

ネパール王国

# サプトガンダキ水力発電開発計画 調査報告書

## 第 3 卷 付属報告書

1983年 1月

国際協力事業団

鉦計資
<del>83-7(3/3)</del>
83-7(3/3)



JICA LIBRARY



1060345[4]



ネパール王国

サプトガンダキ水力発電開発計画  
調査報告書

第 3 卷  
付属報告書

1983年 1月

国際協力事業団

報告書の構成

要約版

第1巻 主報告書

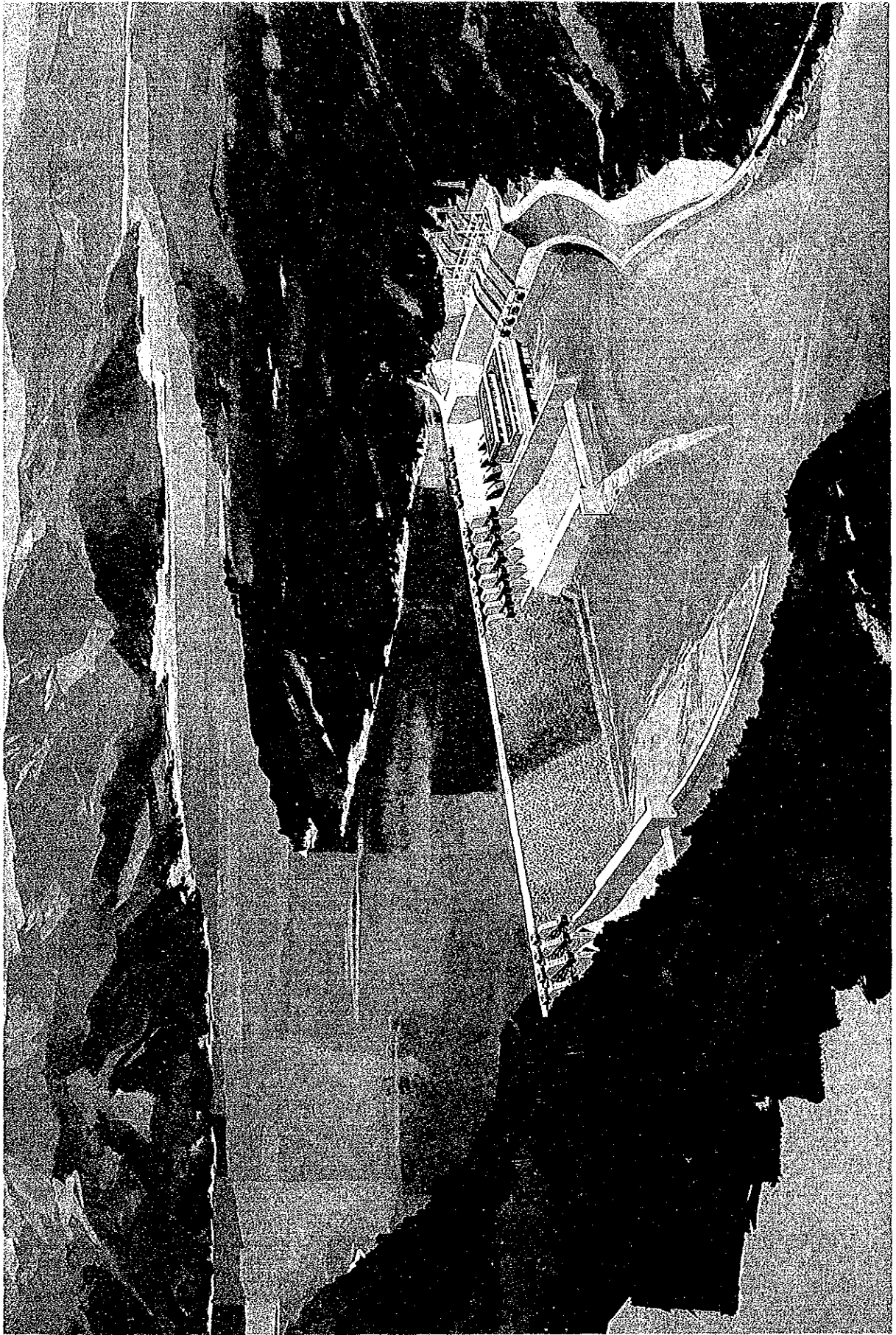
第2巻 付属報告書

- (A) 地形測量
- (B) 建設材料
- (C) 水文及び気象
- (D) 消費部門別電力需要予測

第3巻 付属報告書

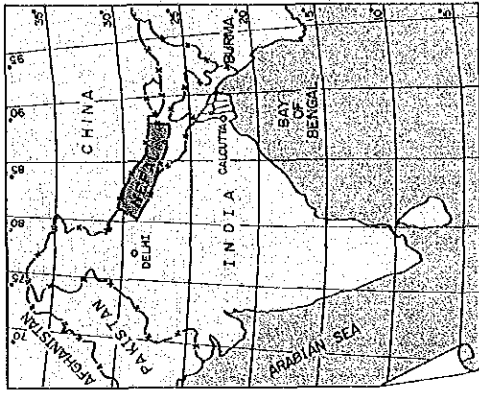
- (E) 地質

国際協力事業団	
受入 月日 584.8.27	116
登録No. 14072	643
	MPN



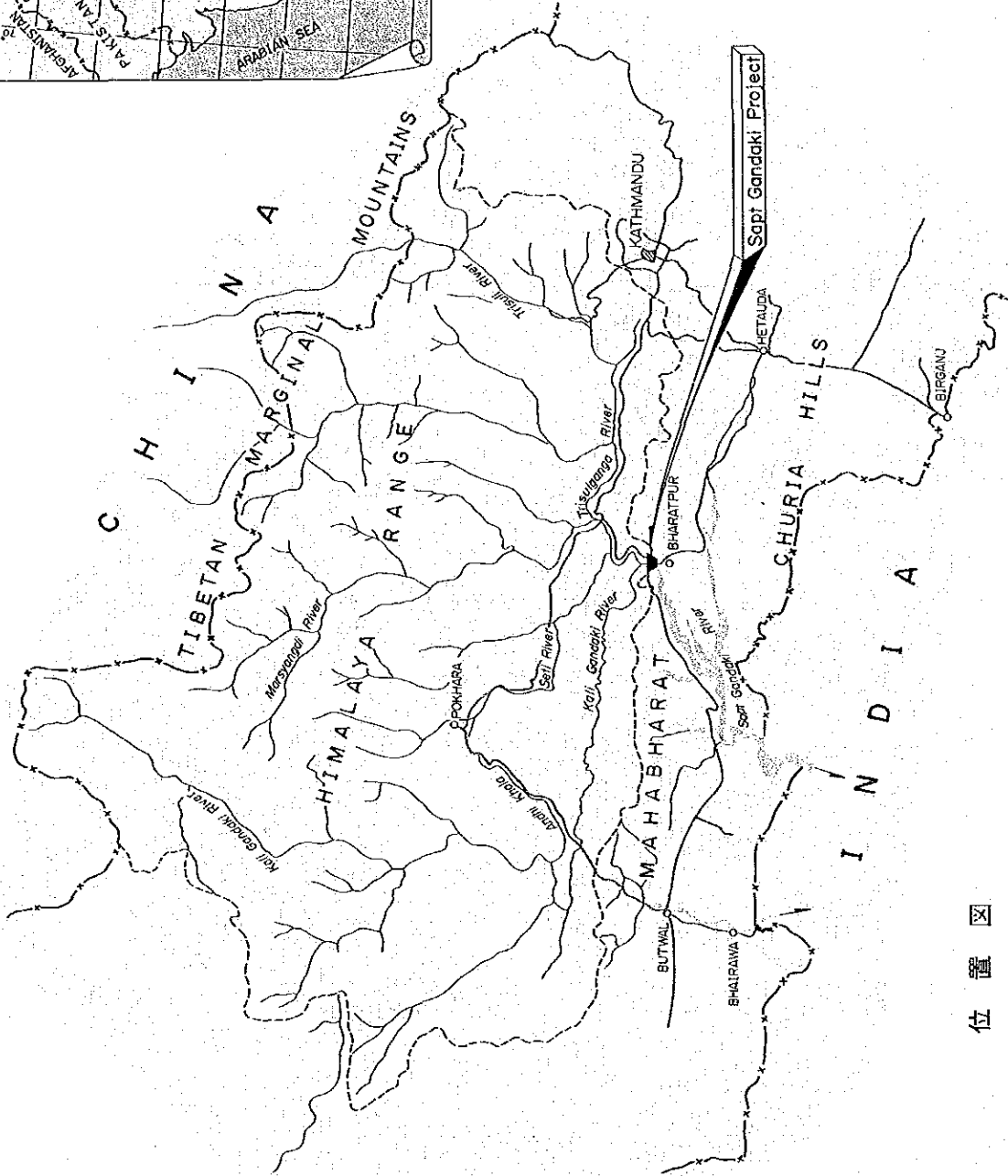
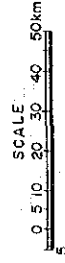






LEGEND :

- ROADS
- INTERNATIONAL BOUNDARY
- WATER DIVIDE



位置图



付 属 書 (E)

地 質



# 目 次

	頁
I 序 論 .....	E - 1
II 一般地質 .....	E - 3
2.1 総 論 .....	E - 3
2.2 層 序 .....	E - 3
2.3 褶曲と断層 .....	E - 4
III 地質調査 .....	E - 5
3.1 総 論 .....	E - 5
3.2 弾性波探査 .....	E - 6
3.2.1 現場作業方法 .....	E - 6
3.2.2 ダムサイトの測線配置 .....	E - 6
3.2.3 走時曲線および解析 .....	E - 6
3.3 調査ボーリング .....	E - 7
3.3.1 穿 孔 .....	E - 8
3.3.2 柱伏図 .....	E - 8
3.3.3 結 果 .....	E - 10
3.4 透水試験 .....	E - 11
3.4.1 試験方法 .....	E - 11
3.4.2 透水性測定値 .....	E - 13
3.4.3 水位観測 .....	E - 14
3.5 テストグラウチング .....	E - 15
3.5.1 地 質 .....	E - 15
3.5.2 グラウト孔の配置と試験手順 .....	E - 16
3.5.3 試験結果 .....	E - 17
3.5.4 グラウト計画への適用 .....	E - 17
3.6 試掘横坑 .....	E - 18
3.6.1 掘 削 .....	E - 18

3.6.2	横坑の地質	E-18
3.6.3	岩盤等級区分と直接波の速度	E-19
3.7	原位置岩盤試験	E-20
3.7.1	ブロック剪断試験	E-20
3.7.2	載荷試験	E-21
3.8	室内岩石試験	E-23
3.8.1	試験項目と試料数	E-23
3.8.2	試験結果	E-23
3.9	テストトレンチ	E-24
3.9.1	トレンチの目的	E-24
3.9.2	トレンチの地質	E-24
IV	調査の結論	E-26
4.1	総論	E-26
4.2	ダムサイトの地質	E-26
4.2.1	Aダムサイト	E-26
4.2.2	Bダムサイト	E-27
4.2.3	Cダムサイト	E-27
4.3	土木地質	E-28
4.3.1	未固結堆積物	E-28
4.3.2	残積土および強風化岩	E-29
4.3.3	風化岩盤	E-29
4.3.4	基盤岩の物理的性質と強度	E-29
4.3.5	基盤岩の透水性とグラウト効果	E-31
V	今後の地質調査	E-32
5.1	ダムサイト	E-32
5.2	その他のサイト	E-33

## LIST OF ILLUSTRATIONS

<u>NO.</u>	<u>TITLE</u>
2.1	STRATIGRAPHY OF THE RESERVOIR AREA GEOLOGY
3.1	TYPICAL REFRACTION PROFILE
3.2	PRESSURE OF GROUTING AND WATER PRESSURE TEST
3.3	SECTION OF TEST ADIT
3.4	ILLUSTRATION OF LOAD-DISPLACEMENT CURVE

LIST OF TABLES

<u>NO.</u>	<u>TITLE</u>
E.3.1	GEOLOGICAL SURVEY ITEMS
E.3.2	ACTUAL PROGRESS OF FIELD WORKS ON GEOLOGICAL SURVEY
E.3.3	SEISMIC REFRACITON PROSPECTING; LENGTH AND LOCATION OF PROFILE LINE
E.3.4	MAIN INSTRUMENTS AND MATERIALS USED
E.3.5	LAYERED VELOCITIES AND CORRELATIVE GEOLOGY
E.3.6	CORE DRILLING LENGTH
E.3.7	LIST OF ROCK SAMPLES FOR LABORATORY TEST
E.3.8	APPLIED PRESSURE IN THE WATER PRESSURE TEST
E.3.9	LUGEON TEST RESULTS
E.3.10	PERMEABILITY OF TERRACE DEPOSIT AND RIVERBED DEPOSIT
E.3.11	WATER TABLE OBSERVED IN BOREHOLES
E.3.12	TABLE OF TEST GROUTING RESULTS
E.3.13	EXCAVATED ADIT LENGTH
E.3.14	LABORERS, EQUIPMENTS AND MATERIALS FOR TEST ADIT EXCAVATION
E.3.15	TEST ITEMS AND NUMBER OF SAMPLES TESTED
E.3.16	SUMMARY OF ROCK TEST (1) TO (3)
E.3.17	DETERMINATION OF PROPERTY OF ROCK SAMPLES
E.3.18	LIST OF TRENCHES



## LIST OF FIGURES

<u>NO.</u>	<u>TITLE</u>
E.1	GEOLOGICAL MAP OF RESERVOIR AREA
E.2	GEOLOGICAL MAP AND SECTION OF DAMSITE
E.3	LOCATION MAP OF INVESTIGATIONS
E.4	ARRANGEMENT OF SEISMIC REFRACTION PROFILE LINES IN THE DAMSITE
E.5	ARRANGEMENT OF SEISMIC REFRACTION PROFILE LINES IN THE GRAVEL DEPOSIT
E.6	DISTRIBUTION OF SPEED OF DEEPEST LAYER IN SEISMIC REFRACTION PROFILE
E.7	GEOLOGIC SECTION OF THE TEST GROUT SITE
E.8	CROSS SECTION OF ROCK CLASSIFICATION IN THE TEST GROUT SITE
E.9	RECORD OF TEST GROUTING
E.10	GRAPH OF GROUT TAKE AND LUGEON VALUE IN THE CROSS SECTION OF TEST GROUT SITE
E.11	EFFECT OF GROUTING
E.12	PERMEABILITY MAP IN THE CROSS SECTION OF THE TEST GROUT SITE (1)
E.13	PERMEABILITY MAP IN THE CROSS SECTION OF THE TEST GROUT SITE (2)
E.14	PERMEABILITY MAP IN THE CROSS SECTION OF THE TEST GROUT SITE (3)
E.15	GEOLOGICAL SKETCH OF THE TEST ADIT TA-1
E.16	GEOLOGICAL SKETCH OF THE TEST ADIT TA-2
E.17	THE BLOCK SHEAR TEST ARRANGEMENTS

<u>NO.</u>	<u>TITLE</u>
E.18	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-1
E.19	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-2
E.20	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-3
E.21	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-4
E.22	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-5
E.23	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-6
E.24	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-7
E.25	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-8
E.26	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-9
E.27	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-10
E.28	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-11
E.29	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-12
E.30	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-13
E.31	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-14
E.32	BLOCK SHEAR TEST RECORD, BS-15
E.33	BLOCK SHEAR TEST, CONTOUR MAP OF TEST PLANTS (1)
E.34	BLOCK SHEAR TEST, CONTOUR MAP OF TEST PLANTS (2)
E.35	BLOCK SHEAR TEST, CONTOUR MAP OF TEST PLANTS (3)
E.36	BLOCK SHEAR TEST, CONTOUR MAP OF TEST PLANTS (4)
E.37	BLOCK SHEAR TEST, CONTOUR MAP OF TEST PLANTS (5)
E.38	BLOCK SHEAR TEST, CONTOUR MAP OF TEST PLANTS (6)
E.39	FRICITION TEST RECORD, BS-12, 13, 14 AND 15

<u>NO.</u>	<u>TITLE</u>
E.40	NORMAL STRESS-SHEAR STRESS PLOT (1), BLOCK NOS. 5 TO 7 AND 11 TO 15
E.41	NORMAL STRESS-SHEAR STRESS PLOT (2), BLOCK NOS. 1 TO 4 AND 8 TO 10
E.42	THE PLATE LOADING TEST ARRANGEMENTS
E.43	PLATE LOADING TEST, PL-1
E.44	PLATE LOADING TEST, PL-2
E.45	PLATE LOADING TEST, PL-3
E.46	GEOLOGICAL PROFILE OF TEST TRENCHES TR-1 AND TR-2 (DAMSITE B)
E.47	GEOLOGICAL PROFILE OF TEST TRENCHES TR-3 AND TR-4 (DAMSITE C)
E.48	FUTURE INVESTIGATION PLAN

LIST OF ATTACHMENTS

<u>NO.</u>	<u>TITLE</u>
I	SEISMIC REFRACTION PROFILE; TIME-DISTANCE PLOT AND INTERPRETATION (16 SHEETS; SL-1 TO 17 AND SLG-1 TO 4)
II	DRILL LOG (47 SHEETS; DG-1 TO 3, B80-1 TO 3, B81-1 TO 18 AND TG-1 TO 7)
III	RECORD OF WATER PRESSURE TEST (37 SHEETS)

## I 序 論

サブトガンダキプロジェクトのダムサイトは最初に1974年の「ネパール王国水力発電開発マスタープラン」(以下マスタープランと呼ぶ)の中で、デビ・ガットプロジェクトとして取り上げられた。その後(1979年)サブトガンダキ水力プロジェクトのプレフィージビリティ調査(以下プレフィージビリティ調査と呼ぶ)も実施された。

マスタープランでは、基盤岩の状態が余り堅硬ではないだろうという推定の下に、中規模程度のフィルタイプダムの建設が計画された。しかしながら、プレフィージビリティ調査では、各々層厚5mの砂れき層と風化岩帯の下に十分な強度の基盤岩が存在すると推定して、サブトガンダキ河の巨大な洪水量に対処する為に中央部越流型のコンクリート重力式ダムが推奨された。

したがって、ダム型式を含めたプロジェクトの最適計画案の決定、および当該プロジェクトのフィージビリティ検討のために実施される当該フィージビリティ調査では、河床堆積物の深さとともに基盤岩の強度の正確な情報を得ることに調査の重点がおかれた。

サブトガンダキ水力発電開発計画のフィージビリティ検討のための地質調査は、1981年2月1日に開始された。現地調査は2つの段階、すなわち1981年2月1日から3月31日までの第1段階と1981年10月1日から1982年4月30日までの第2段階に区分される。

第1段階で、貯水池地域の縮尺1/10,000の地質図作成、透水試験を含む125mの調査ボーリングおよび2,500mの弾性波探査を行った。さらに詳細で主要な調査は第2段階で行われ、ダムサイトの縮尺1/2,000の地質図作成、816.5mの調査ボーリング、9,975mの弾性波探査、テストグラウチング、試掘横坑とトレンチの掘削および岩石試験が実施された。

調査の結果、河床堆積層は非常に厚く、調査ボーリングB81-11で深度30.5m、B81-6で深度36m以上と、プレフィージビリティ調査(5mと想定)とマスタープラン(15~30mと想定)で推定された深さ以上であった。

コンクリート重力ダムの滑動に対する基盤岩の強度は、 $\tau$  (kg/cm<sup>2</sup>) =  $8 + \sigma \cdot \tan 40^\circ$ と判明したが、これは高いコンクリート重力ダムの基盤としては下限に近く、大規模な基礎を必要とする。したがってダム型式の決定には詳細な検討を要する。

さらに、左岸の段丘堆積層はたいへん広くかつ厚く広布しておりダムサイトの選定に対して影響が大きいことが判明した。

この付属書（E）では、実施された地質調査の調査項目、調査方法、入手資料および技術的な評価について述べる。

## II 一般地質

### 2.1 総論

ネパール王国は矩形を成し、東経80°乃至88°および北緯26°乃至30°に位置する。地形学的に、東西方向に延びる地帯即ち北から南へチベット乾燥地帯、ヒマラヤ山脈地帯、マハバラート山脈（または小ヒマラヤ）地帯、シワリク丘陵地帯およびテライ平野に区分される。

ガンダキ流域ではムスタン地域がチベット乾燥地帯に当り、ヒマラヤ山脈にはランタンヒマール（7,264m）、マナスル（8,125m）、ヒマルチュリ（7,864m）、ガネッシュヒマール（7,406m）、ダウラギリ（8,172m）およびアンナプルナヒマール（8,078m）が連なる。マハバラート山脈地帯は2,000m乃至3,000m級の山脈と内陸盆地より成り、頗々小ヒマラヤ、ミッドランド地域およびマハバラート山脈として細区分される。タンセン、ポカラ、ゴルカ、ダーディン等の古くからの市や町はこの地帯に位置する。

マハバラート山脈地帯とシワリク丘陵地帯はメインバウンダリー衝上断層で明瞭に境される。メインバウンダリー衝上断層はマハバラート山脈の南側急斜面を形成するだけでなく、その両側での標高の顕著な相違を示している。シワリク丘陵地帯とテライ平野は漸移的で、シワリクは一度チトワン盆地の下へ潜り（インナーテライ）、その後チトワン盆地の南縁に沿ってチュリア丘陵を再び形成する。チュリア丘陵は標高700乃至800mで、上部シワリク岩類より成る。さらに南では、広大なガンジス平原の北方地域をなすテライ平野の主部が広く分布している。

トリスリ河とカリガンダキ河は位置図に示す如く、チベット周辺山地に源を發し、多くの支流を集めながら花崗岩類と古期変成岩類より成る地域を流下し、最終的にサブトガンダキダムサイトの1km上流で合流し、以後サブトガンダキ河と呼ばれる。ダムサイトは、その北方約5kmを東西に走るメインバウンダリー衝上断層で上記古期変成岩類と境されるシワリク層群の第三紀堆積岩類で構成されている。

### 2.2 層序

Fig-E.1 "GEOLOGICAL MAP OF RESERVOIR AREA" に示した如く、貯水池内の最下部の層序学的单元はメインバウンダリー衝上断層の北方に分布する種々の古生代変成岩類よ

り成る。一方、メインバウンダリー衝上断層の南側には、チトワン盆地の平坦な沖積平野に至るまでシワリク層群の第三紀堆積岩類が広く分布している。貯水池地域の地質層序は Illus.-2.1 に示したとおりである。

この地域のシワリク層群は下位層から上位層へ、(1)成層砂岩と粘板層、(2)成層砂岩と泥岩、(3)塊状れき質砂岩および(4)れき岩より成り、本報告書では各々 Bsl 層、Bst 層、Sst 層および Cgl 層と呼ぶ。Bsl 層は北辺をメインバウンダリー衝上断層で境され、南辺を内シワリク断層で境された細長い地帯に分布している。Bsl 層上部と Bst 層下部は岩石学的に類似している。サブトガンダキダムサイトは Bst 層と Sst 層の漸移部に位置している。その他の地質相には沖積段丘堆積物があり、それは様々な高度に発達し、Fig-E. 2 に示した様に 4 段の段丘に区分される。段丘 IV はメインバウンダリー衝上断層と内シワリク断層の前縁に厚く発達し、膠結されたれき岩および角れき岩を含んでいて特徴的である。膠結れき岩および角れき岩の層は段丘 IV の堆積物だけでなく、ダムサイトの左岸に広く分布する段丘 III 以外の堆積物中にも見られる。

### 2.3 褶曲と断層

最も特徴的な地質構造は貯水池地域北方に位置し、古生代ミッドランド層群と第三紀シワリク層群を境するメインバウンダリー衝上断層である。他に、この報告書で内シワリク断層と山麓断層と呼ぶ 2 本の大きな断層があり、それらはメインバウンダリー衝上断層と同じく東西の方向性をもっている。背斜構造が山麓断層の北側に、東方へプレンジしながら分布している。走向傾斜、褶曲軸および断層の方向はいずれも同じ様に東西の方向性をもって分布している。



### III 地質調査

#### 3.1 総論

ダムサイトは、シワリク丘陵を横切ってテライ平野へ流れ込むサブトガンダキ川の直線部に位置する。ダムサイトでは基盤岩が両岸とも露出し、川幅は水面の高さで 200 m である。この直線の 1 km の間で 3 本の比較ダム軸が提案され、上流から A、B および C サイトと名付けられた。基盤岩は Fig-E. 2 “GEOLOGICAL MAP AND SECTION OF DAMSITE” に示したように、第三紀シワリク層の成層砂岩および泥岩層 (Bst 層) と塊状れき質砂岩層 (Sst 層) から成る。Bst 層は下位から上位へ級化砂岩、葉片状シルト岩、層内角れき岩および緑色泥岩より成る厚い堆積輪廻の規則的な繰り返しにより構成されている。各構成層の厚さは輪廻毎に変化する。本報告書では、厚い砂岩とその他の薄く成層した地層を塊状砂岩部層 (Ms部層) と呼び、薄い砂岩とかなり厚く成層した地層を砂岩、シルト岩および泥岩の互層の部層 (At部層) と呼ぶ。

ダムサイトにおいて、Bst 層は 8 枚の Ms部層と同数の At部層より成り、それらは互層し、各々下部から上部にかけて Ms-1~Ms-8、および At-0~At-7 と番号をつけた。左岸には、標高 260 m、230 m および 200 m の高度に 3 段の段丘が分布し、各々高位段丘、中位段丘および低位段丘と呼ぶことにする。それらの内、中位段丘はダムの基礎領域内に広く且つ厚く堆積しており、ダム建設に対して影響が大きい。

1981年2月と3月(第1段階)および1981年10月から1982年4月(第2段階)のフィージビリティ調査では、地質図作成、弾性波探査、透水試験を含む調査ボーリング、テストグラウチング、試掘横坑ならびにトレンチの掘削、原位置岩盤試験および室内岩石試験を実施した。

ダムサイトの地質調査位置図を Fig-E. 3 に示した。また調査項目と現場作業工程実績表を Table-E. 3. 1 と Table-E. 3. 2 に示した。

Table-E. 3. 2 に示した如く、現場調査は10月から翌年4月にかけての乾季に行った。特に河床部での調査ボーリングや弾性波探査といった川の中での作業は、乾季の前半ではまだ流量が多過ぎるため、1月から3月に集中して行った。

第1段階の調査はプレフィージビリティ報告書で設定された A ダムサイトに集中したが、第2段階の調査では最適ダムサイトを見い出すため、A ダムサイトから下流方向 1 km 間で設定された B および C ダムサイトを包めるように調査領域を拡大した。

### 3.2 弾性波探査

ダムサイトと骨材採取用砂れき堆積地の全般的な調査に弾性波探査を用いた。Table-E. 3. 3 に示すように合計21測線、総延長12,475 mの探査を行い、そのうち4測線2,715 mは砂れき堆積地、残りはダムサイトで実施した。探査測線はダムサイトではFig-E. 4、砂れき堆積地ではFig-E. 5 に示すように配置した。

#### 3.2.1 現場作業方法

爆破点および感震器を一直線上に配置するように計画した（測線発破）。現場での記録作業を始める前に地表面形状の測量を行い、発破地点と感震器設置点を杭で印した。

1サイクルの作業では、illus.-3. 1 に例示したように50乃至60 m間隔で行った5～7回の爆破を5 m間隔に整然と並べた21個の感震器で受震できるように配置した。

1作業サイクルの爆破点と感震器配列を順次移動させ、河川部を除いてFig-E. 3 “LOCATION MAP OF INVESTIGATION” に示した全測線を探査した。河川部では、水中で5m間隔に爆破を行い、感震器を兩岸と砂れき堆積地に5～7個設置した。

使用した主な装置と材料はTable-E. 3. 4 に記載した。

#### 3.2.2 ダムサイトの測線配置

上流から下流側へAダムサイト、BダムサイトおよびCダムサイトと名づけた3ヶ所の比較ダムサイトが設定されたため、弾性波探査測線はFig-E. 4 に図示したように、河川横断方向に各サイト2本ずつの6本と河川に平行な3本で格子を形成するように配置した。3本の河川に平行な測線のうち1本は右岸側に、そして他の2本は、左岸上には河岸段丘が広く分布するので左岸側に配置した。

Aダムサイトでは測線SL-1の左端でも基盤岩は厚い段丘堆積物に覆われているので、測線SL-6をさらに山側に向けて追加した。また、SL-1の左端地域では厚い被覆層だけでなく低速度帯も検出されており、その調査のためにSL-7も追加した。

弾性波探査測線SL-5は、砂れき堆積物の厚さを調べるために、Aダムサイトの上流約300 mに分布する砂れき堆積地上に配置した。またSL-14 は試掘横坑TA-2に沿った探査記録を取るために配置した。

#### 3.2.3 走時曲線および解析

地震波（一次波）の到達時間を1/1000秒の精度で記録紙から読み取り、走時曲線

図上に落した。この走時曲線より主として“荻原の方法”によって速度層分布を解析した。走時曲線と解析図は“SEISMIC REFRACTION PROFILE: TIME-DISTANCE PLOT AND INTERPRETATION”として本報告所の巻末に添付してある。

Table-E. 3. 5 に示した速度層と地質の相関は解析図だけでなく、地表からの観察や調査ボーリング、試掘横坑等から得られた地質の資料から導き出したものである。この相関表は解析図の地質状況を理解するのに役立つものである。

ダムサイトについては、相関表で第5層に当り一般に新鮮な基盤岩を示す最下層の速度の分布平面図をFig-E. 6 に示した。最下層の速度は低速度帯を除いて、2.6km/秒から3.9km/秒の範囲にある。低速度帯は測線SL-7および8、9での1.5km/秒乃至1.6km/秒帯のように著しく低い速度の区間を指す。

低速度帯は破碎帯やその他の異常な基盤岩の欠陥を表わしているのであろう。

5～6本の低速度帯が分布しているAダムサイト左岸では、これらの低速度帯は調査ボーリングで調べてみる必要があるが、連続していて、旧河道の凹みを示しているように思われる。そこで、これらと類似の低速度帯との連続を低速度帯の推定延長線として図に示した。その他の右岸側にあるような低速度帯は多分、亀裂帯や断層帯と相応するのであろう。

最下層の種々の速度は下位の基盤岩の性状を反映していると考えられるので、SL-1の河川部の2.8km/秒帯はFig-E. 6 に示すように南東方向へSL-2、SL-13、SL-10、SL-17 およびSL-15 の類似の速度帯へ延びているように思われる。同様に、SL-15の右岸側の3.5km/秒乃至3.6km/秒帯は、Fig-E. 6 に示したように延長していると思われる。

2.8km/秒帯および3.5乃至3.6km/秒帯の延長線は各々地質図におけるMs-8部層とAt-3部層の分布に対応していると考えられる。

### 3.3 調査ボーリング

Table-E. 3. 6 に示した如く、21孔、延長941.5mのボーリングがこのフィージビリティ調査段階で穿孔された。プレフィージビリティ調査で提案されたAダムサイトの左岸側段丘堆積物が調査の早い段階で、調査ボーリングB81-1とB81-10によって非常に厚いことが判明したので、Aダムサイトを主として調査するようにボーリング孔を配置した

当初のボーリング計画は調査の途中で修正された。すなわち、数孔がAダムサイトからBおよびCダムサイトに移され、さらに数孔が追加された。最終的に10孔がAダムサイトで穿孔され、9孔がBダムサイトで、そして4孔がCダムサイトで穿孔された。実施されたボーリング孔配置をFig-E. 3 "LOCATION MAP OF INVESTIGATION" に図示した。

コア採取は注意深く実施し、採取されたコアは定期的にコア箱に納め、柱状図を作るため地質技師が検査した。ボーリングコアはネパール政府電気局によってビルガンジの倉庫に保管されている。

### 3.3.1 穿孔

下記の穿孔機とポンプが本調査ボーリングに使用された。

穿孔機 ;	TONE UD-5	2台
	KOKEN OE-2L	1台
ポンプ ;	KOKEN MG-5A	2台
	KOKEN MG-10	2台
	YAMMER F (動力噴霧用)	1台

調査ボーリングは口径66mmのダイヤモンドコアビットを備えた二重管式コアバレルを用いて実施した。孔口部分は、河床では口径114mm、両岸では口径86mmまたは116mmの大型のケーシングパイプで穿孔し、それを保護管とした。

河床堆積物は非常に硬質の大れきを含むだけでなく層が非常に厚いため、この河床堆積物を貫くボーリングは今回のボーリング作業で最も困難であったことは、今後の調査のため注意しておく必要がある。特にボーリングNoB81-6孔は深度36mでも着岩しなかった。

### 3.3.2 柱状図

ボーリングコアを観察して得られた資料は本報告所巻末に添付してある "DRILL LOG" にまとめて示してある。

#### 岩盤等級区分

柱状図作成に当って、プロジェクトサイトのダム基礎を評価するために下記に示す岩盤の等級区分を適用した。

- A : 少なくとも数 m の区間に渡って不連続面のない新鮮で堅固な岩。穿孔されたコアで A 級に相応するものはなかったため、A 級は今のところ単に想像上の区分けである。
- B : 新鮮で堅硬な岩で、コアは長い棒状に採取される。または、1 m 以上に渡って不連続面がない新鮮な中硬の岩。一般に RQD は 100 パーセントを示す。岩盤として 10 kg/cm<sup>2</sup> 以上のかかなり大きな結合力が期待できるであろう。
- CH : 新鮮な岩。硬質乃至中硬でコアは一般に長く採取されるが、数 m に 1 回の割で交差する亀裂または粘土のシームを伴う亀裂を含む。故にコア採取率および RQD は一般に各々 100 パーセントおよび 70 パーセント以上を示す。軟岩の場合はコアは長く欠陥がなく、RQD が 100 パーセントを示す。CH 級と区分された岩は一般に高いフィルダムの基礎として十分良好と思われる。コンクリート重力式ダムに対しては、硬質岩では不連続面の方向性が、そして軟岩では強度が大きな問題となるであろう。
- CM : 硬岩の場合、亀裂または細かく成層した面が処々に挟在するため、コアは頻々 10 cm 以下の長さまたは岩片状に採取される。したがって RQD は 30 乃至 70 パーセントに落ちる。
- しかしながら、破砕または粘土質はほとんど含まないので、コア採取率は高く、90 乃至 100 パーセントである。風化岩また軟岩の場合はコアは長く RQD は高率である。
- 一般に CM 級の岩は高いダムの基礎として好ましくない。特に広く分布する時は、ダム建設は規模が限られるか、または特殊な設計が必要となる。
- CL : 岩は亀裂が多いか、顕著な粘土層または脆弱帯を含み、10 cm 以上のコアはほとんど採れない。故に RQD は低率または 0 となる。マッシュだが非常に風化または脆弱なため、コアパレルから取り出すと形が崩れたり、手で容易に壊れる岩もここに区分される。CL 級の岩はダム建設にとって好ましくなく、通常一定の範囲で除去または置き換えが必要となる。したがってこの CL 級の岩が広く分布するならば、ダム建設は極めて困難となる。

D： 破碎岩または強風化岩。コアが全然採取されなかった場合は、その区間はここに区分される。風化し変質分解した岩は除去されることになるだろう。断層帯と破碎帯は除去するか、またはかなりの深さまで適切な材料で置き換えたり、グラウト注入等で処理しなければならない。一般にD級の岩はダム建設に当って、十分な注意が払われなければならない。

岩盤等級区分の上記指標で、硬岩は湿潤状態で圧縮強度が 200 kg/cm<sup>2</sup>以上と思われる岩を意味し、中硬岩は80 kg/cm<sup>2</sup>から 200 kg/cm<sup>2</sup>の範囲にあり、軟岩は80 kg/cm<sup>2</sup>以下と思われる岩を指す。この岩石強度の区分は原石山の岩等ではなく、専らダムサイトの岩に適用するものである。

### R Q D

RQD はRock Quality Designation (岩質の指示) といわれる指標で、ボーリング孔から採取されたコアを検査することによって得られる。すなわち、10cm長以下のコア部分を除き、残りを掘進長に対する割合で表現する。

したがって、下記のように公式化できる。

$$R Q D = \frac{\text{10cm以上のコアの延長}}{\text{掘進延長}} \times 100 \text{パーセント}$$

この調査での柱状図作成においては、各孔の岩盤部分の最上端の端数を除いて、1 m分のコア毎にRQD の検討を行った。そこで、上式を修正した下記の方程式で計算した。

$$R Q D = \frac{\text{10cm以上のコアの延長}}{100 \text{cm}} \times 100 \text{パーセント}$$

### 3.3.3 結果

調査ボーリングから得られた資料は柱状図に示したとおりである。これらの資料は、ルジオンテストや弾性波探査および試掘横坑等の他の資料とともに、ダムサイトの地質に関する全体像を表す地質断面図を作成するために利用された。

ボーリングコアから代表的な試料を採り出し、この後3.8節で述べる室内岩石試験を行うため東京へ送った。岩石試料を採り出した区間はTable-E. 3. 7に示した。

### 3.4. 透水試験

原位置での岩盤の透水性をボーリング孔内での「ルジオンテスト」（または水押し試験）法で測定した。段丘と河床の堆積物に適用した試験方法は上記「ルジオンテスト」と異なり、段丘堆積物には「注水試験」、河床堆積物には「オープンエンドパイプ試験」と呼ばれる方法で実施した。

ルジオンテストは、17孔内における112区間で実施し、注水試験とオープンエンドパイプ試験は各々2区間で実施した。

#### 3.4.1 試験方法

ルジオンテスト（水押し試験）は、閉塞材（ゴムパッカー）を孔底から約5mに挿入し、孔の底へ向けて閉塞部より下へ出したパイプを通して圧力をかけた水を注入した。そしてTable-E. 3. 8に示したように、様々な圧力下での注水量を測定した。岩盤の透水性はルジオン値と透水係数の両方の計算値で表わした。1ルジオン値は標準圧力10 kg/cm<sup>2</sup>下での孔長1m当り1 lit /分の注水量として定義され、ほぼ10<sup>-5</sup> cm/秒に相当する。ただし、正確な対応は試験するボーリング孔の孔径と地下水位の深さによって異なってくる。ルジオン値と透水係数は下記の方程式によって計算した。

ルジオン値

$$L_u = \frac{Q}{L \cdot P} \times 10$$

ここで、 $L_u$  : ルジオン値

$Q$  : 孔内への定常な注水量 (lit /分)

$L$  : 試験区間長 (m)

$P$  : 加えた圧力 (kg/cm<sup>2</sup>)

透水係数 (USBR "Earth Manual" のパッカーテストより)

$$k = \frac{Q}{2 L \cdot H} \times \log \frac{L}{r} \quad (\text{cm/秒})$$

ここで、  $k$  : 透水係数 (cm/秒)

$Q$  : 孔内への定常な注水量 (cm<sup>3</sup>/秒)

$L$  : 試験区間長 (cm)

$H$  : 水頭差 (cm)

$$H = H_1 (\text{静水圧}) + H_2 (\text{加圧力})$$

$r$  : 試験孔の半径 (cm)

注水試験はボーリング孔NoB81-1とB81-10で適用した方法で、ルジオンテストで使ったゴムパッカーを設置するには軟弱すぎる段丘堆積物の透水係数の測定に用いた。ボーリング孔B81-1はダムサイトAの左岸上で、口径86mmのコアバレルで段丘堆積物中を穿孔した。ケーシングパイプなしで19mまで掘って、試験を実施した。孔内へ水を注入し、孔口で一定の水頭を保つよう調節し、一定になった後単位時間当りの注水量を測定した。透水係数の算出には、ルジオンテストの時の透水係数の算出と同じ方程式を適用した。ボーリング孔B81-10でも、注水試験をボーリング孔B81-1と同様に実施した。ただし、36.2mより上にはケーシングパイプが入っていたので、試験区間は36.2mから37.8m区間に限定されていた。

オープンエンドパイプ試験は、ボーリング孔B81-13で実施した。この孔はダムサイトBの河床部で河床砂れき堆積物を貫いて穿孔されたが、堆積物はルジオンテストはもちろん、注水試験を行うにも余りにもルーズであった。試験はテスト深度まで下ろしたケーシングパイプ(内径101.6mm)の開端部を通して行った。試験の開始前にケーシングパイプの中を口径66mmのコアバレルで掘進しながら孔底まで砂や岩片を取り除いた後、ポンプで水圧をかけた場合もかけなかった場合もあるが、一定の水頭を保ちながら孔内へ清水を入れた。水頭、孔内への定常な単位時間当り注水量、ケーシングパイプの大きさおよびケーシングの上端と下端の標高を全て記録し、その記録に基づき透水係数はUSBRの“Earth Manual”から引用した下記の方程式で算出した。



$$k = \frac{Q}{5.5 \cdot r \cdot H}$$

ここで、 $k$  : 透水係数 (cm/秒)

$Q$  : 孔内への定常な注水量 (cm<sup>3</sup>/秒)

$r$  : ケーシングの内側の半径 (cm)

$H$  : 水頭差 (cm)

### 3.4.2 透水性測定値

測定データと結果は“RECORDS OF WATER PRESSURE TESTS”として本報告所の巻末に添付した表に示されている。その要約は一覧表にして、基盤岩中の112ステージで行ったルジオンテストについてはTable-E. 3. 9に、そして段丘ならびに河床堆積物での4ステージで行った注水試験とオープンエンドパイプ試験についてはTable-E. 3. 10に示した。

#### 段丘堆積物の透水性

ボーリング孔B81-1とB81-10で測定した段丘堆積物の透水係数は前者での $1.41 \times 10^{-4}$  cm/秒から後者での $4.69 \times 10^{-3}$  cm/秒に至るかなり広い範囲に渡っている。試験した区間数は十分ではないが、上記透水係数は地質状況とよく相応しており、段丘堆積物の一般的な地質性状を示唆しているように思われる。

B81-10で試験した区間は、深度36.2m乃至37.6m区間で、基盤岩との境界のすぐ上に当り、中れきおよび大れきを含むれきの多い構成物より成る。孔内で観測した(観測日12月24日)地下水位は深度30mにあり、河岸沿いではこの基底れき岩層からの湧水が観察された。故に、B81-10で測られた透水係数は、れきの多い堆積物より成る滞水層の透水係数を示しているものと思われる。

一方、B81-1での試験は、散在する小れき、中れきおよび大れきを含み主として茶色の雲母質砂質シルトより成る堆積物中で行われた。堆積物はかなり粘性があり、ボーリング孔の内壁は試験中も崩れることはなかった。試験した区間の下部は、15

m以深で小れきおよび中れきの含有が多く、上部よりもやや透水性が大きいと思われるので、全区間を通しての透水係数 $1.41 \times 10^{-4}$  cm/秒は、特に上部にとって実際よりも大き目に現われているようである。

全体として、段丘堆積物Ⅱの透水係数は、かなり透水性の大きい滞水層に対しては $5 \times 10^{-3}$  cm/秒前後、そしてシルト質の区間では $1 \times 10^{-4}$  cm/秒以下と推定出来るが、砂とれきの含み具合に対応して、これらの間に様々な中間的な透水係数が分布しているのであろう。段丘堆積物Ⅲは主に砂質シルトおよび粘土より成り、多分かなり難透水性で、一般に $1 \times 10^{-4}$  cm/秒以下の透水係数であろう。

#### 河床堆積物の透水性

ボーリング孔B81-13では、5 mと10 mの深度でオープンエンドパイプ試験を行ったが、どちらもれきの多い河床堆積物であった。上部（深度5 m）では一定の水頭差を河川水面上2 mまで立てたケーシングパイプ中に維持した。また下部（深度10 m）では1、2および3 kg/cm<sup>2</sup>のポンプ圧を加えた。測定した透水係数は上部で $1.5 \times 10^{-3}$  cm/秒下部で $5.9 \times 10^{-3}$  cm/秒であった。ボーリングのコアとしてはれきの部分だけしか採取されなかったが、 $1.5 \times 10^{-3}$  cm/秒から $5.9 \times 10^{-3}$  cm/秒の範囲の透水係数は、シルトを若干含んだ綺麗な砂およびれきより成る堆積物を示唆しているように思われる。

#### 基盤岩の透水性

Table-E. 3. 9 に示した如く、測定されたルジオン値はほとんど難透水（1 ルジオン以下）から最大 159.3ルジオンまで分布している。しかしながら測定されたルジオン値の多く（テスト区間の67パーセント）はTable-E. 3. 8 に示した最大試験圧力下で4 ルジオン以下となっている。10ルジオンよりも大きい区間はまばらに分布し、試験された全区間の17パーセントに相当する。これらの結果は、一般にマッシュで高率のRQD を呈する岩盤の外観とよく一致している。

全体として、基盤岩の透水性に関しては、ダム建設に対し何ら決定的な問題は見当らない。この点は3.5 節「テストグラウチング」でさらに検討されている。

#### 3.4.3 水位観測

穿孔後、孔を空けた塩ビ管をボーリング孔内に挿入し、Table-E. 3.11に記載したように1982年の2月26日から4月7日までの期間地下水位の変動を記録した。水位観測

の結果は以下に述べるとおりである。

- 1) ダムサイトAの左岸段丘堆積物Ⅱ内の地下水位は標高194m乃至196mにあった。11月3日にボーリング孔B81-9で標高195.8mに観測された地下水位は、12月27日にはボーリング孔B81-10で観測された標高194.6mまで低下したようである。
- 2) ボーリング孔B81-12で観測された地下水位は、2月26日から4月7日に至る期間に平均1日当たり4.25cmの割合で序々に低下した。
- 3) 段丘堆積物Ⅲでは、この期間のボーリング孔B81-2とB81-7の観測では地下水面はなかった。
- 4) 段丘堆積物Ⅰも雨季には地下水位が形成されると思われるが、この期間ボーリング孔B81-14とB81-18では地下水はなかった。
- 5) ダムサイトA右岸のボーリング孔B81-8は深度32m付近で被圧地下水にぶつかった。深度30mにゴムパッカーを設置して測ったところでは、水頭は孔口上4.5mであった。この湧水は3月と4月(乾季の終り)にはかなり減少したことが、11月23日(乾季の始め)の水位標高201.5mに対して、4月7日の水位標高195.9mへと低下したボーリング孔内での水位観測記録に現われている。
- 6) ボーリング孔内で観測されたその他の地下水位は全て新鮮な岩盤内にあり、また観測された地下水位は河側へ向かって傾斜していた。最も低い水位はBダムサイト右岸のボーリング孔B81-17で、河川水位より約1.5m高い標高185.4mに観測された。

### 3.5 テストグラウチング

位置図Fig-E. 3に示した如く、テストグラウチングを比較Bダムサイトの左岸側低位段丘上で実施した。

#### 3.5.1 地質

テストグラウチングを行った基盤岩は、At-5部層の泥岩、シルト岩および細粒並びに中粒砂岩より成る。ボーリング孔TG-1乃至7の観察結果は、巻末に添付した。

“DRILL LOG”(巻末添付Ⅱ-41乃至47)およびFig-E. 7“GEOLOGIC SECTION OF THE TEST GROUT SITE”に示した。基盤岩は厚さ3.5mの段丘堆積物に覆われ、層理は約

300で河側から山側へ傾いている。Fig-E. 8 “ CROSS SECTION OF ROCK CLASSIFICATION IN THE TEST GROUT SITE ” に示した如く、岩盤は主としてCM およびCH 級の区分に当る。

At 部層の岩盤は、塊状で均質なMs 部層やSst 層に比して軟質な泥岩から硬質な石灰質頁岩と変化に富み、葉理および亀裂が発達するとともによく成層しているため、テストグラウチング個所は、平坦な披りの薄い条件と同時にAt 部層に位置するように計画された。上記テストグラウチング位置はこの理由に基づき選定されたものである。

### 3.5.2 グラウト孔の配置と試験手順

今回の一連のテストグラウチングにおいて下記の7孔を穿孔した。

孔番号	深 度	穿孔および注入順序
TG-1	30 m	一次孔
TG-2	30 m	一次孔
TG-3	30 m	二次孔
TG-4	20 m	三次孔
TG-5	20 m	三次孔
TG-6	20 m	チェック孔
TG-7	20 m	チェック孔
合 計	170 m	

Fig-E. 9 “ RECORD OF TEST GROUTING ” に示した如く、注入孔は内挿法で一列に配置した。最初に4 m間隔の一次孔TG-1およびTG-2で穿孔作業とルジオンテストおよび注入作業を上から下へ5 mステージ毎に行った。その後、2本の一次孔の中間で二次孔TG-3の一連の穿孔作業とルジオンテストおよび注入作業を実施した。引き続き三次孔TG-4およびTG-5を、一次孔と二次孔の中間に同様にして実施した。最後に、チェック孔TG-6とTG-7を二次孔と三次孔の中間に穿孔し、ルジオンテストを実施した。

注入材は普通ポルトランドセメントと水との混合物で、配合はセメント：水比で、最初1：5から始め、順次1：3、1：2および1：1へと変えていった。

注入とルジオンテストの圧力は、Illus.-3.2に示した如く、上載荷重の増加に伴って、深いステージでは大きくした。各孔の最初の5 m区間は、表土と未固結の段丘堆積物中を穿孔しており、試験区間から除外した。

### 3.5.3 試験結果

各ステージのルジオン値で表示した透水性ならびにグラウト注入量はTable-E. 3. 2に一覧表とし、Fig-E. 9とE. 10にグラフ化して示した。グラウチングによる基盤岩の透水性の改良状況は、Fig-E. 11とFig-E. 12乃至Fig-E. 14の一連の断面図に示した如く、内挿法の順番に一次孔からチェック孔に至る各ステージの順次変化する透水性とグラウト注入量によく表われている。基盤岩の透水性の元の状態は、いくつかのステージを除いて一般に構造物の基礎として良好であった。すなわち一次孔のルジオンテストでは、深度5 mから10 m区間の第1ステージのみ100ルジオンを超える大きな値となっている。その他比較的高い27ルジオンの透水性がTG-1の15 mから20 mの区間で出ている。その他のステージは、何も処理しなくてもダムの基礎として認められる程の、4ルジオン以下であった。

第1ステージ(5 mから10 mの区間)のグラウト注入量はTG-1では108 kg/m(孔長1 m当りのセメント重量)で、TG-2では50 kg/mであり、両方の一次孔から各2 m離れた中間の二次孔TG-3において測った透水性は5ルジオンであった。引き続き三次孔TG-4とTG-5では、両方とも透水性4ルジオン前後であった。二次孔で測られた5ルジオンの透水性については、グラウチングの効果によるものか、元々その状態だったのか明らかでないが、三次孔での結果は、2 m以下の間隔で実施すればセメント注入が有効であることを明らかに示している。

27ルジオンの透水性と345 kg/mのグラウト注入量を示したTG-1の15 mから20 m区間に関しても、引き続き二次孔の同じステージでのルジオンテスト結果は1.07ルジオンで、その間の三次孔では1.71ルジオンであった。この結果もまたグラウチングの効果を一層明らかに示すものである。

### 3.5.4 グラウト計画への適用

透水性の低い基盤岩中に不規則にいくつか散在する高い透水性をもつ部分が延びていっていることを考慮すると、カーテングラウチング計画は、確実な注入孔の配置、すなわち1 m間隔の2本の平行線上に2 m間隔で各々互い違いになるような注入孔の配置が適当と考えられる。

### 3.6 試掘横坑

試掘横坑 2 本を A ダムサイトの周辺で掘削した。Fig-E. 3 "LOCATION MAP OF INVESTIGATION" に示すように 1 本をダム軸沿い左岸に (TA-1)、そしてもう一本 (TA-2) をダム軸 A の上流約 220 m の右岸に掘削した。TA-2 の位置は、河床部でダム軸 A によって横切られると思われる At-7 と Ms-7 部層の延長上に当るように決めた。地質の観察、弾性波探査 (直接波) および原位置岩盤試験を試掘横坑内で実施した。

#### 3.6.1 掘削

横坑 TA-1 と TA-2 を Illus. 3.3 "SECTION OF TEST ADIT" に示した断面で各 50 m 掘削した。

TA-1 の掘削は坑口開削を 11 月 15 日に開始し、無支保で 12 月 15 日に予定進度に達した。トンネル部の平均掘削進行は 1 日当り 1.9 m であった。TA-2 の完成後、風化岩より成る坑口から 4 m までと、5 乃至 20 cm 厚の破碎部を挟在する 15 m から 20.5 m の区間に木製支保を施した (Table-E. 3.13 "EXCAVATED ADIT LENGTH" 参照)。坑口から 20 m および 37 m での少量の水の滲出以外には、湧水は見られなかった。

TA-2 は 12 月 22 日乃至 1 月 29 日の期間に掘削した。坑口へ向かって層理が傾斜する、亀裂の多い風化岩より成る坑口乃至 7 m 区間は縫地で掘り、断層粘土を伴う 30 乃至 40 cm 厚の破碎帯を挟在する坑口から 13.5 m 乃至 18 m 区間は支保を建て込みながら掘削した。残りの区間は Table-E. 3.13 に示すように無支保であった。坑口より 46 m 地点での少量の滲出を除いて、湧水は無かった。トンネル掘削に従事した労務者、使用した主要機械および消耗した主な材料を Table-E. 3.14 に示した。発破孔は切羽 1 m<sup>2</sup> 当り 8 乃至 9 孔穿孔した。一般にダイナマイトは掘削 1 m<sup>2</sup> 当り 3.1 kg 用い、雷管は 5 段の段発を使った。

#### 3.6.2 横坑の地質

試掘横坑から得られた地質に関する情報は Fig-E. 15 と E. 16 "GEOLOGICAL SKETCH OF THE TEST ADIT" にまとめて示してある。

TA-1 は、坑口から切羽へ下位から上位層の順に分布する塊状泥岩、中粒乃至細粒砂岩、暗灰色シルト岩およびれき質砂岩より成る Sst 層の下部に掘削された。泥岩は淡緑色で、風化し亀裂の多い外観を呈する。上位の中粒乃至細粒砂岩との境界に沿って、30 cm の厚さを持ち、断層粘土で填充された破碎層が挟在している。

中粒乃至細粒砂岩は灰白色を呈し、粗粒な下部から細粒な上部へと級化成層を成す。最下部は斜交葉理が発達し、小れきとシルト岩の角れき（パッチ）の列なりを含む。この層準の主部は全体としてマッシブな外観を呈するが、数本の亀裂、若干の葉理と亜炭片を含む。上位の暗灰色シルト岩との接触部は漸移的である。暗灰色シルト岩はここでは1.4mの層厚をもち層面迂りを含む。

れき質砂岩は坑口から20mより奥に分布し、三層の単層に区分できる。各単層は一般に下部から上部へ粗粒から細粒へと級化成層を呈し、列状に分布または散在する小れきを含む中粒乃至粗粒砂岩より成る。最下部は小れきの層で、最上部は細成層および葉理の発達した砂岩である。各単層の境界は不整合状を呈する。すなわち、単層の最上部の葉片状砂岩は削刺され、上位単層の最下部の小れき層で埋められている。

TA-2はAt-7部層の下部乃至Ms-7部層の上半部の層準に掘削された。坑口から13.5mまでの区間の岩盤はAt-7部層に属し、上位から下位の層準へ成層した細粒砂岩、塊状泥岩およびパッチ状のシルト岩れきを含む細粒砂岩（角れき岩）より成る。

13.5mより奥は、弱い葉理構造とコンクリーションを含むが、全体にかなりマッシブな外観を呈するMs-7部層の細粒乃至中粒砂岩より成る。両部層は層理面に沿って発達する粘土シームを伴う厚さ30乃至40cmの破碎帯（層面迂り断層）で境される。

### 3.6.3 岩盤等級区分と直接波の速度

3.3.2節で述べたボーリングコア柱伏図の岩盤等級区分を、横坑内岩盤に相応して適用した。直接波の速度は横坑内で、長手方向に2.5m間隔で感震器を設置して測定した。横坑内の岩盤等級区分と測定した直接波の速度を以下に述べる。

横坑TA-1（Fig-E.15参照）の塊状砂岩の主な部分、すなわち坑口からの距離で2.5m乃至16.5mおよび19m乃至切羽まではCH級に分類され、坑口付近の風化岩はCM乃至CL級そして層面迂り断層を含む16.5m乃至19mはCL級に区分される。砂岩は、外観ではかなりマッシブでそれ程多様とは思われないが、地震波の速度は1.7km/秒から3.6km/秒までの広い範囲に及ぶ。

横坑TA-2の岩盤等級区分と地震波速度はFig-E.16に示した通りである。Ms-7部層の中粒乃至細粒砂岩はかなりマッシブで新鮮な外観を呈するゆえ、主にCH級に区分され、対応する地震波速度は2.35km/秒から3.45km/秒の範囲に分布している。At-7部層の岩盤は坑口付近に分布し、風化をうけ亀裂が多い。これらの岩はCMおよび

C<sub>1</sub> 級に区分され、地震波速度は 2.5km/秒であった。両部層の境界はD<sub>1</sub> 級に区分され、1.7km/秒の低速度帯に対応する。

### 3.7 原位置岩盤試験

基盤岩の強度を試掘横坑TA-1とTA-2内での原位置載荷試験およびブロック剪断試験で測定した。試掘横坑は前述したごとくダムサイトAの左岸側ダム軸上および右岸側ダム軸上流約 220m地点に掘削したものである。試験地点の位置は、岩盤の分布とともにFig-E. 15とE. 16に示した。

#### 3.7.1 ブロック剪断試験

ブロック剪断試験は15ブロック行い、その内BS-1乃至BS-10の10ブロックは横坑TA-2内で実施し、残りのBS-11乃至BS-15の5ブロックは横坑TA-1内で実施した。各試験箇所では、緩んだ岩を取り除き十分に掃除した上、岩盤面上に下底の広さ60cm×60cm角、高さ30cmのコンクリートブロックを打設した。

各ブロック毎に油圧ジャッキで、ある一定の垂直荷重を掛けたままもう一方の油圧ジャッキで上流側から押し、ブロック下の岩盤が完全に剪断されるまで徐々に水平荷重を上げていった。垂直方向ならびに水平方向の変位を、最小読み1/100mmのダイヤルゲージで測定した。現場での試験装置具合はFig-E. 17に図示した。また載荷パターン、荷重—変位曲線およびコンクリート打設前と剪断後の岩盤面のスケッチは各ブロック毎にまとめて、Fig-E. 18乃至E. 32に示した。試験岩盤面の検討の為、コンクリート打設前と剪断後の表面の凹凸を測り、等高線図並びに断面図としてFig-E. 33乃至E. 38に載せた。

破壊まで一度試験した後、Fig-E. 39に示した様にブロックNo.12、13、14および15については前と同じ一定の垂直載荷の下に再試験を行った。この2度目の剪断荷重に対する岩盤の残留強度は、結合力のない摩擦強度と考えられるので、この試験を「摩擦試験」とした。

各ブロック毎の破壊点における垂直応力 ( $\sigma$ ) と剪断応力 ( $\tau$ ) の関係を順にプロットした。Fig-E. 40およびE. 41にグラフ化されているが、試験岩盤の種類に従って下記のごとく4グループに分けられた。

- (1) C<sub>1</sub> 級岩盤に区分されるSst 層の塊状れき質砂岩；横坑TA-1内のブロックNo. BS



-11 乃至15で、Fig-E. 40に図示した。

(2) CH級岩盤に区分されるMs-7部層の葉片状中粒砂岩；横坑TA-2内のブロック  
NoBS-5乃至7で、Fig-E. 40に図示した。

(3) CH級岩盤に区分されるMs-7部層の塊状中粒砂岩；横坑TA-2内のブロックNo  
BS-1乃至4で、Fig-E. 41に図示した。

(4) CM級岩盤に区分されるAt-7部層の泥岩と風化岩；横坑TA-2内のブロックNo  
BS-8乃至10で、Fig-E. 41に図示した。

各岩種毎の剪断強度はクーロンの破壊理論に従い、下記の方程式により表わされる  
垂直応力—剪断応力関係図より導いた。

$$\tau = \tau_0 + \sigma \tan \phi$$

ここで、 $\tau$ ：破壊点の剪断抵抗力、すなわち剪断強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\tau_0$ ：垂直応力 $\sigma = 0$ における剪断強度、すなわち結合力 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\phi$ ：内部摩擦角 (度)

$\sigma$ ：破壊点の垂直応力 (kg/cm<sup>2</sup>)

結果は下記のとおりである。

岩 盤	岩盤等級	$\tau_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (度)
(1) Sst層塊状れき質砂岩	CH	9.0	55
(2) Ms-7部層葉片状中粒砂岩	CH	9.0	50
(3) Ms-7部層塊状中粒砂岩	CH	8.0	40
(4) At-7部層泥岩および風化岩	CM	6.5	37

### 3.7.2 載荷試験

鋼板載荷試験は3ヶ所で実施した。すなわち、

試験No.PL-1：横坑TA-2、坑口より42.5m地点、岩盤はMs-7部層の塊状中粒砂岩

PL-2：横坑TA-2、坑口より32.5m地点、岩盤はMs-7部層の葉片状中粒砂岩、

および

PL-3：横坑TA-1、坑口より23.5m地点、岩盤はSst層の塊状れき質砂岩である。

試験容量は以下のとおりである。

直径30cmの載荷板を、緩んだ岩を取り除き掃除した基礎岩の表面に打設した薄いモルタルの上に水平に設置した。垂直荷重は、Fig-E. 42に示した様に油圧ジャッキを使用し、最初6トンまで毎分2トンの割合で圧力を上昇させた後、同じ割合で零まで下げた。そして再び二つ目の頂点の12トンまで同じように上昇させた後、零まで下げ、最終の頂点である28ton までさらに3回繰り返した。Fig-E. 43～45のグラフ "LOAD PATTERN" に示した如く、この様な最終頂点までの繰り返し載荷と除荷をさらに4回行い、底盤の変位を載荷板の上に設置したダイヤルゲージで測定した。

得られたデータから、時間—変位関係曲線および荷重—変位関係曲線を作成し、各地点毎にFig-E. 43～E. 45に示した。接線弾性係数 (Et) と余弦弾性係数 (Es) と各繰り返し頂点毎に、下記の 方程式によって求め、Illus. -3.4にそれぞれ傾斜ⅡおよびⅢとして示されている。

$$E = \frac{(1 - n^2)}{2 a} \times \frac{F}{d}$$

ここで、E : 弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)

a : 載荷板半径 (15cm)

n : ポアソン比 (0.25と仮定)

F : 応力増分 (kg)

d : 変位増分 (cm)

変形係数 (D) は、 Illus. -3.4 の傾斜Ⅰについて弾性係数と同じ方程式で求めた。

計算結果はFig-E. 43乃至E. 45の各表に示した。その要約は下記の通りである。

試験番号	岩 盤	弾性係数 (kg/cm <sup>2</sup> )		変形係数 (D) (kg/cm <sup>2</sup> )
		接線 (Et)	余弦 (Es)	
PL-1	塊状中粒砂岩	14,000	11,400	7,400
PL-2	葉片状中粒砂岩	23,400	24,700	11,100
PL-3	塊状れき質砂岩	22,500	15,900	10,900

### 3.8 室内岩石試験

ボーリングコアより採取した試料で岩石試験を実施した。

#### 3.8.1 試験項目と試料数

Table-E. 3.7 に示した様に3ボーリング孔の11区間から試料を採取した。その試料岩石は以下の5グループに分類される。

##### グループ

- I ダムサイトで多く分布する灰白色塊状中粒乃至粗粒砂岩
- II 数10cm乃至数mの厚さで頻々挟在し、肉眼観察ではダムサイトで最も軟質な岩相と思われる緑色塊状砂質泥岩
- III やや石灰質で頻々層理面迂りを伴い、一般に細成層またはよく葉理の発達した状況を呈する暗灰色シルト岩
- IV 石灰質および硬質で、1m前後の厚さで成層する層内角れき岩
- V 数10cm乃至数mの様々な厚さで成層し、At部層で普遍的に分布する灰色石灰質細粒砂岩

試験項目と試験した試料数はTable-E. 3.15に示した。

#### 3.8.2 試験結果

試験結果はTable-E. 3.16とE. 3.17にまとめられている。

中粒砂岩(グループI)の一軸圧縮強度は風乾状態(NAT)で116.8kg/cm<sup>2</sup>乃至140.9kg/cm<sup>2</sup>、湿潤状態(SAT)で96.5kg/cm<sup>2</sup>乃至106.6kg/cm<sup>2</sup>を示した。砂質泥岩(グループII)の強度は風乾状態では163.9kg/cm<sup>2</sup>乃至261.3kg/cm<sup>2</sup>を示すが、湿潤状態では53kg/cm<sup>2</sup>乃至95.5kg/cm<sup>2</sup>へと顕著に低下することが判明した。試験した緑色砂質泥岩の試料は同種の他の部分に比してむしろ良好な部分で、他の多くは採取後2~3週間で空気中での風化(スレーキング)により自然に細片化してしまった。試験した試料はボーリング孔から採取後直ちにサランラップでくるんだものである。

層内角れき岩と細粒砂岩の石灰質岩(グループIVとV)は、風乾状態での一軸圧縮試験で687kg/cm<sup>2</sup>と高い値を示した。石灰質シルト岩(グループIII)は他の石灰質岩(グループIVとV)と同じぐらい硬質に思われたが、葉理による異方性のため一軸圧縮強度は131.7kg/cm<sup>2</sup>と206.5kg/cm<sup>2</sup>であった。

一覧表に示したその他の結果は、それぞれ試験した岩石の物理的ならびに力学的性

質を示しているが、これらの結果はあくまでも岩片としての性質であり、実際の岩盤全体としての性質を示しているものではない。

### 3.9 テストトレンチ

テストトレンチは全部で4ヶ所掘削した。位置図Fig-E. 3に示すように2溝はBダムサイト（TR-1とTR-2）に掘削、他の2溝はCダムサイト（TR-3とTR-4）に掘削した。また各ダムサイトでは左・右両岸にそれぞれ1溝ずつ配置した。（Table-E. 3.18参照）。

#### 3.9.1 トレンチの目的

テストトレンチの目的は一般に、表土に覆われた地層の分布と状態を明らかにすることであり、上記トレンチの各目的は以下のとおりである。

TR-1：調査ボーリングNoB81-2孔では、段丘Ⅲの堆積物は赤褐色のシルト質土より成り、深度12mで強風化岩層を貫通し、基盤岩へと漸移していた。しかし段丘堆積物と強風化岩層の漸移部分はボーリングコアでは明瞭でなかった。そこでTR-1は段丘堆積物の構成および深度を、漸移部ならびに基盤岩の状態とともに調査することを目的として、段丘Ⅲの河側斜面に掘削した。

TR-2：TR-2は、標高220m以上で約30°の一定した傾きをもち、薄い表土と若干の崖錐で覆われていると思われた右岸側斜面に実施した。これは、調査ボーリングは主に河床や段丘の被りの厚い地域で実施したので、右岸アバットに対してはダムのアバットとしての確認と同時に、被りの厚さと風化状態のチェックのため、テストトレンチにより調査したものである。

Cダムサイトを調査するテストトレンチTR-3とTR-4の目的は、各々上述したTR-1とTR-2の目的と同様である。

#### 3.9.2 トレンチの地質

TR-1：Fig-E. 46に示したように、段丘堆積物は細角れき状組成をもつ赤褐色シルト質ロームより成り、最下部に強風化角れきと小円れきを含む。下位の基盤岩との境界は、標高約249mに当るトレンチの頂点から12mの所で現れた。露出した基盤岩は風化し、黄色を呈する塊状細粒乃至粗粒砂岩、れき岩および泥質砂岩より成る。25mの所に露出したれき岩は、Sst層の最下部のれき岩に当るが層厚がかなり減じている。35m地点より下では、基盤岩は軟質の角れきと小れきを混じた茶色い土より成る厚い

崖錐に覆われている。この含まれている小れきはSst層のれき質砂岩とれき岩に由来するものであろう。

TR-2 : TR-2はBダムサイトの右岸斜面沿いに、長さ42.5m掘削された。その地質断面はFig-E. 46に示した。斜面は約28°の傾斜であり、基盤岩は表土および風化岩角れきと砂質土により、最小数10cm乃至最大数mの厚さで覆われている。基盤岩はAt-3部層に属する、黄色に風化した塊状中粒乃至粗粒砂岩であり、風化し脆弱だが表層からの風化以外には断層のような構造的な乱れは見られない。したがってBダムサイトの右岸アバットではトレンチTR-2の頂点の標高247mまで十分基盤岩が分布していることが確認できた。

TR-3 : Fig-E. 47に示したように、非常に風化した中粒乃至粗粒砂岩の上に段丘Ⅲの貧弱な基底れき層が、標高240mに分布している。下位の砂岩はMs-5部層に属し、茶色でマッシブな外観を呈する。基盤岩の露出したのは10m区間だけで、両側は河側へ向って厚さを増すと思われる崖錐堆積物で覆われている。

TR-4 : TR-4の地質断面もFig-E. 47に示した。このサイトの斜面は平均35°と急で、基盤岩は薄い表土と角れきで覆われている。Cダムサイト右岸アバットの基盤岩はTR-2と同様にして標高270mまで確認できたが、基盤岩は強度に風化したAt-1部層の細粒砂岩、角れき岩および泥質砂岩より成り、TR-2サイトの岩盤よりも風化が激しく、亀裂が多い。

## IV 調査の結論

### 4.1 総論

調査およびその結果等につき前章Ⅲで記述してきたが、この章で地質の分布ならびに土木地質的特徴等について得られた結論を総括することとする。

### 4.2 ダムサイトの地質

今までの成果を含めた層序学的結論はFig-E. 2 "GEOLOGICAL MAP AND SECTION OF DAMSITE" に示した。全体的には、ダムサイトの基盤岩はBst層とSst層より成り、その内Bst層は互層するAt部層とMs部層の16部層、すなわち下部から上部へ各々At-0乃至At-7と番号を付けた8枚のAt-部層ならびにMs-1乃至Ms-8と番号を付けた同数のMs部層より成る。

#### 4.2.1 Aダムサイト

Aダムサイトのダム軸に沿った地質断面図は地質断面図A-A'としてFig-E. 2に示した。

左岸上には中位段丘が厚く広く発達しており、段丘上で穿孔したボーリングB81-10は深度37.6mにて着岩した。ボーリングB81-1は同じく中位段丘上で深度30mまで穿孔したが、依然としてシルト、砂およびれきより成る段丘堆積物であった。この広く厚い被覆層が、他の比較地点と比べてAダムサイトの短所となっている。左岸側の中位段丘下の基盤岩はSst層より成る。

河床部で、ダム軸上両岸から河床巾の約1/4地点で穿孔したボーリング孔B80-1とB80-2は各々深度16.2mと17.8mで着岩した。しかしながら、2.2km/秒速度層と2.8km/秒速度層の境界が河床堆積物と下位の基盤岩との境いに相当すると考えられる弾性波探査の解析結果によると、河道の中央部で基盤岩は深度約30mまで下っているものと思われる。

河道から右岸に至る部分では、基盤岩はBst層のAt-4乃至Ms-8部層より成り、その内Ms-6とMs-7部層の塊状砂岩はやや脆弱で、At-4部層の岩盤はかなり堅硬と思われる。

#### 4.2.2 Bダムサイト

Bダムサイトのダム軸に沿った地質断面は、地質断面図B-B'としてFig-E. 2に示した。

このサイトの土木地質的に有利な特徴は、Aダムサイトと比較して左岸上の中位段丘の分布が小さくなっていることである。一方短所として、弾性波探査の2.2km/秒速度層の底で示唆されるように、河床砂れき堆積物はAダムサイトより厚いものと思われる。ボーリング孔B81-11によると、河床堆積物の厚さはダム軸上の河川中央で30.5mであったが、弾性波探査測線SL-10（ダム軸沿い）の解析では最も厚い部分で30数mと表れている。また約140m下流で穿孔され、深度36mでも着岩しなかったボーリング孔B81-6の結果から判断すると、河床砂れき堆積物の厚さは下流方へと増しているものと思われる。ダムサイトの基盤岩は塊状れき質砂岩（Sst層）より成る左岸端部を除いて、Bst層のMs部層とAt部層より構成されている。河床堆積物の下のAt-4とMs-4部層はボーリングB81-13とB81-15では堅硬な岩盤であった。しかし右岸側でAt-3部層の岩盤中を穿孔したボーリング孔B81-3では、厚さ0.5乃至2.0mのいくつかの破碎帯が出てきた。

#### 4.2.3 Cダムサイト

Cダムサイトのダム軸沿いの地質断面はFig-E. 2に地質断面図C-C'として示した。

左岸側の低位および中位段丘は、このダムサイトではBダムサイトよりもより広く分布している。すなわちダム軸上でBダムサイトの234mに対して283mの幅をもつ。中位段丘堆積物と下位の基盤岩との境界面は、弾性波探査測線SL-11の解析結果での0.8km/秒と1.8km/秒速度層の境界から考えると、標高200m乃至210mにあるものと思われる。

またCダムサイトは、Bダムサイトの下流400mに位置している関係上、ダムサイトの河床堆積物の深度はBダムサイトにおける深度よりも浅いとは思われない。

基盤岩はFig-E. 2に示した様に、At-1部層乃至At-5部層の層準よりなっており、右岸側では、層理面沿いに薄い粘性粘土の挟在が目立つ。

基盤岩、段丘および河床堆積物の現われ方に関して、CダムサイトはBダムサイトに類似してはいるが、土木地質学的にみて、これらの全ての点でBダムサイトよりも

劣っている。

#### 4.3 土地地質

ダムサイトの土地地質的状况をこの節で述べているが、物理的性質、強度、透水性およびグラウト効果に関する亜節4.3.4と4.3.5は専ら、ダム基礎としての基盤岩に関して述べたものである。

##### 4.3.1 未固結堆積物

###### (1) 表土

主としてシルト質土より成り、厚さは大体1 m以下である。有機質物を含む。この層はダムの基礎掘削では除去されるべき層である。

###### (2) 崖錐堆積物

崖錐堆積物は未固結の土と角れきの混った堆積物で、斜面の部分に局部的に形成されている。この堆積物もダム基礎から除去されるべきものである。

###### (3) 河床堆積物

現河道を埋積する砂れき堆積層は市約200 mで、最厚層部での厚さ約30 mである。砂は一般に細粒で、れきは黒雲母石英片麻岩、珩岩、片岩状砂岩、粘板岩および石灰質岩石より成り、よく円磨され硬質である。大きさは主として直径2 cm乃至10 cmで、拳大乃至人頭大のものを頻々含む。

河床堆積物はフィルタイプダムの外側のシェル部の基礎として、十分な地耐力を持つものと考えられる。しかしながら、透水性は大きく、フィルダムの遮水部は河床堆積物を掘削して基盤岩に着けるか、さもなければ河床堆積物を通して、基盤岩に達する止水壁を構築しなければならない。コンクリート重力式ダムの基礎としては、河床堆積物を基盤岩まで掘削する必要がある。

###### (4) 段丘堆積物

この層は左岸側に発達し、現河道にほぼ平行な地帯を形成し、旧河道と思われる部分的な凹みと、平坦な基盤より成る地域を覆っている。堆積物は粘土、シルト、砂およびれきより成り、40 m以上の最大層厚と100 m乃至450 mの幅をもって、標高110 m以上の所に形成されている。土地地質的に、段丘堆積物は河床堆積物と同様な方法で取り扱うことになる。



#### 4.3.2 残積土および強風化岩

このゾーンでは基盤岩は極度に風化し、軟質で壊れやすく、さらに密な土の状態にまでなっている。この変質の度合はこのゾーンの底部から表層へ向かって強くなっている。

左岸の標高 240 m 乃至 250 m の平坦な丘の上には、この地層が 6 m 乃至 10 m を越える厚さで発達している。フィルダムの遮水壁材料の土質試験によれば、赤褐色の残積土は 15 乃至 40 パーセントの粘土と 40 パーセントまでの砂を含んでいる。砂は母岩の違いをよく反映して粒子分布はかなり地域的な変化に富む。強風化岩は、調査ボーリング B81-12 に見られるように段丘堆積物の下にも分布している。

残積土および強風化岩は強度的に不十分で、コンクリート重力式ダムの基礎としては耐え得ない。またフィルダムの遮水壁ゾーンの基礎としても、この部分は風化変質の程度の不連続な部分から漏水路が出来、パイピングを引きおこし易いため、除去しなければならないが、フィルダムの外側のシェル部の基礎にはなり得る。また、このゾーンに対するセメント注入の効果は期待し難い。

#### 4.3.3 風化岩盤

黄灰色の脆弱化した岩より成る風化岩帯は、残積土および強風化岩帯の下部で基盤岩の表層部に発達する。厚さは 1 m から 7 m までと場所により変化する。一般に両岸斜面のより高い所ではより厚くなる。場所によってはこのゾーンは欠除し、新鮮な岩盤がそのまま露出するか、もしくは未固結堆積物に直接接している（河床部のボーリング B81-11、段丘堆積物を穿孔した B81-9 孔、TG-1 孔および他のテストグラウチング孔）。

風化岩帯は強度的に不十分で、コンクリート重力式ダムの基礎としては十分でない。またフィルダムの場合でも基礎からの高さが大きい部分では風化岩はセメントグラウチングによる止水工が簡単には出来ないのが好ましくない。フィルダムの外側のシェルゾーンの基礎や低いフィルダムの基礎としては可能である。

#### 4.3.4 基盤岩の物理的性質と強度

室内岩石試験結果は Table-E. 3.17 に示した。この一覧表には、表面に亀裂や割れ目のない、固い試験片の状態における岩石の物理的性質と強度が表わされている。

基盤岩としての強度は、試掘横坑 TA-1 と TA-2 における原位置載荷試験とブロック剪

断試験によって測定した。3.7節で述べたように、測定された弾性係数（ $E_s$ ）、変形係数（ $D$ ）、結合力（ $\tau_0$ ）および内部摩擦角（ $\phi$ ）は下表のような値を示した。

岩 石	弾性係数 $E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	変形係数 $D$ (kg/cm <sup>2</sup> )	結合力 $\tau_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (度)
(1) 塊状れき質砂岩	$1.6 \times 10^4$	$1.1 \times 10^4$	9.0	55
(2) 葉片状中粒砂岩	$2.5 \times 10^4$	$1.1 \times 10^4$	9.0	50
(3) 塊状中粒砂岩	$1.1 \times 10^4$	$7.4 \times 10^3$	8.0	40
(4) 泥岩および風化岩	(試験せず)		6.5	37

ダム軸Aの基盤岩はFig-E. 2に示されるように右岸側より左岸に向かって順にBst層のMs-5、At-5、Ms-6、At-6、Ms-7、At-7、およびMs-8の各部層と最も左岸側の塊状のSst層に至る8枚の層準より成る。

Sst層の強度はれき質砂岩で測定した強度で代表しうると思われる。したがって、Sst層の剪断強度は、

$$\tau = 9.0 + \sigma \tan 55^\circ \quad (\text{kg/cm}^2)$$

ここで、 $\sigma$ は垂直応力(kg/cm<sup>2</sup>)を表す。

Ms-5、Ms-6、Ms-7、およびMs-8部層の岩は、試験した中粒砂岩または葉片状砂岩と同等と思われる。したがって、Bst層のMs部層の剪断強度は、

$$\tau = 9.0 + \sigma \tan 50^\circ \quad (\text{kg/cm}^2)$$

または

$$\tau = 8.0 + \sigma \tan 40^\circ \quad (\text{kg/cm}^2)$$

と表される。

At-5、At-6、At-7の各部層は石灰質角れき岩、砂岩、シルト岩、泥岩および薄いそれらの中間物といった様々な岩種よりなる。At部層は剪断面が容易に形成されそうな頻繁な層理と葉理によってよく特徴づけられる一方、室内試験によると圧縮強度が他の岩石の1.3乃至5倍も大きい硬質な石灰質岩石によってかなりの部分が構成されている。こういった状況から言えることは、At部層での剪断に対する抵抗力は、層理面または泥岩のような最も脆弱な層での剪断強度によって大半が決定づけられてしまうということである。層理面に沿った剪断に関しては、試験をして結合力9.0kg/cm<sup>2</sup>および内部摩擦角50°を示した葉片状砂岩の強度に状態が類似しているよ

うに思われる。また、泥岩での試験は結合力  $6.5 \text{ kg/cm}^2$  および内部摩擦角  $37^\circ$  と測定された。ただし、この試験では剪断面が、岩盤ではなく、下の岩盤と十分に接着していなかったと思われるコンクリートの試験ブロックの底面に発達していることを考えると、この値は実際よりもやや低く出ているものと思われる。

従って、At 部層の剪断強度は下記の範囲内の様々な値をとるものと思われる。

$$\text{剪断強度 } \tau = 9.0 + \sigma \tan 50^\circ \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\text{および } \tau = 6.5 + \sigma \tan 37^\circ \quad (\text{kg/cm}^2)$$

以上の結果より、コンクリート重力ダムの滑動に対する安全の計算に当って、結合力 ( $\tau_0$ ) に  $8.0 \text{ kg/cm}^2$  をして内部摩擦角 ( $\phi$ ) に  $40^\circ$  を採用するのが適当であろう。

この結果は、同じ地層に位置しているBおよびCダムサイトにも適用しうる。

#### 4.3.5 基盤岩の透水性とグラウト効果

基盤岩のルジオンテスト（水押し試験）を17孔112区間で実施した。その試験結果はTable-E. 3.9に示してある。3.4節で述べたように、ダムサイトの基盤岩は総じて、マッシュで透水性が低い。このことは、試験区間の67パーセントが4ルジオン以下であることから示唆されている。10ルジオン以上の区間は散在する程度で17パーセントに過ぎない。

Bダムサイト左岸で実施したテストグラウチングは、2 m区間で配置した孔でのセメントグラウチングが基盤岩の透水性を効果的に減少させ、4ルジオン以下の十分な水密さを獲得できることを示している。全グラウチングの平均のグラウト注入量は、孔長1 m当り、重量にして25.4 kgのセメントであった。

## V 今後の地質調査

詳細設計段階で、以下の地質調査が必要と考えられる。

### 5.1 ダムサイト

河床砂れきの深度に関しては、河道中央部で20 mから36 m以上もの部分的変化を示すところから、選択されたダムサイトで、詳細設計のためにより精度の高い確認が必要と思われる。段丘堆積物下の基盤岩表面も不規則形状を成すものと思われ、より詳しく調べることが必要である。高い擁壁や余水吐、取水施設、発電所等の主要付帯構造物の基礎も、基盤岩の深度を明らかにし、強度を判定するために、調査を実施しなければならない。このため、透水係数の測定を含む調査ボーリングが河床、段丘および主要構造物の基礎で必要となる。

調査ボーリングの実施に当たって、フィージビリティ調査の経験より、深い砂れき層の穿孔がかなり困難で時間を要する仕事であることと、河床での穿孔の作業期間が低流量期の4ヶ月間、すなわち12月から4月上旬に限られていることを考慮しなければならない。したがって、詳細設計段階での調査ボーリングは2乾季を要するか、さもなくば一度に6～7台のボーリング機械を投入することになると思われる。

選定されたダムサイトでの基盤岩の、原位置での剪断強度と地耐力の確認が重力式コンクリート構造物、とりわけ高さ約60 m巾126 mで計画されている余水吐堰の安定解析に必要なものとなる。したがって、基盤岩を検査するとともに原位置岩盤試験（載荷試験とブロック剪断試験）を実施するため、選定されたダムサイトに調査横坑の掘削が必要となる。

岩石試料での室内試験は、原位置岩盤強度の測定の補助的な資料となるので実施が望まれる。

テストトレンチとテストピットは岩盤状態と分布を調べるのに、露頭とボーリングコアの観察につけ加える補助的な手段として有効であるため実施することが望ましい。

テストグラウチングも、フィージビリティ調査で実施されたテストで、グラウチングの有効性と注入量はそれ程多くないことが既に判明しているが、基礎のグラウチングの設計のより詳細な資料を得るには再度実施することが望ましい。

必要と考えられる地質調査項目を下表に示した。また調査ボーリングと試掘横坑の必

要と思われる位置をFig-E.48 " FUTURE INVESTIGATION PLAN " に図示した。

調査項目	数 量
1. 調査ボーリング	20孔 総延長 1,000m
2. 孔内透水試験	20孔 計 180ステージ
3. 調査横坑掘削	2坑 総延長 100m
4. 原位置岩盤試験 载荷試験	4箇所
ブロック剪断試験	16ブロック
5. テストレンチ掘削	総延長 約 200m
6. 室内岩石試験	40試料
7. テストグラウチング	1箇所：10孔 総延長 500m

## 5.2 その他のサイト

ダムサイト以外では下記の調査が必要である。

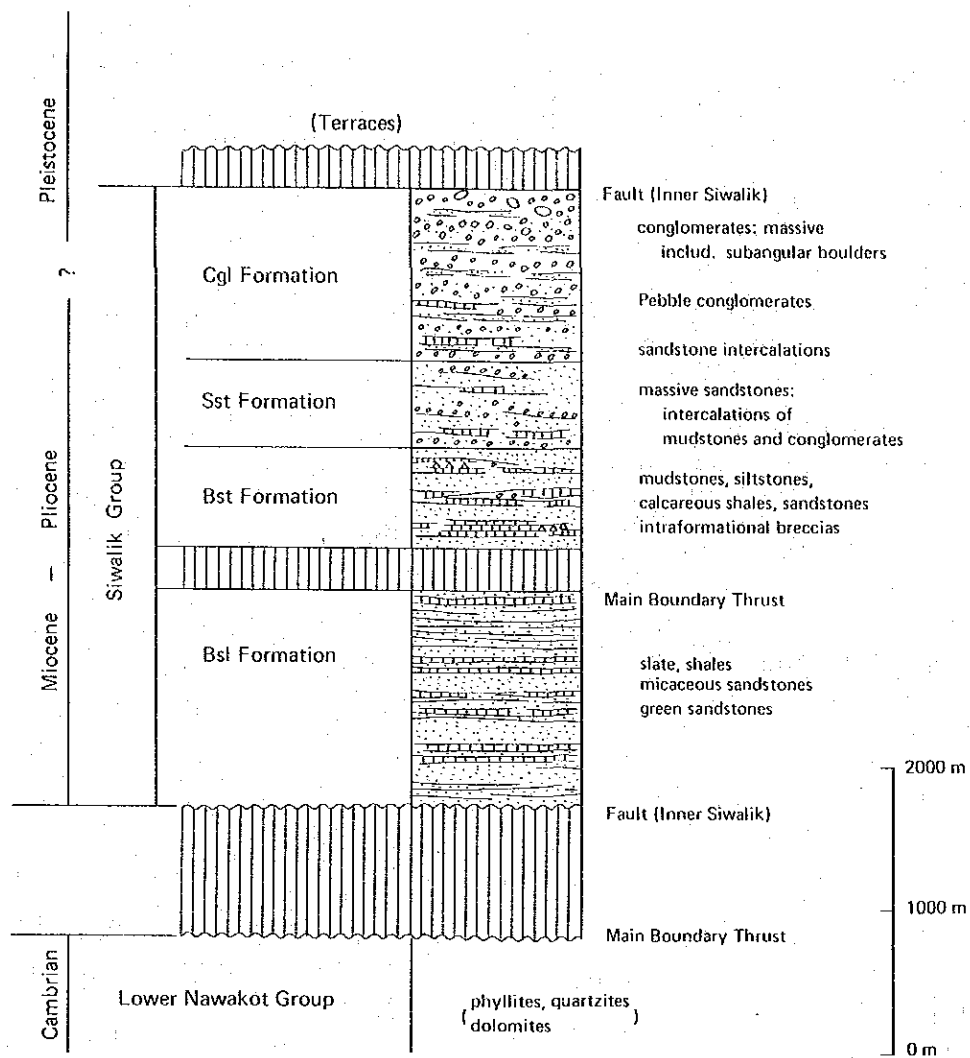
- (1) 原石山地域および付替え道路と送電線沿いの地表踏査
- (2) 原石山地域および付替え道路沿いと送電鉄塔地点の地質図作成
- (3) 地表踏査で必要と考えられた地点での調査ボーリングおよびスウェーデン式サウンディングまたは、オランダ式二重管貫入試験



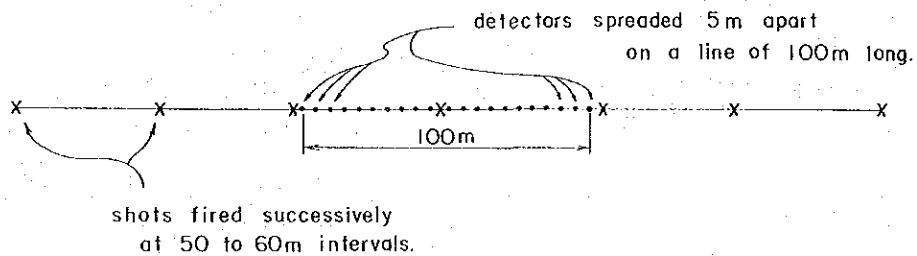
# ***ILLUSTRATIONS***







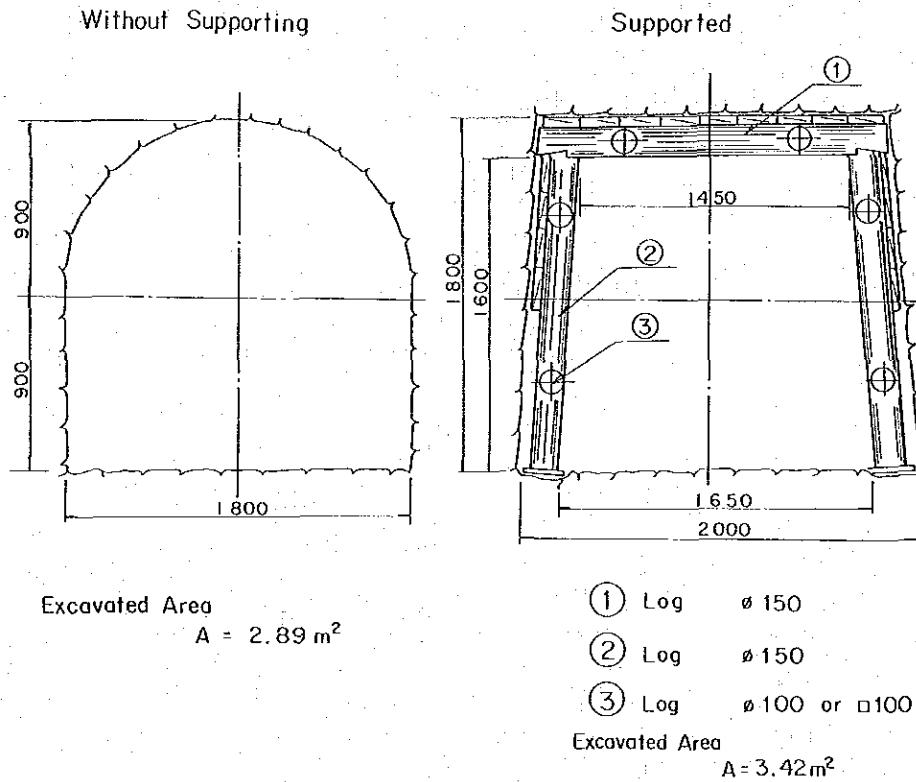
Illus.-2.1: STRATIGRAPHY OF THE RESERVOIR AREA GEOLOGY



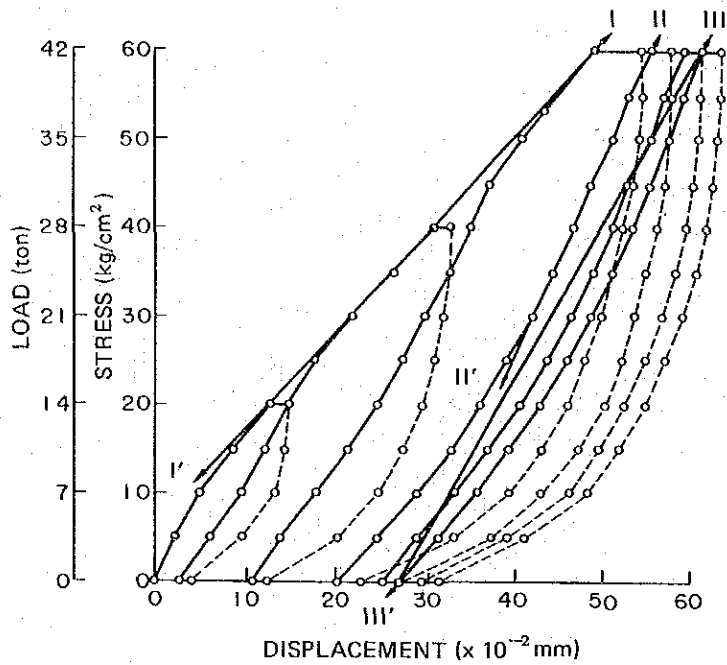
Illus.-3.1: TYPICAL REFRACTION PROFILE

DEPTH (m)	STAGE NO.	GROUTING PRESSURE (kg/cm <sup>2</sup> )	WATER PRESSURE TEST PRESSURE (kg/cm <sup>2</sup> )
0 -			
5 -			
10 -	<u>1st Stage</u>	1.25	1 → 1.75 → 1
15 -	<u>2nd Stage</u>	2.5	1 → 2.5 → 1
20 -	<u>3rd Stage</u>	3.75	1 → 2.5 → 3.75 → 2.5 → 1
25 -	<u>4th Stage</u>	5.0	1 → 3 → 5 → 3 → 1
30 -	<u>5th Stage</u>	6.25	1 → 3.5 → 6.5 → 3.5 → 1

Illus.-3.2: PRESSURE OF GROUTING AND WATER PRESSURE TEST



Illus.-3.3: SECTION OF TEST ADIT



- I - I' : The Modulus of Deformation (D)
- II - II' : The Modulus of Elasticity on the Tangential Slope ( $E_t$ )
- III - III' : The Modulus of Elasticity on the Secant Slope ( $E_s$ )
- Application of Load
- -○- - Relaxation of Load

Illus.-3.4: ILLUSTRATION OF LOAD-DISPLACEMENT CURVE



## ***TABLES***



Table-E.3.1: GEOLOGICAL SURVEY ITEMS

<u>Survey Item</u>	<u>Quantity</u>
i. Geological mapping:	
Reservoir area (1:10,000 in scale)	100 km <sup>2</sup>
Damsite (1:2,000 in scale)	1.8 km <sup>2</sup>
ii. Core drilling in the damsite	21 holes, 941.5 linear meter in total
iii. Permeability test in the bore-holes	20 holes, 116 stages in total
iv. Seismic refraction prospecting	
Damsite	17 profiles, 9.75 km in total
Borrow area	4 profiles, 2.6 km in total
v. Test aditting	2 adits, 100 linear meters in total
vi. In-situ rock tests	
Plate loading test	3 points
Block shear test	15 blocks
vii. Test grouting in one site	7 holes, 170 linear meters in total, grouted in 21 stages Lugeon tested in 26 stages
viii. Test trench for geological ovservation	4 trenches, 146 linear meters in total
ix. Rock test in laboratory	34 pcs.

Table-E.3.2: ACTUAL PROGRESS OF FIELD WORKS ON GEOLOGICAL SURVEY

Survey Item	1981												1982			
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	
Geological Mapping	---	---							---			---	---	---	---	
Seismic Refraction Prospect.												---	---	---	---	
Core Drilling												---	---	---	---	
Permeability Test												---	---	---	---	
Test Grouting												---	---	---	---	
Test Adit Excavation												---	---	---	---	
In-situ Rock Test														---	---	
Test Trench Excavation														---	---	

Table-E.3.3: SEISMIC REFRACTION PROSPECTING; LENGTH AND LOCATION OF PROFILE LINE

Line No.	Length (m)			Site
	On Land	In the River	Total	
SL - 1	605	195	800	Damsite A
2	310	190	500	Damsite A
3	300	-	300	Damsite A
4	200	-	200	Damsite A
5	200	-	200	Gravel Deposit A
6	500	-	500	Damsite A
7	200	-	200	Damsite A
8	400	-	400	Damsite A
9	250	-	250	Damsite A
10	935	170	1,105	Damsite B
11	860	140	1,000	Damsite C
12	600	-	600	Damsite B, C
13	1,000	-	1,000	Damsite B, C
14	300	-	300	Damsite A
15	760	140	900	Damsite B
16	630	170	800	Damsite C
17	705	-	705	Damsite B, C
SLG - 1	1,100	-	1,100	Gravel Deposit B
2	1,000	-	1,000	Gravel Deposit B
3	305	-	305	Gravel Deposit B
4	310	-	310	Gravel Deposit B
<b>Total 21 Lines</b>	<b>11,470</b>	<b>1,005</b>	<b>12,475</b>	

Note: See Fig.-E.3 for each site



Table-E.3.4: MAIN INSTRUMENTS AND MATERIALS USED

Item	Name	Description	Quantity
Amplifier	OYO: TR-4-24	24-channel	1 No.
Field Graph	OYO; Model-1230	25-trace	1 No.
Detector	HALL-SEARS; HS-J	14 Hz	30 Nos.
Blaster	KOKUTO RIKEN; GB-105		4 Nos.
Takeout Cable	GT-12	12-channel	4 rolls
Relay Cable	GR-24	24-channel	3 rolls
Linagraph	KODAK; Type 1895	SPEC 2	23 rolls
Dynamite			218.4 kg
Detonator			801 pcs

Table-E.3.5: LAYERED VELOCITIES AND CORRELATIVE GEOLOGY

I. Damsite

Zoning	Velocity (km/sec)	Correlative Geology
1st layer*	0.3 to 0.5	Top soil, talus deposits and surfacial loose layer of terrace deposits
2nd layer	0.5 to 0.8	Unconsolidated clay, silt, sand and gravel; terrace deposits, residual soil and decomposed rocks
3rd layer	0.7 to 1.3	
4th layer	1.6 to 2.2	Saturated and deep terrace deposits, saturated sand and gravel deposits in the riverbed and weathered rocks
5th layer**	2.6 to 3.0	Bedrock; soft rocks
	3.1 to 3.8	Bedrock; moderately hard and solid rocks

II. Gravel Deposit B Site

Zoning	Velocity (km/sec)	Correlative Geology
1st layer*	0.3 to 0.4	Top soil, silty soil
2nd layer	0.4 to 0.6	Loose sand and gravel
3rd layer	1.1 to 1.4	Loose } ↑↓ } Saturated sand and gravel Dense }
4th layer	1.6 to 1.9	
5th layer	2.2 to 2.5	
6th layer**	2.5 to 3.5	Cemented conglomerates and/or bedrock (Inferred)

\* Uppermost low-speed layer

\*\* Deepest layer



Table-E.3.7: LIST OF ROCK SAMPLES FOR LABORATORY TEST

Hole No.	Location	Depth (m)	Rock Name	Strata
B81-5	Damsite B Left bank	10.4 - 10.75	Medium Sandstone	MS-6 Member
		16.0 - 16.6	Medium Sandstone	
		21.55 - 22.0	Dark-gray Siltstone	
		25.1 - 26.0	Yellowish Sandstone	
B81-14	Damsite C Left bank	31.4 - 31.95	Breccia (Calcareous)	At-5 Member
		6.2 - 7.0	Medium Sandstone	
		13.0 - 13.55	Fine Sandstone (Calcareous)	
		21.0 - 21.45	Medium Sandstone	
		29.0 - 29.5	Sandy Mudstone	
TG-4	Damsite B Left bank	7.6 - 8.0	Dark-gray Siltstone	At-5 Member
		9.0 - 10.0	Sandy Mudstone	

Table-E.3.8: APPLIED PRESSURE IN  
THE WATER PRESSURE TEST

Depth (m)	Overburden Pressure (kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>/1</sup>	Stage No. <sup>/2</sup>	Applied Pumping Pressure <sup>/3</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	1	1 → 2 → 1
5	1.25	2	1 → 2 → 3 → 2 → 1
10	2.5	3	1 → 2.5 → 4 → 2.5 → 1
15	3.75	4	1 → 3 → 5 → 3 → 1
20	5.0	5	1 → 3 → 5 → 7 → 4 → 2
25	6.75	6	2 → 4 → 6 → 8 → 5 → 3
30	7.5	7	2 → 4 → 7 → 9 → 6 → 3
35	8.75	8	
40	10.0	9	2 → 5 → 8 → 10 → 7 → 3
45	11.25	10	(The same pattern was applied in the stages from 8th to 12th)
50	12.5	11	
55	13.75	12	
60	15.0		

Remarks: /1; The density of overburden is assumed as 2.5 g/cm<sup>3</sup>.

/2; The section length of a stage was fixed in five meter in general.

/3; Pressure was varied from left one to right one in the same stage.

Table-E.3.9: LUGEON TEST RESULTS

(Unit in Lugeon)

Depth (m)	Bore - holes on Left Bank					in River Channel					on Right Bank					Stage Average		
	B81-3	B81-9	B81-12	B81-2	B81-5	B81-4	B81-7	B81-18	B80-1	B80-2	B60-5	B80-13	B81-4	B81-8	B81-3		B81-17	B81-16
0																		0.6
5					0.6													40.3
10					0.1								1593	1.0	0.71			4.03
15		7.4			0.4	2.8		3.2					104	1.1	2.33	2.4		4.03
20	1.75	4.7	3.4	9.0	1.04	3.6		3.68		17.7			2.8	3.3	2.45	1.2	4.91	4.58
25	1.59	5.9	2.2	13.08	0.64	22.2	13.48	2.54		3.13		119.5	16.1	7.2	1.28	0.8	10.2	14.6
30	1.49	5.8	9.9	0.69	1.69	6.5	0.63		6.64	5.6			2.3	7.6	1.83	1.14	6.88	4.19
35	8.29	8.2	11.0	0.53	10.78	0.2	6.8	3.6	3.15	3.49	0.34	0.05	2.3	20.4	2.3	1.08	12.5	9.98
40		8.1	12.2	0.31	0.89	0.6	1.78	0.98	6.57	4.97	0.39	0	10.4	2.22	2.07	0.62	2.46	3.41
45			2.1	1.1	1.14	0.02	0.9				0.32	0.05			4.66	1.88	6.44	1.86
50			1.1	1.18	1.18	0	7.28	1.88			0.55	0.15			1.62	2.04	16.75	3.07
55			1.3															1.3
60			1.3															1.3
Average	21.9	6.68	4.94	3.70	2.22	3.66	5.14	2.65	5.45	4.30	3.86	23.9	27.3	6.12	2.14	1.39	8.59	7.35

Table-E.3.10: PERMEABILITY OF TERRACE DEPOSIT AND RIVERBED DEPOSIT

No.	Borehole No.	Depth (m)	Geology	Method	L (cm)	r (cm)	H (cm)	$\frac{Q}{r^2}$ (cm <sup>3</sup> /sec)	k (cm/sec)
1	B81-1	0 - 19.0	T1	P	1,900	4.3	950	263.3	$1.41 \times 10^{-4}$
2	B81-10	36.2 - 37.6	T2	P	140	3.3	620	683.3	$4.69 \times 10^{-3}$
3	B81-13	5.0	R	O	-	5.08	200	8.3	$1.5 \times 10^{-3}$
4	B81-13	10.0	R	O	-	5.08	1,060	196.7	$6.65 \times 10^{-3}$
							2,060	296.7	$5.16 \times 10^{-3}$
							3,060	503.3	$5.89 \times 10^{-3}$
							Average	5.9	$5.9 \times 10^{-3}$

Note: Geology: T1 = Terrace deposit of sandy site with scattered pebbles, cobbles and boulders.

T2 = Terrace deposit of sand and gravel.

R = Riverbed deposit.

Method: P = The pumping-in test; O = The open-end pipe test (see report discussion in the Section 5.4.1)

L = The length of test section.

r = The radius of hole tested or the internal radius of casing.

H = The differential head of water;  $H = H$  (gravity) +  $H$  (pressure).

Q = The constant head of flow into the hole.

k = The permeability.

Formulas for the tests: (1) Method P:  $k = \frac{Q}{2\pi L \cdot H} \log_e \frac{L}{r}$  (2) Method O:  $k = \frac{Q}{5.5 r \cdot H}$

Table-E.3.11: WATER TABLE OBSERVED IN BOREHOLES

Hole No.	Completion of Drilling	Water Table Elevation on the Date of					
		Completion	Feb. 26	Mar. 8	Mar. 18	Mar. 27	Apr. 7
B81-1	Nov. 6, '81	(Dry in deep at the bottom EL.202.46 m)					
B81-2	Feb. 10, '82	244.0	243.2	243.1	242.85	239.75	239.3
B81-3	Mar. 17, '82	198.95	-	-	198.6	195.5	195.25
B81-4	Dec. 4, '81	221.2	204.9	204.7	204.2	203.95	203.95
B81-5	Feb. 21, '82	221.7	225.85	224.7	224.5	224.25	223.9
B81-6	Mar. 26, '82	(Drilled in the river)					
B81-7	Mar. 3, '82	229.2	-	-	217.5	222.6	222.5
B81-8	Nov. 23, '81	201.5	197.0	196.9	196.6	196.5	195.9
B81-9	Nov. 3, '81	195.8	-	-	-	-	-
B81-10	Dec. 27, '81	194.6	-	-	-	-	-
B81-11	Feb. 21, '82	(Drilled in the river)					
B81-12	Jan. 28, '82	221.2	221.1	220.65	220.2	219.8	219.4
B81-13	Apr. 9, '82	(Drilled in the river)					
B81-14	Jan. 4, '82	197.2	195.35	195.45	195.2	195.1	194.85
B81-15	Apr. 9, '82	(Drilled in the river)					
B81-16	Mar. 31, '82	217.6	-	-	-	-	217.0
B81-17	Mar. 24, '82	185.7	-	-	-	185.4	185.4
B81-18	Apr. 10, '82	198.9	-	-	-	-	-
IG-6	Mar. 5, '82	190.9	-	190.5	190.5	190.4	190.4

Note: 1) Unit in meter

2) -; Not measured

3) The borehole B81-8 encountered confined ground water at the depth of 32 m (Head = 36.5 m).

Table-E.3.12: TABLE OF TEST GROUTING RESULTS

Sequene of Grouting	Primary Holes			Secondary Hole	Tertiary Holes			Check Holes			Whole Average	
	Hole No.	TG-1	TG-2		Average	TG-3	TG-4	TG-5	Average	TG-6		TG-7
(Lugeon Test)	(Stage No.)											
	1st Stage; 5 to 10 m, 1.25 kg/cm <sup>2</sup>	137.9	720	429.0	5.0	4.2	3.8	4.0	1.2	-	1.2	145.4
	2nd Stage; 10 to 15 m, 2.5 kg/cm <sup>2</sup>	3.2	3.7	3.5	2.6	2.6	3.0	2.8	0.07	0.2	0.14	2.2
	3rd Stage; 15 to 20 m, 3.75 kg/cm <sup>2</sup>	26.9	1.5	14.2	1.1	1.7	2.2	2.0	0.2	0.1	0.15	4.8
	4th Stage; 20 to 25 m, 5 kg/cm <sup>2</sup>	2.5	1.8	2.2	1.2							1.8
	5th Stage; 25 to 30 m, 6.5 kg/cm <sup>2</sup>	1.4	1.6	1.5	0.9							1.3
Hole Average	34.4	145.7	90.1	2.2	2.8	3.0	2.9	0.5	0.15	0.5	(31.1)	
(GROUT TAKE)	1st Stage; 5 to 10 m, 1.25 kg/cm <sup>2</sup>	309.6	164.3	237.0	3.6	30.6	2.3	16.5				102.1
	2nd Stage; 10 to 15 m, 2.5 kg/cm <sup>2</sup>	5.9	3.7	4.8	2.3	1.4	1.8	1.6				3.0
	3rd Stage; 15 to 20 m, 3.75 kg/cm <sup>2</sup>	1,212.4	11.4	612.1	7.2	1.8	4.5	3.2				247.5
	4th Stage; 20 to 25 m, 5 kg/cm <sup>2</sup>	18.9	4.5	11.7	4.5							9.3
	5th Stage; 25 to 30 m, 6.5 kg/cm <sup>2</sup>	2.7	64.3	33.5	2.3							23.1
	Hole Average	309.9	49.7	179.8	4.0	11.3	2.9	7.1				(88.6)
(Cement kg/m)	1st Stage; 5 to 10 m, 1.25 kg/cm <sup>2</sup>	107.7	49.5	78.6	0.4	9.2	0.7	5.0				33.5
	2nd Stage; 10 to 15 m, 2.5 kg/cm <sup>2</sup>	0.7	0.6	0.7	0.7	0.4	0.5	0.5				0.6
	3rd Stage; 15 to 20 m, 3.75 kg/cm <sup>2</sup>	345.3	1.4	173.4	0.9	0.6	1.4	1.0				69.9
	4th Stage; 20 to 25 m, 5 kg/cm <sup>2</sup>	2.3	0.5	1.4	1.4							1.4
	5th Stage; 25 to 30 m, 6.5 kg/cm <sup>2</sup>	0.3	7.7	4.0	0.7							2.9
	Hole Average	91.3	11.9	51.6	0.8	3.4	0.9	2.2				(25.4)



Table-E.3.13: EXCAVATED ADIT LENGTH

Adit No.	Portal		Tunnel						
	N Nos.	L m	UL m	Substituted		Fore poling		TL m	TV m <sup>3</sup>
				N Nos.	L m.	N Nos.	L m.		
TA - 1	1	1.5	40.5	9	9.5	0	0	50.0	150
TA - 2	2	2.0	38.5	4	4.5	8	7	50.0	150

Note: N : Number of supports                      L ; Tunnel linear length  
 UL: Unsupported section linear length  
 TL : Total linear length                      TV ; Total excavated volume

Table-E.3.14: LABORERS, EQUIPMENTS AND MATERIALS FOR TEST ADIT EXCAVATION

<u>Item</u>	<u>Description</u>	<u>Quantity</u>
<u>A. Laborers engaged</u>	Drillers	314 Man-days
	<u>Common Labors</u>	<u>500 Man-days</u>
	Total	814 Man-days
<u>B. Equipments used</u>		
1. Air-compressor	HOKUETSU; PDR-370, 10.5 m <sup>3</sup> /min;	1 No.: 150 Hours
2. Leg Drill	FURUKAWA; 322D-LB56	2 Nos: 133 Hours
3. Pick Hammer	FURUKAWA; CA-7	2 Nos
4. Generator	YMG-35; 110 V, 3 kVA	1 No.: 377 Hours
5. Water Tank	0.3 m <sup>3</sup>	1 No.
6. Pump	KOKEN; MG-5	1 No.
7. Bench Grinder		1 No.
<u>C. Material consumed</u>		
1. Dynamite	Made in India	1,025 kg
2. Detonators	Made in India	2,422 pcs
3. Timber	Logs; 150 mm dia. x 1,800 mmL	60 pcs
- do -	Logs; 100 mm dia. x 1,800 mmL	40 pcs
- do -	Plate; 200 x 1,500 x 40 mm	5,127 m <sup>3</sup>
- do -	Square; 100 x 100 x 3,000 mm	1.83 m <sup>3</sup>
4. Fuel	For Diesel Engines	2,240 Lit.

Table-E.3.15: TEST ITEMS AND NUMBER OF SAMPLES TESTED

Test Item	Rock Group				
	I	II	III	IV	V
1. Apparent specific gravity, water absorption and porosity	1	1	1	1	1
2. P-wave and S-wave velocities (air-dried state)	3	3	2	2	2
3. P-wave and S-wave velocities (saturated state)	3	3	-	-	-
4. Unconfined compression test	-	-	2	2	2
5. Poisson's ratio (air-dried state)	3	3	-	-	-
6. Poisson's ratio (saturated state)	3	3	-	-	-
7. Brazilian test (tensile strength)	2	3	-	-	-
8. Triaxial compression test ( $\sigma_3 = 10 \text{ kg/cm}^2$ )	3	-	-	-	-
9. Triaxial compression test ( $\sigma_3 = 20 \text{ kg/cm}^2$ )	3	-	-	-	-
10. Weathering test	1	1	-	-	-



Table-E.3.16(2): SUMMARY OF ROCK TEST (2)

SAMPLE NO.	1-5	1-6	2-2(1)	2-2(2)	2-2(3)	2-2(4)	2-2(5)	2-2(6)	2-2(7)	2-2(8)	2-2(9)	3-1(1)		3-1(2)	
												3-1(1)	3-1(2)	3-1(1)	3-1(2)
LOCATION NO. & DEPTH	B81-5 16.0 to 16.6 m	B81-5 25.2 to 25.6 m	Core drilling No. TC-4; 9.0 to 10.0 m in depth										B81-5 21.5 to 22.0 m	TC-4 7.6 to 8.0 m	
ROCK NAME IN LITHOLOGY	Medium sandstone	Medium sandstone	Sandy mudstone										Siltstone	Sandy siltstone	
OBSERVATION	White gray Massive	Yellowish gray Some weathered	Greenish gray Being cracks due to slaking										Dark gray Calcareous	Dark gray Calcareous	
CONDITION OF SPECIMEN IN ROCK TEST	MOISTURE ANISOTROPY	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT
APPARENT SPECIFIC GRAVITY $G$	2.337	2.324	2.561	2.574	2.574	2.576	2.570	2.588	2.551	2.560	2.544	2.616	2.621	2.617	2.681
DENSITY $\gamma$ (kg/cm <sup>3</sup> )	2.276	2.270	3.04	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
NATURAL WATER CONTENT $W_n$ (%)	0.56	0.60	0.56	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
WATER ABSORPTION $W_{at}$ (%)	6.73	5.72	6.73	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72
APPARENT POROSITY $n$ (%)	14.89	12.67	9.92	2.97	3.11	3.00	2.92	3.01	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
P WAVE $V_p$ (km/sec)	1.67	1.67	1.67	1.62	1.62	1.56	1.65	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
S WAVE $V_s$ (km/sec)	0.92x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>	0.88x10 <sup>3</sup>
DYNAMIC MODULUS OF ELASTICITY $E_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.269	0.298	0.298	0.298	0.298	0.302	0.285	0.321	0.321	0.321	0.321	0.321	0.321	0.321	0.321
DYNAMIC POISSON'S RATIO $\mu_d$	0.338	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354
UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH $\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	163.9	261.3	207.8	207.8	207.8	207.8	207.8	207.8	207.8	207.8	207.8	207.8	207.8	207.8	207.8
STATIC MODULUS OF ELASTICITY $E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	1.21x10 <sup>4</sup>	2.97x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>	2.00x10 <sup>4</sup>
STATIC POISSON'S RATIO $\mu_s$	0.338	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354
BRAZILIAN TENSILE STRENGTH $\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	12.38	5.80	4.63	12.38	5.80	4.63	12.38	5.80	4.63	12.38	5.80	4.63	12.38	5.80	4.63
CONFINING PRESSURE $\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )															
STRESS DIFFERENCE $\sigma_1 - \sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )															
COHESION $c$ (kg/cm <sup>2</sup> )															
ANGLE OF INTERNAL FRICTION $\phi$ (°)															
DRY & SAT. PASSING (times)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PERCENT LOSS (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

REMARKS

Table-E.3.16(3): SUMMARY OF ROCK TEST (3)

SAMPLE NO.	4-1(1)	4-1(2)	5-1(1)	5-1(2)
LOCATION NO. & DEPTH	B81-5 31.4 to 31.9 m		B81-14 13.0 to 13.5 m	
ROCK NAME IN LITHOLOGY	Intraformational breccia		Fine sandstone	
OBSERVATION	Patched-like siltstone fragments Calcareous		White gray Calcareous	
CONDITION OF SPECIMEN IN ROCK TEST	MOISTURE ANISOTROPY NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT	NAT NOT
APPARENT SPECIFIC GRAVITY $G$	2.690		2.656	
DENSITY $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.671	2.694	2.612	
NATURAL WATER CONTENT $w_n$ (%)	0.57		0.66	
WATER ABSORPTION $w_{at}$ (%)	0.70		0.85	
APPARENT POROSITY $n$ (%)	1.88		2.25	
P WAVE $V_p$ (km/sec)	4.77	5.27	3.66	5.10
S WAVE $V_s$ (km/sec)	2.77	3.21	1.97	3.03
DYNAMIC MODULUS OF ELASTICITY $E_D$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$5.21 \times 10^5$	$6.83 \times 10^5$	$2.68 \times 10^5$	$6.09 \times 10^5$
DYNAMIC POISSON'S RATIO $\mu_D$	0.246	0.205	0.296	0.227
UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH $\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	752.9	624.7	619.4	752.8
STATIC MODULUS OF ELASTICITY $E_S$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$3.06 \times 10^5$	$4.00 \times 10^5$	$1.26 \times 10^5$	$5.02 \times 10^5$
STATIC POISSON'S RATIO $\mu_S$				
BRAZILIAN TENSILE STRENGTH $\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
CONFINING PRESSURE $\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
STRESS DIFFERENCE $\sigma_1 - \sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
COHESION $c$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
ANGLE OF INTERNAL FRICTION $\phi$ (°)				
DRY & SAT. PASSING PERCENT LOSS (%)				

REMARKS

Table-E.3.17: DETERMINATION OF PROPERTY OF ROCK SAMPLES

SAMPLE NO.	1-1 to 1-5		2-2		3-1 and 3-2		4-1		5-1	
	B81-14 (6.2 to 7.10 to 11.21 to 21.4 m) B81-5 (10.4 to 10.7.16 to 16.6, 25 to 25.6 m) Medium sandstone		TG-4 (9.0 to 10.0 m) Sandy mudstone		B81-5 (21.5 to 22.0 m) TG-4 (7.6 to 8.0 m) Siltstone		B81-5 (31.4 to 31.9 m) Breccia		B81-14 (13.0 to 13.5 m) Fine sandstone	
LOCATION NO. & DEPTH										
ROCK NAME IN LITHOLOGY										
OBSERVATION										
CONDITION OF SPEC. MEN IN ROCK TEST	MOISTURE	NAT	SAT	NAT	SAT	NAT	SAT	NAT	SAT	NAT
APPARENT SPECIFIC GRAVITY $G$	2.407	2.561		2.658		2.658		2.690		2.666
DENSITY $\gamma$ ( $kg/cm^3$ )										
NATURAL WATER CONTENT $W_n$ (%)	5.24	4.00		1.69		1.69		0.70		0.85
APPARENT POROSITY $n$ (%)	12.07	9.92		4.36		4.36		1.88		2.25
P WAVE $V_p$ (m/sec)	1.63	3.03		3.27		3.27		5.02		4.38
S WAVE $V_s$ (m/sec)	0.91	1.65		1.81		1.81		2.99		2.50
DYNAMIC MODULUS OF ELASTICITY $E_d$ ( $kg/cm^2$ )	5.11x10 <sup>4</sup>	1.90x10 <sup>5</sup>		2.23x10 <sup>5</sup>		2.23x10 <sup>5</sup>		6.02x10 <sup>5</sup>		4.98x10 <sup>5</sup>
DYNAMIC POISSON'S RATIO $\mu_d$	0.271	0.287		0.279		0.279		0.226		0.262
UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH $\sigma_c$ ( $kg/cm^2$ )	128.1	211.0		169.1		169.1		688.8		686.1
STATIC MODULUS OF ELASTICITY $E_s$ ( $kg/cm^2$ )	2.03x10 <sup>4</sup>	2.06x10 <sup>4</sup>		3.17x10 <sup>4</sup>		3.17x10 <sup>4</sup>		3.53x10 <sup>5</sup>		3.14x10 <sup>5</sup>
ELASTICITY										
STATIC POISSON'S RATIO $\mu_s$	0.329	0.335		0.335		0.355				
BRAZILIAN TENSILE STRENGTH $\sigma_t$ ( $kg/cm^2$ )	6.02	7.94								
CONFINING PRESSURE $\sigma_3$ ( $kg/cm^2$ )	20	10								
STRESS DIFFERENCE $\sigma_1 - \sigma_3$ ( $kg/cm^2$ )	340	3285								
COHESION $c$ ( $kg/cm^2$ )	20	26								
ANGLE OF INTERNAL FRICTION $\phi$ (°)	54	53								
DRY & SAT. PASSING PERCENT LOSS (%)	5	2								
WEATHERING TEST	0	100								

REMARKS /1 NAT : Tested under the natural moistured condition.

/2 SAT : Tested under the saturated condition.

Table-E.3.18: LIST OF TRENCHES

Trench No.	Location		Stake No. /3	Length /4 (m)	Geology Revealed	
	Site	Line No. /2			Overburden /5	Rock Stratum /6
TR-1	Damsite B : L /1	SL-10	75 to 83	45	Tr	Sst and Ms-8
TR-2	Damsite B : R	SL-10	212 to 220	42.5	(Thin)	At-3
TR-3	Damsite C : L	SL-11	69 to 75	30.6	Tr	Ms-5
TR-4	Damsite C : R	SL-11	193 to 199	38	(Thin)	At-1
<b>Total</b>				<b>156.1</b>		

Note: /1; Site: L = Left bank; R = Right bank.

/2; Seismic refraction profile line No.

/3; Survey stake No. of a seismic refraction profile.

/4; Linear length of trench excavated along the slope.

/5; Overburden: Tr = Terrace deposits.

/6; Sst = Sst Formation.

Ms-8, Mt-3, Ms-5 and At-1 are members of Bst Formation.

