	435.00	44.4				1967
(dam foundation)	D-4 E-1	-		Sand stone	medium	SW	49.00	80.00	318.00	36.2				1967
(dam foundation)	E-1 E-2			Sand stone	very coarse	SW	49.00	90.00	392.00	40.0				1967
(dam foundation)	F-1	-		Sand stone	medium	SW	39.00	80.00	335.00	34.2		-		1967
(dam foundation)	F-2	-		Sand stone	medium	SW	39.00	80.00	544.00	55.5				1967
(dam foundation)	F-3	-	-	Sand stone	medium	SW	39.00	90.00	343.00	35.0				1967
(dam foundation)	A'-1	-	-	Sand stone	coarse	SW	58.00	116.00	190.00	19.4				1967
(dam foundation)	B'-1	-	•	Sand stone	coarse	SW	58.00	95.00	152.00	15.5				1967
(dam foundation)	B'-2	-	-	Sand stone	coarse	SW	58.00	116.00	284.00	29.0				1967
(dam foundation)	B'-3	-		Sand stone	coarse	SW	58.00	85.00	190.00	19.4				1967
(dam foundation)	C'-1	-	•	Sand stone	medium coarse	SW	39.00	80.00	167.00	17.0				1967
(dam foundation)	D'-1	-	-	Sand stone	medium	SW	39.00	75.00	335.00	34.2				1967
XA1/1	1	2.82	2.95	Sand stone		MW	5.20	10.40	301.38	30.8				1995
XA1/1 XA1/1	2	0.70	12.15	Sand stone		SW	5.30	10.40	\$20.00 \$10.20	52.7 83.6				1995
XA1/1	4	15.00	15.15	Sand stone		SW	5.20	10.40	546.14	55.7				1995
XA1/1	5	18.75	19.00	Silt stone		MW	5.20	10.40	162.53	16.6				1995
XA1/1	6	20.00	20.20	Silt stone		MW	5.10	10.20	146.93	15.0				1995
XA1/1	7	22.05	22.30	Silt stone		SW	5.20	10.40	518.22	52.9				1995
XA1/1	8	26.15	26.30	Silt stone		SW	5.20	10.40	94.22	9.6				1995
XA1/1	9	28.50	28.65	Silt stone		SW	5.20	10.40	94.22	9.6				1995
XA1/2	2	4.40	4.60	Sand stone	fine grained	MW	5.20	10.40	487.35	49.7				1995
XA1/2	3	5.75	5.90	Sand stone		MW	5.20	10.40	70.63	7.2				1995
XA1/2	5	10.75	11.00	Silt stone	dark purple	SW	5.10	10.20	100.35	10.2				1995
XA1/2 XA1/2	0	21.75	22.80	Silt stone	dark purple	SW	5.20	10.40	94.17	9.0				1995
XA1/2	0	24.45	24.65	Sand stone	saruy	SW	5.20	10.40	555.62	56.7				1995
XA4/1	1	3.50	3.70	Sand stone		MW	5.40	10.40	183.38	18.7				1995
XA4/1	2	6.30	6.50	Sand stone		SW	5.20	10.40	348.39	35.6				1995
XA4/1	3	10.75	10.90	Sand stone		UW	5.20	10.40	951.03	97.0				1995
XA4/1	4	16.85	17.00	Sand stone		UW	5.20	10.40	602.64	61.5				1995
XA4/1	5	19.70	19.90	Mud stone		MW	5.00	10.00	71.30	7.3				1995
XA4/1	6	24.00	24.15	Mud stone		SW	5.20	10.40	362.57	37.0				1995
XA4/1	7	27.65	27.80	Mud stone	<i>a</i>	SW	5.00	10.00	155.33	15.9				1995
XA4/2	1	7.00	7.18	Sand stone	fine medium	MW	5.20	10.40	668.64	68.2				1995
XA4/2	2	9.35	9.55	Sand stone	conglomeratic	MW	5.20	10.40	287.23	29.3				1995
XA4/2	3	13.10	13.30	Sand stone	fine coarse	SW	5.40	10.40	436.64	44.6				1995
XA4/2	5	22.25	22 50	Sand stone	fine coarse	SW	5.40	10.80	755 38	77.1				1995
XA4/2	6	24.40	24.60	Sand stone	fine medium	SW	5.40	10.80	1065.40	108.7				1995
XA4/3	3	9.80	10.00	Mud stone		CW	5.00	10.00	56.01	5.7				1995
JCA-1	UC-1	11.20	11.33	Sand stone		SW	5.38	10.18	636.6	64.961	12,847	0.33	25.4	2009
JCA-1	UC-2	11.33	11.43	Sand stone		SW	5.40	10.10	501.8	51.201	12,002	0.27	25.3	2009
JCA-1	UC-3	11.43	11.53	Sand stone		SW	5.38	10.23	621.4	63.410	19,664	0.23	25.7	2009
JCA-1	UC-4	17.10	17.20	Sand stone		UW	5.40	10.48	946.9	96.627	17,532	0.30	25.5	2009
JCA-1	UC-5	17.20	17.31	Sand stone		UW	5.40	10.51	682.1	69.599	14,362	0.21	25.6	2009
JCA-1	00-6	17.31	17.42	sand stone		UW	5.40	10.55	843.4	86.057	16,251	0.24	25.7	2009

Table 7.2.12	List of	Unconfined	Com	pression	Test

UW: Unweathered SW: Slightly weathered MW: Moderately weathered HW: Highly weathered CW: Completely weathered

Source: based on (Nippon Koei, 1972-1), (Lahmeyer, 1995) and Appendix



Figure 7.2.8 Point Diagram of Unconfined Compressive Strength of Dam Concrete

Drillhole	Sample	Material Type	Diameter	Length	UCS		executed
(22)	(22)	(apploar)	(am)	(am)	(leaf(am 2))	$(M_{D_{\alpha}})$	year
(110.)	(no.)	(geology)	(cm)	(cm)	(kgi/cmz)	(IVIPa)	
Dam	1	concrete	11.20	12.60	334.21	34.1	1995
Dam	2	concrete	11.10	22.40	213.10	21.7	1995
Dam	3	concrete	11.10	22.40	233.54	23.8	1995
Dam	4	concrete	11.20	12.30	302.47	30.9	1995
Dam	5	concrete	11.20	13.70	251.72	25.7	1995
Dam	7	concrete	11.20	14.30	247.66	25.3	1995
Dam	7	concrete	11.20	16.20	223.39	22.8	1995
Dam	9	concrete	11.10	17.90	305.88	31.2	1995
Dam	9	concrete	11.20	12.60	213.42	21.8	1995
Dam	10	concrete	11.40	14.30	239.05	24.4	1995

Table 7.2.13 List of Unconfined Compressio	n Test on Dam Concrete
--	------------------------

Source: based on (Lahmeyer, 1995)

ii) 圧裂引張強度

圧裂引張強度も一軸圧縮強度と同様に強度の参照値として用いることが出来る。本スタ ディでは、砂岩で試験を行った。試験結果のプロットを Figure 7.2.9 に、試験値一覧を Table 7.2.14 に示す。新鮮部(Fresh)と弱風化部 (Slightly Weathered) で値の差が大きく、 風化の影響が強く現れている。



Prepared by JICA Survey Team

Figure 7.2.9 Point Diagram of Splitting Tensile Strength

Drillhole	Sample	De	Depth		Material Type		Diameter	Diameter Length Max Applied Tensile			total unit	executed	
									Strength	Strength	Strength		year
(no.)	(no.)	(m)	~(m)	(geology)	(feature)	(weathering)	(cm)	(cm)	(kN)	(kgf/cm2)	(MPa)	(kPa/m)	
JCA-1	TT-1	10.10	10.14	Sand stone	grey,brown spot	SW	5.23	4.02	3.8	11.8	1.2	24.8	2009
JCA-1	TT-2	10.14	10.18	Sand stone	grey,brown spot	SW	5.15	3.93	27.7	85.3	8.7	24.9	2009
JCA-1	TT-3	10.18	10.22	Sand stone	grey,brown spot	SW	5.19	4.03	24.8	73.5	7.5	25.0	2009
JCA-1	TT-4	16.49	16.53	Sand stone	dark grey	UW	5.39	4.49	66.8	172.5	17.6	25.5	2009
JCA-1	TT-5	16.53	16.58	Sand stone	dark grey	UW	5.40	4.28	76.7	206.8	21.1	25.5	2009
JCA-1	TT-6	16.58	16.62	Sand stone	dark grey	UW	5.39	4.41	80.4	210.7	21.5	25.6	2009

 Table 7.2.14
 List of Splitting Tensile Strength Test

iii) N 値

地表の堆積層および強風化岩で標準貫入試験が実施された。試験対象となる地層が薄く データ数が少ないため試験結果から強度を推定することは困難である。なお、安定性を 考慮すべき厚い堆積層は分布せず、また堆積層を基礎とする構造物も計画されていない ため、これ以上の試験は不要と思われる。これまでの試験結果を Table 7.2.15 に示す。

Table 7.2.15	List of Standard Penetration T	'est
--------------	--------------------------------	------

Drillhole	Stage	D	epth	Materi	al Type	Diameter	Ν	penetrate	Number of Blows						total penetrate	total blows	executed
(no.)	(no.)	(m)	~(m)	(geology)	(weathering)	(cm)	(15-45)	(cm)	(0-10)	(10-20)	(20-30)	(30-40)	(40-50)	-	(cm)	oroma	year
	1	1.50	2.00	fill materiai A		9.90	36	30	14	17	10	11	13		50	65	1995
XA4/2	2	3.00	3.26	fill materiai A		9.90	>50	6	19	30	50	×			26	99	1995
	3	5.20	5.27	Mudstone	CW	9.90	>50	7	50						27	50	1995
	1	1.00	1.50	Sandstone	CW	9.90	5	30	1	1	2	2	1		50	7	1995
224.42	2	3.45	3.95	Mudstone	CW	9.90	14	30	2	3	4	- 5	8		50	22	1995
7/04/2	3	5.00	5.50	Mudstone	CW	9.90	46	30	6	11	12	18	22		50	69	1995
	4	7.05	7.19	Mudstone	CW	9.90	>50	14	37	50			×	× .	34	87	1995
									(0-7.5)	(7.5-15)	(15-22.5)	(22.5-30)	(30-37.5)	(37.5-45)	1		
	\$\$1	-1.00	1.45	Sandstone	CW	10.0	15	30		1	5		1	0	45	19	2009
	SS2	2.00	2.45	Sandstone	CW	10.0	20	30	1	7	1	3	7	1	45	37	2009
	333	3.00	3.45	Sandstone	CW	10.0	56	30	1	5	2	6	3	0	45	71	2009
10.4.1	SS4	4.00	4.45	Sandstone	CW	10.0	43	30	1	5	2	0	2	3	45	58	2009
A.A.I	335	5.00	5.45	Sandstone	CW	10.0	61	30	1	2	2	0	3	2	-45	73	2009

-60

11

30

10.0

10.0

Prepared by the JICA Survey Team

fill materia

l materia

8.05

1.45

2.43

1.45

HV

HW

CW

CW

CUL

#### 4) 透水性

JCB-1

JCB-2

JCD-1

JCD-2

これまで実施されたルジオン試験の値のプロットを Figure 7.2.10 に示す。また試験結果一覧 を Table 7.2.16 に示す。全体に泥岩の方が低透水性を示している。地表踏査やボーリングコア 観察から推定する岩盤性状を考慮すると、砂岩は層理方向の割目が発達しており、割目を充 填する細粒物質も少ないため、割目に沿って透水性が高くなっているものと考えられる。一 方泥岩は基本的に塊状であり、割目を充填する細粒分も多いために、低透水性を示すと推察 される。なお、試験結果では泥岩の unweathered および moderately weathered で高い透水性を 示しているが、これらは建設時のダム基礎岩盤での試験値であり、砂岩を主体とした地層に 挟在される薄い泥岩が対象であった。そのため、泥岩部が局所的な劣化部となり、亀裂が発 達して透水性が高くなったものと思われる。





Figure 7.2.10 Point Diagram of Lugeon Value

Table 7.2.16	List of Water	Pressure	Test	(Lugeon	type)
--------------	---------------	----------	------	---------	-------

Drillhole	stage	De	epth	section	Mate	erial Type		Lug	geon	(break	(max	executed
(no.)	(no.)	(m)	~(m)	(m)	(geology)	(feature)	(weathering)	(original)	(JICA '09)	pressure)	pressure)	(year)
D-1	-	6.90	9.30	2.40	mud stone	weak		5.0		(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	1966
D-16	-	4.30	9.30	5.00	mud stone	decomposed		5.0				1966
D-16	÷	9.30	14.30	5.00	sand stone, mud stone	jointed		10.0				1966
D-16	•	14.30	19.30	5.00	sand stone, mud stone	jointed		5.0				1966
D-16		19.30	24.30	5.00	mud stone	jointed		19.0				1966
D-16		24.30	27.30	3.00	sand stone	jointed		6.0				1966
D-28	2	7.50	12.50	5.00	sand stone, mud stone		weathered	20.0				1966
D-28	r.	12.50	17.50	5.00	sand stone, mud stone	jointed		12.0				1966
D-28	•	17.50	20.50	3.00	sand stone, mud stone			6.0				1966
D-29-1	- A -	5.00	10.00	5.00	sand stone		weathered	28.0				1966
D-29-1		15.00	21.00	6.00	sand stone		weathered	16.0				1966
D-29-3	-	6.80	11.80	5.00	sand stone		weathered	93.0				1966
D-29-3	-	11.80	16.80	5.00	sand stone		weathered	93.0				1966
D-29-3	×	16.80	20.00	3.20	sand stone	hard		1.0				1966
D-33		4.50	9.50	5.00	sand stone		weathered	20.0				1966
D-33		15.00	20.50	5.50	sand stone	hard		80.0				1966
D-34	× .	10.00	15.00	5.00	sand stone	hard		80.0				1966
D-18		9.60	15.00	5.40	sand stone	cracks		9.0				1966
D-25	-	11.60	15.40	3.80	sand stone	jointed		11.0				1966
D-25	- × .	15.50	20.50	5.00	mud stone	jointed		8.0				1966
D-24	· ·	6.10	11.00	4.90	mud stone	decomposed		102.0				1966
D-24	•	16.00	20.00	4.00	sand stone	hard		25.0				1966
D-30	-	6.00	11.00	5.00	mud stone	jointed		22.0				1966
D-30	- X -	11.00	16.00	5.00	mud stone	jointed		20.0				1966
D-30	· ·	16.00	20.00	4.00	sand stone	jointed		11.0				1966
DX-2	-	11.00	17.00	6.00	sand stone	jointed		47.0				1966
DX-2	- A	5.00	10.00	5.00	sand stone	decomposed		20.0				1966
XA1/1	1	8.65	14.20	5.55	sand stone	conglomrate	MW	62.0	25.4	-	2.20	1995
XA1/1	2	14.00	18.50	4.50	sand stone, mud stone	breaken	SW-MW	20.0	33.3	-	2.11	1995
XA1/1	3	19.00	23.60	4.60	mud stone	crack	SW-MW	101.0	24.4	1.81	1.81	1995
XA1/1	4	24.00	29.00	5.00	mud stone		UW-SW	30.0	1.3	2.15	2.65	1995
XA1/2	1	5.00	9.75	4.75	mud stone	core loss	MW	42.0	30.1	-	1.92	1995
XA1/2	2	9.75	15.15	5.40	mud stone	1.1	SW	0.4	0.4	-	2.15	1995
XA1/2	3	16.00	20.80	4.80	mud stone	crushed	CW	0.4	0.3	1.67	2.17	1995
XA1/2	4	19.00	25.00	6.00	mud stone	1	SW	0.1	0.043	-	2.19	1995
XA4/1	1	6.00	11.00	5.00	sand stone	core loss	SW, CW	155.0	104.2	-	2.45	1995
XA4/1 XA4/1	2	10.00	15.00	5.00	sand stone	1	UW OW	1.0	0.7	-	2.00	1995
XA4/1 XA4/1	3	15.00	20.00	5.00	sand stone, mud stone	core loss	MW, CW	17.0	3.4	1.48	2.44	1995
XA4/1 XA4/1	4	20.00	25.05	5.05	mud stone	core loss	SW, CW	19.0	10.9	•	2.44	1995
AA4/1 XA4/2	5	25.00	10.00	5.00	mud stone		SW, HW	1.0	1.4	1.06	2.32	1995
XA4/2 XA4/2	1	0.90	12.15	3.23	sand stone	core loss	MW, CW	47.0	32.7	1.20	1.65	1995
XA4/2	2	12.80	17.50	4.50	sand stone	core loss	MW, CW	5.0	0.3		1.34	1995
XA4/2 XA4/2	3	20.00	22.30	5.00	sand stone		SW	28.0	107.4		1.55	1995
AA4/2	4	20.00	20.00	5.00	sand stone		o w	26.0	180.0	-	2.55	2000
JCA-1	1	14.50	20.00	5.50	sand stone		CW		01.0	-	5.33	2009
ICD-2	1	15.00	20.00	5.00	sand stone		5 W		12.0	-	5.33	2009
ICD-2	2	41.00	46.00	5.00	sand stone	core loss	MW		11.2		5.00	2009
ICD-2	3	50.00	55.00	5.00	sand stone	0010 1088	IIW/		10.1	-	5.33	2009

Source: based on (Lahmeyer, 1995)

5) グラウト注入特性

仮締切の工事では、基礎岩盤からの浸水を低減させるために、透水性の高い砂岩部や風化部 などを対象にグラウト注入が必要となる可能性が高い。詳細設計のためには注入試験の実施 が必要であるが、ここでは既設ナムグムダムのカーテングラウトの結果を整理した。ナムグ ムダムでは、Table 7.2.17 に示す通り基礎掘削線からの深さを4段階に分け(ゾーンと呼んで いる)、グラウト圧や追加孔の判定基準を定めている。注入されたセメント重量を各ブロッ クのゾーン毎に整理したものを Table 7.2.18 に示す。また、標準的な注入ボーリング配置を Figure 7.2.11 に示す。注入ボーリング孔は追加孔を含めて平均で 80cm 間隔で実施され、注入 圧は土被り圧に概ね等しくし、1m あたり 1~2kg のセメントが注入された。これらは概ね砂 岩の新鮮部での結果であり、風化部ではこれ以上の注入量になるものと思われる。一方、泥 岩部では透水性が低いこともあり注入量は低下するものと思われる。

Zone	de	pth	width	max.	limit for determining intermediate hole						
				pressure	total cement	cement / 1m					
no.	(r	n)	(m)	(kgf/cm2)	(kg)	(kg/m)					
zone I	0	4	4	1	50	12.5					
zone II	4	10	6	2	80	13.3					
zone III	10	20	10	4	100	10.0					
zone IV	20	30	10	8	150	15.0					

 Table 7.2.17
 Criterion on Curtain Grouting

Source: based on the completion report (Nippon Koei, 1972-1)

	Blocks																															
	Average	1	2	- 3	- 4	5	- 6	7	- 5	9	18	11	12	15	14	15	16	17	15	19	20	21	22	25	24	25	26	27	25	- 29	- 50	
no. of holes (nos.)	21.8	27	18	21	-20	20	23	19	24	29	22	28	13	23	24	19	33	28	27	17	22	20	35	27	18	20	12	19	14	13	18	
length of each hole (m)	25.7	х.	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	20	20	20	20	20	20	20		
block width (m)	15.9	$\sim$	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	18	18	18	21	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	
average width between holes(m)	0.78	х.	0.83	0.71	0.75	0.75	0.65	0.79	0.63	0.52	0.68	0.54	1.15	0.78	0.63	0.95	0.55	0.64	0.78	1.06	0.82	0.75	0.43	0.56	0.83	0.75	1.25	0.79	1.07	1.15		Zone
average no. of hole in Im width	1.37	×.	1.20	1.40	1.33	1.33	1.53	1.27	1.60	1.93	1.47	1.87	0.87	1.28	1.60	1.06	1.83	1.56	1.29	0.94	1.22	1.33	2.33	1.80	1.20	1.33	0.80	1.27	0.93	0.87		89.
Conent Weight per	29.2	15.9	17.0	16.2	25.1	20.8	28.3	13.3	2.3	14.1	25.0	4.3	0.7	62.8	54.5	136.6	115.8	34.1	108.3	9.0	13.4	5.6	24.6	40.3	2.1	24.6	14.0	15.1	11.3	-63	13.9	cone I
1 square meter of	19.4	6.8	34.4	10.6	25.8	13.8	21.9	34.5	27.9	25.8	1.8	16.2	3.2	7.1	23.6	35.7	13.2	21.9	42.4	87.2	- 83	25.0	7.8	37.3	10.3	- 9.9	2.1	10.2	11.0	6.2	40.0	come II
curtain face (kg/m2)	21.1	20.1	44.8	21.8	11.5	17.0	17.0	9.9	12.1	21.3	19.0	26.0	4.6	26.0	25.0	19.7	34.0	19.6	28.6	17.8	35.4	13.6	65.3	27.4	19.3	19.8	17.1	6.0	10.2	5.5	7.7	cone III
	46.2		- A.		×.	. A.	×.	19.2	11.4	18.5	48.5	127.7	9.2	52.0	69.0	10.5	29.9	43.0	\$3.7	82.4	24.6	20.9	88.9	$\sim$		10						zone IV
Conent Weight per	1.30	0.59	0.94	0.77	1.26	1.04	1.23	0.70	0.10	0.49	1.14	0.15	0.05	2.73	2.27	7.19	3.51	1.22	4.01	0.53	0.61	0.28	0.70	1.49	0.12	1.23	1.17	0.79	0.81	0.48	0.77	zone I
1 meter of hole	0.90	0.25	0.80	0.50	1.29	0.69	.0.95	0.76	1.16	0.89	0.08	0.58	0.25	0.31	0.98	1.88	0.40	0.78	1.57	5.13	0.38	1.25	0.22	1.38	0.57	0.50	0.18	0.54	0.79	0.48	2.22	zone II
(kg/m)	0.90	0.74	2.49	1.04	0.58	0.85	0.74	0.52	0.50	0.73	0.86	0.93	0.35	1.13	1.04	0.56	1.03	0.70	1.06	1.05	2.52	0.68	1.87	1.01	1.07	0.99	1.43	0.32	0.73	0.42	0.43	cone III
	1.90	1.0	- A.		- A.	- A.	- A.	1.01	0.48	0.64	2.20	4.56	0.71	2.36	2.88	0.55	0.91	1.54	3.10	4.85	1.12	1.05	2.54	10		10.1				14		zone IV

Source: based on the completion report (Nippon Koei, 1972-1)



Source: based on the completion report (Nippon Koei, 1972-1)



(5) 各代替案の地質評価

ダムサイト周辺の地質平面図を Figure 7.2.12 に示す。各代替案地点において大規模断層や地滑り 土塊など大規模な地質構造は認められず、地質的な観点からは全て建設可能と評価される。また サイト周辺の地層はダム軸方向に平行して分布しているため、各代替案に出現する地質は基本的 に同じである。しかしながら、構成する構造物の違いや、各地層に対する構造物位置の違いによ って、優劣が生じる余地がある。

発電所地点の地層で土木地質的に注意すべき点は、 泥岩層の強度が小さく掘削後も劣化が進行 する。 砂岩層は節理面で滑りやすい。 砂岩層は透水性が高い。の3点である。また、本地点 の構造物側で注意すべき点は、 長大法面における岩盤斜面の安定性、 トンネル区間の空洞安 定性、 発電機基礎の安定性、 仮締切基礎の遮水性、 既設構造物への影響、の5点である。 これらの注意点のうち、各代替案において対策工の検討が必要と思われる点をまとめたものを Figure 7.2.13 に示す。



Figure 7.2.12 Geological Plan

	Fatal	L	ong Cut Sl	ope	Mudstone in Basem	e Sections hent Rock	Seepage along Sandstone strata				
	Geology	existing	structure	new structure	new st	ructure	temporal closure				
	fault, landslide	toe of side of dam spillway		behind power house	tunnel	generator / power house	inlet portal	outlet portal			
A1,A2	-	0	0	-	-	0	-	0			
A4	-	0	-	-	0	0	-	0			
B2	-	-	-	0	0	0	-	0			
D2	-	-	-	0	0	0	0	0			

"O" indicates the requirement of countermeasures.

Figure 7.2.13 Geological Matters on Each Alternative Options

1) 最適拡張案(A1案)

既設発電所と洪水吐の間に発電所を設置し放水庭を既設と共有する案である。発電所スペー スが限られるため急勾配の法面掘削が必要であり、また既設発電所の運転を止めないために 放水庭の掘削時に仮締切を設置する必要がある。水路縦断を Figure 7.2.14 に示す。





Figure 7.2.14 Geological Profile (A1)

北側法面は洪水吐の基礎岩盤、東面はダムの基礎岩盤を掘削することになるため、既設構造 物への影響を考慮する必要がある。北側法面は砂岩と泥岩の互層が分布し、地層の走向に対 して直交方向の掘削となるため比較的安定する方向であるが、急勾配で長大法面となるため、 法面表層部の補強が必須であり、さらに必要に応じて基礎岩盤の補強を考慮すべきである。 一方東側法面はダムの基礎岩盤である砂岩層を層理にほぼ平行して掘削するため、層理面方 向に発達する節理による Figure 7.2.15 に示す2パターンの法面崩壊に注意が必要である。対 象となる砂岩の層理は地表露頭では55 度程度の傾斜を示すものの、詳細設計段階ではボーリ ングによって傾斜を確実に押さえ、懸念される崩壊パターンを明らかにした上で、適切な対 策工を計画する必要がある。また、発電所基礎岩盤には数箇所の泥岩層が分布するため、泥 岩区間においては掘削後の早急なコンクリート打設など、劣化への対策が必要である。仮締 切を設置する放水庭付近には主として泥岩が分布しており、透水性は全般的には低いものと 推察されるが、一部で透水性の高い砂岩層を挟在しており、砂岩区間では止水対策が必要と なる可能性がある。



(a) Sliding Failure

(b) Buckling Failure, Toppling Failure

#### Figure 7.2.15 Slope Failure Types

#### 2) その他代替案

Figure 7.2.13 に示す地質課題のうち、A1 案に現れない地質課題を記す。発電所を下流に配置 する B2 案とD2 案では、導水路出口に発電所基礎掘削に伴う長大斜面が形成される。ほぼ地 層面に沿った法面となるが、A1 案と異なりダムの荷重が無いため、Figure 7.2.15 の特に(a)に 示す滑り破壊に注意が必要である。A4 案、B2 案および D2 案では、長短の違いがあるものの 水路トンネルが掘削される。既設仮排水路の工事記録にあるとおり、泥岩区間では坑壁の崩 落や湧水による底盤の劣化(粘土化)の対策が必要となる。特に A4 案では被りが薄く風化 岩盤が多く出現することから、手厚い支保が必要と思われる。D2 案では貯水池斜面に取水口 が設置されるが、拡張工事では水位制限を行わないため、仮締切を設置する必要がある。貯 水池側には透水性の高い砂岩の分布が多いため、止水対策が必要となる。



各代替案の水路縦断を Figure 7.2.16 から Figure 7.2.18 に示す。



Prepared by the JICA Survey Team









Prepared by the JICA Survey Team







Figure 7.2.18 Geological Profile (D2)

(6) 建設材料

コンクリート用骨材の材料として、Nam Lik 川の河床砂礫が有望である。既設発電所工事でも使われてきた河床砂礫であり(Nippon Koei,1972-1)、1995年のFSでもアルカリ骨材反応試験が実施され有望とされている (Lhameyer,1995)。採取候補地点はナムグム 川との合流点から 3~4 km 上流に位置し、「VATSANA PONGPANYA ABORBROCK BEACH COMPANY」社が材料採取を行っている。