

マレーシア

テカイ河水力発電開発計画調査

報告書

第IV巻 地質報告書

1983年 9月

国際協力事業団

鉦計資

CR 11

83-85%

マレーシア

テカイ河水力発電開発計画調査

報告書

第IV巻 地質報告書

JICA LIBRARY



1031297(3)

1983年9月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '85. 6. 26	113
登録No. 11659	643
	MPN

は し が き

日本国政府は、マレーシア国政府の要請に基づき、同国パハン州において早急に開発することが望まれているテンプリン川支流テカイ川の水力発電開発計画のフィージビリティ調査を行うこととなり、その実施を国際協力事業団に委託した。事業団はこの水力発電計画の重要性を考慮し、1981年3月1日から1982年12月15日まで、高比良教一氏を団長とする各分野の専門家から成る調査団をマレーシアに派遣し、同国政府関係機関の協力を得て現地調査を実施した。

本報告書は、現地調査及び収集した資料に基づき、帰国後調査検討を行い、その成果を取りまとめたものである。本報告書が、マレーシアの電源開発に寄与するとともに、同国と日本との経済交流及び友好親善の一助となれば誠に喜ばしい次第である。

終わりに、今回の調査の実施に当たられた団員各位に謝意を表するとともに、熱意ある支援と協力を戴いたマレーシア国政府関係機関の方々、ならびに外務省、通商産業省及び在マレーシア日本国大使館の関係者各位に対し、この機会に心より感謝の意を表わすものである。

1983年8月

国際協力事業団

総裁 有田 主 幹

目 次

1. はじめに	1
2. 調査概要	7
2.1 調査活動	7
2.2 調査項目	9
3. テカイ川流域の地形、地質	15
3.1 地形概要	15
3.2 地質概要	16
4. 上部サイトの地質	21
4.1 地 形	21
4.2 地 質	21
4.3 ボーリングおよび透水試験	25
4.4 弾性波探査	32
4.5 立坑調査	34
5. 下部サイトの地質	37
5.1 地 形	37
5.2 地 質	37
5.3 ボーリングおよび透水試験	40
5.4 弾性波探査	45
6. 土質試験	47
7. 岩石試験	77
8. 地質工学的考察	101
8.1 上部ダムサイト	101
8.2 上部ダムの建設材料	107
8.3 下部ダムサイト	111

8.4 下部ダムサイトの建設材料 114

参 考 文 献 116

*印の図表類は、別添「図表集(GEOLOGY APPENDIX)」に収録した。

目 次

Table	Title	Page
2.1	Investigation Work Schedule.....	8
2.2	Quantity of Geological Investigation	13
2.3	Grade of Weathering	9
2.4	Quality Classification of Foundation Rock	10
3.1	Stratigraphy of the Tekai River Basin	19
4.1	Stratigraphy of Upper Tekai Site	24
4.2	Quantity of Drilling Work at Upper Dam Site	25
4.3	Quantity of Drilling Work at Upper Quarry and Borrow Areas...	26
4.4	Thickness of River Bed Deposits at Upper Dam Site	27
4.5	Thickness of Top Soil and Completely Weathered Rock	27
4.6	Remarkable Cracky or Clayey Zone at Upper Dam Site	28
4.7	Thickness of Weathered Rock for Core Material	28
4.8	Ratio of Shale and Sandstone	29
4.9	Depth of Hard Rock from Ground Surface	29
4.10	Ratio of Shale and Sandstone	30
4.11	Summary of Permeability for Borehole (Upper Dam Site)	App91
4.12	Outline of Lugeon Value at Upper Dam Axis	30
4.13	Depth of Under Ground Water Level from Ground Surface	31
4.14	Quantity of Seismic Prospecting Work at Upper Dam Site	32
4.15	Quantity of Seismic Prospecting Work at Upper Quarry and Borrow Area	32
4.16	Velocity of Fresh Sandstone and Shale in Japan	33
4.17	Relationship between Seismic Velocity, Weathering and Rock Classification	33
4.18	Thickness of Top Soil and Organic Soil (Site A)	34
4.19	Thickness of Top Soil and Organic Soil (Site B)	35
5.1	Stratigraphy of Lower Tekai Site.....	38

Table	Title	Page
5.2	Quantity of Drilling Work at Lower Tekai Site.....	40
5.3	Quantity of Drilling Work at Lower Quarry Site (Site C)...	41
5.4	Thickness of River Bed Deposits at Lower Dam Site.....	41
5.5	Thickness of Top Soil and Completely Weathered Rock.....	42
5.6	Remarkable Cracky or Clayey Zone at Lower Dam Site	42
5.7	Ratio of Shale and Sandstone	43
5.8	Ratio of Rock Classification (Sandstone).....	43
5.9	Summary of Permeability for Borehole (Lower Dam Site)....	App-192
5.10	Outline of Lugeon Value at Lower Dam Axis	44
5.11	Depth of Under Ground Water Level from Ground Surface.....	44
5.12	Quantity of Seismic Prospecting Work at Lower Dam Site....	45
5.13	Quantity of Seismic Prospecting Work at Lower Quarry Site (Site C)	45
6.1	List of Test	49
6.2	Unified Soil Classification Chart.....	55
6.3	Result of Soil Test.....	64
6.4	Result of Soil Test (P-1 ~ P-17)	App-206
6.5	Result of X-Ray Analysis	68
6.6	Earth Manual, Properties of Soils	71
6.7	Example of Core Materials	74
7.1	Quantity of Rock Sample	77
7.2	Result of Rock Test	80
8.1	List of Depth of Rock Classification of Foundation Rock	102
8.2	Proposed Excavation Depth of Upper Dam (Rock Fill Dam)	103
8.3	Excavation Depth of Upper Dam (Concrete Gravity Dam)	103
8.4	Results of Rock Testing	109
8.5	List of Depth of Rock Classification of Foundation Rock ...	112
8.6	Proposed Excavation Depth of Lower Dam	113

Table	Title	Page
8.7	Results of Rock Testing (Site C)	114
8.8	Results of Rock Testing (Site D)	115

LIST OF FIGURES

Figure	Title	Page
1.1	Location Map of Project Site (S = 1/1,000,000).....	3
1.2	Location Map of Project Site (S = 1/63,300).....	5
3.1	Outline of Geology in the Sungai Tekai Area	18
4.1	Lithologic Map of Upper Tekai Borrow Area (Site A) ...	App.1
4.2	Lithologic Map of Upper Tekai Dam Site	App.2
4.3	Lithologic Map of Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B)	App.3
4.4	Lithologic Profile of Upper Tekai Dam Site	App.4
4.5	Geological Map of Upper Tekai Borrow Area (Site A)....	App.5
4.6	Geological Map of Upper Tekai Dam Site	App.6
4.7	Geological Map of Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B)	App.7
4.8	Location Map of Upper Tekai Dam Site	App.8
4.9	Location Map of Upper Tekai Borrow Area (Site A)	App.9
4.10	Location Map of Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B)	App.10
4.11	Geological Log of Upper Site	App.11
4.12	Seismic Prospecting (Upper Dam Site)	App.106
4.13	Seismic Prospecting (Upper Borrow Area: Site A)	App.109
4.14	Seismic Prospecting (Upper Quarry and Borrow Area: Site B)	App.111
4.15	Test Pit Hole - Geological Log	App.114
5.1	Lithologic Map of Lower Tekai Dam	App.131
5.2	Lithologic Map of Lower Tekai Quarry Area (Site C) ..	App.132
5.3	Lithologic Profile of Lower Tekai Dam Site	App.133
5.4	Geological Map of Lower Tekai Dam Site	App.134
5.5	Geological Map of Lower Tekai Quarry Area (Site C) ..	App.135
5.6	Location Map of Lower Tekai Dam Site	App.136
5.7	Location Map of Lower Tekai Quarry Area (Site C)	App.137

Figure	Title	Page
5.8	Geological Log of Lower Site	App.138
5.9	Seismic Prospecting (Lower Dam Site)	App.203
5.10	Seismic Prospecting (Lower Quarry Area: Site C)	App.205
6.1	Distribution of Specific Gravity	52
6.2	Distribution of Natural Moisture Content	53
6.3	Plasticity Chart	54
6.4	Grading	57
6.5	Distribution of 74 μm Retained	58
6.6	Moisture Content - Permeability, Density Relation	59
6.7	Distribution of Maximum Dry Density	60
6.8	Relation of W_{opt} and γ_d Max $W_n \sim W_{opt}$ Relation	61
6.9	$W_n \sim W_{opt}$ Relation	63
6.10	Chart of X-Ray Analysis	App.223
6.11	Grading (Compared with Another Site)	73
7.1	Specific Gravity (Dry Specimen)	82
7.2	Percentage of Water Absorption	83
7.3	Unconfined Compression Strength	84
7.4	Modules of Elasticity Dynamic	85
7.5	Poisson Ratio Dynamic	86
7.6	Ultrasonic Wave Velocity P Wave	87
7.7	Ultrasonic Wave Velocity S Wave	88
7.8	Specific Gravity (Dry Specimen)	89
7.9	Percentage of Water Absorption	90
7.10	Unconfined Compression Strength	91
7.11	Modules of Elasticity Dynamic	92
7.12	Poisson Ratio Dynamic	93
7.13	Ultrasonic Wave Velocity P Wave	94
7.14	Ultrasonic Wave Velocity S Wave	95

Figure	Title	Page
7.15	Relationship between Density and Water Absorption	96
7.16	Gs, P. of W.A. and Weathering Relation (Sandstone).....	97
7.17	Relationship between Primary Wave Velocity and Unconfined Compression Strength	98
8.1	Geological Profile of Upper Tekai Dam Site	App.235
8.2	Percentage of Over C _M Class Rock of Upper Tekai Dam Site	App.236
8.3	Lugeon Map of Upper Tekai Dam Site	App.237
8.4	Geological Profile of C - C Section (Penstock and Power Station)	App.238
8.5	Geological Profile of B - B Section (Spillway)	App.239
8.6	Geological Profile of G - G Section (Alternative Spillway)	App.240
8.7	Geological Profile of D - D Section (Diversion Tunnel)	App.241
8.8	Geological Profile of Cofferdam	App.242
8.9	Geological Profile of Upper Tekai Borrow Area (Site A). App.243	
8.10	Isopach Map of Weathered Zone of Upper Tekai Borrow Area (Site A)	App.244
8.11	Geological Profile of Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B)	App.245
8.12	Isopach Map of Weathered Zone of Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B)	App.247
8.13	Geological Profile of Lower Tekai Dam Site.....	App.248
8.14	Geological Profile of B - B Section (Overflow Section). App.249	
8.15	Percentage of Over C _M Class Rock of Lower Tekai Dam Site	App.250
8.16	Lugeon Map of Lower Tekai Dam Site	App.251
8.17	Geological Profile of C - C Section (Power Station)....	App.252
8.18	Geological Profile of Lower Tekai Quarry Area (Site C). App.253	
8.19	Isopach Map of Weathered Zone of Lower Tekai Quarry Area App.254	
8.20	Location Map of Lower Tekai Quarry Area (Site D: Alternative Quarry Site).....	App.255

Figure	Title	Page
8.21	Plan of Outcrop Locality A	App.256
8.22	Geological Profile of Outcrop Locality A	App.257
8.23	Plan of Outcrop Locality B	App.258
8.24	Geological Profile of Outcrop Locality B	App.259

LIST OF APPENDIXES

Appendix	Title
4.	GEOLOGY OF THE UPPER SITE
Fig. 4.1	Lithologic Map of Upper Tekai Borrow Area (Site A)
Fig. 4.2	Lithologic Map of Upper Tekai Dam Site
Fig. 4.3	Lithologic Map of Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B)
Fig. 4.4	Lithologic Profile of Upper Tekai Dam Site
Fig. 4.5	Geological Map of Upper Tekai Borrow Site (Site A)
Fig. 4.6	Geological Map of Upper Tekai Dam Site
Fig. 4.7	Geological Map of Upper Tekai Quarry and Borrow Site (Site B)
Fig. 4.8	Location Map of Upper Tekai Dam Site
Fig. 4.9	Location Map of Upper Tekai Borrow Area (Site A)
Fig. 4.10	Location Map of Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B)
Fig. 4.11	Geological Log of Upper Site
Table 4.11	Summary of permeability for Borehole (Upper Dam Site)
Fig. 4.12	Seismic Prospecting (Upper Dam Site)
Fig. 4.13	Seismic Prospecting (Upper Borrow Site: Site A)
Fig. 4.14	Seismic Prospecting (Upper Quarry and Borrow Site: Site B)
Fig. 4.15	Test Pit Hole - Geological Log
5.	GEOLOGY OF THE LOWER SITE
Fig. 5.1	Lithologic Map of Lower Tekai Dam
Fig. 5.2	Lithologic Map of Lower Tekai Quarry Area (Site C)
Fig. 5.3	Lithologic Profile of Lower Tekai Dam Site
Fig. 5.4	Geological Map of Lower Tekai Dam Site
Fig. 5.5	Geological Map of Lower Tekai Quarry Area (Site C)
Fig. 5.6	Location Map of Lower Tekai Dam Site
Fig. 5.7	Location Map of Lower Tekai Quarry Area (Site C)

Appendix	Title
Fig. 5.8	Geological Log of Lower Site
Table 5.9	Summary of Permeability for Borehole (Lower Dam Site)
Fig. 5.9	Seismic Prospecting (Lower Dam Site)
Fig. 5.10	Seismic Prospecting (Lower Quarry Area: Site C)
6.	SOIL TESTING
Table 6.4	Result of Soil Test
Fig. 6.10	Chart of X-Ray Analysis
8.	ENGINEERING GEOLOGY ASSESSMENT .
Fig. 8.1	Geological Profile of Upper Tekai Dam Site
Fig. 8.2	Percentage of Over C_{II} Class Rock of Upper Tekai Dam Site Upper Tekai Dam Site
Fig. 8.3	Lugeon Map of Upper Tekai Dam Site.
Fig. 8.4	Geological Profile of C - C Section (Penstock and Power Station)
Fig. 8.5	Geological Profile of B - B Section (Spillway)
Fig. 8.6	Geological Profile of G - G Section (Alternative Spillway)
Fig. 8.7	Geological Profile of D - D Section (Diversion Tunnel)
Fig. 8.8	Geological Profile of Cofferdam
Fig. 8.9	Geological Profile of Upper Tekai Borrow Area (Site A)
Fig. 8.10	Isopach Map of Weathered Zone of Upper Tekai Borrow Area (Site A)
Fig. 8.11	Geological Profile of Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B)
Fig. 8.12	Isopach Map of Weathered Zone of Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B)
Fig. 8.13	Geological Profile of Lower Tekai Dam Site
Fig. 8.14	Geological Profile of B - B Section (Overflow Section)
Fig. 8.15	Percentage of Over C_{II} Class Rock of Upper Tekai Dam Site

Appendix	Title
Fig. 8.16	Lugeon Map of Lower Tekai Dam Site
Fig. 8.17	Geological Profile of C - C Section (Power Station)
Fig. 8.18	Geological Profile of Lower Tekai Quarry Area (Site C)
Fig. 8.19	Isopach Map of Weathered Zone of Lower Quarry Area (Site C)
Fig. 8.20	Location Map of Lower Tekai Quarry Area (Site D: Alternative Quarry Site)
Fig. 8.21	Plan of Outcrop Locality A
Fig. 8.22	Geological Profile of Outcrop Locality A
Fig. 8.23	Plan of Outcrop Locality B
Fig. 8.24	Geological Profile of Outcrop Locality B

1. はじめに

1. はじめに

テカイ河水力発電開発計画は、図 1.1 に示すようにマレーシア連邦国西マレーシア
パハン州のパハン川水系テンプリン川の支流テカイ川の下流域に計画されている。

計画地点は、パハン州の北端にありトレンガヌ海岸山脈の西端に位置している。また
タマンネガラ国立自然公園の南側に接して、首都クアラルンプールの北東約 150 km に位
置している。

テカイ河水力発電計画は、図 1.2 に示すように、テカイ川下流域の計画地域内に選
定された 2ヶ所の開発地点（上・下部地点）よりなっている。

地質調査は図 1.2 に示すように選定された上、下部 2ヶ所のダム地点、4ヶ所の堤
体材料採取地点について、その地質性状を明らかにし、開発計画の基礎資料を得ること
を目的として実施したもので、本報告書は、この地質調査結果をとりまとめたものであ
る。

Fig.1.1 LOCATION MAP OF PROJECT SITE (S = 1/1,000,000)

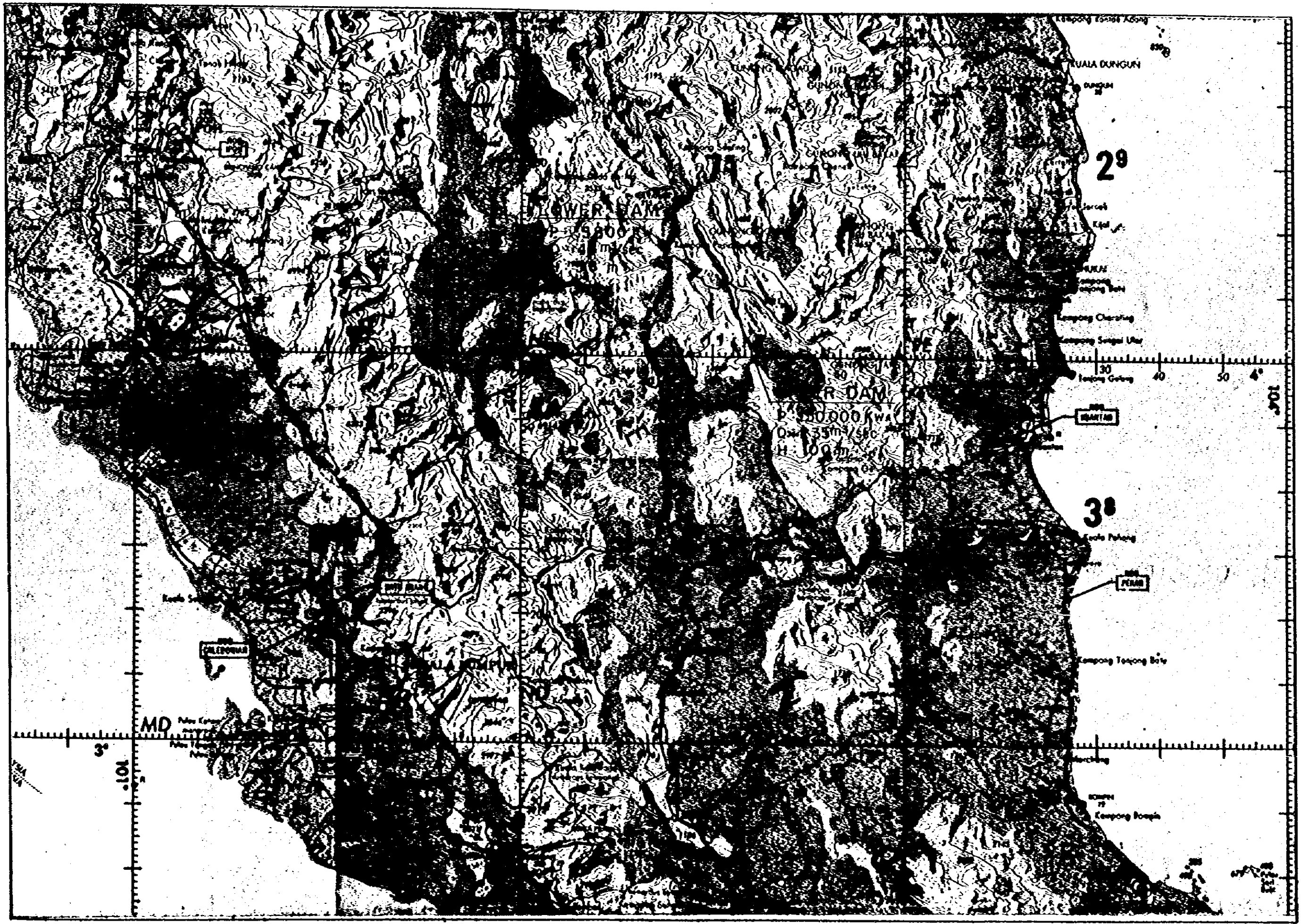
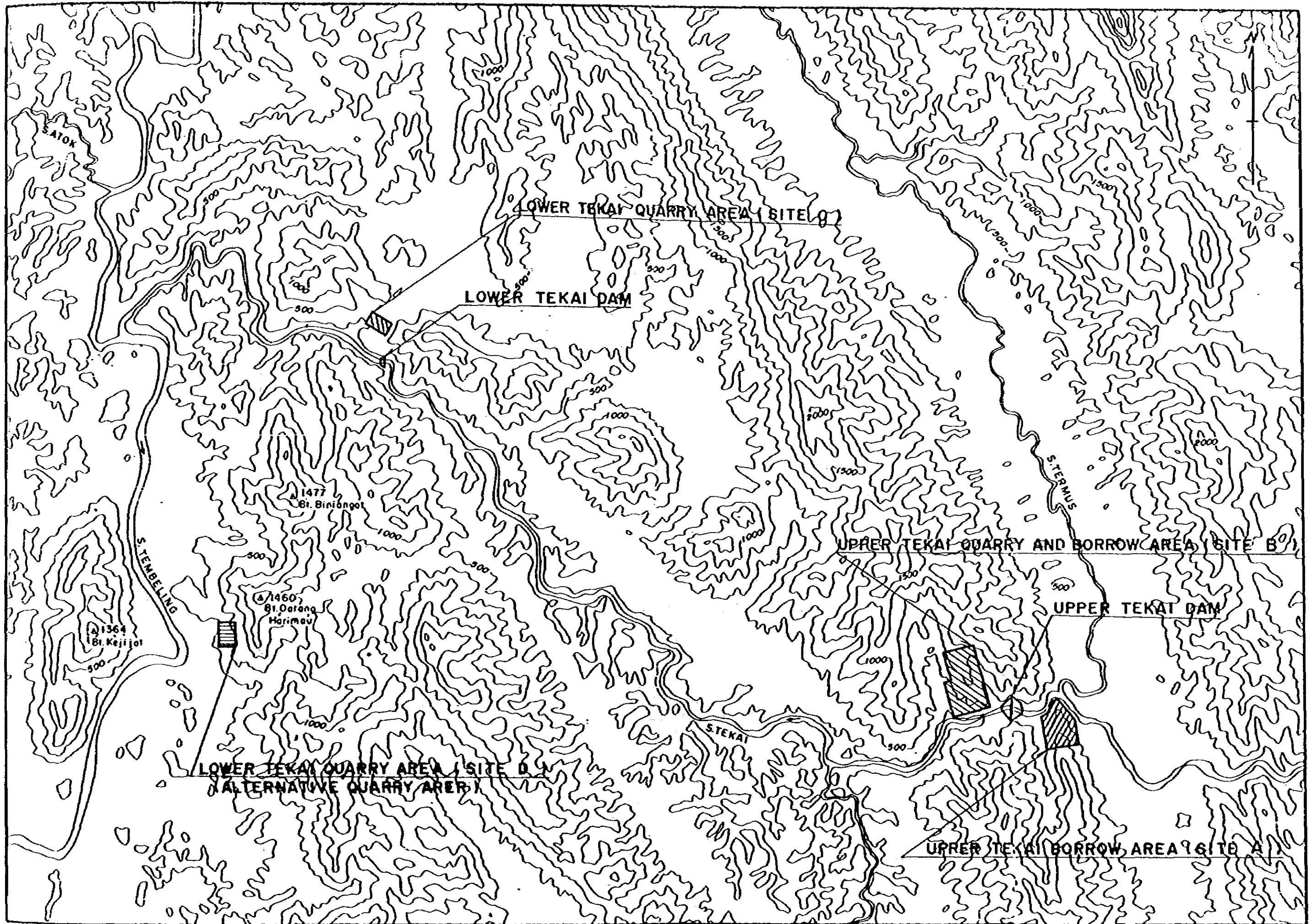


Fig. 1.2 LOCATION MAP OF PROJECT SITE



Scale 0 1 2 3 4 5 (Km)

Contour interval: 250 Feet

2 調 査 概 要

2. 調査概要

2.1 調査活動

最初の段階では、1981年3月にダム計画地点周辺において、地質踏査が行われ、調査計画が立案された。一方、マレーシア地質調査所を訪問し、調査地周辺の地質資料を入手した。

初期調査段階では、1981年6月から10月まで現地調査が実施され、内容は地質踏査、ボーリング、弾性波探査等であった。地質踏査は上、下ダムサイト周辺において広域に実施された。透水試験を含むボーリング作業ならびに弾性波探査は上、下両ダムサイトにおいて行われた。

詳細調査段階では、主としてボーリング、弾性波探査、立坑掘削、岩石及び土質試験が行われ、1982年12月に、室内試験を含め全て終了した。

調査の実施工程を表2.1に示す。

表2.1 現地地質調査工程

項目	1981												1982											
	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
資料収集	1 25																							
地表地質踏査					3	10											30	31						
ボーリング					10	11							22				21							
弾性波探査					21	26	12	7					15	9	8	29								
立坑掘削															2	17	29	21						
岩石試験																		1	5					
土質試験								26	3						22		15							
ボーリングコアの チェック																			22	2				

2.2 調査項目

現地地質調査、室内試験の項目は、以下の通りであり、その実施数量を表2.2に示す。

(1) 地質踏査

地質技術者により、主に露頭状況のよい河川沿いの踏査を行い、岩石の種類、地質状況の観察を行った。地質踏査の結果、ダムサイト、ならびに周辺地域の地質状況を明らかにするとともに、堤体材料の採取候補地点を選定した。

(2) ボーリングならびに透水試験

ボーリングおよび透水試験は、ダムならびに主要構造物の基礎岩盤、堤体材料採取候補地の地質性状を把握するとともに、ダム基礎処理計画の基礎資料を得るために実施した。

ボーリングはφ76(NX)オールコアとし、以下の事項を観察、測定した。

a.: 岩 種

b.: 色

c.: 風化の程度

風化の程度は、表2.3の基準に準じて実施した。

表2.3 風化程度の種類

等級	風化状態	記 事
I	新 鮮	未風化新鮮
II	微 風 化	亀裂に沿って茶褐色に変質が認められるもコア自体は新鮮
III	中度風化	岩質も風化を受けて変質するも、コアは手でこわされることのない程度の硬さを持つ
IV	強度風化	コアは内部まで変質し、ときに手でこわされることがある。
V	完全風化	水中にて分解される程風化し、風化土と化したもの

d.: コアの状況

亀裂の状況、頻度、コアの形状等を記載した。

e : R.Q.D

R.Q.Dは、ボーリングの単位長さに対する10cm以上のコアの合計として定義する。すなわち次式によって与えられる。

$$R.Q.D = \frac{\sum \ell_i}{L}$$

L : ボーリングの単位長さ (100cm)

ℓ_i : コア長10cm以上の長さ

f : コア採取率

g : 岩盤等級

岩盤等級は、表2.4の基準に準じて判定するが、a~fの事項を総合的に判断し、ダム基礎岩盤としての適否を総合的に評価した。

表2.4 岩盤等級基準

名称	特 徴
A	きわめて新鮮なもので、造岩鉱物および粒子は風化、変質を受けていない。亀裂、節理はよく密着し、それらの面に沿って風化の跡は見られないもの。ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
B	岩質堅硬で開口した(たとえ1cmでも)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。ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
C _a	造岩鉱物および粒子は、石英を除けば風化作用を受けてはいるが、岩質は比較的堅硬である。 一般に節理面などに石英を認め、節理あるいは亀裂の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よって岩塊が剥離し、剥離面には粘土質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出す。
C _b	造岩鉱物およ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。 節理あるいは亀裂の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よって岩塊が剥離し、剥離面には粘土質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出す。
C _c	造岩鉱物および粒子は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。 節理あるいは亀裂の間の粘着力は減少しており、ハンマーの強打によって割れ目によって岩塊が剥離し、剥離面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	岩石鉱物および粒子は、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。 節理あるいは、亀裂の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くずれ落ちる。剥離面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。

h : ルジオン値ならびに透水係数

ルジオン値は、試験孔に注入圧力 10kg/cm²の圧力水を注入し、その時に注入された水の量 (ℓ/min) を試験孔長 1 m 当りに換算したもので、ダム基礎岩盤の透水性を評価する汎用的な手法である。一般に試験区間長は 5 m として実施した。

また、亀裂性岩盤や風化岩などで、注入圧力が 10kg/cm²に達しない場合は、下式によりルジオン値を求めた。

$$Lu' = 10 (Q_1 - Q_2) / (P_1 - P_2) \ell$$

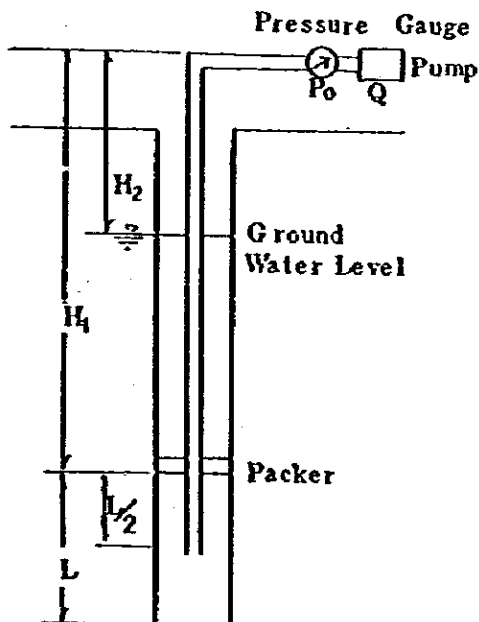
Lu : 換算ルジオン値

Q : 注入量 (ℓ/min)

P : 注入圧力 (kg/cm²)

ℓ : 試験区間長 (m)

透水係数 K (cm/sec) は、下式により求めた。



$$K = \frac{Q}{2\pi LP} \cdot \ln \frac{L}{r}$$

L : 試験区間長 (cm)

r : ボーリング半径

P0 : 口元水圧 (g/cm²)

P : 試験期間水圧 (g/cm²)

(i) $P = P_0 + H_1 + L/2$ (地下水位なし)

(ii) $P = P_0 + H_2$ (地下水位あり)

K : 透水係数 (cm/sec)

Q : 注入量 (cm³/sec)

(3) 弾性波探査

弾性波探査は、24成分屈折波探査器を使用し、震源にはダイナマイトを使用した。測線は、計画地域をカバーするように設けて実施した。弾性波の到達時間により、岩盤の弾性波伝播速度を求め、岩盤性状を推定し、地質解析の基礎資料を得ることを目的として実施した。

(4) 調査立坑

選定された土質材料採取候補地に立坑を掘削し、土質材料としての地質性状を把握するとともに、室内試験に用いる試料を採取した。

(5) 室内試験

i) 岩石試験

ボーリングコアを用いて、基本的な岩石試験を実施し、ダム基礎岩盤、渠体材料（ロック材、コンクリート骨材）としての適否を概略的に検討するために実施した。試験項目は以下の通りである。

- 比重・吸水
- 超音波伝播速度
- 一軸圧縮強度

ii) 土質試験

上部ダムのコア材について、以下の項目の土質試験を実施し、コア材としての適否を概略的に検討した。

- | | |
|--------|---------|
| ○物理的試験 | 比 重 |
| | 粒 度 |
| | 含水比 |
| | 液性、塑性限界 |
| ○力学的試験 | 突固め |
| | 透 水 |

表 2.2 地質調査実施数量一覧表

		基本調査 (1981. 6～ 1981. 10)	詳細調査 (1982. 5～ 1982. 10)	合 計
地 表 踏 査		15 kd	—	15 kd
ボ ー リ ン グ	上部ダムサイト	230 m (5 孔)	700 m (18 孔)	2,310 m (58孔)
	上部ダム堤体材料	—	470 m (11 孔)	
	下部ダムサイト	180 m (4 孔)	520 m (14 孔)	
	下部ダム堤体材料	—	210 m (6 孔)	
透 水 試 験	上部ダムサイト	34回 (5 孔)	68回 (7 孔)	190回 (22孔)
	下部ダムサイト	27回 (4 孔)	61回 (6 孔)	
弾 性 波 探 査	上部ダムサイト	2,750m (11測線)	—	12,570 m (35 測線)
	上部ダム堤体材料	—	6,100m (10 測線)	
	下部ダムサイト	2,520m (11測線)	—	
	下部ダム堤体材料	—	1,200m (3 測線)	
調 査 立 坑	上部ダム堤体材料	—	52.5m (17 孔)	52.5 m (17 孔)
室 内 試 験	土 質 試 験	—	36 試料	36 試料
	岩 石 試 験	—	72 試料	72 試料



3. テカイ川流域の地形、地質

3. テカイ川流域の地形、地質

3.1 地形概要

テカイ川は、図 1.1 に示すようにマレーシアの最大河川であるバハン川の上流部をなす河川で、その流域は北緯 $4^{\circ}00'$: $4^{\circ}22'$ 、東経 $102^{\circ}24'$: $102^{\circ}42'$ にまたがる地域である。

バハン川はバハン州の山岳地帯に源を発し、多くの支流を集めてジャランツツツ地方を南下し、テムローの近傍にて東方に向きを変える。

当計画地点の河川であるテカイ川は、テンプリン川の最大支流であって、主として西北西へ流下し、クアラテンプリン地点より上流約 20km においてテンプリン川に合流する。

テカイ川流域は、トレンガヌ海岸山脈に属する山岳地帯に囲まれており、タピス山 (4,960 フィート)、ゴラング山 (3,488 フィート)、ウルバケル山 (4,561 フィート) などの高峰が分布している。この山脈は、北北西—南南東方向に連なっており、この方向は、地層の走向方向とほぼ一致している。また、山岳地帯の多くの河川も同一方向に流下しており、地形上の特徴となっている。

このような山脈や河川の方法は、この地域の地質構造と密接に関係しており、地質構造と地形の相関がよく表われている特徴をもっている。

テカイ川流域の山岳地帯は、一般に著しい風化作用により、緩傾斜を有している。

テカイ川の河川勾配は、上流の山岳地帯では、比較的急勾配の河床をなすが、下流域では非常に緩い勾配をなし、 $1/1,000$ 程度の河川勾配となっている。

ダムサイトは、テンプリン川とテカイ川との合流点より上流約 25km に上部ダム、約 8km 上流に下部ダムがそれぞれ位置し、比較的川幅の狭い地点に選定されており、また、河川勾配も緩いことから、効率のよい貯水池を得ることが可能な地点である。

3.2 地質概要

テカイ川流域の地質は、マレイシア地質調査所(1977, ²⁾「テカイ川流域の地質」)により図3.1のように区分され、地質層序は表3.1のようにまとめられている。

流域地域の地質は、堆積岩類、変成堆積岩類、花崗岩(アグメライト)に大別される。

堆積岩類は、テンプリン層群と名付けられており、中生代の礫岩、砂岩、頁岩などで、岩相により四つの単位に区分されている。地質時代の古い順に以下の通りとなっている。

- i) ケラム層
- ii) ラリス礫岩
- iii) マンキン砂岩
- iv) テルムス赤色岩層

これらの地層は、ほぼ北北西-南南東の走向をもち、大小の褶曲構造を有しているため、帯状に分布している。

i) ケラム層

本層はケラム川に沿って模式的に分布し、計画地域では、上部ダムの貯水池内に分布する。主として火山岩類、頁岩、石英質砂岩から成る。

ii) ラリス礫岩

本層は、ラリス山周辺に模式的に分布し、計画地域では、上部ダムの貯水池内に分布する。赤色礫岩、砂岩、頁岩によって構成される。本層は非常に堅硬であるので、地層方向に顕著な急崖を成す。

iii) マンキン砂岩

本層は、マンキン川に沿って模式的に分布し、石英質砂岩を主体として灰色又は赤色の頁岩を介在する。テカイ川の中流域及び下流域の計画地域に広く分布する。

iv) テルムス赤色岩層

本層は、テルムス川とジュマール川に沿って帯状に分布する。計画地域には、下部ダム、上部ダムの貯水池に広く分布する他、上部ダムの土取場地域に分布する。本層を構成する岩石は、赤色頁岩が卓越し、少量の石英質砂岩を挟む。赤色頁岩は軟質で、へき開性に富むので、河岸では平坦な地形が形成される。テルムス赤色岩層とマンキン砂岩の境界は、両者が漸移するため明瞭でない。

変成堆積岩は、バンガク変成堆積岩と名付けられており、テカイ川上流の堆積岩

類と花崗岩（アダメライト）に挟まれた地域に分布する。パンガク川に沿って模式的に分布し、地質時代は古生代とされている。変成の度合いは低いが、一般に葉片状となり、花崗岩の周辺では接触変成を受けている。粘板岩、千枚岩、珪岩、変砂岩、片岩とホルンフェルスを主体とする。

花崗岩は、テカイ川の上流に分布し、アダメライトから成る。山岳地域では、深部風化を受け、表層はルーズな粗砂から成る。テカイ川の現河床堆積物は、この花崗岩地域から主として供給されている。

図 3.1 に示すように、堆積岩類は、北北西—南南東の走向をもって分布し、大小の褶曲構造を有している。テカイ川流域の代表的な褶曲軸は以下の通りであり、地質構造はこの褶曲軸に支配されている。

i) テルムス向斜軸

この向斜軸は、テルムス谷に沿ってのびる大向斜軸であり、北北西—南南東方向にのびて、クアラタハンに至る。

ii) テカイ向斜軸

この向斜軸は、テカイ川の下流部に平行にのびるもう一つの大きな軸であって、北北西—南南東方向にのびてジュマール川に至る。

iii) ベスト背斜軸

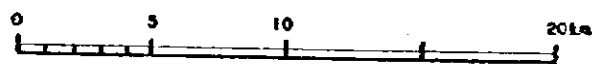
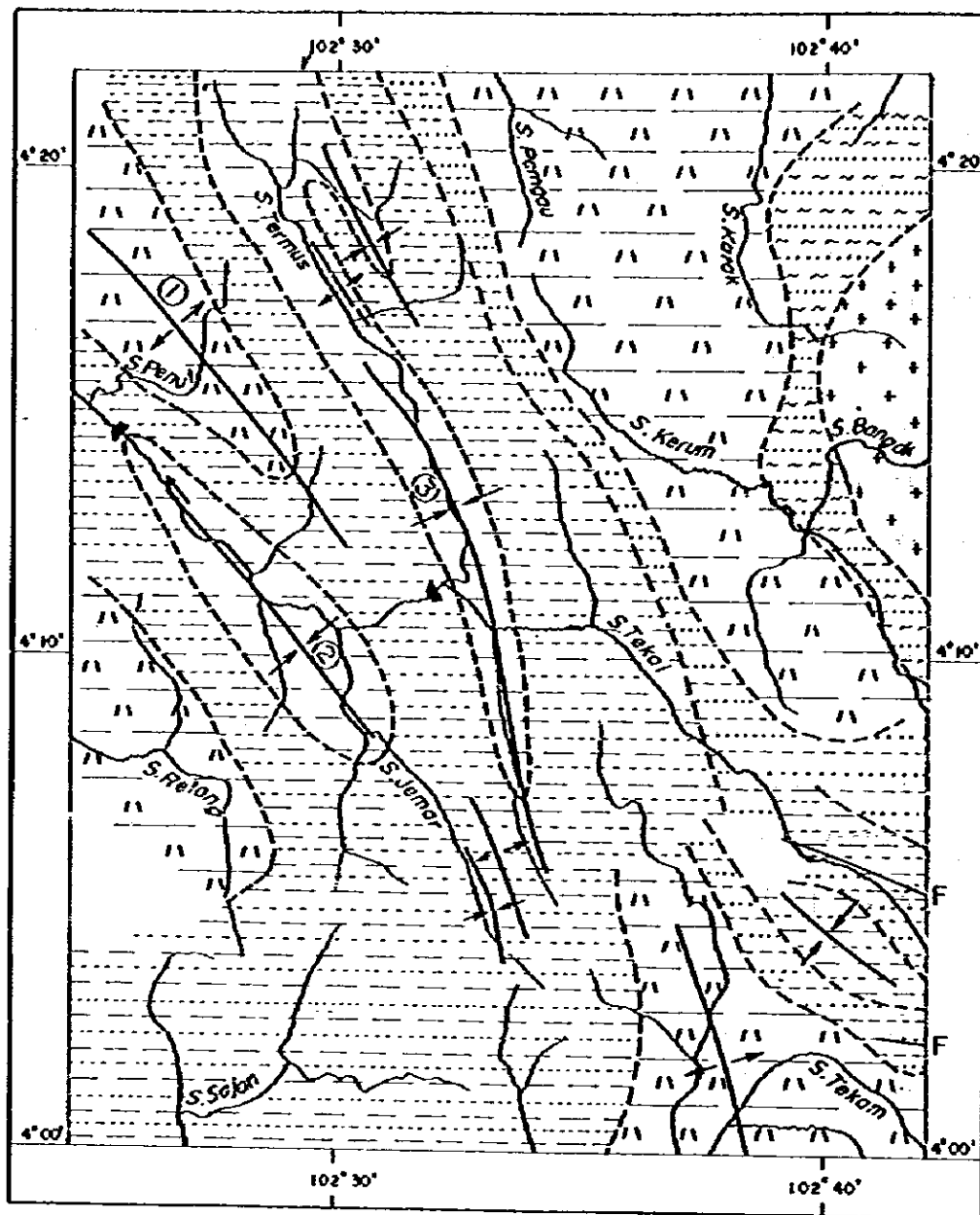
この背斜軸は、テカイ向斜軸とテルムス向斜軸の間にある主たる背斜軸であって、南東方向に沈む。

ダムサイト近傍には、上記の大褶曲軸は連続しないが、小褶曲構造は所々に分布し、特に上部ダムサイトの地層の傾斜は、不規則となっている。

テカイ川流域には、所々に多数の小断層が分布するが、地質構造を大きく支配するような大断層は見いだされていない。

Fig.3.1 OUTLINE OF GEOLOGY IN THE SUNGAI TEKAI AREA

(after KHOO HAN PENG, 1977, page 93, Annual report of the geological survey of Malaysia)



Scale

- | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|----------------------|
| | Termus Redbeds | | Mongking Sandstone | | Lanis Conglomerate |
| | Kerum Formation | | Adomellite (Granitic rocks) | | Bongok Metasediments |
| | Anticline | | Syncline | | F Fault |
| ① | Penut anticline | ② | Tekai syncline | ③ | Termus syncline |
| | | Upper dam site and lower dam site | | | |

表 3.1 テカイ川流域の地質層序表

層厚	地質時代		地 層 名	岩 相	
m 1,500 以上	中 生 代	ジュラ紀 〜 白亜紀	テン ブ リ ン 層 群	テルムス赤色岩層	主に赤色〜赤紫色の泥岩、シルト岩、頁岩などの泥質岩よりなり、石英質砂岩、砂岩などを挟在する。
m 2,200				マンキン砂岩	主に灰色の石英質岩よりなり、灰色〜茶色の泥質岩（泥岩、頁岩など）を挟在する。
m 900				ラリス礫岩	小礫から粒状の礫を有する礫岩で、砂岩、泥岩、頁岩などの礫種よりなる。
不詳				ケラム層	凝灰岩、溶岩などの火山岩類、頁岩、砂岩、石英質砂岩よりなる。
		三疊紀	アダメライト		
	古生代		バンガク変成堆積岩	粘板岩、千枚岩、珪岩、片岩ならびにホルンフェルスよりなる。	

2)
 (「テカイ川流域の地質」1977, マレイシア地質調査所を参考とした。)

4. 上部サイトの地質

4. 上部サイトの地質

4.1 地形

上部サイトは、テカイ川の下流域にあり、テカイ川とテンプリン川との合流点より上流約25kmの地点に位置している。ダムサイトの上流約1kmには、テカイ川の支流テルムス川が合流している。

ダムサイトは、上部サイト計画地域内の比較的谷幅の狭い約2kmの範囲より、ダム軸の比較検討(メインレポート参照)を行ない、ダムサイトを決定した。ダム軸の水面標高は72mである。

ダムサイト近傍の河川勾配は、1/1,000程度であり、川幅は約60mと狭くなっている。

河川の両岸には、河川により形成された段丘面などの平坦面が分布しており、ダムサイトの上、下流域にも平坦面の分布がみられる。

ダム軸の斜面勾配は、左岸で約42°、右岸で約36°と比較的急峻な谷形状を呈しているため、ダム軸斜面には、大規模な崖錐堆積物などは分布していない。

このような比較的急峻な谷形状であるため100mのダムを構築する場合のダム高(H)と谷幅(L)の比(L/H)は、3.8程度のダムとなっている。

また、ダムサイト下流約1kmのテカイ川右岸には、平均斜面勾配20°程度の緩斜面が広がっており、風化層の分布が期待されるため、コア材採取地(Site B)として選定した。

4.2 地質

上部サイトの地表踏査は、1/2,500の地形図を用いてダムサイトを中心に実施した。

上部サイトの地質は、テルムス赤色岩ならびにマンキン砂岩より構成されており、岩相区分図を図4.1～4.4、地質層序表を表4.1に示す。

テルムス赤色岩は、ダムサイトの上流域のテルムス川沿いに分布しており、地質時代を中生代の白堊紀とされている。

上部サイト周辺のテルムス赤色岩は、主に頁岩(TSh)および砂岩により構成されている。

頁岩(TSh)は、赤色～赤紫色を呈しており、片理の発達した岩石である。部分的

に塊状の泥岩を挟在している。また、風化の進行が著しく深部まで風化層が残っている。このため、頁岩 (TSh) の分布するテルムス川沿いの山容は、なだらかな斜面を有する形状となっている。

砂岩 (TSS) は、主に細粒石英砂岩により構成されており、上部サイト周辺での分布は少ない。

マンキン砂岩は、地質時代を中生代ジュラ紀とされており、上部サイトに広く分布する地層で、砂岩と頁岩より構成されている。上部サイトでの西部には、砂岩が多く、上流の東部には頁岩が広く分布している。

砂岩は、堅硬、緻密な岩石で、テカイ川沿いに急峻な山様を形成しているが、頁岩は、片理が発達し、風化が深部まで進行する傾向にある。

マンキン砂岩は、テルムス赤色岩の下位層として分布し、テルムス赤色岩とは、テルムス川とテカイ川との合流点付近で、北北西—南南東方向に整合関係の地層境界をもって接しているものと推定される。

以上のように、上部サイトの岩石は、岩相により14種類に区分されるが、土木地質的区分を行ない、以下の4種類にまとめ、^{*}図 4.5～4.7 に示す地質図を作成した。

- 1) 砂岩優勢層 (以下、砂岩と称す)
- 2) 頁岩優勢層 (以下、頁岩と称す)
- 3) 砂岩、頁岩互層
- 4) 礫岩

これらの地層を覆って段丘堆積物 (Qtr)、河床砂礫層 (r) が河川沿いに分布する他、崖錐堆積物 (Te) が山腹斜面に小規模に分布している。

段丘堆積物 (Qtr) は、テカイ川とテルムス川との合流点付近に広く分布している他、上部サイトのテカイ川沿いに小規模に分布している。ダムサイト上流約 250 m のテカイ川の左岸ならびに、ダムサイト下流約 200 m には、比較的粘った粘土、砂、小礫よりなる段丘面が分布している。

河床砂礫層 (r) は、テカイ川沿いに分布し、河川により運搬された細、シルトなどで構成されている。河床底では層厚 5 m 以下と比較的薄く分布している。

上部サイトの地層は、一般に北北西—南南東の走向を有しており、テルムス向斜軸 (図 3.1 参照) に沿って大小の褶曲軸が上部サイトに分布している。^{*}図 4.1～4.3

に示すように、上部サイトでは、褶曲軸（向斜軸、背斜軸）が200m～1,000m間隔で分布するため、地層の傾斜は一樣ではない。

上部サイトには、小規模な断層、破砕帯が分布している。^{*}図4.6に示すように2本の規模の大きな破砕帯が上部ダムサイトの上・下流部に北北東-南南西の走向をもって分布している。このうちの1本は、ダム軸と低角度で交差し、右岸のアバットに連続する可能性がある。

以上のような地質状況のもとで、谷幅の狭い地点にダム軸を選定するとともに、ダムサイト上流約800mのテカイ川左岸の頁岩分布地域をコア材採取地（Site A）に、ダムサイト下流約1kmのテカイ川右岸の頁岩分布地域をコア材採取地（Site B）ならびに砂岩分布地域をロック材採取地（Site B）として地質調査を実施した。

Table 4.1 Stratigraphy of Upper Tekai Site

Geological age		Symbol	Formation	Lithology
Cenozoic	Quaternary	r	River bed deposits	Mainly quartz sand containing silt and gravel
		Qtr	Terrace deposits	Mainly clay containing gravel and organic material
Mesozoic	Lower Cretaceous	TSh	Termus redbeds	Reddish, purplish - red shale interbedded with massive mudstone and sandstone
		TSs		Quartzose sandstone and sandstone
	Upper Jurassic	MSh ₃	Mangkok Sandstone	Purplish shale interbedded with greyish shale and yellow ocher mudstone
		MSs ₃		Mainly quartzose sandstone and sandstone interbedded with shale
		MSs		Yellow ocher mudstone interbedded with light grey mudstone or siltstone
		MSh ₂		Mainly greyish shale and greenish shale interbedded with silty shale and mudstone
		MSs ₂		Shaly sandstone and fine sandstone
		MFS		Mainly fine sandstone interbedded with shaly sandstone and shale
		MSs ₂		Predominantly quartzose sandstone and sandstone interbedded with shaly sandstone and shale
		MSs ₁		Shaly sandstone interbedded with shale
		Mal ₁		Alternation of sandstone and shale
		MSh ₁		Dark grey shale interbedded with sandstone
		Mcg		Conglomerate and coarse quartzose sandstone
		MSs ₁		Predominantly quartzose sandstone and sandstone interbedded with conglomerate and shale

4.3 ボーリングおよび透水試験

4.3.1 調査位置

ボーリング調査は、(1)仮締切ダム、洪水吐、仮排水路、鉄管路、発電所のそれぞれの計画地点を含むダムサイト、(2)ダムサイトの上流に位置するコア材採取地 (Site A)、(3)ダムサイト下流に位置するコア材採取地ならびに原石山 (Site B) のうち原石山地点についてそれぞれ実施した。

(1) 上部ダムサイト

基本調査段階 (1981) では、地形、地質状況により選定したダム軸に基づいてボーリング調査を実施した。

詳細調査段階 (1982) では、前年度の調査結果に基づき、新しいダム軸を設定するとともに、洪水吐、発電所等のレイアウトに基づいたボーリングを実施した。

ボーリングの調査位置を^{*}図4.8に示し、実施数量を表4.2に示す。

Table 4.2 Quantity of Drilling Work at Upper Dam Site

Location		Borehole	Depth (m)	Permeability Testing (times)
Main Dam Site	Preliminary Inv. Stage	U-1	46.0	5
		U-2	44.0	8
		U-3	40.0	7
		U-4	50.0	8
		U-5	50.0	6
	Detailed Inv. Stage	UD-2	20.0	3
		UD-3	20.0	4
		UD-4	50.0	7
		UD-5	50.0	9
		UD-6	100.0	17
		UD-7	100.0	19
		UD-8	50.0	9
		Coffer Dam Site	ditto	UD-1
	UD-9		20.0	-
Diversion Tunnel	ditto	UD-10	20.0	-
		UD-11	50.0	-
		UD-12	30.0	-
		UD-13	20.0	-
Spillway	ditto	UD-14	20.0	-
		UD-15	20.0	-
Pressure Pipeline	ditto	UD-16	50.0	-
		UD-17	40.0	-
Power Station	ditto	UD-18	20.0	-
Total			930.0	102

(2) 堤体材料採取地 (Site A、Site B)

基本調査段階 (1981) で実施した地表踏査により、上部ダムの堤体材料採取地として、ダムサイト上流のテカイ川左岸の頁岩分布地域をコア材採取地 (Site A)、ならびにテカイ川右岸の砂岩分布地域をロック材採取地 (Site B) をそれぞれ選定し、詳細調査段階 (1982) でボーリング調査を実施した。ボーリング調査位置^{*}を図 4.9 ~ 4.10 に示し、実施数量を表 4.3 にそれぞれ示した。

Table 4.3 Quantity of Drilling Work at Upper Quarry and Borrow Areas

Location	Borehole	Depth (m)
Upper borrow site (Site A, upper reach of the dam site)	UB-1	20.0
	UB-2	30.0
	UB-3	20.0
	UB-4	50.0
	UB-5	50.0
	UB-6	50.0
Upper quarry and borrow site (Site B, lower reach of the dam site)	UQ-1	50.0
	UQ-2	49.0
	UQ-3	50.0
	UQ-4	51.0
	UQ-5	50.0
Total		470.0

4.3.2 ボーリング調査結果

ボーリングコアの観察記録^{*}を図 4.11 に示す。ボーリング結果をまとめると以下の通りである。

(i) 上部ダムサイト

上部ダムサイトは、図 4.6 に示すように、砂岩、頁岩ならびに礫岩の薄層が分布している。

i) 河床砂礫の厚さは、比較的薄く 5 m 以下であり、砂および小礫により構成されている。

Table 4.4 Thickness of River Bed Deposits
at Upper Dam Site

Borehole	Thickness of River Bed Deposits
U-3	0.90 m
UD-1	2.95 m
UD-2	3.00 m
UD-9	4.80 m
UD-18	1.00 m

ii) 表土および完全風化層（D級岩盤）の厚さは比較的薄く、表4.5の通りとなっている。

Table 4.5 Thickness of Top Soil and Weathered Rock

Left Bank		Right Bank	
Borehole	Depth (m)	Borehole	Depth (m)
U-1	15.20	U-3	0.90
U-2	0.70	U-4	5.10
UD-2	0.35	U-5	9.80
UD-4	7.50	UD-1	2.95
UD-5	3.75	UD-3	0
UD-6	2.00	UD-7	5.00
UD-10	3.10	UD-8	3.20
UD-11	13.35	UD-9	4.80
UD-12	1.35	UD-16	5.00
UD-13	2.00	UD-17	1.40
UD-14	1.00	UD-18	1.00
UD-15	5.60		

iii) ボーリングコアで観察される顕著な粘土（破砕帯）ならびにクラッキーゾーンは、表4.6の通りである。

Table 4.6 Remarkable Cracky or Clayey Zones
at Upper Dam Site

Borehole	Remarkable Cracky or Clayey Zone
U-2	10.00 - 11.50 m
U-4	7.40 - 9.70 m
U-5	17.60 - 18.70 m
U-5	19.50 - 23.00 m
UD-1	15.00 - 19.00 m
UD-4	15.00 - 19.00 m
UD-8	12.20 - 14.00 m
UD-9	10.00 - 12.00 m
UD-9	15.00 - 16.40 m
UD-14	12.00 - 15.75 m
UD-16	9.45 - 37.70 m
UD-16	39.50 - 43.00 m
UD-16	46.00 - 50.00 m

特にUD-16のコアは、孔口から孔底（深度50m）まで、粘土を伴う細片状コアで、比較的規模の大きな破砕帯である。また、地質踏査で確認されたダムサイト上流の破砕帯と連続する可能性があり、右岸ダムサイトならびに鉄管路近傍に連続するものと推定される。

(2) コア材採取地点 (Site A)

コア材採取地点 (Site A) は、^{*} 図 4.5 に示すように、主に頁岩により構成されており、砂岩に比べ風化層の厚い頁岩の風化部をコア材として採取しようというものである。

- i) 有機土を含む表土厚およびコア材に適すると考えられる風化層の厚さ（D級、C₁級岩盤）は表 4.7 の通りである。

Table 4.7 Thickness of weathered Rock for Core Material

Borehole	Top Soil (m) (Unsuitable)	Weathered Zone (m) (Suitable)
UB-1	3.00	12.00
UB-2	1.00	0
UB-3	0.20	0.60
UB-4	0.90	2.10
UB-5	4.05	3.05

Ⅱ) 頁岩は、片理が発達しているため砂岩に比べロック材としての品質は劣っている(7.岩石試験参照)。サイトA地点は、^{*}図 4.5 ならびに表 4.8 に示すように、頁岩の占める割合が多く、ロック材の原石山としては十分な検討が必要であろう。

Table 4.8 Ratio of Shale and Sandstone

Borehole	Shale	Sandstone
UB-1	90%	10%
UB-2	15%	85%
UB-3	95%	5%
UB-4	15%	85%
UB-5	60%	40%

(3) 原石山地点 (Site B)

コア材採取地および原石山地点 (Site B) のうち^{*}図 4.7 に示すように砂岩分布地域を原石山に選定し、ボーリング調査を実施した。

i) ロック材に適すと考えられる C_M 級以上の比較的堅硬な岩盤に達する地表からの深度は表 4.9 の通りである。

Table 4.9 Depth to Hard Rock from Ground Surface

Borehole	Depth to Hard Rock (m)
UQ-1	5.25
UQ-2	14.20
UQ-3	5.10
UQ-4	4.40
UQ-5	21.35

Ⅱ) サイトBの原石山地点における砂岩と頁岩の割合は表 4.10 の通りであり、砂岩の占める割合が多く、原石山地点としては良好である。

Table 4.10 Ratio of Shale and Sandstone

Borehole	Shale	Sandstone
UQ-1	0%	100%
UQ-2	10%	90%
UQ-3	5%	95%
UQ-4	5%	95%
UQ-5	20%	80%

4.3.3 透水試験結果および地下水位

*
透水試験結果を表 4.11 に示す。

透水性は、ルジオン値ならびに透水係数により表わされる。ボーリング孔径、岩盤の状況が同様であれば、透水係数とルジオン値は以下の関係にある。

$$1 \text{ Lu} \approx 1 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$$

固結した岩盤においては、水は層理や節理に沿って浸透する。地表部は風化の進行により20ルジオン以上の高透水ゾーンが続いている。

ダム軸における湧水位以下のルジオン値の概要は、表 4.12 の通りである。

Table 4.12 Outline of Lugeon Value at Upper Dam Axis

	Left Bank	River Bed	Right Bank
MAX.	27.6	28.1	4.2
MIN.	1.0	0	0.9
AVE.	11.0	2.0	2.1

*
上部ダムの左右岸の地下水位は、図 4.4 に示すように、河床においてほぼテカイ川と同程度であり、地山深部においては地表から約30mの深度をもって分布している。

各ボーリング孔の地下水位は表 4.13 に示す通りである。

Table 4.13 Depth of Under Ground Water Level
from Ground Surface

Left Bank		Right Bank	
Borehole	Depth (m)	Borehole	Depth (m)
U-1	37.2	U-3	0
U-2	23.8	U-4	19.1
UD-2	1.0	U-5	19.7
UD-4	29.0	UD-1	1.0
UD-5	43.0	UD-3	7.0
UD-6	2.2	UD-7	12.0
UD-10	3.0	UD-8	32.5
UD-11	4.2	*UD-9	+0.2
UD-12	0.1	UD-16	6.0
UD-13	14.1	UD-17	6.7
UD-14	-	UD-18	1.0
UD-15	5.2		

* Center of River Bed

4.4 弾性波探査

弾性波探査は、ダムサイト、コア材採取地 (Site A)、コア材採取地および原石山地点 (Site B) の計画地域をカバーする測線を設けて実施した。

4.4.1 弾性波測線

基本調査段階 (1981) では、ダムサイトを中心に実施し、ダムサイトの地質概要を把握し、詳細調査段階 (1982) では、堤体材料採取地 (Site A、Site B) においてそれぞれ実施した。

*
弾性波測線位置を図 4.8 ~ 4.10 に示し、実施数量を表 4.14 ~ 4.15 に示す。

Table 4.14 Quantity of Seismic Prospecting Work at Upper Dam Site

Name of Line	Length (m)	Spread
U-A	670	7
U-B	290	3
U-C ₁	110	1
U-C ₂	110	1
U-D	310	3
U-E	280	3
U-F	290	3
U-G	200	2
U-H	200	2
U-J ₁	110	1
U-J ₂	180	2
Total	2,750	28

Table 4.15 Quantity of Seismic Prospecting Work at Upper Quarry and Borrow Areas

Name of Line	Length (m)	Spreads	Remarks
A	600	6	Upper Borrow Site (Site A, upper reach of the dam site)
B	300	3	
C	400	4	
D ₁	800	8	
D	1,100	11	Upper Quarry and Borrow Site (Site B, upper reach of the dam site)
E	600	6	
F	600	6	
G	600	6	
H	500	5	
I	600	6	
Total	6,100	61	-

弾性波は、風化の程度の差、岩質の違うヶ所において屈折し、測定される。日本における砂岩、頁岩の一般的な弾性波速度は表4.16の通りであり、平均すると4,000m/sec程度の速度を有している⁸⁾

Table 4.16 Velocity of Fresh Sandstone and Shale in Japan

Rock	Velocity (m/sec)		
	Mean	Maximum	Minimum
Fresh Sandstone	4,180 ± 240	5,310	2,700
Fresh Shale	4,020 ± 170	5,280	2,830

表4.17にテカイサイトにおける弾性波速度と、風化の程度ならびに岩盤等級の関係を示した。

Table 4.17 Relationship between Seismic Velocity, Weathering and Rock Classification

	Weathering	Rock Classification	Velocity (m/sec)
1	Slightly - fresh	$C_H \sim B$	3,000 ~
2	Moderately - slightly	CM	1,500 ~ 3,000
3	Completely - highly	$C_L \sim D$	600 ~ 1,500
4	Top soil - completely	D	300 ~ 600

1) 上部ダムサイト

*

上部ダム地点の弾性波解析図を図4.12に示す。

上部ダムサイトは、最上部に300~400m/sec程度の表土ならびに完全風化層の下に、700~1,000m/secの強風化層、1,500m/sec程度の強~中程度風化層、ならびに2,800m/sec、5,000m/secの中程度風化層~新鮮岩盤が分布している。

2) コア材採取地点 (Site A)

*

コア材採取地点 (Site A) の弾性波解析断面図を図4.13に示す。

サイトAの最上層は、350~600m/sec程度の速度を有しており、厚さは5m以下と薄いものと推定される。このため、原石山地点としては、表土が薄いため良好であると推定されるが、サイトAは主に頁岩より構成されているため、原石山候補地としては十分な検討が必要である。

3) コア材採取地および原石山地点 (Site B)

コア材採取地および原石山地点 (Site B) の弾性波解析図を^{*}図4.14に示す。

Dライン沿いでは、350m/sec ~ 800m/secの弾性波速度を有する表層厚は10m程度となっている。しかし、下部では堅硬な砂岩が分布しており、原石山として可能な地点であり、量的にもロック材等の採取は可能であろう。

Iライン、Eライン沿いの土取場地点では、風化層(弾性波速度350~1,000m/sec)が7m程度の平均厚さで分布しており、土取場として採取可能な地点であろう。

4.5 立坑調査

立坑調査は、^{*}図4.9 ~ 4.10に示すように、コア材採取地点(サイトA)ならびにコア材採取地点および原石山地点(サイトB)のうちコア材採取地点について実施するとともに室内試験に供する試料を採取した。

各坑とも1m程度の表土、木炭などを含む有機土が分布し、それ以深は、コア材に達すると考えられる風化層が分布している。各坑における表土、有機土などの厚さは表4.18 ~ 4.19に示す通りである。

Table 4.18 Thickness of Top Soil and Organic Soil (Site A)

Pit Number	Sample Number for Soil Testing	Depth (m)	Depth of Top Soil & Organic Soil(m)	Geology
P-1	2	2.40	1.10	Shale
P-2	1	1.50	0.80	Shale
P-3	3	4.65	1.10	Fine Sandstone
P-4	2	2.70	1.20	Fine Sandstone
P-5	3	5.10	1.40	Talus
P-6	2	2.10	1.00	Silty Shale
P-7	3	3.15	1.00	Alternation of Sandstone and Shale
P-8	2	2.10	1.10	Shale
P-9	2	2.40	2.00	Mudstone, Shale

Table 4.19 Thickness of Top Soil and Organic Soil (Site B)

Pit Number	Sample Number for Soil Testing	Depth (m)	Depth of Top Soil and Organic Soil(m)	Geology
P-10	2	2.30	1.25	Talus
P-11	2	3.80	1.60	Terrace Deposits
P-12	2	1.50	1.10	Mudstone
P-13	2	3.00	1.10	Shale, Mudstone
P-14	2	1.75	0.50	Mudstone
P-15	2	2.80	0.90	Talus
P-16	2	3.50	1.30	Talus
P-17	2	3.30	1.00	Quartzose Sandstone and Shale

5. 下部サイトの地質



5. 下部サイトの地質

5.1 地 形

下部サイトは、テカイ川の最下流域にあたり、テンプリン川とテカイ川との分流域より約8km上流に位置している。

上部サイトより下流のテカイ川は、谷が広くなっており、再び谷幅の狭くなる地点に下部サイトは選定されている。ダム軸の比較検討（メインレポート参照）の結果、選定されたダム軸の水面標高は55mである。

ダムサイト周辺の河川勾配は、1/1,000程度であり、川幅は30m程度と比較的狭くなっている。

段丘堆積物等の平坦面の分布は、上部ダムに比べ少ないが、ダムサイト直下流の右岸に、小規模な段丘堆積物の分布が見られる。また、ダムサイトより上流域の左岸には河床堆積物の分布がみられる。

ダム軸の斜面勾配は、左岸で約40°、右岸で約24°と、左岸は急勾配、右岸は比較的緩やかな非対称な谷形状を呈している。

このような地点に40m程度のダムを構築する場合のダム高(H)と谷幅(L)の比(L/H)は、3.5程度となっている。

5.2 地 質

下部サイトの地表踏査は、1/2,000の地形図を用いてダムサイトを中心に実施した。

下部サイトの地質は、上部サイトと同様に、地質時代を中生代ジュラ紀とされるマンキン砂岩より構成されており、岩相区分図を^{*}図5.1～5.3、地質層序表を表5.1に示す。

下部サイトにおけるマンキン砂岩は、主に砂岩と頁岩より構成されており、頁岩に比べ砂岩の方が広く分布している。

砂岩は、堅硬、緻密な岩石で、ダム軸の右岸を形成している。頁岩は、ダム軸の左岸に分布し、片理の発達した岩石で、砂岩に比べ風化が深部にまで達している。

下部サイトにおけるマンキン砂岩は、地質層序表に示すように7種類に岩相区分される。

また、ダムサイト下流右岸には、広く砂岩が分布している地域があり、この地点を

下部ダム^{*}の原石山地点 (Site C) と定め調査を実施した (図 5.2 参照)。下部ダム原石山地点も、ダムサイトと同様にマンキン砂岩により構成されており、砂岩優勢で4層の頁岩層を挟んでいる。

Table 5.1 Stratigraphy of Lower Tekai Site

Geological Age		Symbol	Formation	Lithology
Cenozoic	Quaternary	r	River bed deposits	Mainly quartz sand containing silt and gravel
		Qtr	Terrace deposits	Mainly clay and sand containing gravel and organic material
Mesozoic	Upper Jurassic	Msh ₃	Hangking sandstone	Purplish, purplish-red shale interbedded with purplish fine sandstone
		MSs ₃		Predominantly quartzose sandstone and sandstone
		Mal ₂		Alternation of sandstone and shale
		HSh ₂		Mainly greyish shale and purplish shale interbedded with sandy shale and silty shale
		MSs ₂		Predominantly quartzose sandstone and sandstone interbedded with shale and shaly sandstone
		HSh ₁		Dark grey, greyish shale
		MSs ₁		Mainly quartzose sandstone and sandstone, interbedded with shale and shaly sandstone

以上のように、下部サイトの岩石は、岩相により7種類に区分されるが、土木地質的区分を行い以下の3種類にまとめ、^{*}図 5.4～5.5に示す地質図を作成した。

- (1) 砂岩優勢層(以下砂岩と称す)
- (2) 頁岩優勢層(以下頁岩と称す)
- (3) 砂岩、頁岩互層

これらの地層を覆って、小規模な段丘堆積物(Qtr)、河床砂礫層(r)が河川沿いに分布する他、崖錐堆積物が山腹斜面に分布している。

段丘堆積物(Qtr)は、ダムサイトの下流域ならびに河川の屈曲部に小規模に分布し、主に粘土、砂ならびに小礫より構成されている。

河床砂礫層(r)は、ダム軸左岸の河川沿いに分布する他は、大規模な分布は認められない。主に石英質砂から構成されており、シルトや小礫を含んでいる。また、河床部では層厚3～10m程度と不規則な厚さで分布している。

崖錐堆積物は、ダムサイトにはほとんど分布しないが、下部ダム原石山地点(Site C)の山腹斜面には、比較的広範囲に分布している。

下部サイトの地層の走向は、一般に北東-南西方向であり、ダムサイトでは、20°～40°の南東方向傾斜であり、ダムサイト下流の原石山地点では、30°～60°の南東方向傾斜の単斜構造を呈している。

下部サイトには、小規模な断層、破砕帯が分布しているが、地質構造を支配するような断層、構造物に影響を与える破砕帯などの分布は確認されていない。

この他、図 1.2に示すように、下部ダムサイト原石山の比較地点(Site D)として、下部ダムサイトより約15km下流のテンプリン川左岸のルブク・バヤン付近に位置する石灰岩分布地域の選定をした。この地域は、1974にマレーシア地質調査所により地質調査が実施されており、⁹⁾「Geological Investigation for Proposed Quarry Site, near KG. LUBUK PAYONG, Jerantut, Pahang (Geological Report)」により地質の概要は明らかにされている。この調査の際、実施された石灰岩のボーリングコアを用いて岩石試験を実施した結果、建設材料として良好な結果を得た。

5.3 ボーリングおよび透水試験

5.3.1 調査位置

ボーリング調査は、1)ダム、発電所などの計画地点を含むダムサイト、2)ダムサイト下流に位置する原石山(Site C)についてそれぞれ実施した。

1) 下部ダムサイト

基本調査段階(1981)では、地形、地質状況により選定したダム軸に基づいてボーリング調査を実施した。詳細調査段階(1982)では、前年度の調査結果に基づき検討されたダム形状、発電所等の計画に基づいて実施した。

ボーリング調査位置を^{*}図 5.6 に示し、実施数量を表 5.2 に示す。

Table 5.2 Quantity of Drilling Work
at Lower Dam Site

Location		Borehole	Depth (m)	Permeability Testing
Main Dam Site	Preliminary Inv. Stage	L-1	50.0	7
		L-2	40.0	6
		L-3	39.0	7
		L-4	51.0	7
	Detailed Inv. Stage	LD-2	50.0	8
		LD-3	49.0	9
		LD-4	80.0	16
		LD-5	50.0	9
		LD-6	50.0	9
		Coffer Dam	ditto	LD-1
LD-10	20.0			
Spillway, & Power Station	ditto	LD-7	20.0	-
		LD-8	22.0	
		LD-9	20.0	
Diversion Tunnel	ditto	LD-11	20.0	-
		LD-12	50.0	
		LD-13	20.0	
Saddle	ditto	LD-14	50.0	10
Total			700.0	88

2) 原石山地点 (Site C)

基本調査段階(1981)で実施した地表踏査により、下部ダムの原石山地点として、ダムサイト下流のテカイ川右岸の砂岩分布地域を選定し、詳細調査段階(1982)でボーリング調査を実施した。ボーリング調査位置図を^{*}図5.7に示し、実施数量を表5.3にそれぞれ示す。

Table 5.3 Quantity of Drilling Work
at Lower Quarry Site

Location	Borehole	Depth (m)
Quarry Site (Site C)	LQ-1	50.0
	LQ-2	50.0
	LQ-3	25.0
	LQ-4	25.0
	LQ-5	35.0
	LQ-6	25.0
Total		210.0

5.3.2 ボーリング調査結果

^{*}ボーリングコアの観察記録を^{*}図5.8に示す。

ボーリング結果をまとめると以下の通りである。

1) 下部ダムサイト

下部ダムサイトは、砂岩、頁岩ならびに部分的に分布する砂岩、頁岩の互層より構成されている。

i) 河床砂礫の厚さは、2~10mと不規則な層厚をもって分布しており、主に砂および小礫により構成されている。

Table 5.4 Thickness of River Bed Deposits
at Lower Dam Site

Borehole	Thickness of River Bed Deposits
L-2	3.30 m
LD-9	10.85 m
LD-1	2.45 m
LD-8	5.50 m
LD-10	3.15 m

ii) 表土および完全風化層（D級岩盤）の厚さは、比較的薄く、また、右岸部は左岸部に比べ厚く分布している。

Table 5.5 Thickness of Top Soil and Completely Weathered Rock

Left Bank		Right Bank	
Borehole	Depth (m)	Borehole	Depth (m)
L-3	1.00	L-1	7.00
L-4	5.10	L-2	3.30
LD-4	0	LD-1	2.45
LD-5	5.00	LD-2	9.00
LD-6	5.00	LD-3	3.45
LD-7	3.55	LD-14	2.50
LD-8	8.20		
LD-10	4.30	LD-9	10.85
LD-11	6.10		
LD-12	4.00		
LD-13	2.75		

*Center of river bed

iii) ボーリングコアで観察される顕著な粘土（破砕帯）ならびにクラッキーゾーンは、表 5.6 の通りである。

Table 5.6 Remarkable Cracky or Clayey Zones at Lower Dam Site

Borehole	Remarkable Cracky or Clayey Zone
LD-2	19.50 - 20.40 m, 29.00 - 30.00 m
L-1	35.90 - 36.90 m
LD-3	20.00 - 24.00 m, 42.00 - 42.90 m
L-2	--
LD-4	51.05 - 55.00 m, 59.00 - 68.00 m, 72.00 - 80.00 m
L-3	--
LD-5	27.00 - 29.80 m
L-4	12.00 - 13.30 m
LD-6	15.00 - 16.00 m

特に、LD-4のコアは、深度72~80m間で、岩片状を呈し、粘土を伴っており破砕帯であると考えられる。この破砕帯の連続性については、現在までのところ把握されてはいない。

2) 原石山地点 (Site C)

下部ダムの建設材料(コンクリート骨材)として、ダムサイト下流の砂岩が広く分布する地域で実施したボーリング結果は、以下の通りである。

i) 頁岩は、片理が発達しているため、砂岩に比べコンクリート骨材としての品質は劣っている(7.岩石試験参照)。サイトCは表5.7に示すように、砂岩の占める割合が多く、原石山としては、有望な地域となっている。

Table 5.7 Ratio of Shale and Sandstone

Borehole	Rock	
	Shale	Sandstone
LQ-1	10%	90%
LQ-2	20%	80%
LQ-3	10%	90%
LQ-4	70%	30%
LQ-5	80%	20%
LQ-6	60%	40%

ii) コンクリート骨材は、ロックフィルダムの堤体材料に比べ硬質、緻密な岩石が必要とされる。岩盤等級区分によれば、 C_L クラス以下の岩盤は、コンクリート骨材として不適であり、 C_H クラス以上の岩盤は、良好とされている。また C_M クラスの岩盤をコンクリート骨材として使用する場合は、十分な試験、検討が必要である。

原石山地点の砂岩の岩盤等級別の割合は表5.8に示す通りである。

Table 5.8 Ratio of Rock Classification (Sandstone)

Borehole	Below C_L Class	C_M Class	Above C_H Class
LQ-1	31.3 %	68.7 %	0 %
LQ-2	51.9 %	48.1 %	0 %
LQ-3	74.0 %	26.0 %	0 %
LQ-4	66.0 %	34.0 %	0 %
LQ-5	0 %	0 %	0 %
LQ-6	85.0 %	15.0 %	0 %

表5.8に示すように、原石山地点(Site C)では、C_M級、C_L級岩盤の占める割合が多く、良好な品質のコンクリート骨材(C_H級以上)を大量に効率よく採取することは、困難であると判断される。

5.3.3 透水試験結果および地下水位

透水試験結果を表5.9に示す。^{*}

下部ダムサイトは、高透水ゾーンが広く分布し、上部の風化層は20ルジオン以上のルジオン値を示している。また、下部の新鮮岩部においても10~20ルジオンであり、ルジオン値は収束しない。

特に、LD-4では、破砕帯の影響で、深部に高透水ゾーンが分布する他、10 Lu以下のゾーンの分布は、存在していない。

ダム軸における、湧水位以下のルジオン値の概要は、表5.10の通りである。

Table 5.10 Outline of Lugeon Value
at Lower Dam Axis

	Left Bank	River Bed	Right Bank
MAX.	39.7	54.3	53.0
MIN.	1.4	5.0	2.4
AVE.	17.7	20.5	20.0

地下水位は、^{*}図5.3に示すように、深度30m程度に分布する。
各ボーリング孔の地下水位を表5.11に示す。

Table 5.11 Depth of Under Ground Water Level
from Ground Surface

Borehole	Depth (m)	Borehole	Depth (m)
L-3	10.5	L-1	39.6
L-4	26.8	L-2	1.4
LD-4	4.5	LD-1	0.2
LD-5	32.5	LD-2	24.0
LD-6	32.0	LD-3	7.5
LD-7	3.3	LD-14	31.0
LD-8	1.7		
LD-10	0.7	*LD-9	+0.6
LD-11	12.0		
LD-12	27.0		
LD-13	11.0		

* Center of river bed

5.4 弾性波探査

弾性波探査は、ダムサイト、原石山地点 (Site C) の計画地域をカバーする測線を設けて実施した。

5.4.1 弾性波測線

基本調査段階 (1981) では、ダムサイトを中心に実施し、ダムサイトの地質概要を把握し、詳細調査段階 (1982) では、原石山地点 (Site C) においてそれぞれ実施した。

^{*}
弾性波測線位置図を図 5.6 ~ 5.7 に示し、実務数量を表 5.12 にそれぞれ示す。

Table 5.12 Quantity of Seismic Prospecting Work at Lower Dam Site

Name of Line	Length (m)	Spread
L-A	570	5
L-B	310	3
L-C ₁	110	1
L-C ₂	220	2
L-D ₁	210	2
L-D ₂	210	2
L-E	250	3
L-F ₁	110	1
L-F ₂	100	1
L-G ₁	200	2
L-G ₂	230	2
Total	2,520	24

Table 5.13 Quantity of Seismic Prospecting Work at Lower Quarry Area (Site C)

Name of Line	Length (m)	Spread
A	550	6
B	400	4
C	250	3
Total	1,200	13

(1) 下部ダムサイト

弾性波解析図を^{*}図 5. 9 に示す。3 層の速度層が 300m/sec ~ 400m/sec の速度層の下に分布している。上部より 800m/sec ~ 1,000m/sec、1,400m/sec ~ 1,500m/sec、2,500m/sec ~ 3,000m/sec の速度層が分布し、この分布は上部サイトと類似している。

(2) 原石山地点 (Site C)

弾性波解析図を^{*}図 5. 10 に示す。350m/sec、800m/sec ~ 1,500m/sec を有する速度層の下には、2,500m/sec の速度層が分布している。この最深部層は、中程度 ~ 軽度風化層により構成されているものと推定される。

基盤の速度は、最大 2,800m/sec で、他地点 (上部サイトを含む) と比較し、最も低い値となっている。

これは、ボーリング結果とも一致しており、基盤は C_W クラス程度の岩盤が分布していることを示している (表 5. 8 参照)。弾性波探査結果からも当地点において、品質の良いコンクリート骨材の効率的採取は困難であると判断される。

6. 土 質 試 験

6. 土質試験

6.1 試験概要

テカイ地点の中央土質しゅ水壁型ロックフィルダムである上部ダムについて、不透水性堤体材料であるコア材の採取候補地より試料を採取し、土質試験を行ってコア材の適否を判定したものである。

検討の結果、コア材採取候補地A、Bともそれぞれコア材として使用することができる。また、サイトAは効率的な採取に問題があるため、サイトBの予備サイトとすることが望ましい。

6.2 試験項目

上部ダムサイトのコア材として予定されている採取候補A、Bのコア材としての適否を判断する為、以下の試験を行う。

6.2.1 物理試験

土の基本的性質、土質分類の把握及びコア材としての適否を判断する為、次の物理試験を行う。

- ① 比 重
- ② 粒 度
- ③ 含水比（自然状態）
- ④ 液性限界
- ⑤ 塑性限界

6.2.2 力学試験

コア材としての基本的な性質である透水性及び含水比と乾燥密度の関係より、最適含水比と最大乾燥密度を求め設計の基礎資料を得る為、次の力学試験を行う。

- ① 突固め
- ② 透 水（自然含水比で突固め）

6.3 試験材料及び数量

試験に用いた試料の採取位置及び試験数量は表 6.1 に示す一覧表の通りである。

また、平面図を図 1.2、4.9、4.10 にテカイ地点概要図、Site A、B 別の立坑
位置図を示す。

Table.6.1. LIST OF TEST

Borrow Site	No	Pit	Depth (m)	Physical Test						Mechanical Test		Remarks
				Specific Gravity	Grading		Moisture Content	Liquid Limit	Plastic Limit	Moisture Density Relation	Permeability	
					74 μ m Over	74 μ m Under						
Site A	1	P-1	1.0	○	○		○			○	○	
	2		1.8	○	○	○	○	○	○	○	○	
	3	P-2	1.0	○	○		○			○	○	
	4	P-3	1.0	○	○		○			○	○	
	5		2.0	○	○		○			○	○	
	6		4.0	○	○	○	○	○	○	○	○	
	7	P-4	1.0	○	○		○			○	○	
	8		1.8	○	○		○	○	○	○	○	
	9	P-5	1.2	○	○		○			○	○	
	10		2.4	○	○		○			○	○	
	11		4.5	○	○	○	○	○	○	○	○	
	12	P-6	1.0	○	○		○			○	○	
	13		1.7	○	○		○	○	○	○	○	
	14	P-7	1.0	○	○		○			○	○	
	15		2.0	○	○	○	○	○	○	○	○	
	16		3.1	○	○		○			○	○	
	17	P-8	1.3	○	○		○			○	○	
	18		1.8	○	○		○	○	○	○	○	
	19	P-9	1.4	○	○		○			○	○	
	20		1.9	○	○		○	○	○	○	○	
Site B	21	P-10	1.1	○			○			○	○	
	22		2.1	○	○	○	○	○	○	○	○	
	23	P-11	2.1	○	○		○			○	○	
	24		4.0	○	○	○	○	○	○	○	○	
	25	P-12	1.0	○	○		○			○	○	
	26		2.0	○	○	○	○	○	○	○	○	
	27	P-13	2.4	○	○		○			○	○	
	28		3.4	○	○	○	○	○	○	○	○	
	29	P-14	1.0	○	○		○			○	○	
	30		2.0	○	○	○	○	○	○	○	○	
	31	P-15	2.3	○	○		○			○	○	
	32		3.3	○	○	○	○	○	○	○	○	
	33	P-16	2.5	○	○		○			○	○	
	34		3.3	○	○	○	○	○	○	○	○	
	35	P-17	2.5	○	○		○			○	○	
	36		3.2	○	○	○	○	○	○	○	○	

6.4 試験方法

試験は以下のASTMに従って行った。

6.4.1 物理試験

- | | |
|---------|--------------------|
| ① 比重 | ASTM D854-58(1972) |
| ② 粒度 | ASTM D422-63(1972) |
| ③ 自然含水比 | ASTM D2216-71 |
| ④ 液性限界 | ASTM D423-66(1972) |
| ⑤ 塑性限界 | ASTM D424-59(1971) |

6.4.2 力学試験

- | | |
|---------|----------------------------|
| ① 突固め試験 | ASTM D1557-70 |
| ② 透水試験 | ASTM D2434-68(1974) (変水位法) |

試験の詳細については「ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS part 19」参照。

6.5 試験結果

6.5.1 物理試験結果

- (1) 比重 サイトA、Bとも2.50~2.75の範囲であり、平均値は2.62である(図6.1参照)。
- (2) 含水比 サイトA、Bとも平均含水比は18~19%であるが、サイトAは10~30%と広い分布をなすが、サイトBでは16~24%と平均値近くに分布する(図6.2参照)。
- (3) コンシステンシー 液性限界、塑性限界の値より土の分類の為に塑性図にプロットした(図6.3参照)。その結果、サイトAは C_L (シルト質粘土)が大部分を占め、サイトBは C_L 及び C_H (シルト質粘土、高塑性)が混在している。
- (4) 粒度 サイトA、Bの粒径加積曲線は図6.4の通りである。また、細粒分はA、B両サイトとも平均65%を占める(図6.5参照)。また、粘土分はサイトAで25%、サイトBで40%となり、Bサイトの方が粘土分が多い。

6.5.2 力学試験結果

- (1) 突固め サイトA、Bの含水比、乾燥密度の関係を図6.9に示す。最大乾燥密度はサイトA、Bとも1.6~1.9 g/cm³の範囲であるが、サイトAの平均は1.79 g/cm³であり、サイトBでは1.76 g/cm³である(図6.7参照)。
また、最大乾燥密度と最適含水比の関係は、ゼロ空隙曲線(ただし、比重は平均値の2.62とした)を中心にして、比例関係がある(図6.8.1、6.8.2参照)。
最適含水比(W_{opt})と自然含水比(W_n)は両サイトとも両数値の差は小さく、サイトAでは $W_{opt} = W_n \pm 4$ 、サイトBでは、 $W_{opt} = W_n \pm 3$ の関係がある(図6.9参照)。
- (2) 透水 サイトAでは透水係数は $3.0 \times 10^{-7} \sim 6.0 \times 10^{-7}$ cm/sの範囲であり、サイトBでは $1.0 \times 10^{-7} \sim 2.0 \times 10^{-7}$ cm/sの範囲である(図6.6参照)。

Fig.6.1 Distribution of Specific Gravity

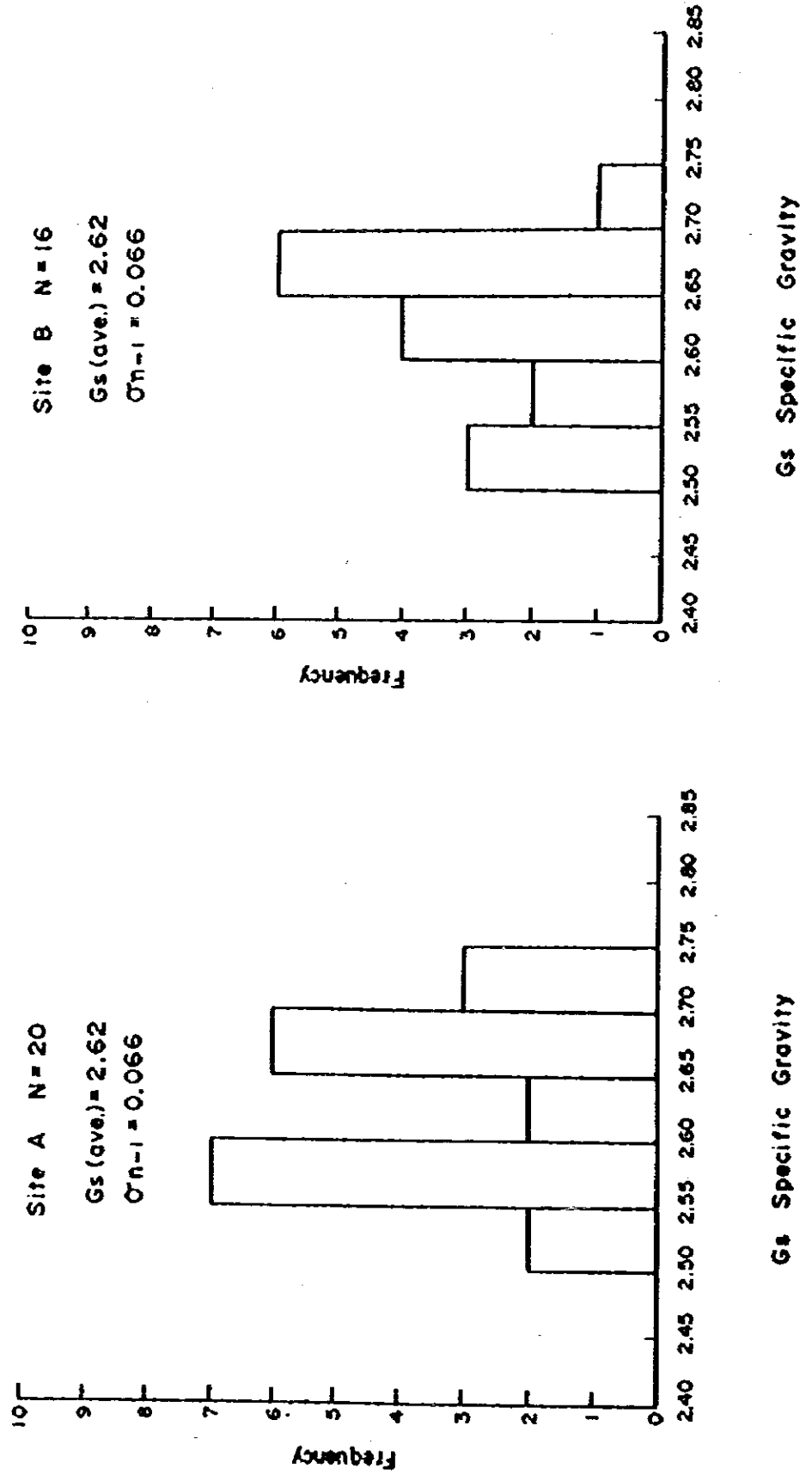


Fig.6.2 Distribution of Natural Moisture Content

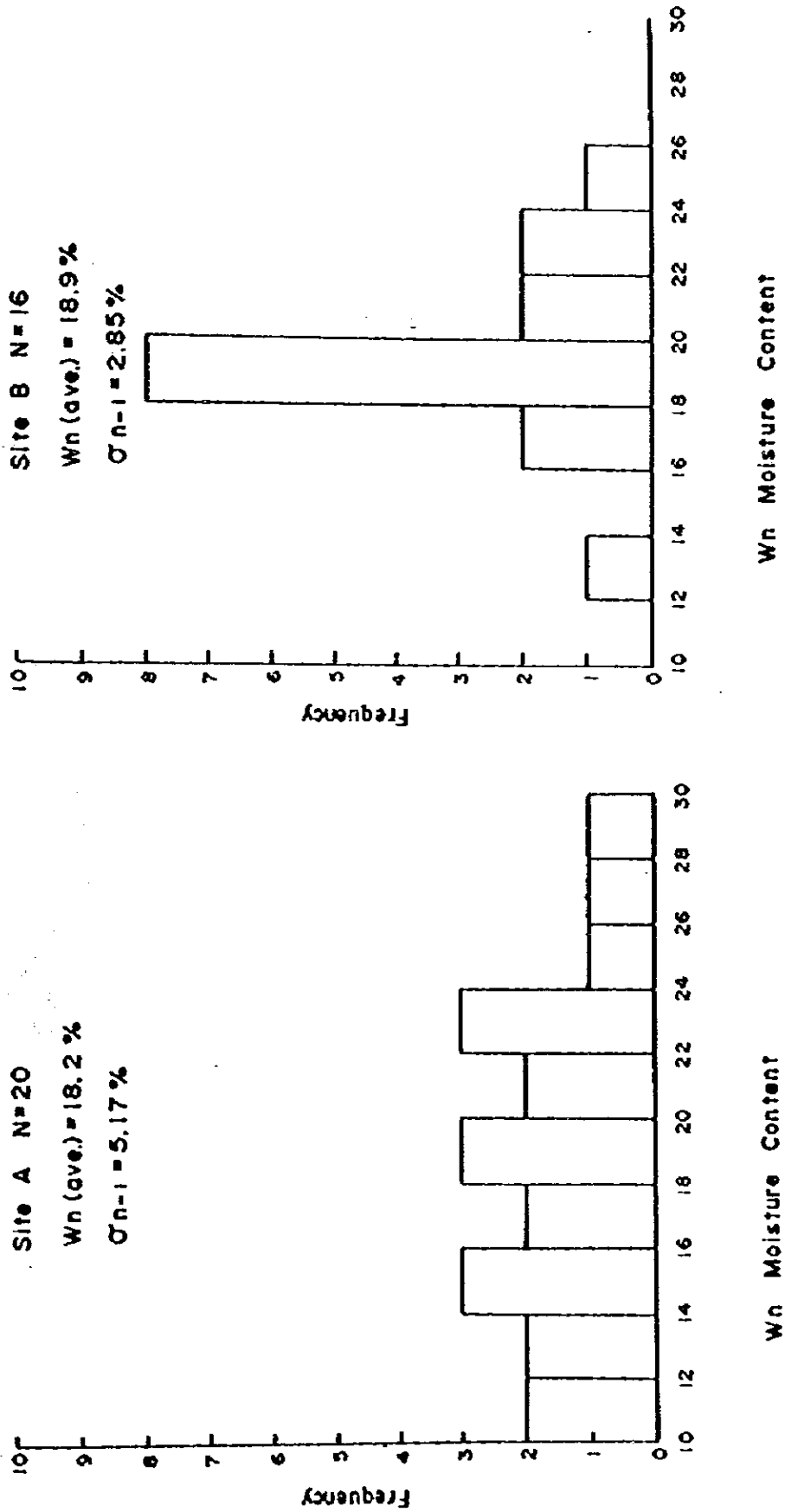


Fig. 6.3 PLASTICITY CHART

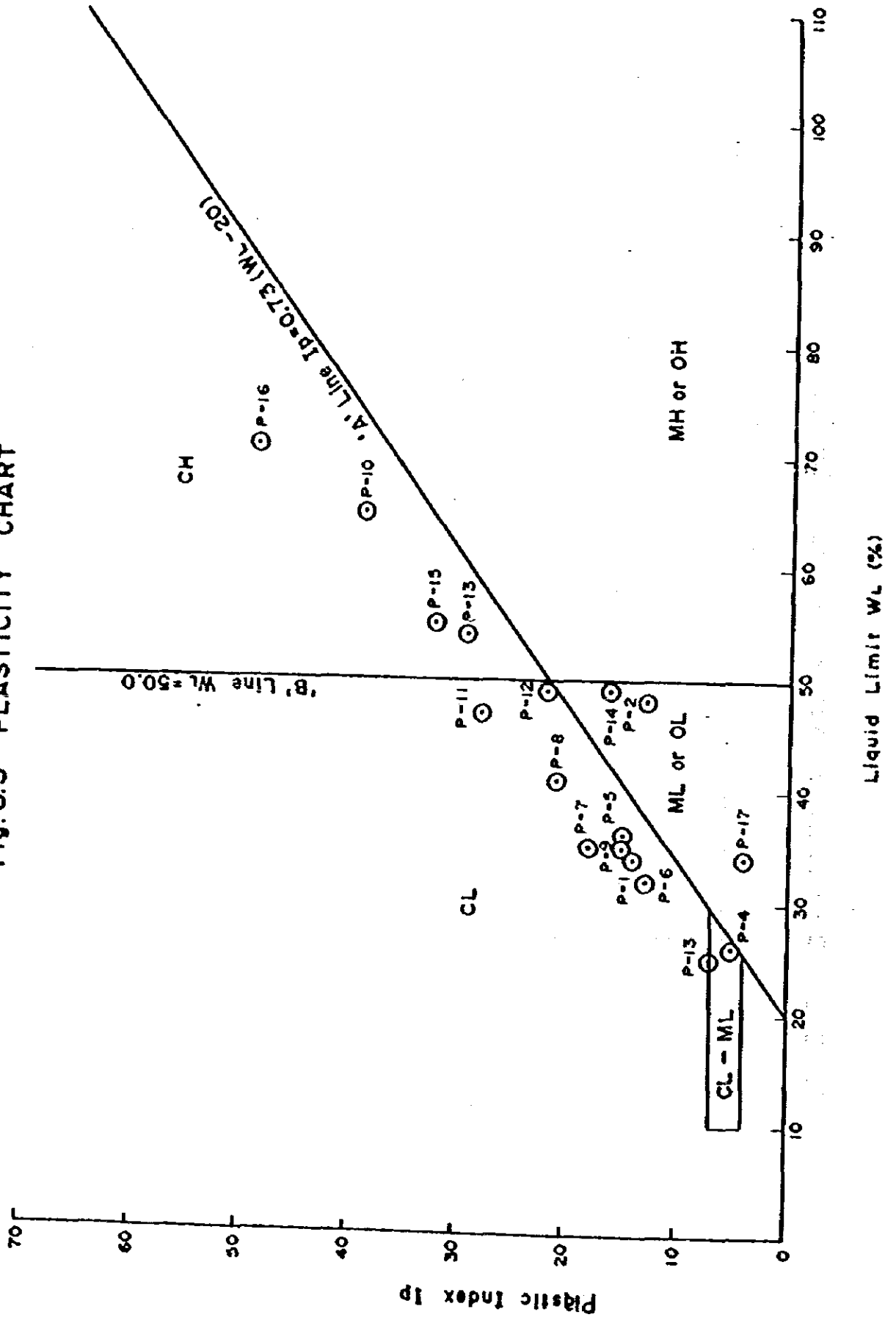


Table 6.2 Unified Soil Classification Chart

UNIFIED SOIL CLASSIFICATION INCLUDING IDENTIFICATION AND DESCRIPTION												
FIELD IDENTIFICATION PROCEDURES (Excluding particles larger than 3 inches and basing fractions on estimated weights)				GROUP SYMBOLS	TYPICAL NAMES	INFORMATION REQUIRED FOR DESCRIBING SOILS	LABORATORY CLASSIFICATION CRITERIA					
COARSE GRAINED SOILS More than half of material is larger than No. 200 sieve size.	GRAVELS More than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size. (For visual classifications, the 1/4" size may be used as equivalent to the No. 4 sieve size.)	CLEAN GRAVELS (Little or no fines)	Wide range in grain size and substantial amounts of all intermediate particle sizes	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures little or no fines.	Give typical name, indicate approximate percentages of sand and gravel, max size, angularity, surface condition, and hardness of the coarse grains, local or geologic name and other pertinent descriptive information, and symbol in parentheses. For undisturbed soils add information on stratification, degree of compactness, cementation, moisture conditions and drainage characteristics. EXAMPLE:-- Silty sand, gravelly; about 20% hard, angular gravel particles 1/2" in maximum size, rounded and sub-angular sand grains coarse to fine, about 15% non-plastic fines with low dry strength; well compacted and moist in place; silty sand; (SM)	Determine percentages of gravel and sand from grain size curve. Depending on percentage of fines (fraction smaller than No. 200 sieve size) coarse ground soils are classified as follows:-- Less than 5% GW, GP, SW, SP. More than 12% GM, GC, SM, SC. Borderline cases requiring use of dual symbols.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between one and 3				
			Predominantly one size or a range of sizes with some intermediate sizes missing	GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines.			Not meeting all gradation requirements for Gw				
		GRAVELS WITH FINES (Appreciable amount of fines)	Non-plastic fines (for identification procedures see ML below)	GM	Silty gravels, poorly graded gravel-sand-silt mixtures			Atterberg limits below "A" line or PI less than 4	Above "A" line with PI between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols			
			Plastic fines (for identification procedures see CL below)	GC	Clayey gravels, poorly graded gravel-sand-clay mixtures.			Atterberg limits above "A" line with PI greater than 7				
		SANDS More than half of coarse fraction is smaller than No. 4 sieve size.	CLEAN SANDS (Little or no fines)	Wide range in grain sizes and substantial amounts of all intermediate particle sizes.	SW			Well graded sands, gravelly sands, little or no fines.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between one and 3			
				Predominantly one size or a range of sizes with some intermediate sizes missing	SP			Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines.		Not meeting all gradation requirements for SW		
				SANDS WITH FINES (Appreciable amount of fines)	Non-plastic fines (for identification procedures see ML below)			SM		Silty sands, poorly graded sand-silt mixtures.	Atterberg limits below "A" line or PI less than 4	Above "A" line with PI between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols
					Plastic fines (for identification procedures see CL below)			SC		Clayey sands, poorly graded sand-clay mixtures.	Atterberg limits above "A" line with PI greater than 7	
		FINE GRAINED SOILS More than half of material is smaller than No. 200 sieve size.	IDENTIFICATION PROCEDURES ON FRACTION SMALLER THAN No. 40 SIEVE SIZE					Give typical name, indicate degree and character of plasticity, amount and maximum size of coarse grains, color in wet condition, odor if any, local or geologic name, and other pertinent descriptive information, and symbol in parentheses. For undisturbed soils add information on structure, stratification, consistency in undisturbed and remolded states, moisture and drainage conditions. EXAMPLE:-- Clayey silt, brown; slightly plastic; small percentage of fine sand; numerous vertical root holes; firm and dry in place; loess; (ML)	Use grain size curve in identifying the fractions as given under field identification			
			SILTS AND CLAYS Liquid limit less than 50	DRY STRENGTH (CRUSHING CHARACTERISTICS)	DILATANCY (REACTION TO SHAKING)						TOUGHNESS (CONSISTENCY NEAR PLASTIC LIMIT)	ML
Non to slight	Quick to slow			None	CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays						
Medium to high	None of very slow			Medium	OL	Organic silts and organic silt clays of low plasticity.						
Slight to medium	Slow			Slight	MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts.						
Slight to medium	Slow to none			Slight to medium	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays.						
High to very high	None			High	OH	Organic clays of medium to high plasticity.						
SILTS AND CLAYS Liquid limit greater than 50	Slight to medium		Slow to none	Slight to medium	MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts.						
	High to very high		None	High	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays.						
SILTS AND CLAYS Liquid limit greater than 50	Medium to high		None of very slow	Slight to medium	OH	Organic clays of medium to high plasticity.						
	High to very high	None	High	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays.							
HIGHLY ORGANIC SOILS				PI	Peat and other highly organic soils.	Readily identified by color, odor, spongy feel and frequently by fibrous texture.						

* Boundary classifications: - Soils possessing characteristics of two groups are designated by combinations of group symbols. For example GW-GC, well graded gravel-sand mixture with clay binder.

** All sieve sizes on this chart are US standard.

ADOPTED BY - CORPS OF ENGINEERS AND BUREAU OF RECLAMATION - JANUARY 1952

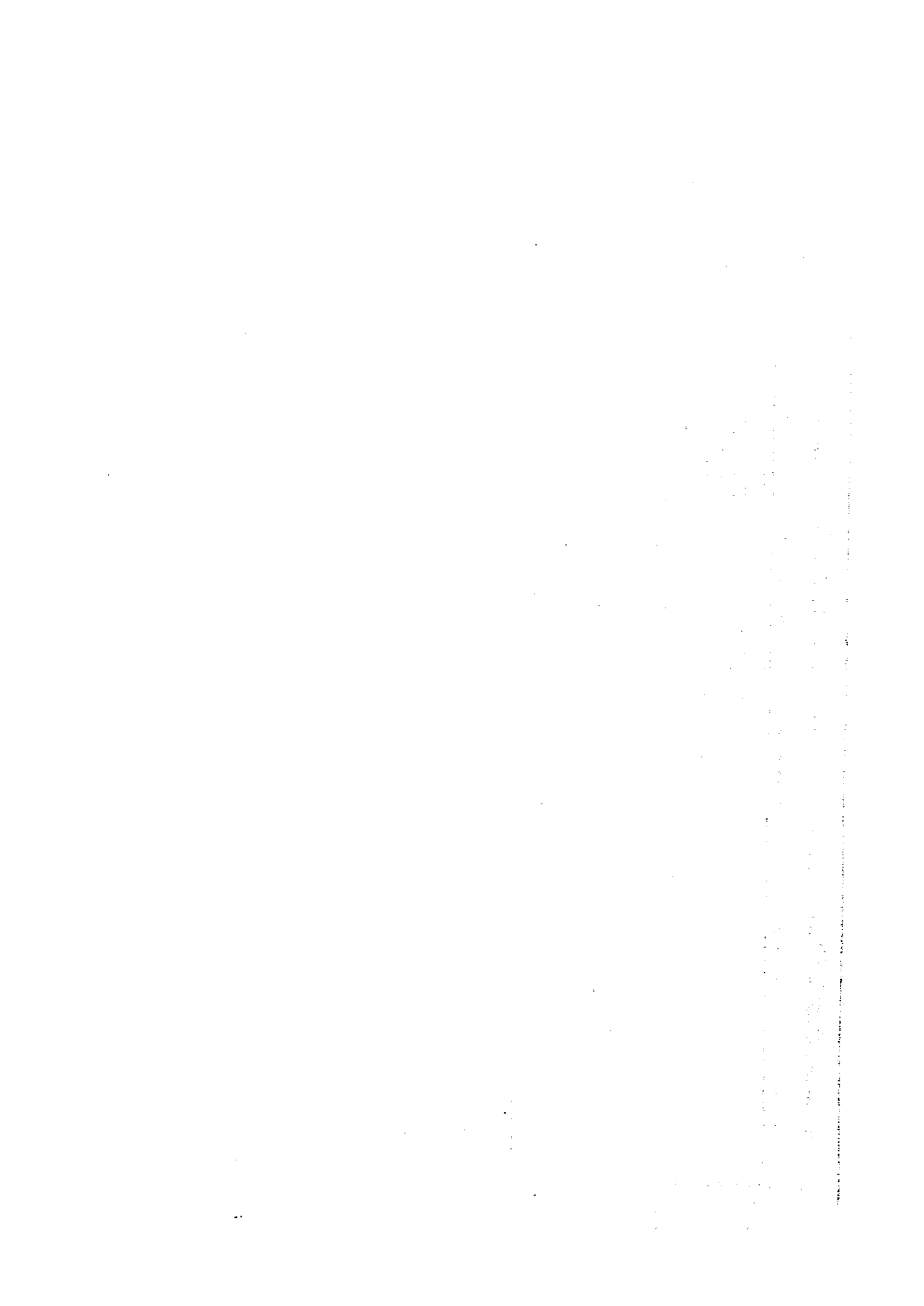
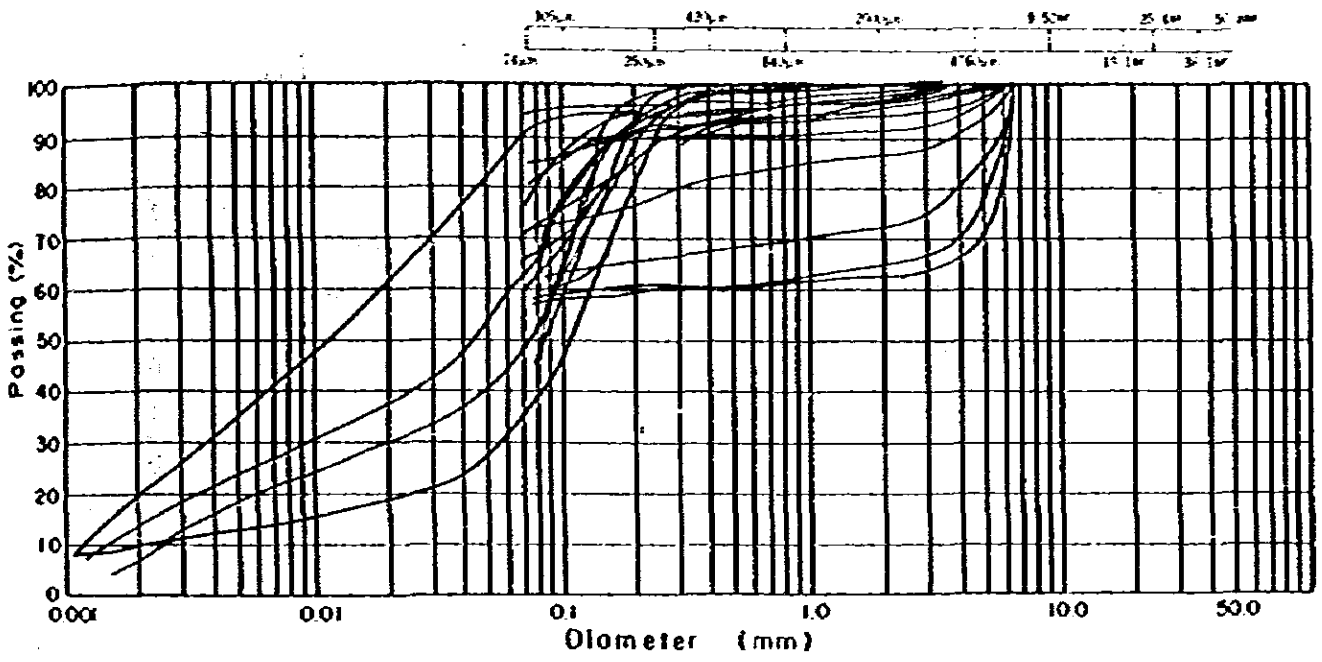
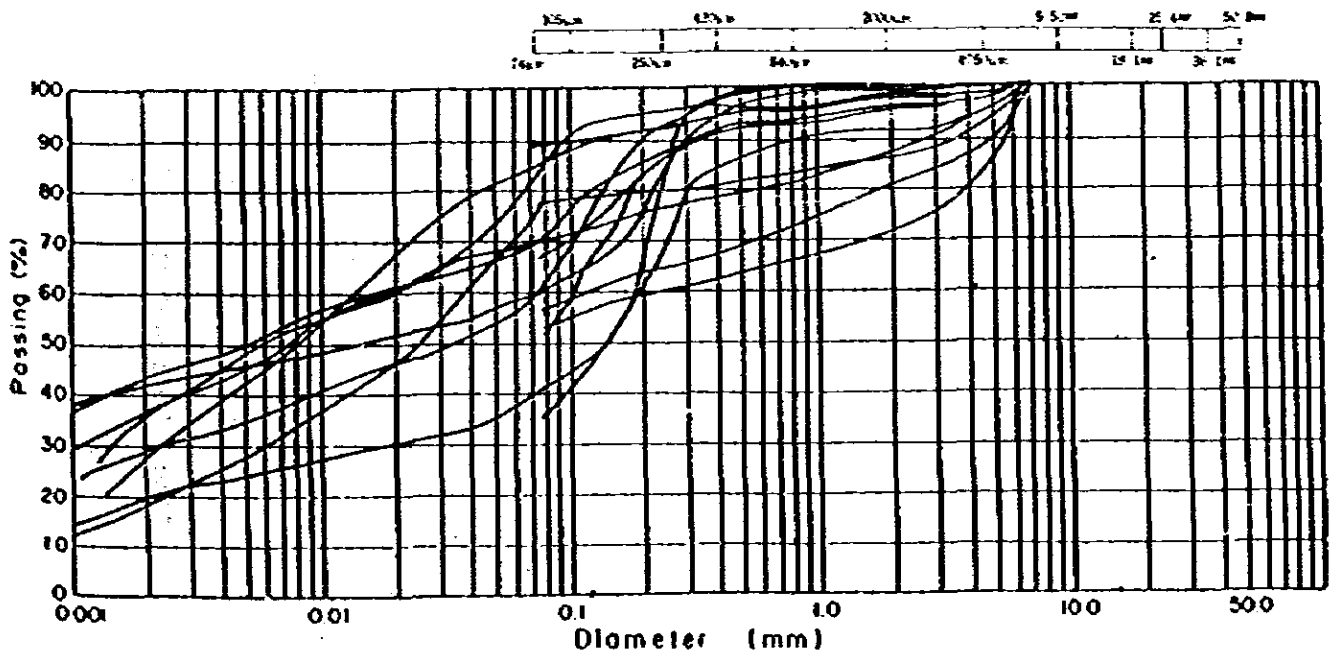


Fig.6.4 Grading



Site A



Site B

Fig. 6.5 Distribution of 74 μ m Retained

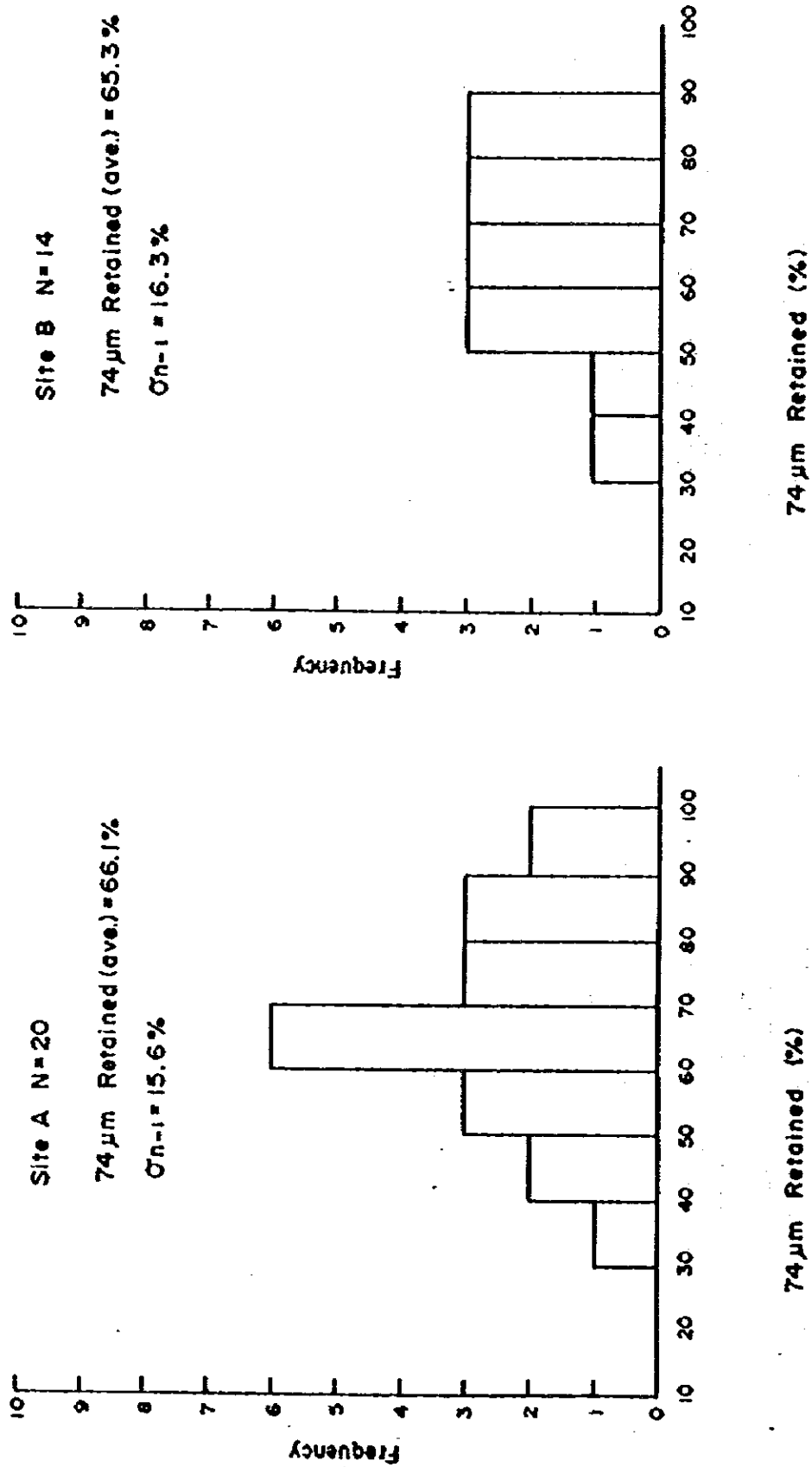


Fig.6.6 Moisture Content-Permeability, Density Relation

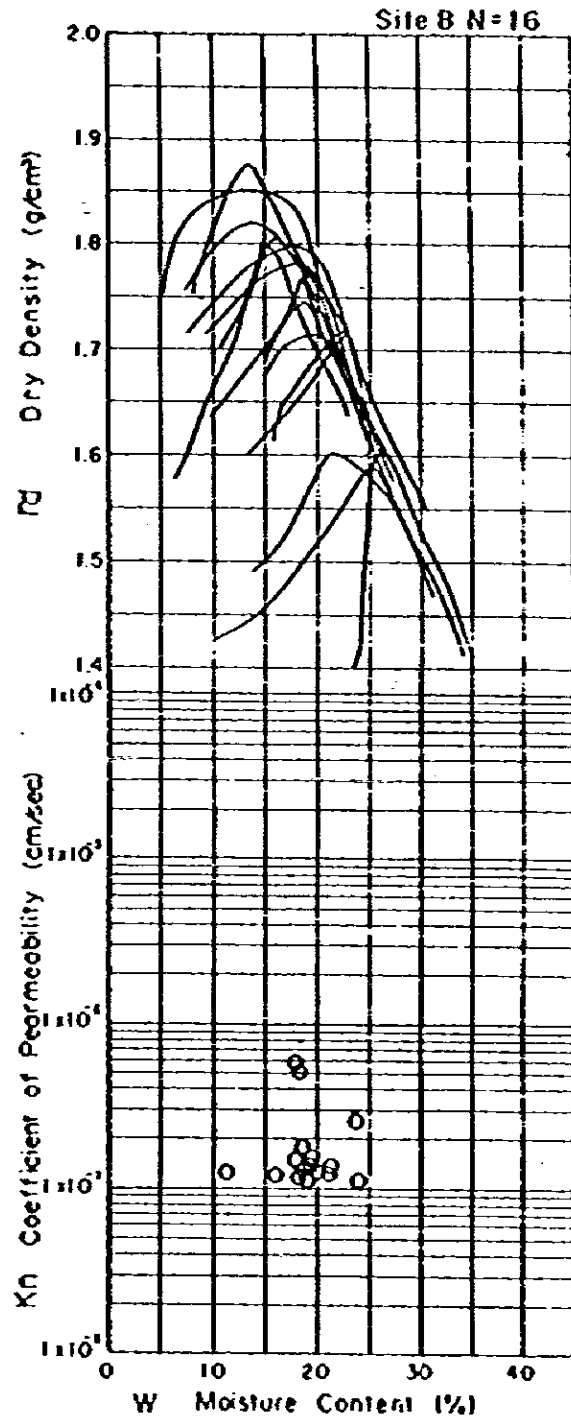
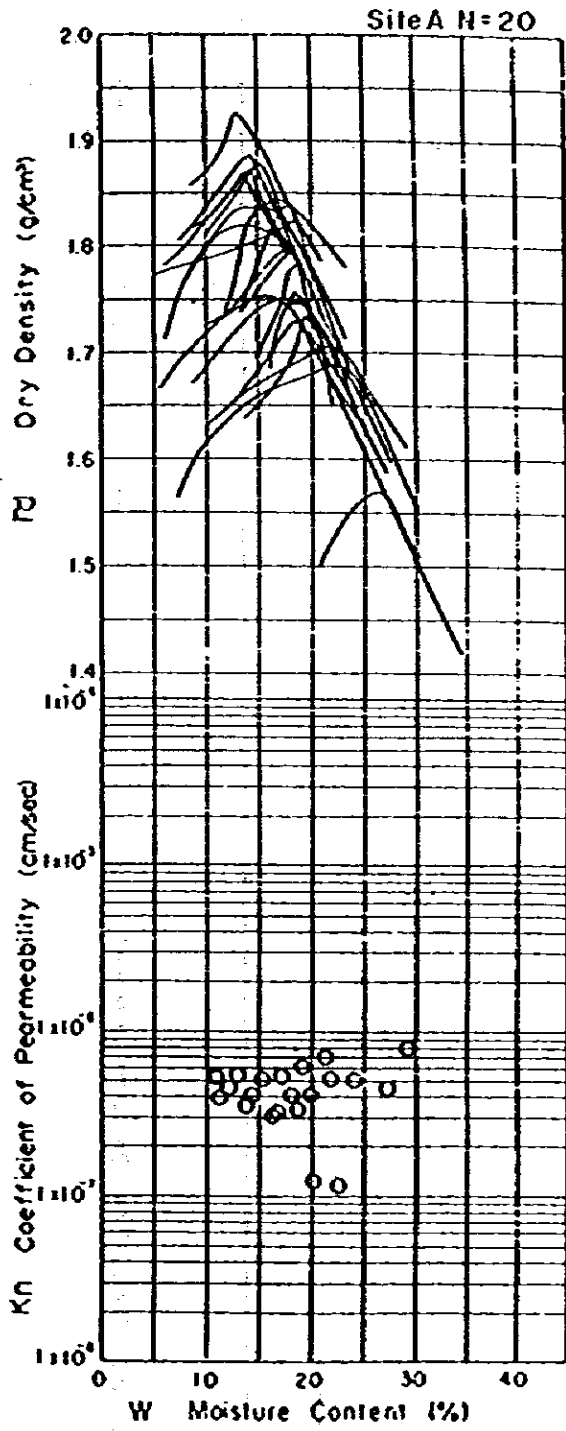


Fig. 6.7 Distribution of Maximum Dry Density

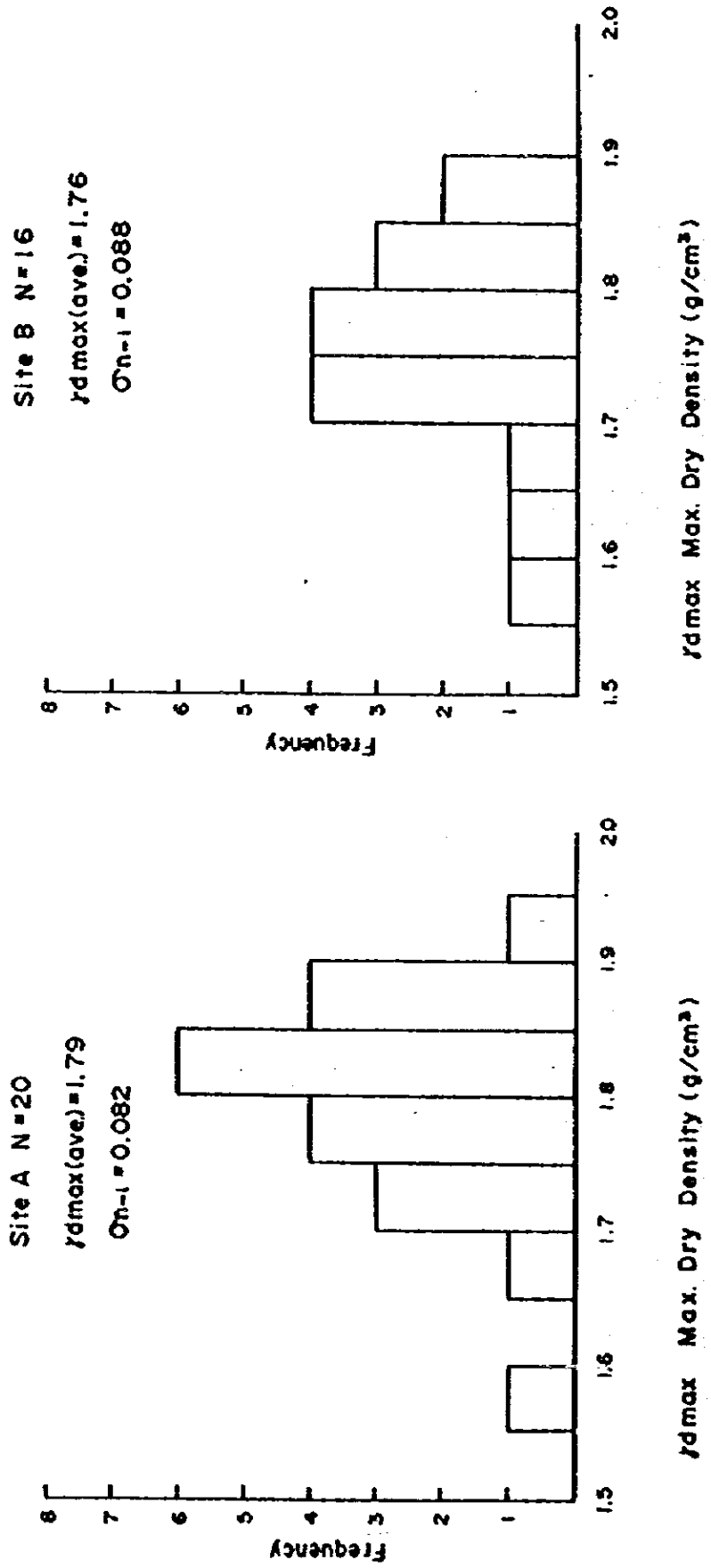


Fig.6.8.1 Relation of W_{opt} and γ_{dmax}

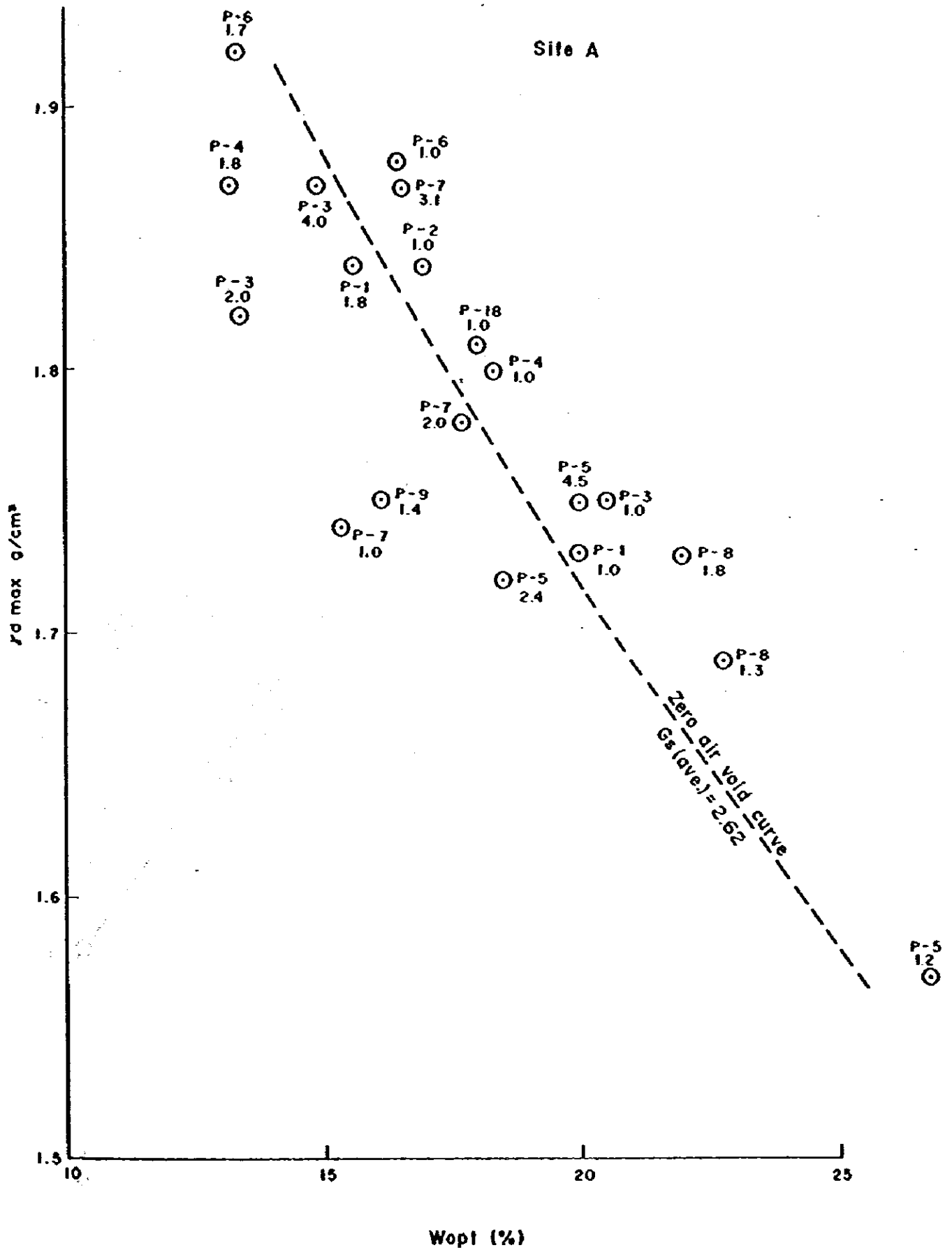


Fig.6.8.2 Relation of W_{opt} and r_{dmax}

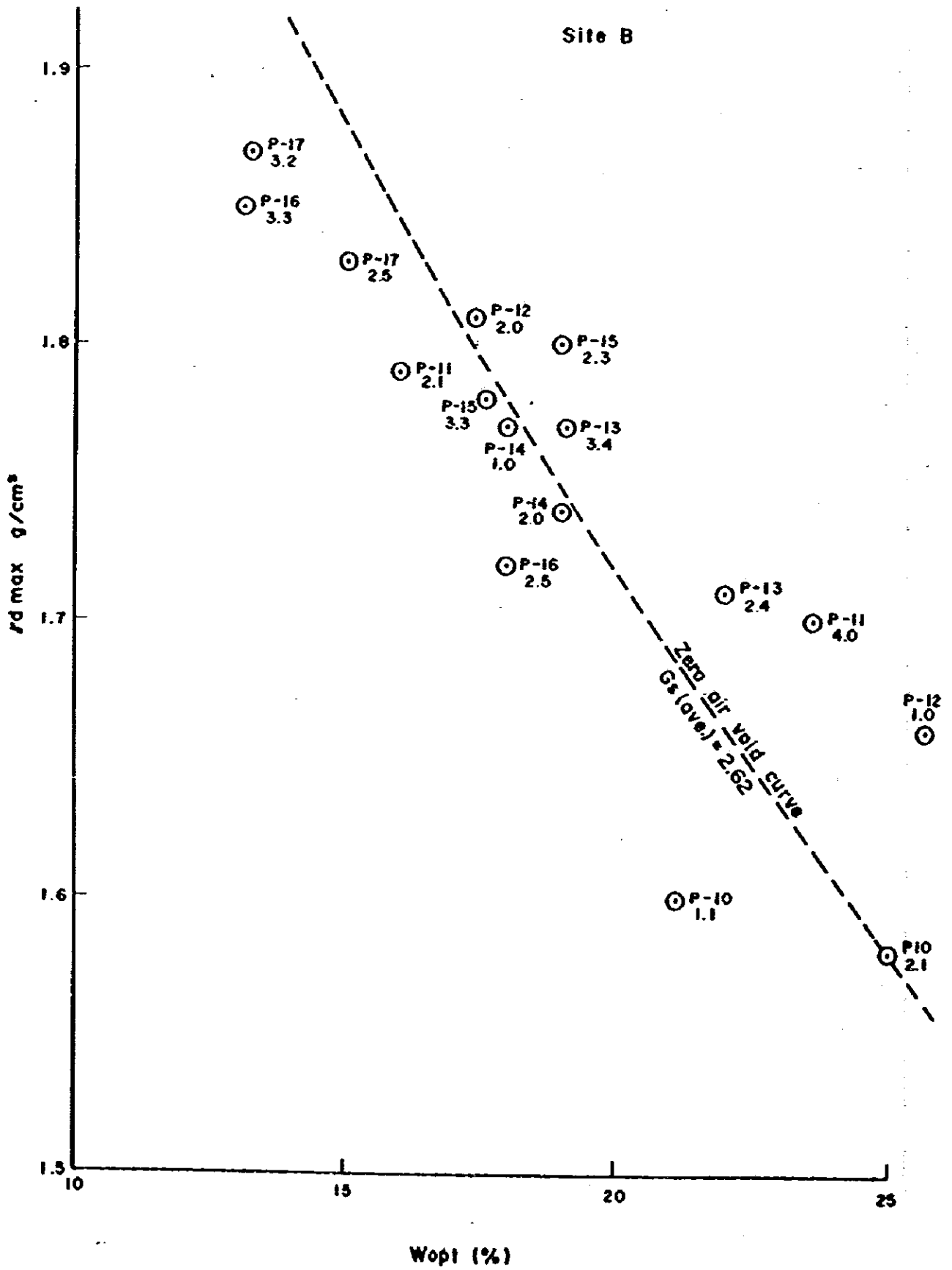


Fig.6.9 Wn ~ Wopt Relation

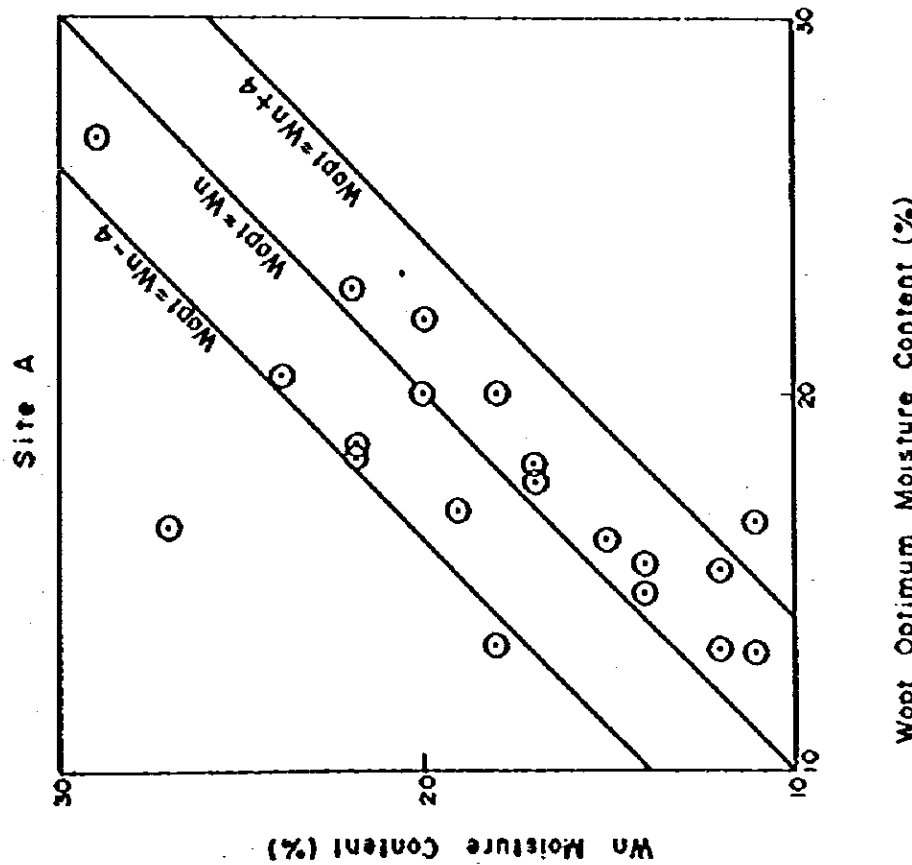
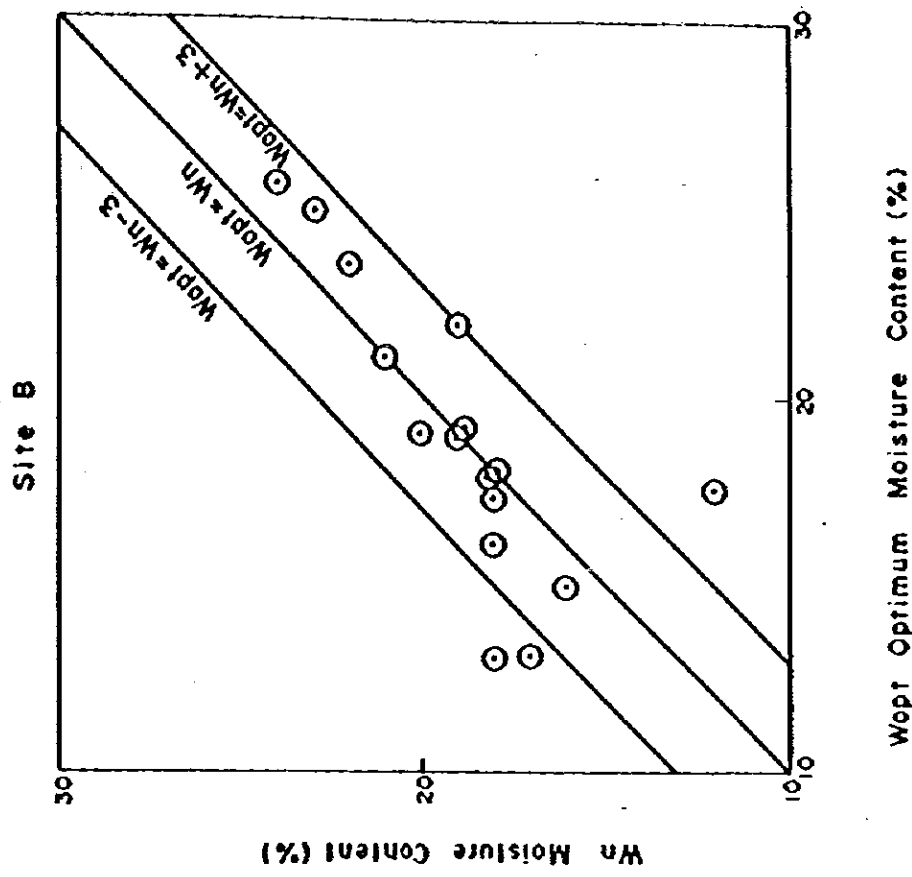


Table 6.3.1 Result of Soil Test (Upper Tekai Borrow Area (Site A))

Pir	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6		P-7		P-8		P-9				
	m	1.0	1.8	1.0	1.0	4.0	1.0	1.8	1.2	2.4	4.5	1.0	1.7	1.0	2.0	3.1	1.3	1.8	1.4	1.9	
Specific Gravity	GS	2.69	2.70	2.69	2.58	2.68	2.58	2.59	2.61	2.69	2.51	2.55	2.59	2.62	2.55	2.55	2.68	2.70	2.70	2.65	
Moisture Content	Wn %	18	14	19	24	18	14	22	11	29	22	20	11	12	17	27	22	20	15	17	
	%	6	1	14	1	0	0	0	1	2	2	1	2	9	4	0	4	28	37	36	4
Grading	Sand %	13	8	14	37	47	66	52	50	19	37	47	5	10	23	33	27	11	6	5	12
	Silt and Clay %	81	91	72	62	53	34	48	49	79	61	52	93	81	73	67	61	57	57	57	84
Grading	(Silt) %	58					20				33				42						
	(Clay) %	33					14				19				25						
Max. Diameter	Dmax mm	6.7	3.35	6.7	3.35	1.18	1.18	1.18	4.75	6.7	6.7	3.35	4.75	6.7	4.75	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	4.75
	60% grain size D60 mm		0.019				0.13				0.090					0.062					
30%	D30 mm		0.0037				0.0058				0.016					0.0076					
	10%		0.0011				0.0014				0.002					0.0013					
Uniformity	-Coefficient UC		17.3				92.9				450					47.7					
	Coefficient of Curvature UC'		0.73				16.5				1.42					0.72					
Consistency	Liquid Limit Wl %		34	48		25	26	26	26	26	36	32	32	32	35	35	41	41	35	35	35
	Plastic Limit Wp %		20	35		18	21	21	21	21	21	19	19	19	17	17	20	20	20	20	20
Consistency	Plasticity Index Ip		10	13		7	5	5	5	5	15	13	13	18	18	21	21	21	15	15	15
	Classification		CL	OL		SC	CL-ML	CL-ML	CL-ML	CL-ML	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
Moisture-Density Relations	Optimum Moisture Content %	20.0	15.5	16.9	20.5	13.3	14.7	16.3	13.1	26.8	18.5	20.0	16.6	13.2	15.3	17.7	16.5	22.8	22.0	16.1	18.0
	Wopt - Wn %	+2.0	+1.5	-2.1	-3.5	-4.7	+0.7	+3.7	+2.1	-2.2	-3.5	+0.0	+5.6	+1.2	+3.3	+0.7	-10.5	+0.8	+2.0	+1.1	+1.0
Density Relations	Max. Dry Density # mwg/cm ³	1.73	1.84	1.84	1.75	1.82	1.87	1.80	1.87	1.57	1.72	1.75	1.88	1.92	1.84	1.78	1.87	1.69	1.73	1.75	1.81
	Void Ratio e	0.56	0.47	0.46	0.47	0.39	0.43	0.43	0.39	0.66	0.56	0.43	0.36	0.35	0.42	0.43	0.36	0.59	0.56	0.54	0.46
Coefficient of Permeability	Degree of Saturation Sr %	97	90	98	100	87	91	100	88	100	88	100	98	98	95	100	100	100	100	60	100
	Kf x10 ⁷ cm/sec	4.33	4.07	6.92	500	3.85	4.04	5.46	5.32	8.14	7.04	4.26	3.85	4.47	5.29	5.04	4.33	1.15	1.21	4.94	3.46

Table 6.3.2 Result of Soil Test (Upper Tekai Quarry and Borrow Area (Site B))

Pit	P-10		P-11		P-12		P-13		P-14		P-15		P-16		P-17	
	m															
Depth	1.1	2.1	2.1	4.0	1.0	2.0	2.4	3.4	1.0	2.0	2.3	3.3	2.5	3.3	2.5	3.2
Specific Gravity	2.51	2.50	2.59	2.52	2.65	2.68	2.59	2.70	2.62	2.63	2.60	2.68	2.69	2.68	2.60	2.68
Moisture Content	21	23	18	22	24	18	19	20	18	19	19	12	18	18	16	17
Gravel	%	1	0	0	3	2	20	13		13	27	2	4	3	0	8
Sand	%	39	48	36	9	13	23	15		9	20	11	27	26	63	51
Silt and Clay	%	60	52	64	64	88	85	72		76	53	87	69	71	37	41
(Silt)	%	15		28		41		22		49		42		19		17
(Clay)	%	45		36		44		50		29		45		52		24
Max. Diameter	D _{max} , mm	4.75	1.18	2.36	4.75	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	2.36	6.7
60% grain size	D ₆₀ mm															
30% "	D ₃₀ mm															
10% "	D ₁₀ mm															
Uniformity	UC															
-Coefficient of	UC'															
Structure																
Liquid Limit	WL %	65	47	49	54	49	55	71	34	30	4					
Plastic Limit	Wp %	26	19	22	25	33	23	22	49	30	4					
Plasticity Index	Ip	39	28	27	29	16	32	49	4	4						
Classification		CH	CL	CL	CH	CL	CH	CH	OL	CH	CH	CH	CH	CH	SM	
Optimum	w _{opt} %	21.1	16.2	23.6	25.7	17.4	22.0	19.1	19.0	18.0	17.6	17.5	18.0	13.1	15.0	13.2
Moisture Content		+0.1	+2.0	-1.8	+1.6	+1.7	-0.6	+3.0	+1.0	+1.0	+1.4	+5.5	± 0.0	-4.9	-1.0	-3.6
W _{opt} - W _n																
Max. Dry	% max. ρ _{max}	1.60	1.79	1.70	1.66	1.81	1.71	1.77	1.74	1.81	1.78	1.86	1.72	1.85	1.83	1.87
Density																
Relations		0.57	0.58	0.48	0.58	0.60	0.48	0.53	0.51	0.45	0.46	0.44	0.56	0.45	0.42	0.43
Void Ratio	e															
Degree of	Sr %	93	100	89	100	100	97	100	98	100	99	100	86	78	93	82
Saturation																
Coefficient of Permeability	K _n × 10 ⁻¹¹ cm/sec	1.23	2.66	5.76	1.46	1.25	1.24	1.10	1.44	1.69	1.41	1.45	1.38	1.92	1.22	5.53

6.6 コア材適否の考察

コア材は通常以下の性質が要求される。

- ① しゅ水性がある。
- ② 密度、せん断強度がある。
- ③ 浸透水に対し抵抗力がある。
- ④ 膨張性のある成分を含まない。
- ⑤ 施工性がよい。
- ⑥ 有機物を含まないこと。
- ⑦ その他

上記について順次考察を加えていく。

6.6.1 しゅ水性

透水試験の結果、自然含水比で通常の突固めで透水係数がサイトA、Bとも 10^{-7} cm/secのオーダーであり、しゅ水性は十分満足されている。また、実際の盛立時は含水比を最適含水比に調整し、さらに締固めが試験時よりも強固に行う為に透水係数がいっそう小さくなり、しゅ水性についてはまったく問題はないものと考えられる。

6.6.2 密度、せん断強度

突固め試験の結果、最大乾燥密度はサイトAで 1.79 g/cm^3 、サイトBで 1.76 g/cm^3 であり、この値は実績表(表6.2)から判断すると低い値ではなく、コア材として十分使用できうる値である。

また、せん断強度については、通常、乾燥密度に比例して増大する為に十分な強度を有していると考えられる。サイトAより採取した不攪乱試料(P-5、2.4m 試料直径35mm)による三軸試験結果は、粘着力 $C = 0.9 \text{ kg/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 14.5^\circ$ の値が得られている。この値はコア材のせん断強度として考えた場合、この不攪乱試料は乾燥密度 1.47 g/cm^3 であり、コア材の 1.77 g/cm^3 と較べると小さな値であって、実際のコア材は上記のせん断強度よりも大きな値が期待できると思われる。

6.6.3 浸透水に対する抵抗

浸透水によるコア材粒子の流出は、浸透水の流出及び粒子の大きさ、粘着力、かみ合わせによって決まる。浸透水の流速は通常以下で定義される。

$$v = ki$$

v : 流速 cm/s

k : 透水係数 1.0×10^{-6} cm/s (設計用)

i : 動水勾配 $i = H/L$

H : ダム高さ (= 100m)

L : コア数値 (= 60m)

コア材の透水係数の設計値を 1.0×10^{-6} cm/sec とした場合、流速 v は

$$v = 1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s} \times 100 \text{ m} / 60 \text{ m} = 1.67 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$$

となる。

この値は、下記の Justin の式により算出される限界流速値よりも十分小さいので安全であると思われる。

Diameter of Particle (mm)	Critical Velocity (cm/sec)
5.00	22.86
3.00	17.71
1.00	10.22
0.80	9.14
0.50	7.23
0.30	5.60
0.10	3.23
0.08	2.89
0.05	2.29
0.03	1.77
0.01	1.02

6.6.4 膨張性のある成分を含まない

サイトA、Bより採取したコア材のうち、膨張性のあると思われた粘土鉱物について、X線解析による試験を行い、粘土鉱物の自然時の結晶間距離と膨張時（水分を加えた状態）の結晶間距離を測定し、膨張性を検討した。

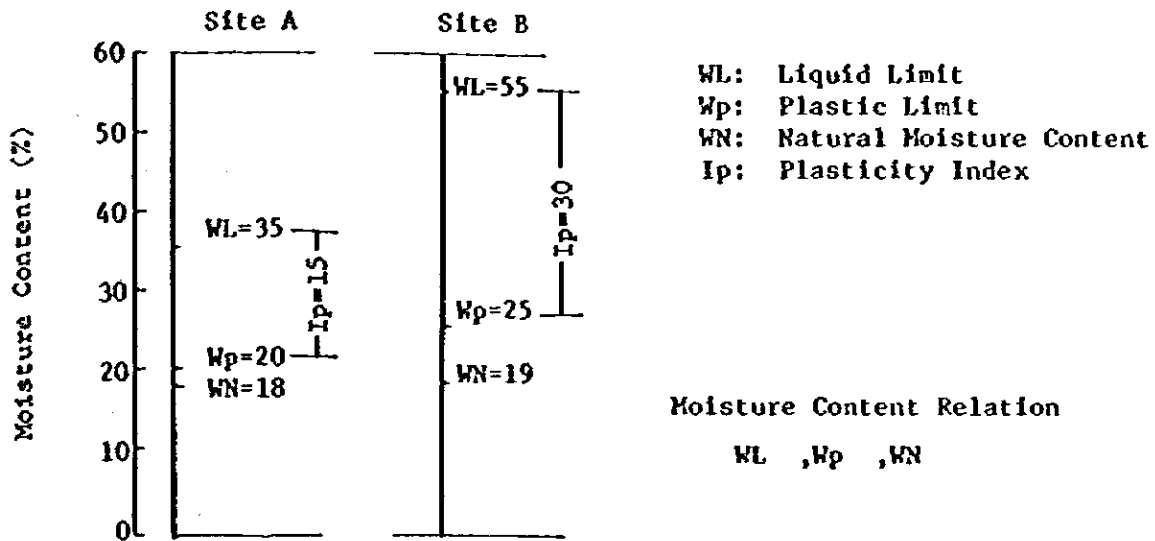
Table 6.5 Results of X-Ray Analysis

Site	Pit No.	Test No.	Distance of crystal x10 ⁻⁸ cm		$\frac{(B)-(A)}{(B)}$ (%) (C)	$(1+(C))^3$	Remarks
			Natural (A)	Poured water (B)			
Site A	P-3	1	7.18	7.18	0.000	1.000	Chlorite
		2	9.97	9.97	0.000	1.000	Sericite
	P-8	3	7.12	7.17	0.702	1.021	Chlorite
		4	9.95	9.97	0.201	1.006	Sericite
	P-9	5	7.15	7.15	0.000	1.000	Chlorite
		6	9.97	9.97	0.000	1.000	Sericite
Site B	P-10	7	7.19	7.19	0.000	1.000	Chlorite
		8	9.95	9.97	0.201	1.006	Sericite
	P-13	9	7.18	7.18	0.000	1.000	Chlorite
	P-14	10	7.17	7.17	0.000	1.000	Chlorite

*
図6.10のX線回折チャートに示すように、試料には膨張性を有する粘土鉱物（モンモリロナイト、カオリナイト、ハロイサイトなど）は含まれておらず、表6.5に示すように、試料の膨張性はなく、コア材として問題がないものと判断される。

6.6.5 施工性について

サイト A、B の自然含水比、アッターベルグ限界は次のようになっている。



模式図より、自然含水比と塑性限界との差が小さいことがわかる。一般に細粒土の最適含水比は塑性限界とほぼ同一であり、土がよく締まっていることを示している。このため、通常の工事では、道路、採石場の施工性（トラフィカビリチィ）は良いと思われる。

6.6.6 有機物

図4.15 に示すように、立坑では表土および有機土は1 m程度で分布している。このため、コア材は、この表土ならびに有機土を除去した風化層を対象とし、試験を実施した。立坑で採取した試料のうち、P-7、2.0 mならびにP-14、2.0 mについて、土質分類上OL（有機質シルト）が採取されたが、それ以外の試料は全て有機物を含まないため、風化層は有機物の混入が少なく、コア材として適しているものと判断される。

6.6.7 その他

実績による検討

(I) 土質分類

表6.6 に示す「Earth Manual, Bureau of Reclamation, Second Edition 1974」によれば、一般的な土の性質は以下の通りである。

- サイトAは C_L よりなるが、 C_L は転圧後は十分な、シヤ水性ならびに強度を有しているものといえる。

○サイト B は C_L 及び C_H よりなるが、この内 C_H は転圧後十分なしゅ水性を有するが、強度については十分な検討が必要である。

(2) 粒度分布

粒度を諸外国の実績と、サイト A、B 別に対応させると、図 6.11 のごとくなる。

図 6.11 に示すように、テカイでは他地点の実績とくらべ、十分コア材として使用できる。

(3) コア材諸物性

表 6.7 の世界各地のコア材の物性を示す。

テカイ地点の試料の諸物性については、その地点における実績の範囲内にある。また、 C_L 、 C_H の土を使用したコア材も多数あり、土質分類の面からみても、テカイ地点のコア材は十分使用できると思われる。

Table 6.6 EARTH MANUAL

PROPERTIES OF SOILS

TYPICAL NAMES OF SOIL GROUPS	GROUP SYMBOLS	IMPORTANT ENGINEERING PROPERTIES				WORKABILITY AS A CONSTRUCTION MATERIAL	RELATIVE DESIRABILITY FOR VARIOUS USES (NO. 1 IS CONSIDERED THE BEST)									
		PERMEABILITY WHEN COMPACTED	SHEAR STRENGTH WHEN COMPACTED AND SATURATED	COMPRESSIBILITY WHEN COMPACTED AND SATURATED			ROLLED EARTH/FILL DAMS			CANAL SECTIONS		FOUNDATIONS		ROADWAYS		
							HOMOGENEOUS EMBANKMENT	CORE	SHELL	EROSION RESISTANCE	COMPACTED EARTH LINING	SEEPAGE IM-PORTANT	SEEPAGE NOT IM-PORTANT	FILLS		SURFACING
														FROST HEAVE NOT POSSIBLE	FROST HEAVE POSSIBLE	
WELL-GRADED GRAVELS, GRAVEL-SAND MIXTURES, LITTLE OR NO FINES	GW	PERVIOUS	EXCELLENT	NEGLECTIBLE	EXCELLENT	-	-	1	1	-	-	1	1	1	1	3
POORLY GRADED GRAVELS, GRAVEL-SAND MIXTURES, LITTLE OR NO FINES	GP	VERY PERVIOUS	GOOD	NEGLECTIBLE	GOOD	-	-	2	2	-	-	3	3	3	-	-
SILTY GRAVELS, POORLY GRADED SAND-SILT MIXTURES	GM	SEMI-PERVIOUS TO IMPERVIOUS	GOOD	NEGLECTIBLE	GOOD	2	4	-	4	4	1	4	4	5	5	5
CLAYEY GRAVELS, POORLY GRADED GRAVEL-SAND-CLAY MIXTURES	GC	IMPERVIOUS	GOOD TO FAIR	VERY LOW	GOOD	1	1	-	3	1	2	6	5	5	1	-
WELL-GRADED SANDS, GRAVELLY SANDS, LITTLE OR NO FINES	SW	PERVIOUS	EXCELLENT	NEGLECTIBLE	EXCELLENT	-	-	3 IF GRAVELLY	6	-	-	2	2	2	4	-
POORLY GRADED SANDS, GRAVELLY SANDS, LITTLE OR NO FINES	SP	PERVIOUS	GOOD	VERY LOW	FAIR	-	-	4 IF GRAVELLY	3 IF GRAVELLY	-	-	5	5	4	-	-
SILTY SANDS, POORLY-GRADED SAND-SILT MIXTURES	SM	SEMI-PERVIOUS TO IMPERVIOUS	GOOD	LOW	FAIR	4	5	-	8 IF GRAVELLY	6 EROSION CRITICAL	3	7	8	10	6	-
CLAYEY SANDS, POORLY GRADED SAND-CLAY MIXTURES	SC	IMPERVIOUS	GOOD TO FAIR	LOW	GOOD	3	2	-	5	2	4	8	7	6	2	-
INORGANIC SILTS AND VERY FINE SANDS, ROCK FLOUR, SILTY OR CLAYEY FINE SANDS WITH SLIGHT PLASTICITY	ML	SEMI-PERVIOUS TO IMPERVIOUS	FAIR	MEDIUM	FAIR	6	6	-	-	6 EROSION CRITICAL	6	9	10	11	-	-
INORGANIC CLAYS OF LOW TO MEDIUM PLASTICITY, GRAVELLY CLAYS, SANDY CLAYS, SILTY CLAYS, LEAN CLAYS	CL	IMPERVIOUS	FAIR	MEDIUM	GOOD TO FAIR	5	3	-	9	3	5	10	8	7	7	-
ORGANIC SILTS AND ORGANIC SILTY-CLAYS OF LOW PLASTICITY	OL	SEMI-PERVIOUS TO IMPERVIOUS	POOR	MEDIUM	FAIR	8	8	-	-	7 EROSION CRITICAL	7	11	11	12	-	-
INORGANIC SILTS, MICACEOUS OR DIATOMACEOUS FINE SANDY OR SILTY SILTS, ELASTIC SILTS	MH	SEMI-PERVIOUS TO IMPERVIOUS	FAIR TO POOR	HIGH	POOR	8	8	-	-	-	8	12	12	13	-	-
INORGANIC CLAYS OF HIGH PLASTICITY, FAT CLAYS	CH	IMPERVIOUS	POOR	HIGH	POOR	7	7	-	10	8 VOLUME CHANGE CRITICAL	8	13	13	8	-	-
ORGANIC CLAYS OF MEDIUM TO HIGH PLASTICITY	OH	IMPERVIOUS	POOR	HIGH	POOR	10	10	-	-	-	10	14	14	14	-	-
PEAT AND OTHER HIGHLY ORGANIC SOILS	PI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

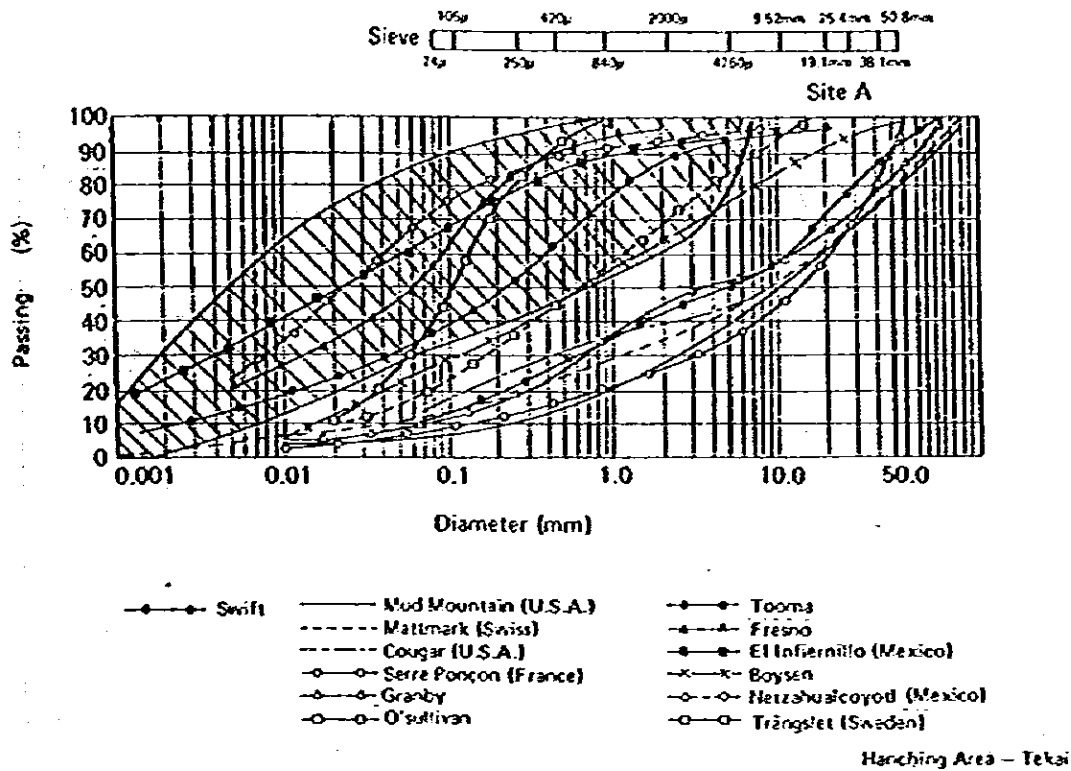


Fig. 6.11.1

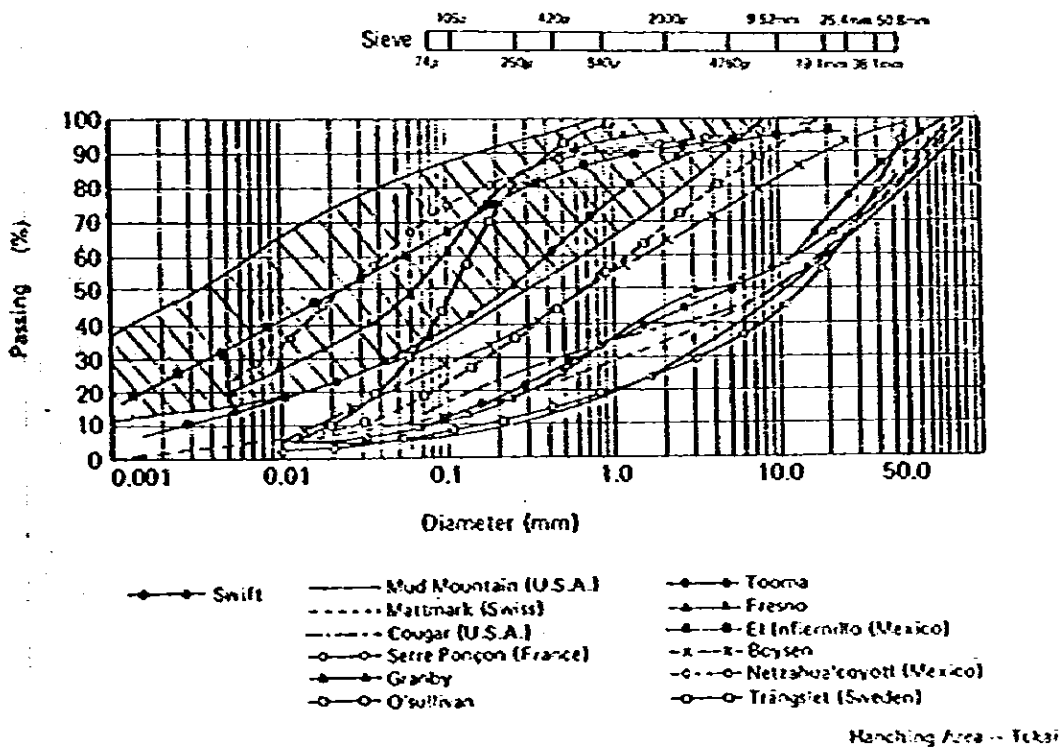


Fig. 6.11.2

Table 6.7 Example of Core Material

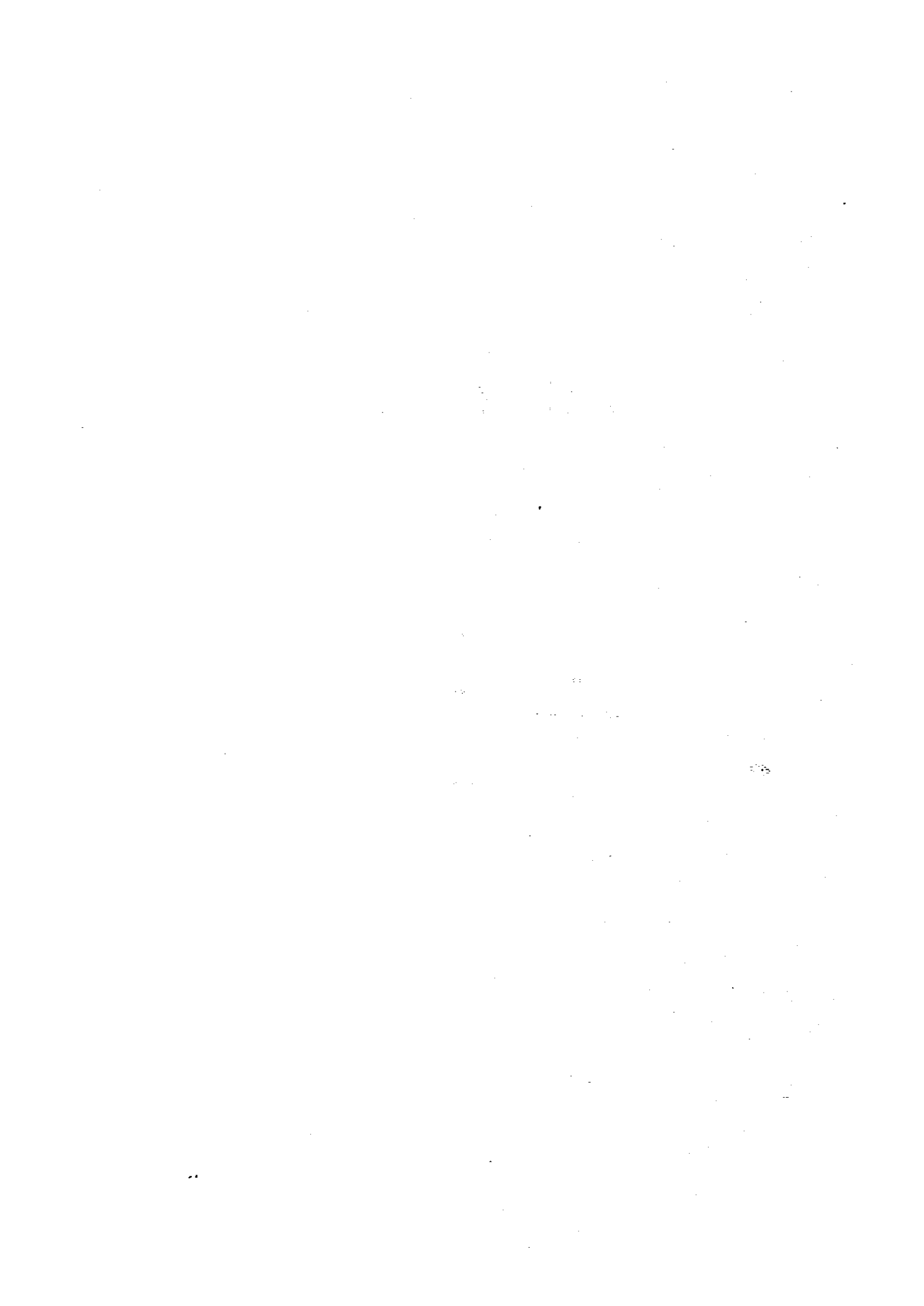
	Unified Soil Classification	Gs	Moisture Content			Max. Dry Density ρ_{dmax} (g/cm ³)	Atterberg			Grading (mm)			Permeability k (cm/sec)			
			Wn (%)	Wopt (%)	Construction		Wl (%)	Wp (%)	PI	75 (%)	5 (%)	0.075 (%)		0.020 (%)		
Oroville (U.S.A.)	CL CL-ML	2.69	8						28	21	7	100	55	25	8	
Kremasta (Greece)	ML	2.69		16	Wopt +1				27	19	8		95	75	25	5×10^{-6}
Göschernalp (Swiss)	CL	2.72	6	6	Wopt 0	2.16			20	15	5	93	52	24	5	5×10^{-6}
Gedatsch (Austria)	CL	2.66	8.8	8.8	Wopt 0				31	21	10	100	60	20	1	2.5×10^{-7}
Swift (U.S.A.)	SC-SM		10	12	Wopt +2	1.9			49	24	5	92	60	12	1	2×10^{-6}
Ei Infiernillo (Mexico)	CL	2.76	23	19	Wopt +4	1.69			56	35	25	100	95	65	25	5×10^{-6}
Netzahualcoyotl (Mexico)	ML		25	18	Wopt +7	1.68			56	35	20	100	97	71	15	
Cougar (U.S.A.)	ML		15	14	Wopt +1	1.89			40	30	10	90	76	16	1	10^{-7}
Furnas (Brazil)	CH CL		23						50	25	25	100	100	73	38	
Serre-Ponçon (France)	ML		14	12	Wopt +2				26.4	19.7	6.7	95	73	41	7	3×10^{-7}
Trinity (U.S.A.)	CL-ML		11	10	Wopt +1				28	22	6	97	64	34	12	2×10^{-6}
Akosombo	CL		13	15	Wopt -2	1.90			40	18	22	100	36	25	7	10^{-6}
Messaure (Sweden)	SC-SM		14	13	Wopt +0.5											
Djetitshur	CH	2.73	24	22	Wopt +4	1.63			64	26	38	100	81	64	30	5×10^{-6}
Hytteljuvet (Norway)	CL-ML	2.76	8	8	Wopt +2	2.17			21	15	6	82	69	33	5	7×10^{-6}
Presidente Aleman (Mexico)	CH		24	21	Wopt +3				70	27	9	100	87	67	30	
Tooms	ML		18	18	Wopt -2 to +1	1.73			30	27	9	100	93	36	6	0.5×10^{-6}
Shak Pik	CL		16	16	Wopt +2	1.76			37	25	12	100	96	60	20	2.5×10^{-7}
Gréboux	ML		11						27	17	10	100	70	50		
Round Butte (U.S.A.)	CL	2.62	12.7		Wopt -1				~20	~20	5	100	70	30		
Tekai Site A	CL	2.62	18	18	Wopt +4	1.79			35	20	15	100	90	67	40	4.5×10^{-7}
Tekai Site B	CL, CH	2.62	19	19	Wopt +3	1.76			55	25	30	100	95	65	40	1.5×10^{-7}

6.6.8 ま と め

以上の検討の結果、サイトA、Bの両試料ともコア材として使用できると思われる。特にコア材の基本的性質である不透水性は完全に満足している。

今後、三軸圧縮試験、透水試験を行い、コア材の強度ならびに透水性について詳細に検討する必要があると考えられる。

7. 岩 石 試 験



7. 岩石試験

7.1 試験概要

テカイ地点上部ダムのロック材及び上部、下部ダムのコンクリート骨材について、ボーリングコアを利用した岩石試験より判断し、最適なロック材、骨材の選定及び採石場の選定を行ったものである。

検討の結果、上部ダム近くの砂岩分布に富む Site B から堅硬な骨材を採取すれば質量ともに諸条件を満足している。

7.2 試験項目

試験は通常ボーリングコアを利用して行われる項目に従って行った。以下の試験は岩の基本的性質及び風化の程度の把握を行い、建設材料としての適否を検討するために行った。

- ① 比重・吸水
- ② 一軸圧縮試験
- ③ 超音波伝播速度

試験の実施数量は表 7.1 に示す通りである。

Table 7.1 Quantity of Samples

Site	Sample			
	Sandstone	Shale	Limestone	Total
Upper Dam Site	19	3	0	22
Site A	2	2	0	4
Site B	10	0	0	10
Lower Dam Site	14	6	0	20
Site C	11	1	0	12
Site D	1	0	3	4
Total	57	12	3	72

7.3 試験方法

以下の岩石試験は、ASTMの以下の仕様によって行った。

- ① 比重 ASTM C127-81
- ② 一軸圧縮強度 ASTM D2938
- ③ 超音波伝播速度 ASTM D2845

Ⅱ) 一軸圧縮強度

図 7.3 は各ダムサイト及び各原石山候補地における岩石試料の一軸圧縮強度の度数分布を示す。また、図 7.10 は各岩石別の一軸圧縮強度の度数分布を示す。図 7.10 によれば、頁岩の一軸圧縮強度が最も低く $279 \pm 208 \text{ kgf/cm}^2$ であり、石灰岩のそれはほぼ一定し、 $954 \pm 149 \text{ kgf/cm}^2$ であり、砂岩の一軸圧縮強度は大きいバラツキが多く、 $1,230 \pm 781 \text{ kgf/cm}^2$ の値を示している。ダム基礎岩盤としては、頁岩の一部を除いて良好の状態を示している。

Ⅲ) 弾性波速度

図 7.6 及び図 7.7 は各ダムサイト、原石山候補地から採取された岩石試料の P 速度及び S 波速度を示すものである。また図 7.13 及び図 7.14 は各岩石別の P 波速度及び S 波速度の度数分布をそれぞれ示すものである。石灰岩の P 波速度は $6,627 \pm 92 \text{ m/sec}$ であり、高い値を示す。砂岩の P 波速度は $4,228 \pm 1,008 \text{ m/sec}$ であり、中生代堆積岩としては一般的な値である。頁岩の P 波速度は $3,309 \pm 977 \text{ m/sec}$ であり、やや低い値を示す。図 7.17 には一軸圧縮強度と P 波速度との関係を示す。頁岩が一軸圧縮強度が低く、かつ P 波速度も低いのは、当地点の頁岩が劈開性に富むためと考えられ、岩石材料としては大部分が不適であることを示している。

図 7.4 及び図 7.5 は各ダムサイト・原石山候補地から採取された岩石試料の動弾性係数及びポアソン比を P 波速度・S 波速度ならびに密度より計算で求めたものである。図 7.11 及び図 7.12 は各岩石別の動弾性係数及びポアソン比をそれぞれ示したものである。

7.4 試験結果

図 7.2.1、7.2.2 に試験結果一覧表を示す。また、図 7.1～7.7 にサイト別、岩種別に各試験のヒストムグラムを示す。

また、図 7.8～図 7.14 まで、テカイ地点全体での試験毎のヒストムグラムを示す。尚、動弾性及びポアソン比は、下記の式を用いて超音波伝播速度から算出す。

E : 動弾性係数 (kg/cm²)

ν : 動ポアソン比

V_p : P 波速度 (m/s)

V_s : S 波速度 (m/s)

γ_d : 密度 (g/cm³)

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1\right)}$$

$$E = \frac{2(1+\nu) \gamma_s (V_s)^2}{9.8 \times 10}$$

岩石試験の結果は次のようにまとめられる。

1) 比重及び吸水率

図 7.1 は各ダムサイト及び各原石山候補地における絶乾比重の度数分布を示す。

図 7.8 は各岩石別についての絶乾比重の度数分布を示す。図 7.8 によれば、石灰岩の比重が最も大きく 2.701 ± 0.003 であり、砂岩の比重は 2.516 ± 0.091 であり、頁岩の比重は最も小さく 2.384 ± 0.152 である。

図 7.2 は各ダムサイト及び各原石山候補地における吸水率の度数分布を示す。また図 7.9 は各岩石別についての吸水率の度数分布を示す。図 7.9 によれば、石灰岩の吸水率が、最も小さく 0.15 ± 0.06 % であり、砂岩の吸水率は 1.58 ± 1.35 %、頁岩の吸水率は、3.59 ± 1.52 % であって最も大きい。

Table 7.2.1 RESULT OF ROCK TESTS (UPPER TEKA SITE)

Sample No.	Slide No.	Depth (m)	Rock	Weathering	P. of W.A. (%)	Specific Gravity		U.C.S. (kg/cm ²)	Ultrasonic Wave Velocity (10 m/sec)		M. of E. Dynamic (10 kg/cm ²)	Poisson Ratio Dynamic	Remarks
						S.S.	S.A.		P wave	S wave			
UR-1	UD-5	26.40~26.55	Sandstone (Medium sandstone)	Slightly weathered	0.60	2.649	2.633	9.18	5.353	2.940	60.2	0.28	Intake
UR-2	UD-4	14.30~14.45	Sandstone (Fine quartzose sandstone)	Moderately weathered	2.52	2.559	2.496	9.24	3.268	1.527	16.6	0.36	Jam center
UR-3	UD-5	9.14~9.30	Sandstone (Fine quartzose sandstone)	Moderately weathered	1.48	2.616	2.605	1.165	4.348	2.078	31.3	0.35	
UR-4	UD-6	4.13~4.27	Sandstone (Medium sandstone)	Moderately weathered	0.85	2.625	2.618	2.109	4.827	2.525	42.5	0.31	
UR-5	UD-7	5.23~5.38	Sandstone (Coarse quartzose sandstone)	Highly weathered	0.99	2.427	2.459	5.80	4.419	2.190	33.2	0.34	
UR-6	UD-8	4.55~4.70	Sandstone (Coarse quartzose sandstone)	Moderately weathered	1.15	2.592	2.562	1.565	3.504	1.728	20.9	0.34	
UR-7	UD-1	3.17~3.32	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Highly weathered	1.99	2.447	2.430	36.2	2.614	1.190	10.0	0.37	
UR-8	UD-2	6.32~6.47	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Moderately weathered	0.80	2.641	2.630	1.630	4.828	2.623	48.0	0.28	Cutter dam
UR-9	UD-3	7.55~7.70	Sandstone (Coarse quartzose sandstone)	Slightly weathered	1.21	2.563	2.532	0.84	4.588	2.531	43.4	0.28	
UR-10	UD-9	9.70~9.85	Sandstone (Shaly sandstone)	Fresh	0.97	2.678	2.653	5.63	5.165	2.693	52.9	0.31	
UR-11	UD-4	23.05~23.20	Shale (Sandy shale)	Moderately weathered	3.24	2.401	2.353	1.15	2.656	1.326	11.8	0.33	
UR-12	UD-14	6.30~6.47	Sandstone (Fine sandstone)	Slightly weathered	1.32	2.668	2.633	4.56	4.845	2.674	49.9	0.28	Spillway
UR-13	UD-15	15.00~15.15	Sandstone (Shaly sandstone)	Slightly weathered	1.32	2.640	2.634	8.67	4.830	2.668	49.3	0.28	
UR-14	UD-10	15.60~15.75	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Moderately weathered	0.91	2.610	2.596	1.089	4.604	2.624	45.8	0.26	
UR-15	UD-11	24.08~24.24	Shale (Shale)	Slightly weathered	3.26	2.480	2.438	3.90	3.208	1.506	15.2	0.36	Inversion tunnel
UR-16	UD-11	45.25~45.50	Sandstone (Medium sandstone)	Slightly weathered	0.73	2.624	2.615	2.030	3.379	3.018	62.2	0.27	
UR-17	UD-12	35.38~35.50	Sandstone (Shaly sandstone)	Very fresh	1.63	2.649	2.639	2.606	4.821	2.731	51.6	0.26	
UR-18	UD-13	17.22~17.40	Sandstone (Medium sandstone)	Slightly weathered	1.11	2.623	2.610	2.595	4.858	2.715	50.1	0.27	
UR-19	UD-16	30.10~30.25	Sandstone (Shaly sandstone)	Slightly weathered	1.28	2.604	2.653	6.61	5.005	2.834	54.6	0.26	Power tunnel
UR-20	UD-17	39.00~39.15	Shale (Silty shale)	Very fresh	0.77	2.712	2.711	5.74	4.858	2.305	40.6	0.35	
UR-21	UD-18	2.15~2.25	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Moderately weathered	0.58	2.618	2.609	2.462	5.653	3.053	64.9	0.29	Power station
UR-22	UD-18	13.80~13.95	Sandstone (Coarse quartzose sandstone)	Slightly weathered	1.00	2.578	2.553	1.641	4.802	2.753	49.5	0.26	
UR-23	UQ-1	23.05~23.20	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Highly weathered	1.39	2.589	2.554	1.283	2.436	1.209	10.1	0.34	
UR-24	UQ-1	49.56~49.73	Sandstone (Medium sandstone)	Slightly weathered	0.72	2.617	2.608	2.559	4.386	2.257	35.8	0.32	
UR-25	UQ-2	15.27~15.45	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Moderately weathered	0.96	2.614	2.602	2.589	1.946	1.865	24.9	0.33	
UR-26	UQ-2	42.00~42.17	Sandstone (Coarse quartzose sandstone)	Fresh	0.44	2.649	2.638	2.638	5.917	4.368	79.8	0.24	
UR-27	UQ-3	14.70~14.80	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Moderately weathered	1.03	2.439	2.426	2.414	1.718	1.791	21.5	0.28	
UR-28	UQ-3	48.00~48.15	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Slightly weathered	1.03	2.605	2.578	6.72	3.956	1.791	22.0	0.28	
UR-29	UQ-4	5.85~6.00	Sandstone (Coarse quartzose sandstone)	Highly weathered	1.17	2.477	2.458	7.54	1.294	0.594	2.45	0.37	
UR-30	UQ-4	50.00~50.17	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Slightly weathered	0.35	2.643	2.642	2.615	5.840	3.403	78.3	0.24	
UR-31	UQ-5	25.20~25.35	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Slightly weathered	1.23	2.622	2.612	2.591	4.88	4.325	35.9	0.31	
UR-32	UQ-5	37.10~37.15	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Slightly weathered	0.70	2.637	2.628	2.618	2.688	4.862	52.5	0.25	
UR-33	UR-1	19.00~19.13	Shale (Shale)	Slightly weathered	4.35	2.838	2.820	1.65	2.427	1.283	10.2	0.31	
UR-34	UR-2	14.43~14.58	Sandstone (Medium sandstone)	Moderately weathered	1.23	2.609	2.599	1.373	4.649	2.562	44.5	0.28	
UR-35	UR-3	15.56~15.70	Shale (Shale)	Fresh	3.77	2.421	2.362	31.9	3.878	2.017	27.2	0.31	
UR-36	UR-4	28.70~28.85	Sandstone (Medium quartzose sandstone)	Slightly weathered	1.81	2.599	2.575	3.01	4.156	2.076	30.7	0.33	

U.C.S. Unconfined Compressive Strength
 M. of E. Modulus of Elasticity
 P. of W.A. Percentage of Water Absorption
 S.S. Saturated Specific Gravity
 S.A. Saturated Specific Gravity
 D.S. Dry Specific Gravity
 U.S. Unconfined Compressive Strength
 M. of E. Modulus of Elasticity

Table 7.22 RESULT OF ROCK TESTS (LOWER TEKA SITE)

No	Sample No.	Hole No.	Depth (m)	Rock	Weathering	P. of W.A. (%)	Specific Gravity			U.C.S. (kgf/cm ²)	Ultrasonic Wave Velocity (10 ³ m/sec)		M. of P. Dynamic (x 10 ³ kgf/cm ²)	Poisson Ratio Dynamic	Remarks
							S.S.	S.A.	D.S.		P. wave	S. wave			
1	LR-1	L-1	16.05~16.18	Shale	Slightly weathered	3.72	2.582	2.538	2.419	206	3.012	1.455	14.8	0.35	Ban center
	LR-2	L-1	20.50~20.71	Sandstone	Slightly weathered	1.62	2.589	2.571	2.548	1,158	3.750	1.944	25.8	0.32	
	LR-3	L-2	9.24~9.37	Sandstone	Fresh	0.33	2.620	2.617	2.611	3,902	5.761	3.503	78.9	0.21	
	LR-4	L-3	12.80~13.00	Sandstone	Slightly weathered	0.94	2.608	2.595	2.584	851	5.022	2.765	52.2	0.28	
	LR-5	L-4	16.80~17.00	Sandstone	Slightly weathered	3.14	2.459	2.406	2.383	846	3.749	1.936	24.2	0.32	
	LR-6	LD-2	14.20~14.40	Shale	Slightly weathered	5.80	2.323	2.234	2.196	56.3	2.008	0.919	5.21	0.37	
	LR-7	LD-3	7.20~7.40	Sandstone	Moderately weathered	1.89	2.611	2.504	2.563	961	4.748	2.252	37.3	0.35	
	LR-8	LD-3	11.57~11.73	Shale	Moderately weathered	1.98	2.605	2.629	2.595	436	3.942	1.728	22.4	0.38	
	LR-9	LD-4	14.83~15.00	Sandstone	Slightly weathered	0.24	2.640	2.637	2.633	3,222	5.491	2.795	54.6	0.33	
	LR-10	LD-5	9.80~10.00	Sandstone	Moderately weathered	1.34	2.606	2.591	2.572	1,993	4.128	2.134	31.3	0.32	
	LR-11	LD-6	8.05~8.20	Sandstone	Moderately weathered	1.82	2.504	2.536	2.518	1,197	2.229	1.168	9.42	0.31	
	LR-12	LD-9	18.26~18.40	Sandstone	Slightly weathered	1.64	2.592	2.578	2.550	3.81	4.534	2.324	37.9	0.32	
	LR-13	LD-1	6.00~6.20	Shale	Slightly weathered	1.55	2.532	2.516	2.494	489	4.185	2.266	36.1	0.29	
	LR-14	LD-10	8.70~8.80	Sandstone	Highly weathered	1.91	2.588	2.582	2.539	634	4.157	2.190	32.4	0.31	
	LR-15	LD-11	17.17~17.33	Sandstone	Moderately weathered	1.18	2.600	2.586	2.570	1,079	4.236	2.165	33.1	0.32	
	LR-16	LD-12	42.78~42.95	Sandstone	Slightly weathered	0.88	2.639	2.634	2.616	2,050	5.230	2.695	51.2	0.32	
	LR-17	LD-13	18.60~18.95	Sandstone	Moderately weathered	2.22	2.567	2.543	2.511	536	3.527	1.766	21.6	0.33	
	LR-18	LD-7	9.45~9.55	Shale	Highly weathered	4.40	2.408	2.344	2.307	182	2.172	1.057	7.26	0.34	
	LR-19	LD-8	12.65~12.80	Sandstone	Slightly weathered	1.02	2.607	2.594	2.581	2,272	4.884	2.568	45.7	0.31	
	LR-20	LD-14	6.00~6.15	Shale	Highly weathered	5.32	2.367	2.305	2.247	73.6	2.265	0.949	5.10	0.39	
2	LR-21	LO-1	14.85~15.00	Sandstone	Moderately weathered	2.88	2.535	2.494	2.464	754	2.864	1.389	13.0	0.35	Quarry area
	LR-22	LO-1	25.60~25.75	Sandstone	Moderately weathered	1.54	2.583	2.559	2.544	1,780	3.679	2.020	27.7	0.28	
	LR-23	LO-1	41.20~41.35	Sandstone	Moderately weathered	2.23	2.572	2.543	2.516	336	4.038	2.032	29.1	0.33	
	LR-24	LO-2	15.30~15.46	Sandstone	Moderately weathered	1.26	2.594	2.575	2.562	2,129	3.680	1.945	25.6	0.31	
	LR-25	LO-2	29.10~29.25	Sandstone	Moderately weathered	2.04	2.574	2.548	2.523	513	3.651	1.917	25.0	0.31	
	LR-26	LO-2	47.60~47.80	Sandstone	Moderately weathered	1.23	2.605	2.595	2.574	1,449	4.051	2.261	34.4	0.27	
	LR-27	LO-3	14.70~14.90	Sandstone	Highly weathered	8.86	2.257	2.102	2.074	-	-	-	-	-	
	LR-28	LO-3	21.00~21.15	Sandstone	Highly weathered	1.70	2.584	2.562	2.541	660	2.391	1.226	10.4	0.32	
	LR-29	LO-4	18.30~18.47	Sandstone	Moderately weathered	4.06	2.447	2.390	2.351	258	3.125	1.548	16.0	0.34	
	LR-30	LO-5	13.76~13.83	Shale	Highly weathered	4.83	2.365	2.297	2.256	613	1.855	0.802	4.16	0.39	
	LR-31	LO-5	30.45~30.65	Sandstone	Moderately weathered	2.28	2.578	2.549	2.518	217	3.818	2.023	28.0	0.30	
	LR-32	LO-6	21.60~21.75	Sandstone	Moderately weathered	1.46	2.594	2.574	2.557	1,217	5.215	2.953	58.8	0.26	
3	LR-33	DH-1	17.20~17.35	Limestone	Fresh	0.09	2.706	2.705	2.704	863	6.725	3.920	105.5	0.24	N.G. Limestone
	LR-34	DH-2	23.50~23.65	Limestone	Fresh	0.20	2.704	2.701	2.699	1,126	6.543	3.402	85.2	0.31	
	LR-35	DH-3	43.60~43.75	Limestone	Fresh	0.16	2.704	2.701	2.699	873	6.613	3.487	86.9	0.31	
	LR-36	DH-4	28.70~28.85	Sandstone	Moderately weathered	5.98	2.543	2.464	2.399	205	2.269	1.231	10.5	0.29	

LEGEND D.S. Dried Specimen S.A. Soaked Specimen P. of W.A. Percentage of Water Absorption U.C.S. Unconfined Compression Strength M. of P. Modulus of Elasticity

Fig.7.1 Specific Gravity (Dried Specimen)
(Gs)

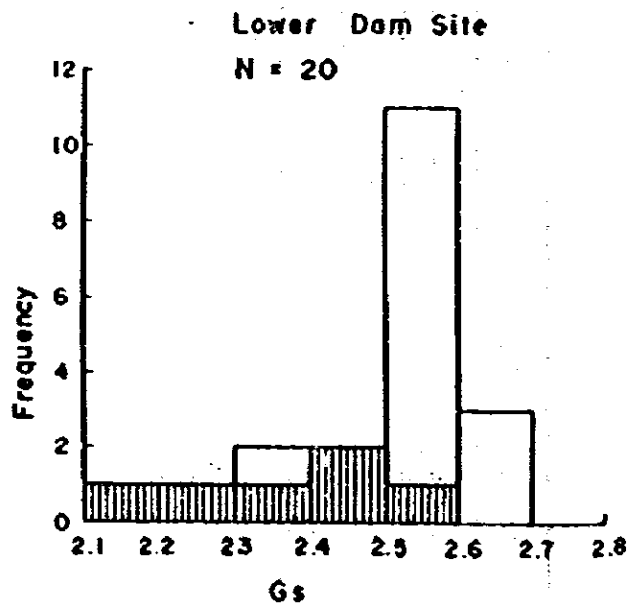
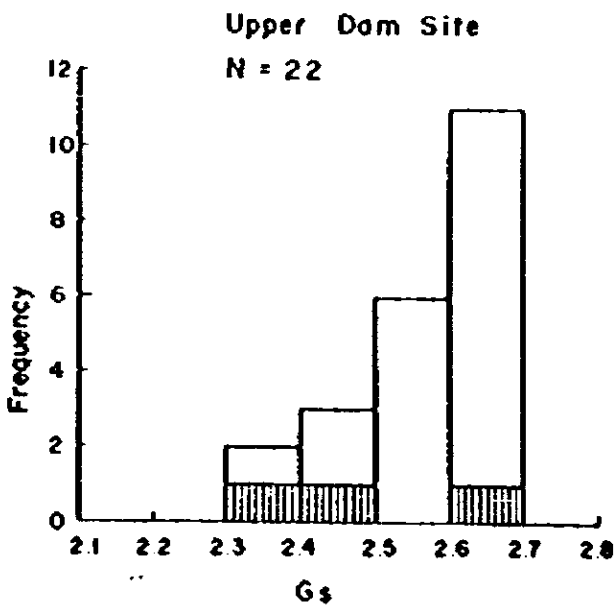
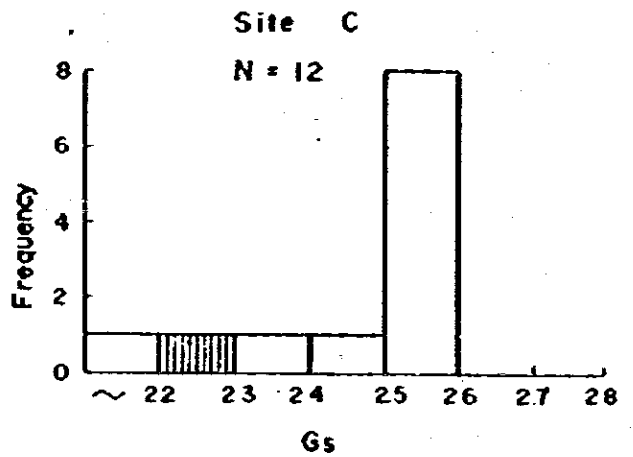
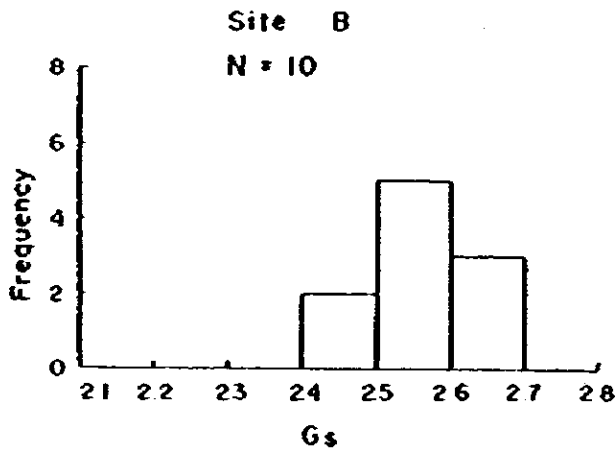
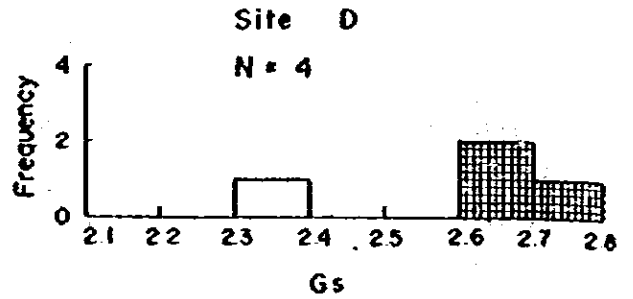
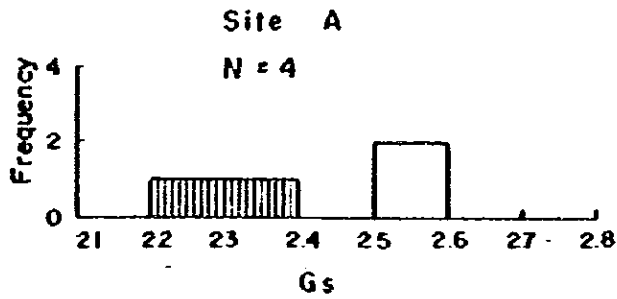
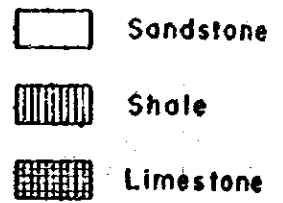


Fig.7.2 Percentage of Water Absorption
(P. of W. A)

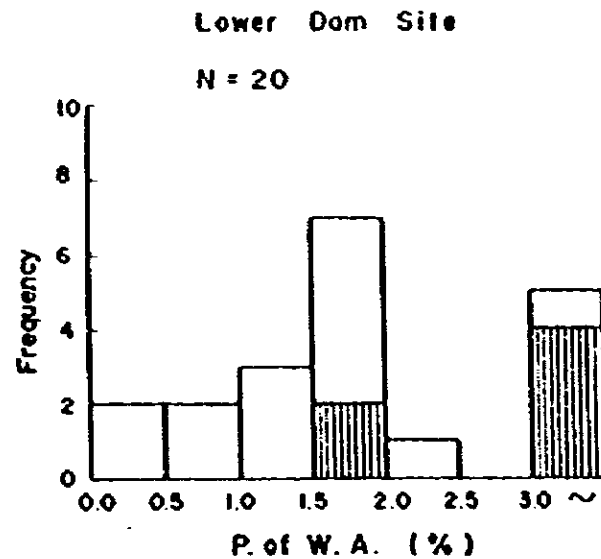
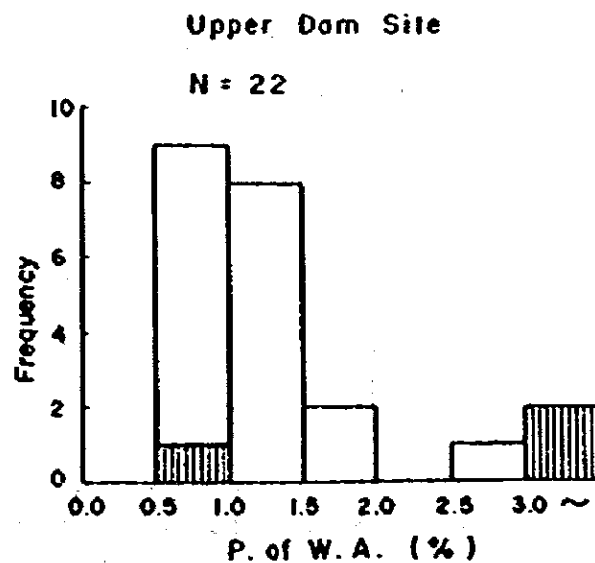
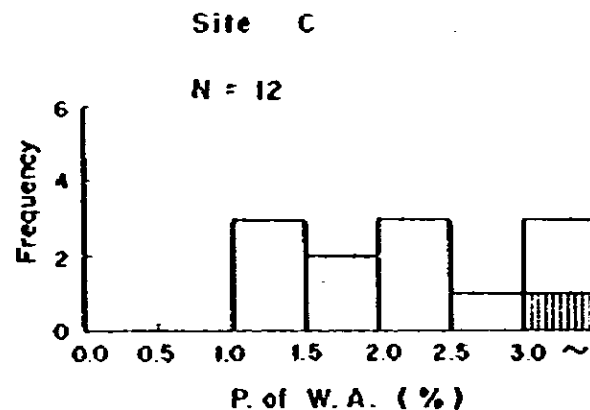
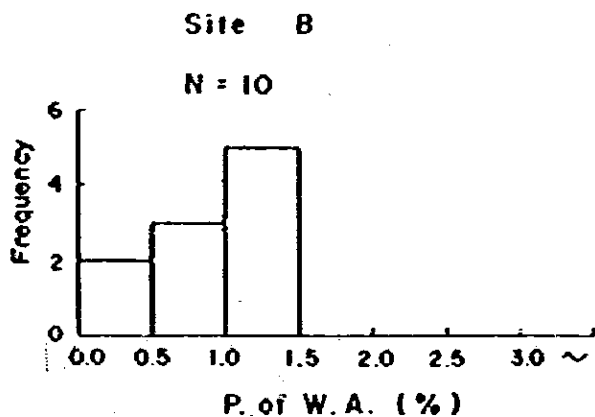
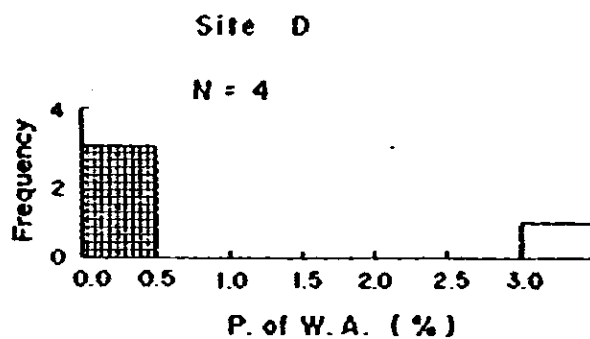
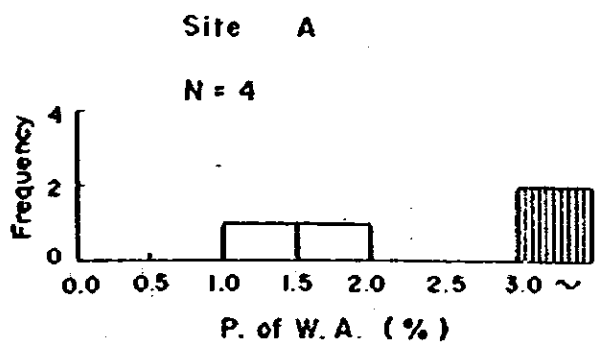
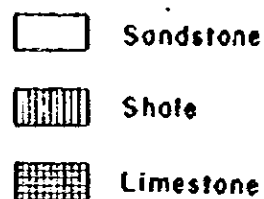


Fig.7.3 Unconfined Compression Strength
(U.C.S)

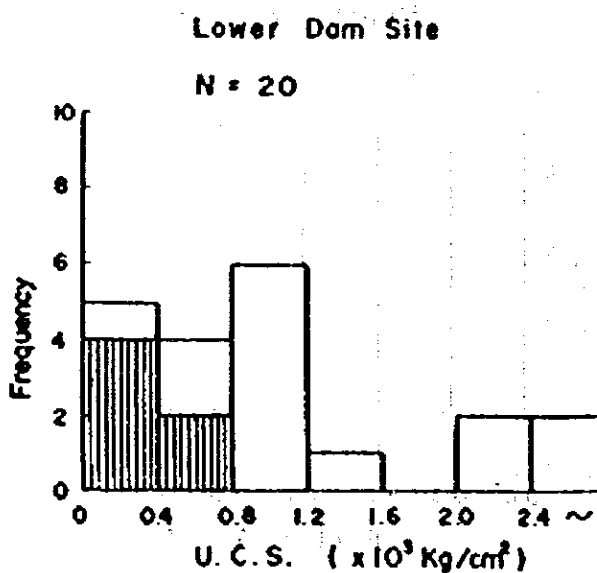
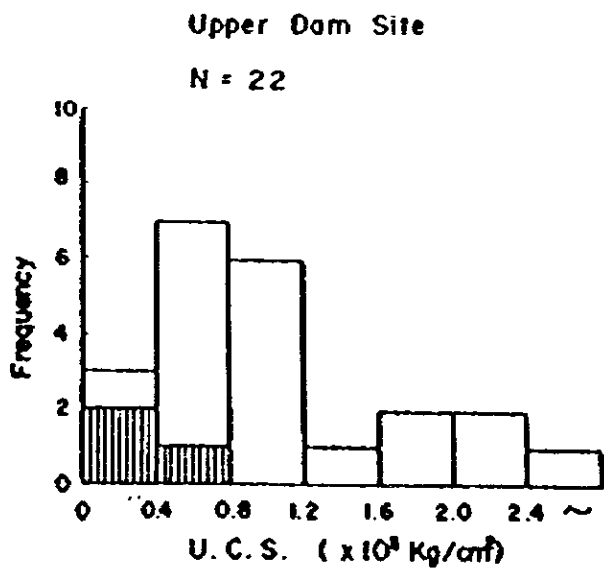
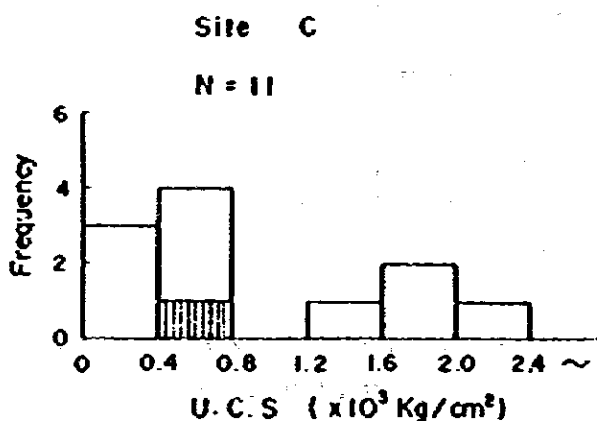
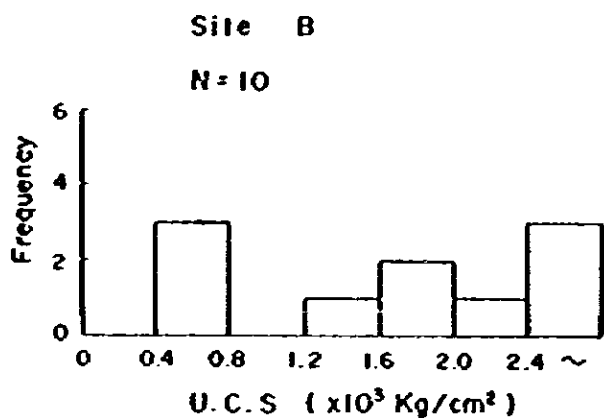
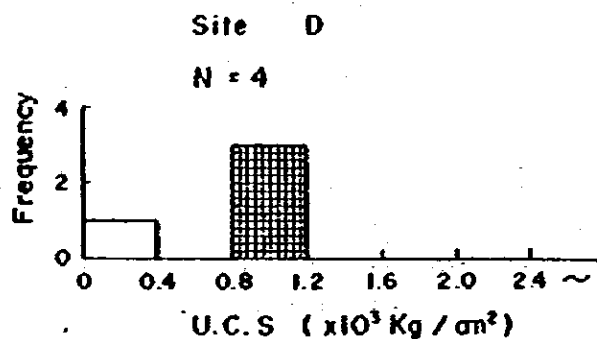
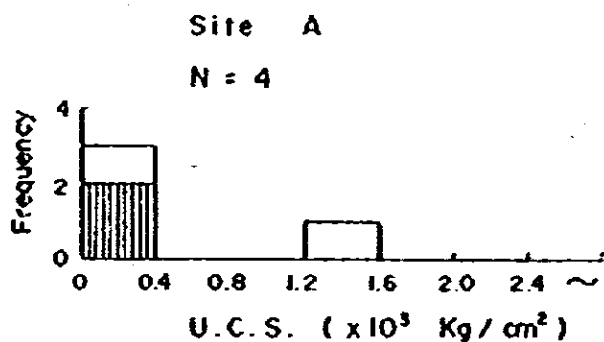
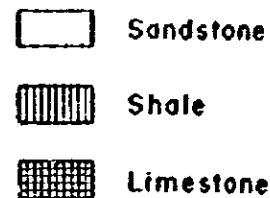


Fig.7.4 Modulus of Elasticity Dynamic

(E)

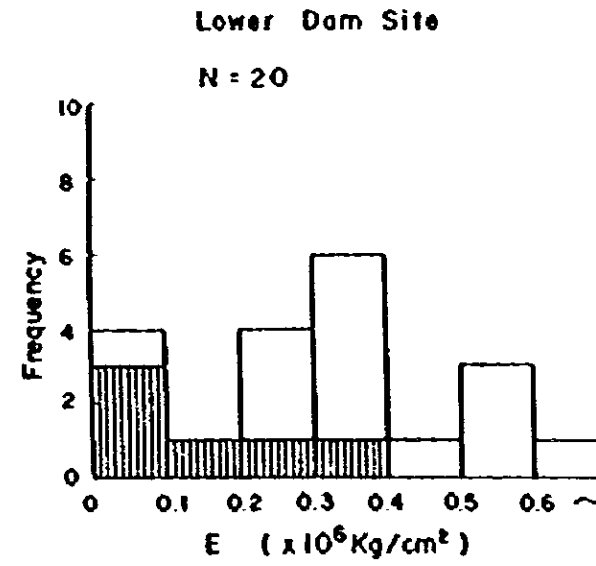
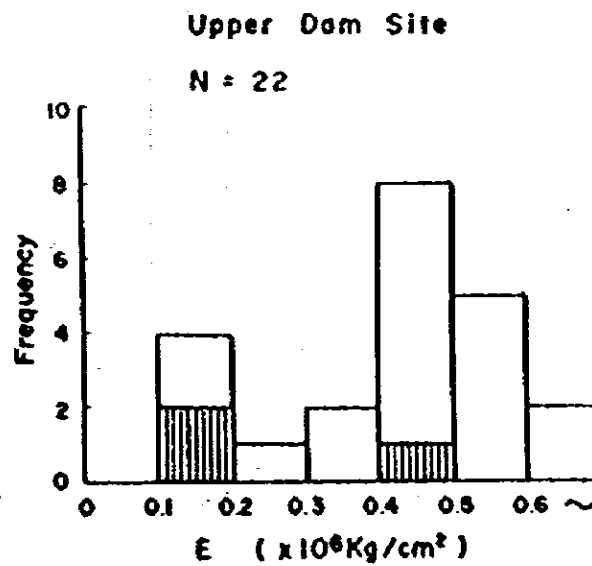
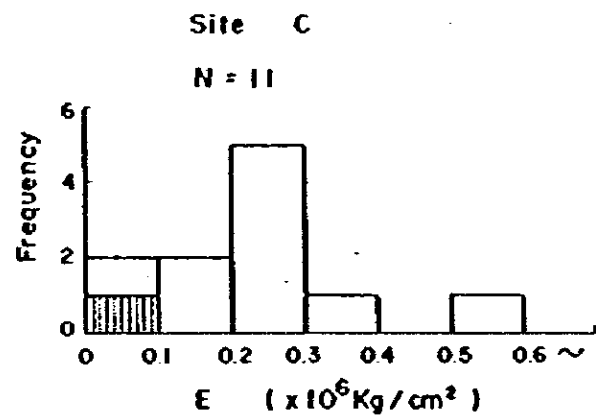
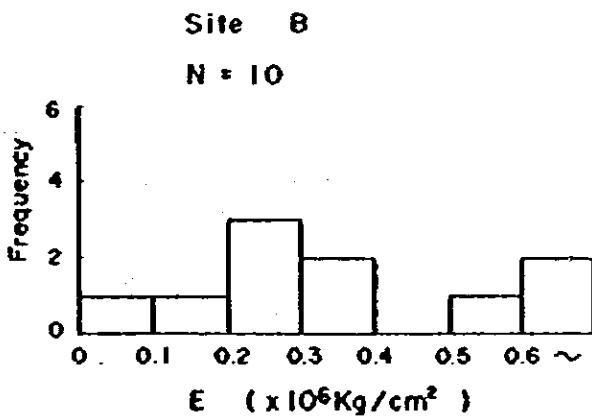
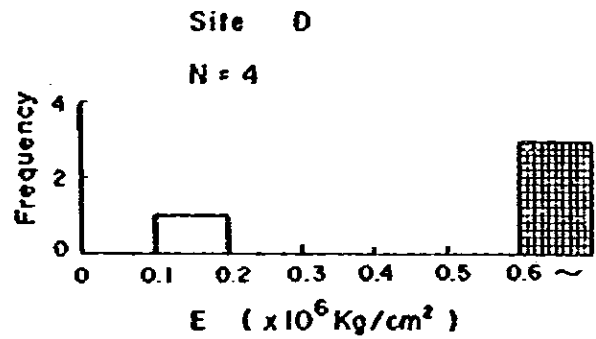
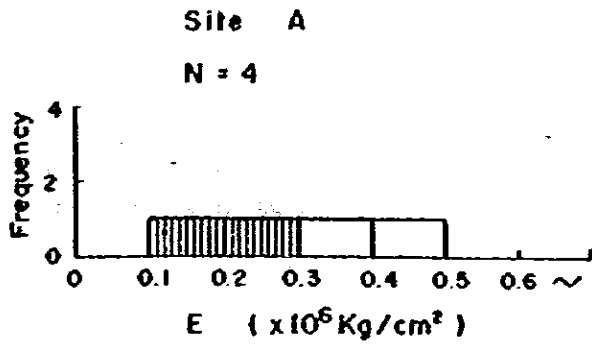
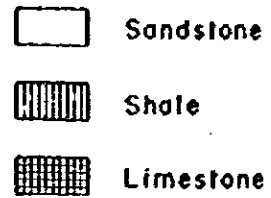


Fig.7.5 Poisson Ratio Dynamic

(ν)

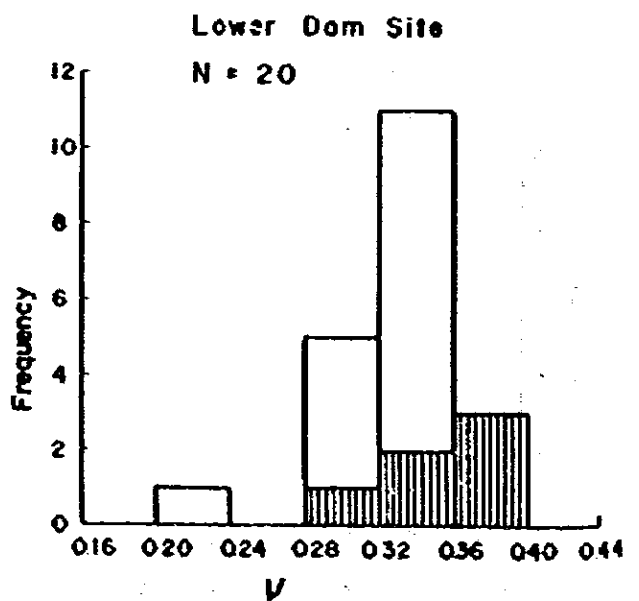
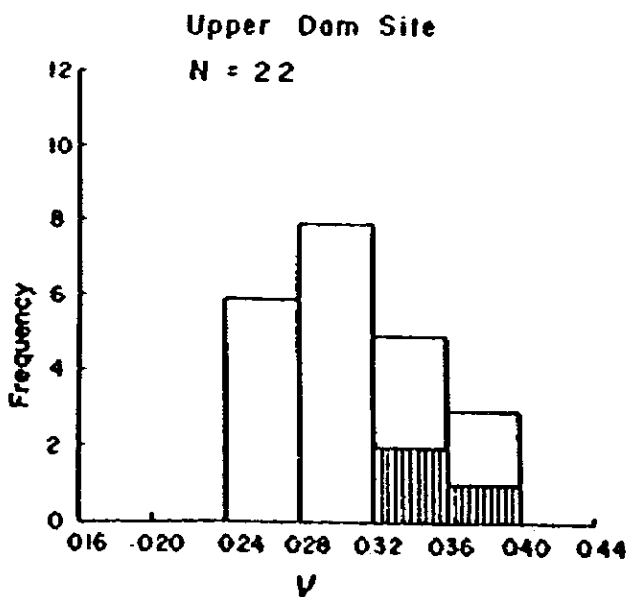
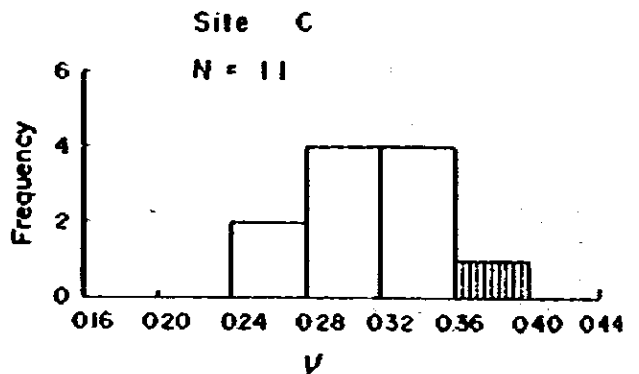
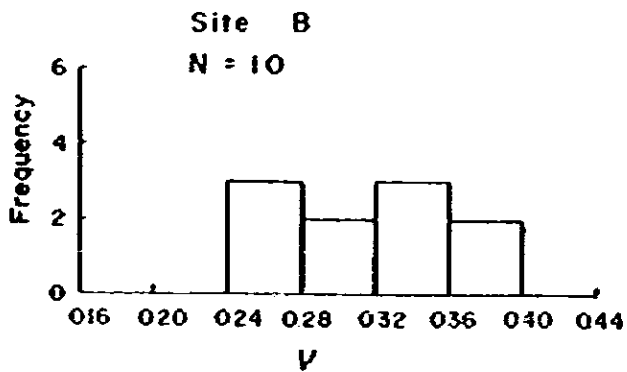
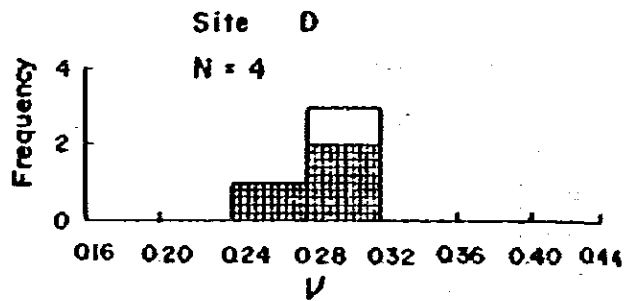
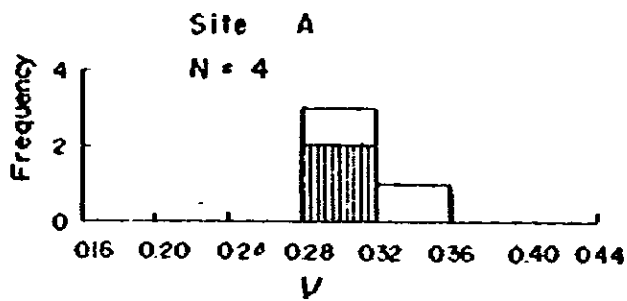
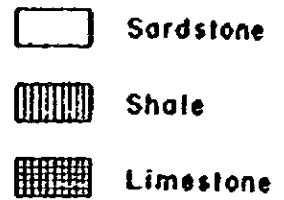


Fig.7.6 Ultrasonic Wave Velocity P wave
(Vp)

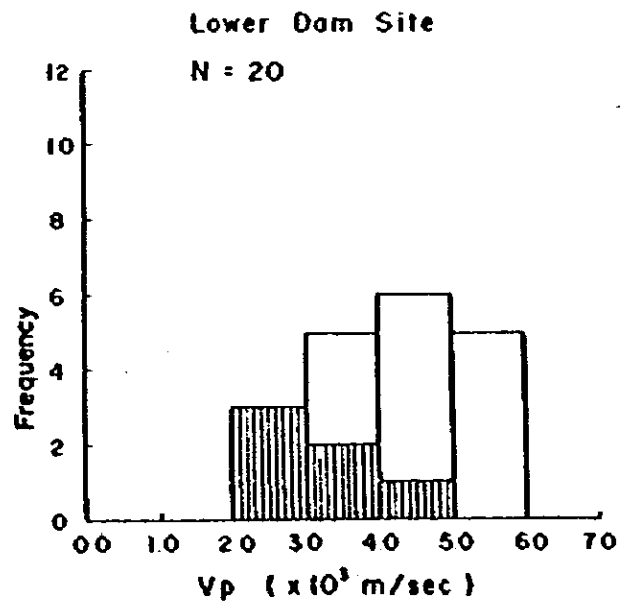
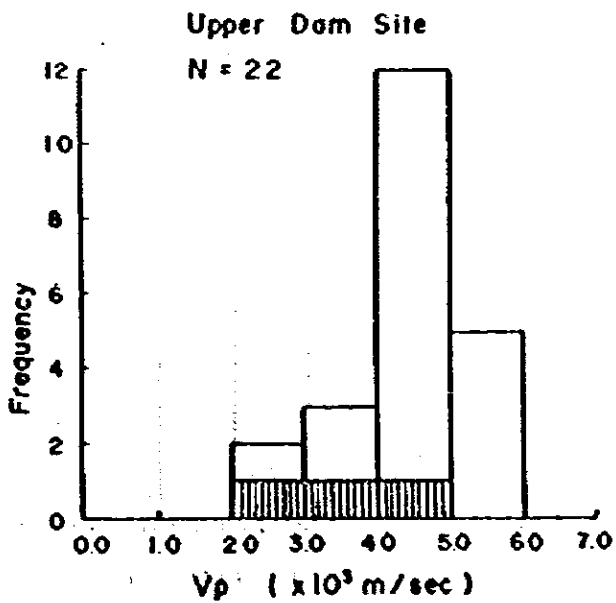
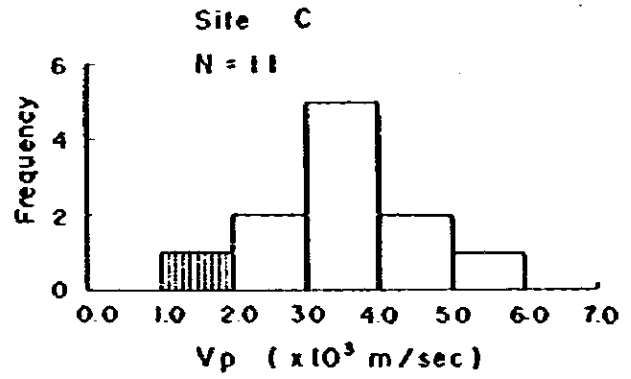
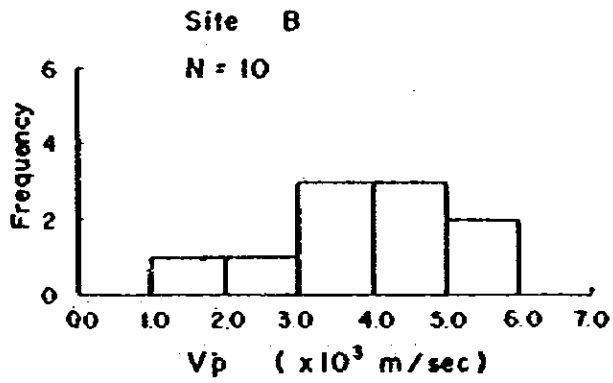
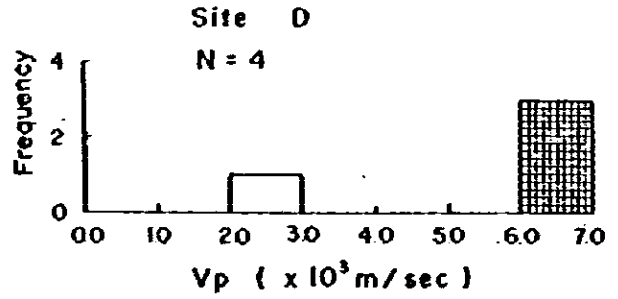
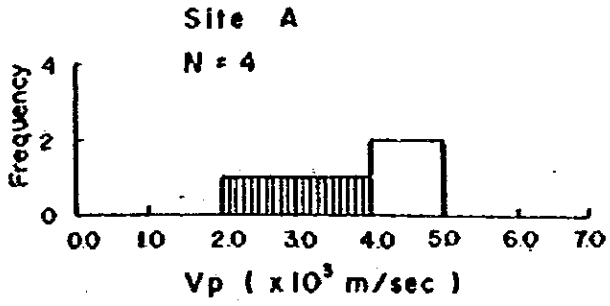
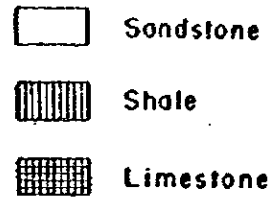


Fig.7.7 Ultrasonic Wave Velocity S wave

(Vs)

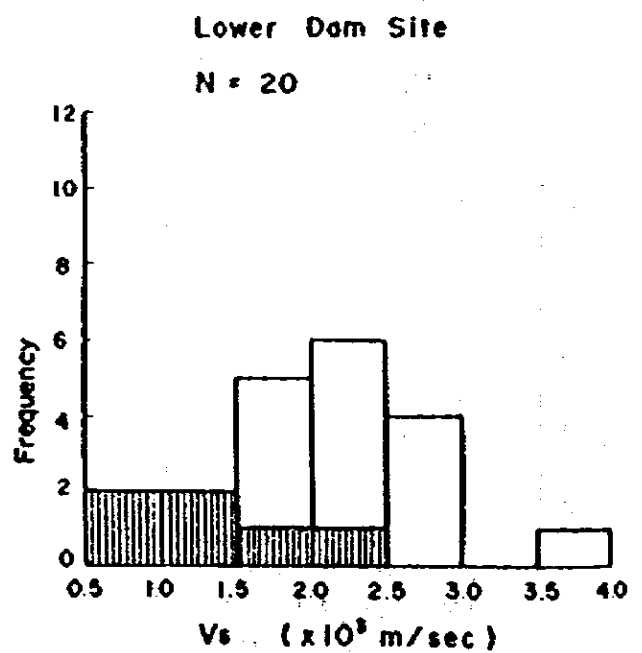
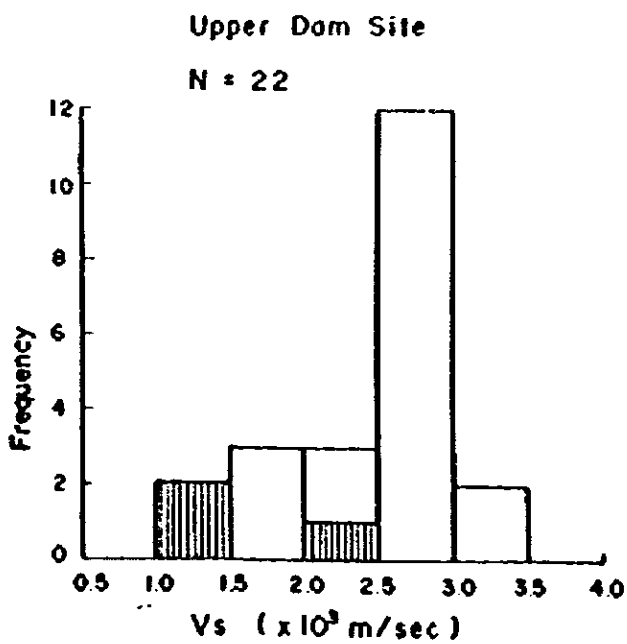
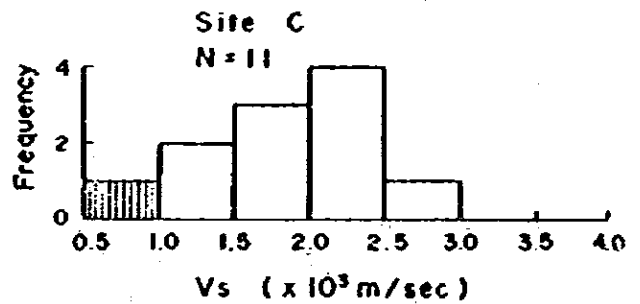
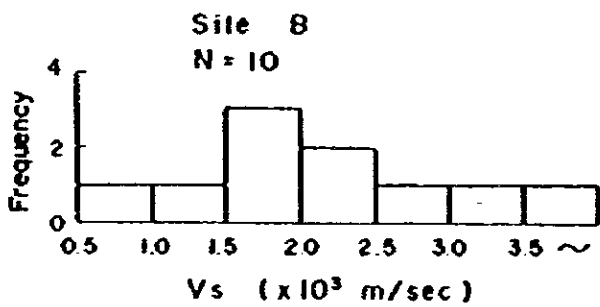
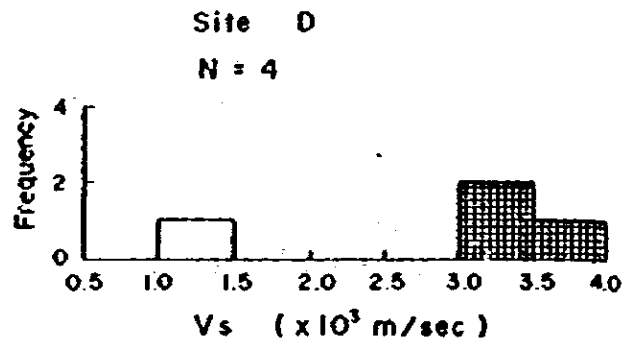
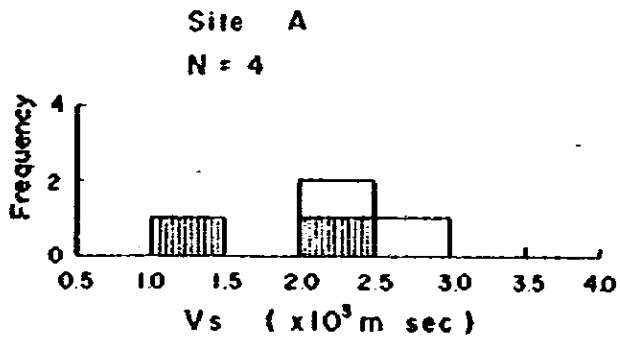
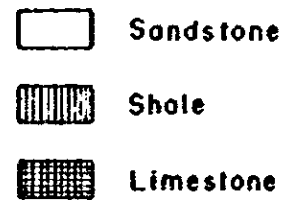


Fig. 7.8 Specific Gravity (Dry Specimen)

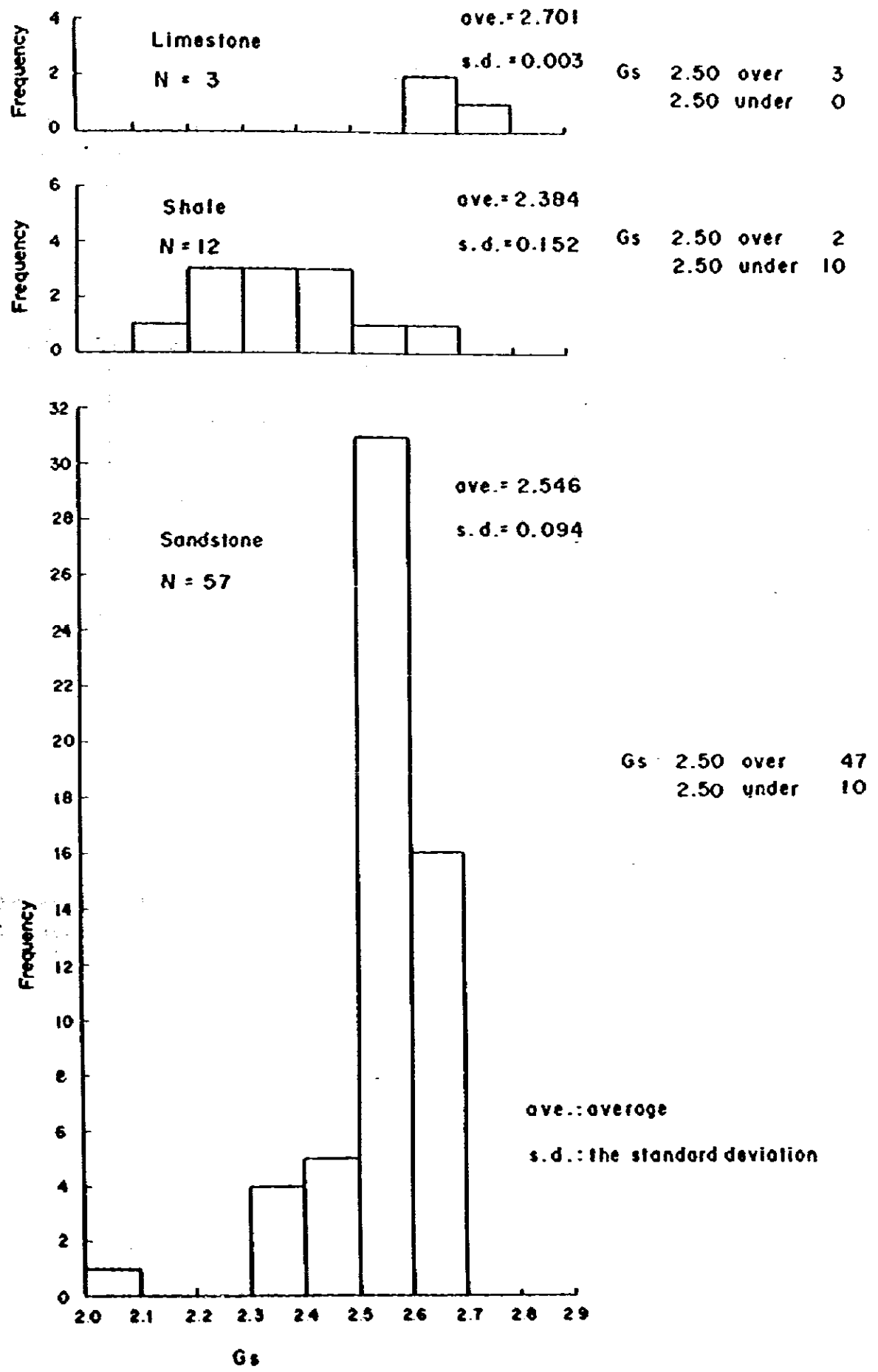
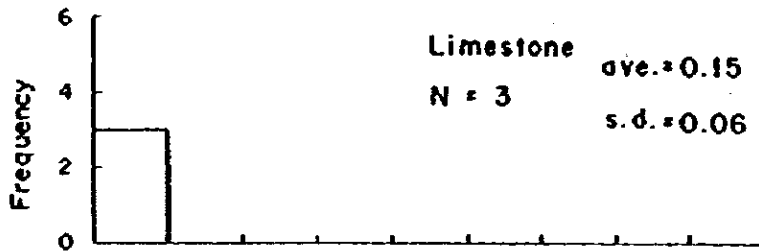
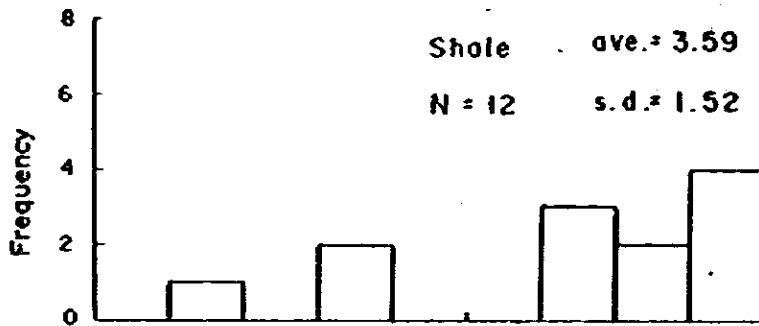


Fig.7.9 Percentage of Water Absorption

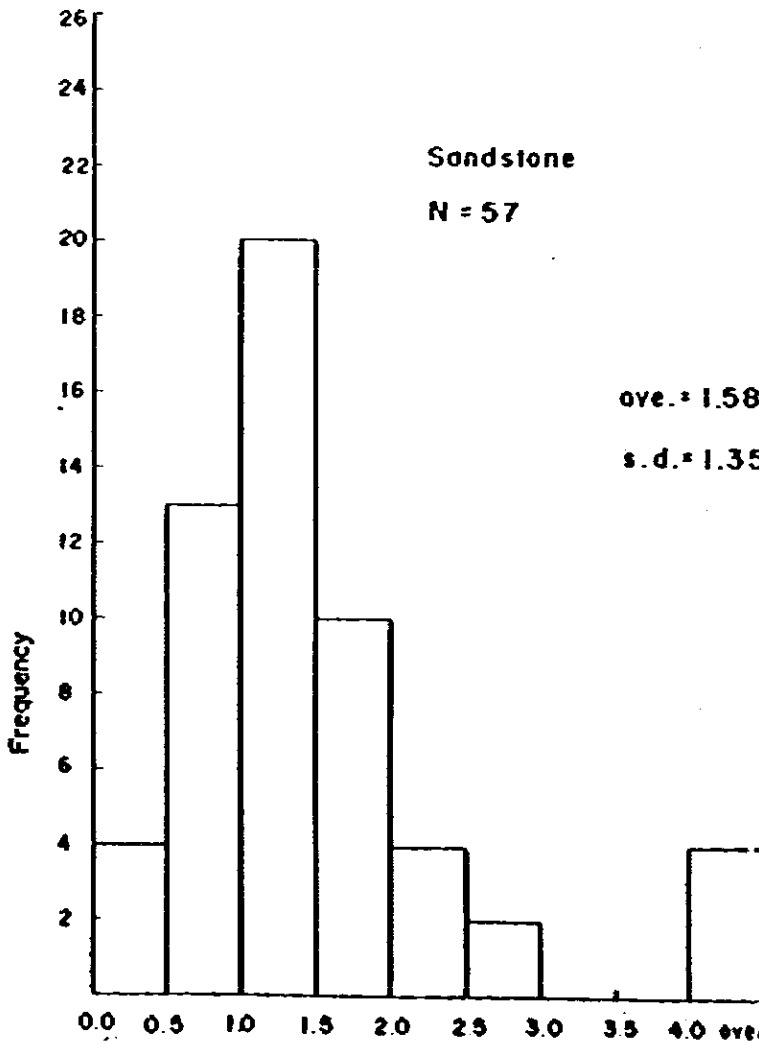
(P. of W. A.)



P. of W. A. 3.0% under 3
 3.0% over 0



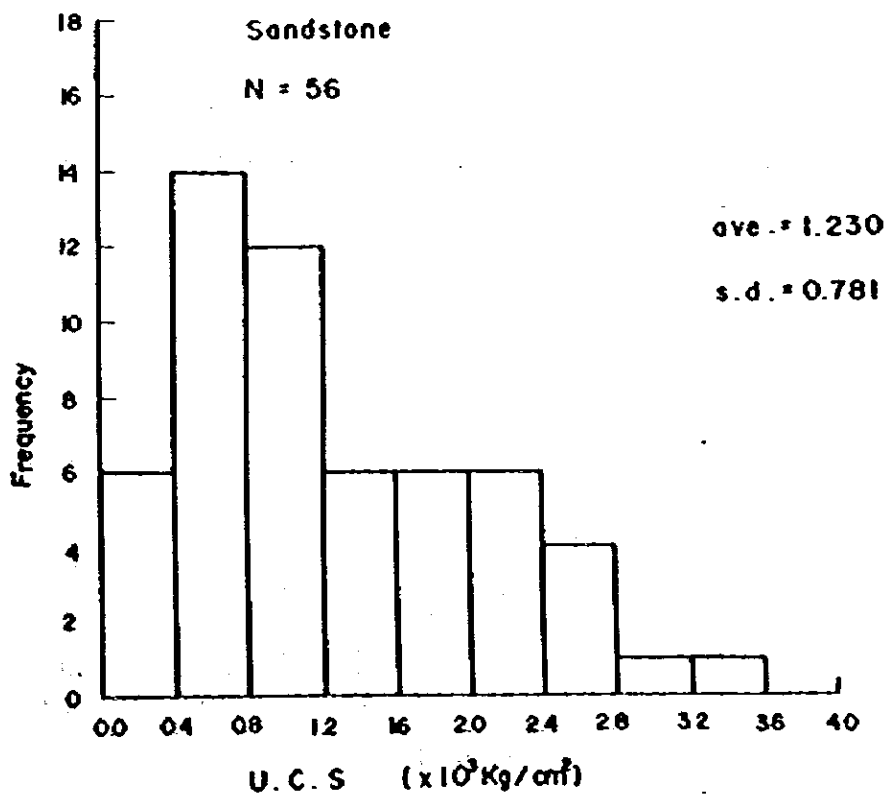
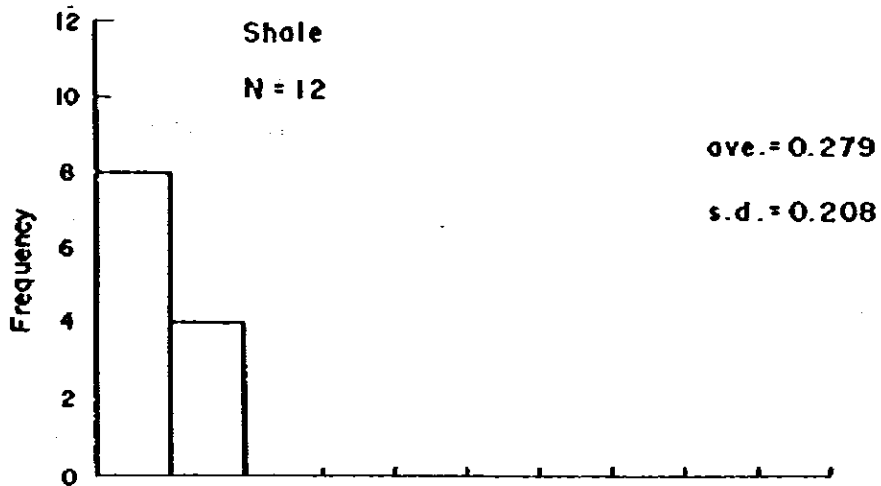
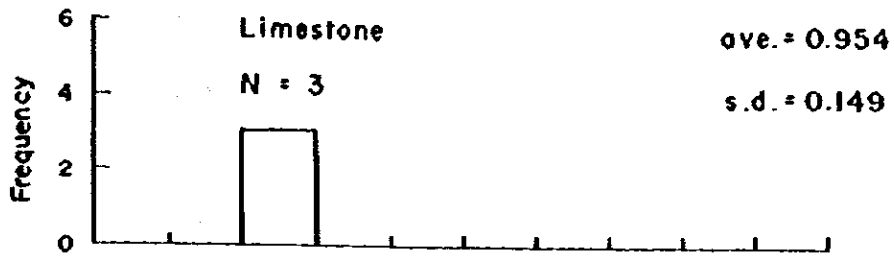
P. of W. A. 3.0% under 3
 3.0% over 9



P. of W. A. 3.0% under 53
 over 4

P. of W. A. (%)

**Fig.7.10 Unconfined Compression Strength
(U.C.S)**



**Fig.7.11 Modulus of Elasticity Dynamic
(E)**

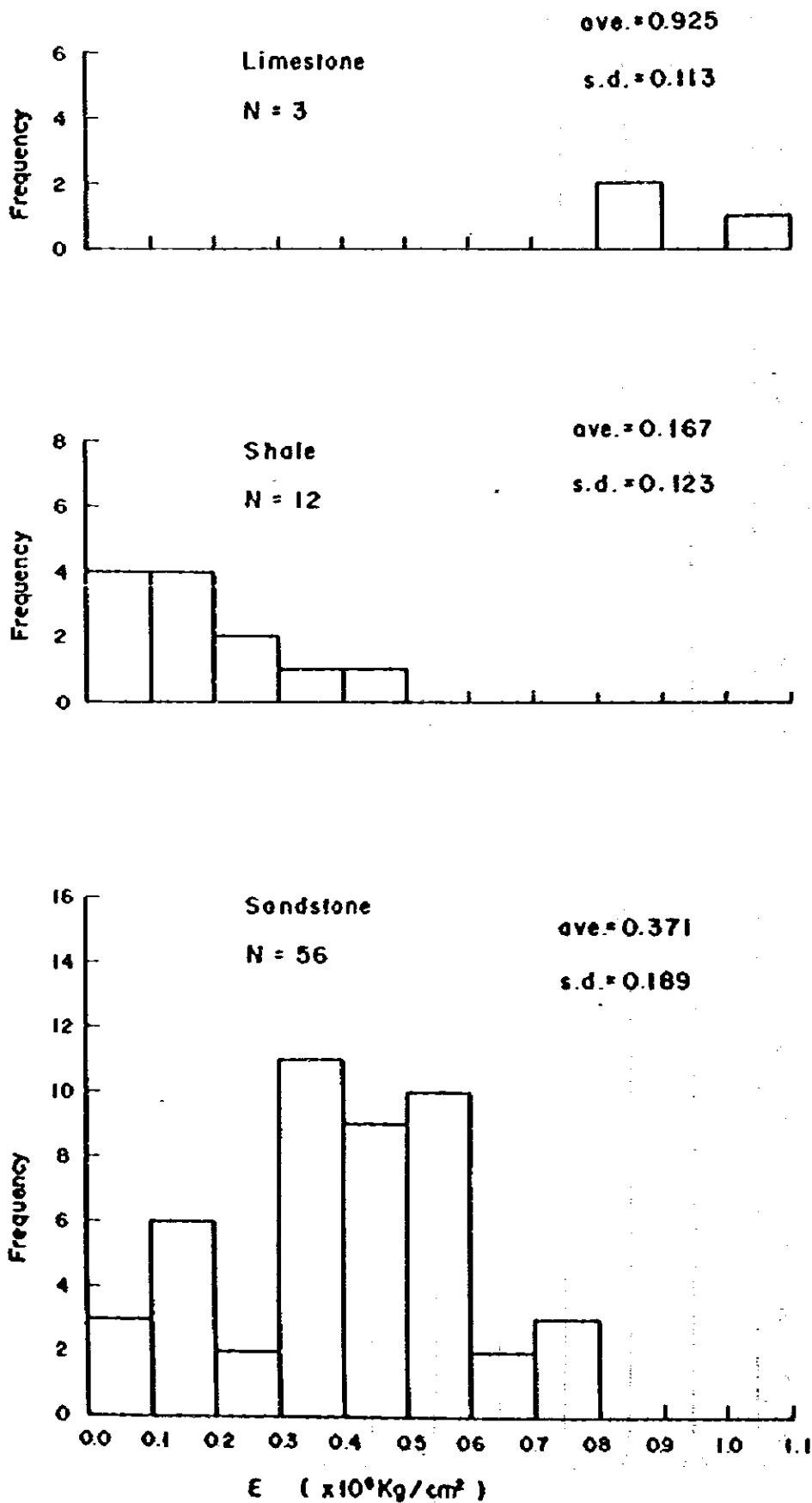


Fig.7.12 Poisson Ratio Dynamic
(ν)

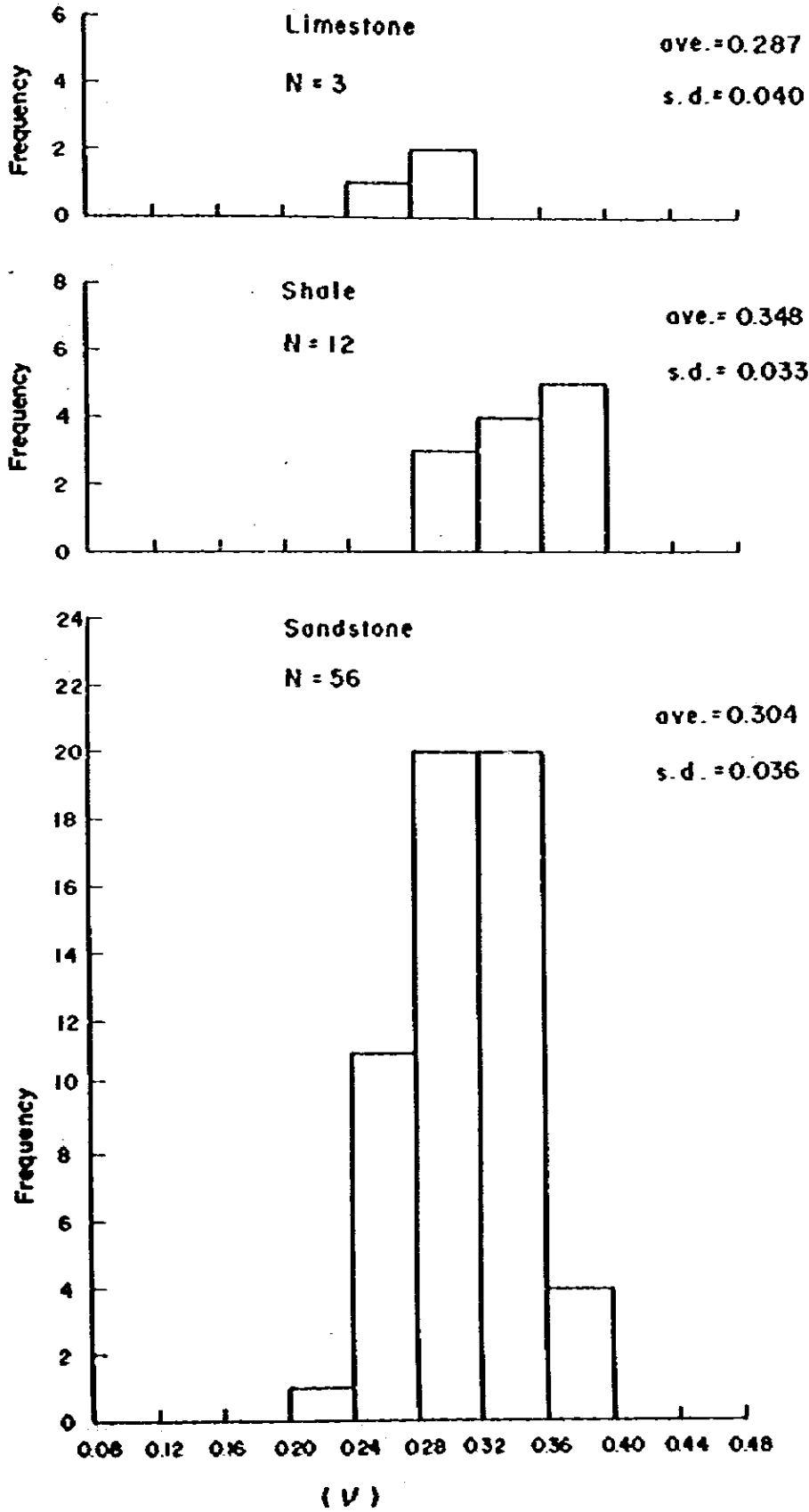
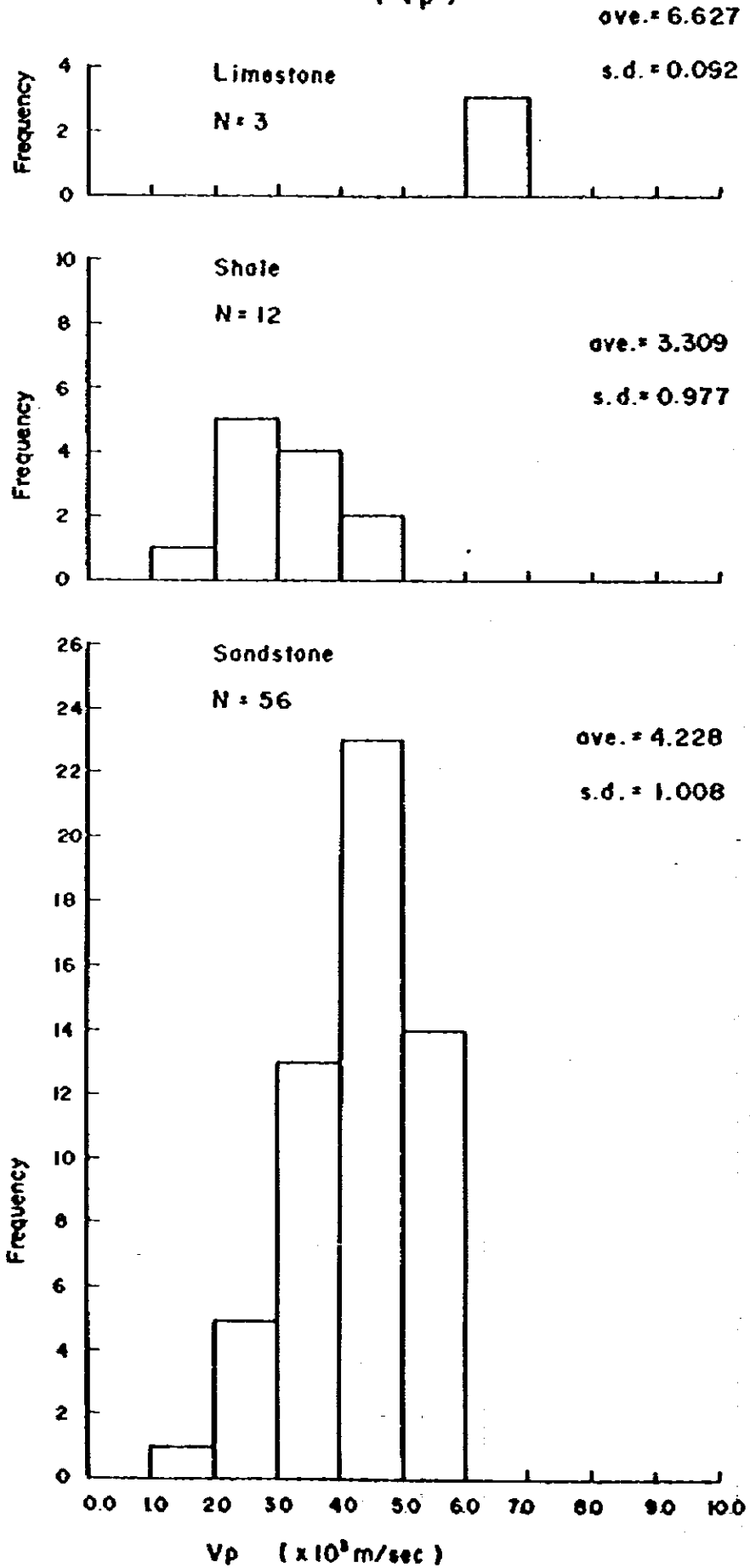


Fig.7.13 Ultrasonic Wave Velocity Pwave

(Vp)



**Fig.7.14 Ultrasonic Wave Velocity Pwave
(Vs)**

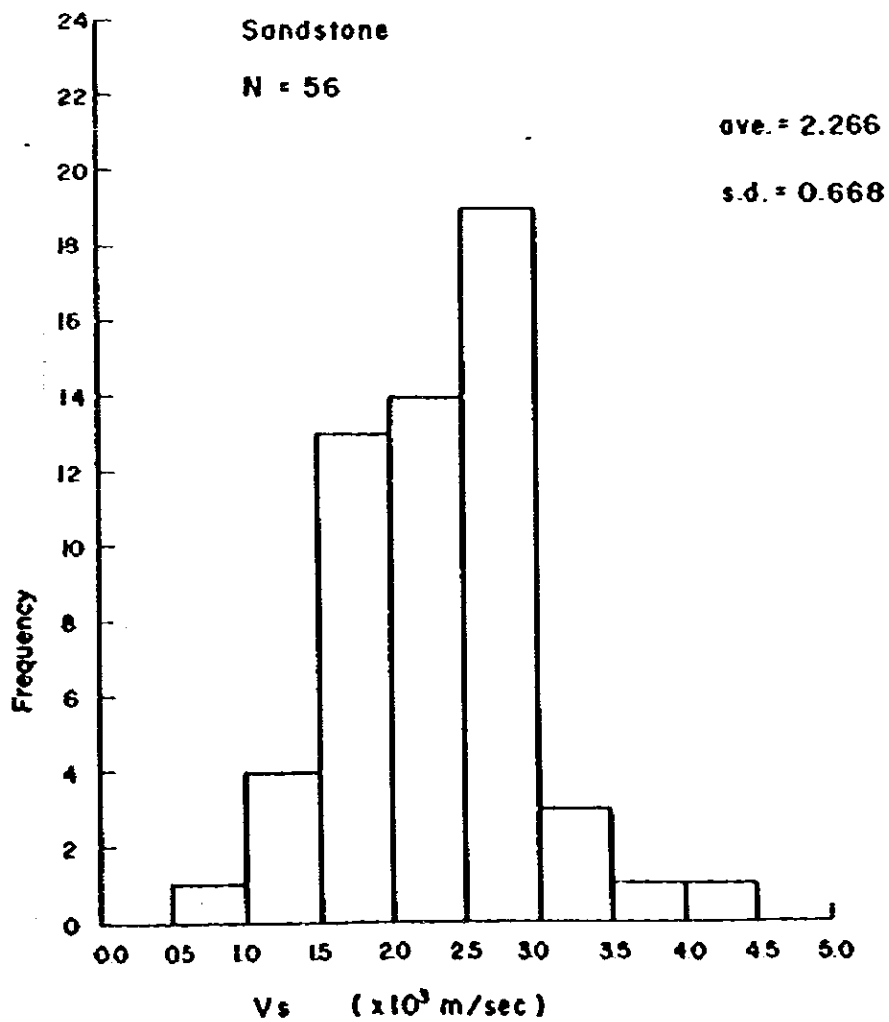
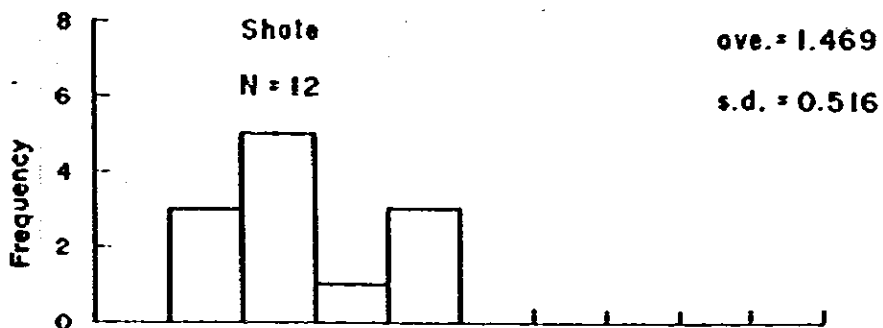
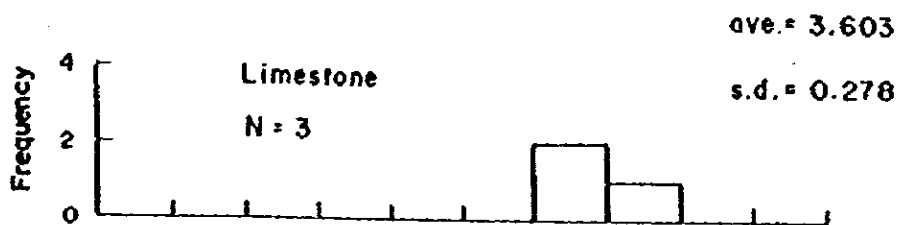


Fig. 7.15. Relationship between Density and Water Absorption

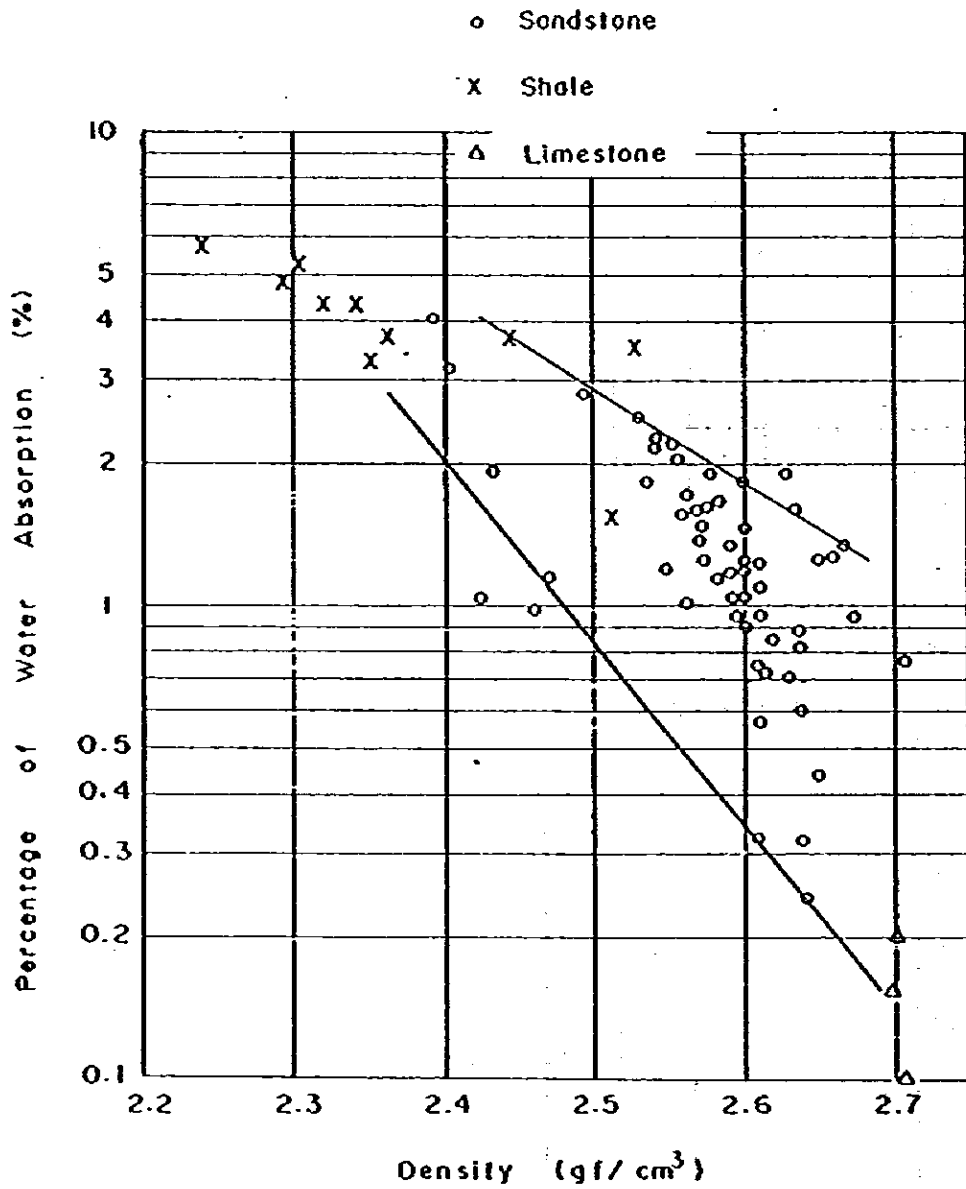


Fig. 7.16 G_s, P. of W.A. and Weathered Relation (Sandstone)
(P. of W.A.: Percentage of Water Absorption)

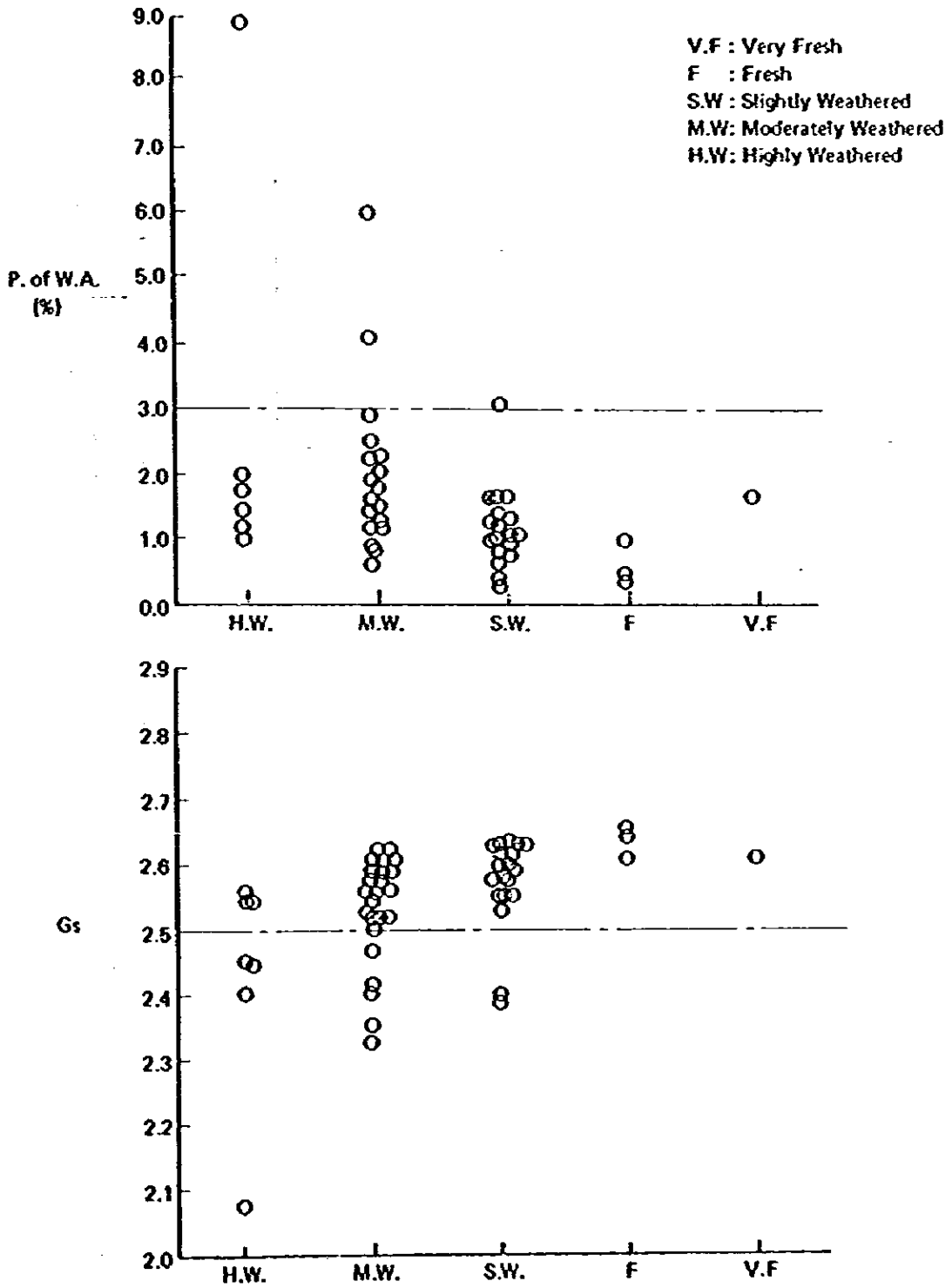
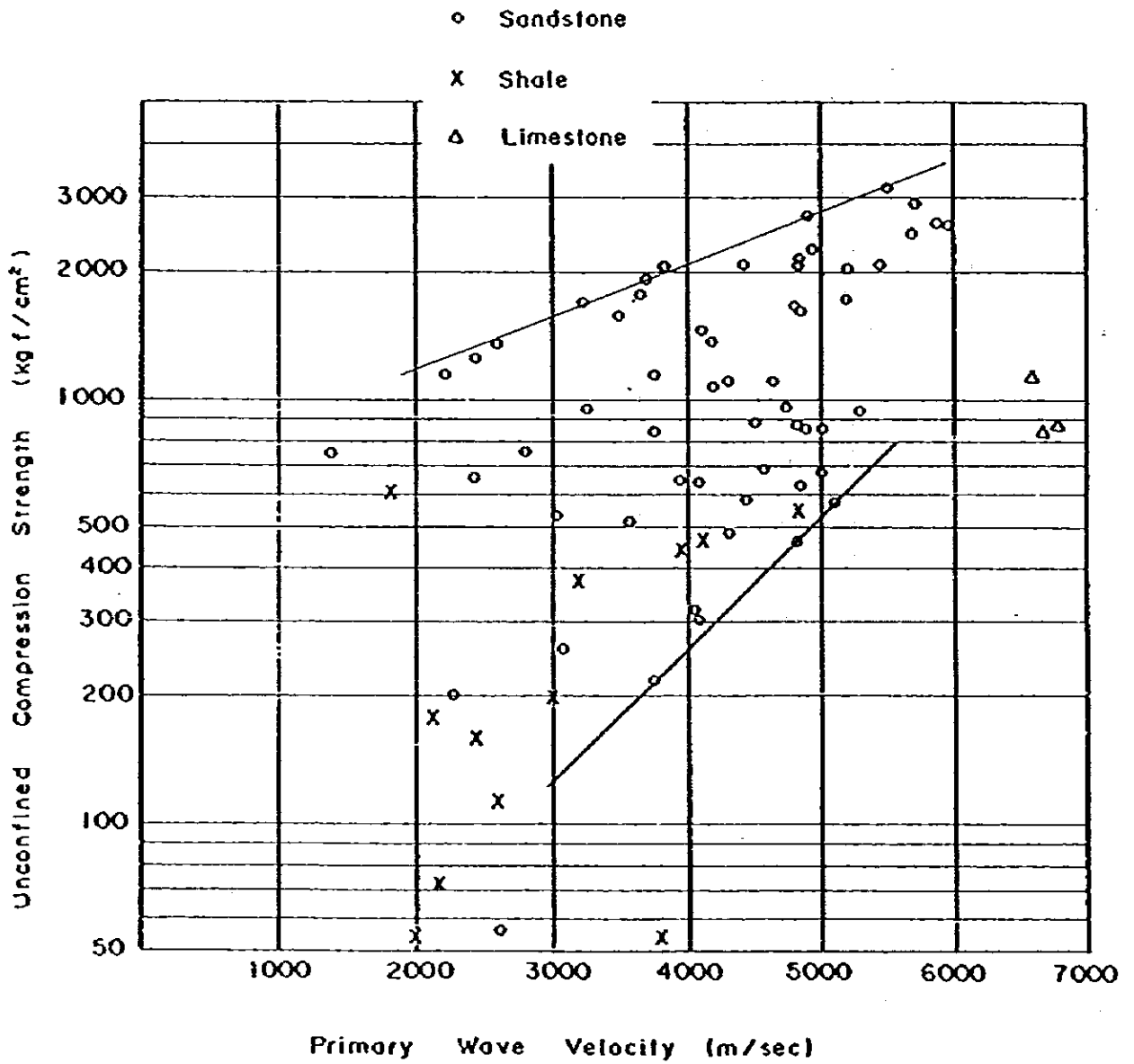


Fig. 7.17. Relationship between Primary Wave Velocity and Unconfined Compression Strength



7.5. 考 察

通常、骨材、ロック材には以下の条件を満たしていなければならない。

- ① 堅硬でひび割れが少ないこと
- ② 耐久性が大きいこと
- ③ 有機不純物を有害量を含まないこと

上述の条件を判断する為に吸水率、比重の物理試験結果を用いる。すなわち比重が大きく、吸水率が小さければ、空ゲキも少なく、組織も緻密で堅硬であり、耐久性があると考えられる。

日本におけるコンクリート骨材の品質基準（JIS A5005-65）では、吸水率は3%以下とし、絶乾比重は2.50以上としている。

今、この基準で判断すると、テカイ地点の砂岩と石灰岩は、この条件を満足している（図7.8、7.9参照）。またSite A、Cで多く分布する頁岩は、吸水率は平均で3.5%以上、比重も大半が2.50以下であり、骨材としての基準は満足していない。

また、サイトDに分布する石灰岩は比重2.7、吸水率0.15%であり、良好な骨材となりえる。

良好な試験結果が得られた砂岩についても、いくつかの試料については、吸水率3%以上、比重2.5以下である。これを風化の程度から検討したのが図7.16である。これによれば大まかにみて、比重は風化度に比例して小さくなり、強風化岩の状態では骨材として使用すべきでないと思われる。従って、中程度風化の状態以上の原石より骨材を採取すべきと思われる。

吸水率と風化度は明瞭な関係はなく、ほとんどの試料が、吸水率は3.0%以下である。

また、ロック材についても骨材同様の基準で判断すれば、良好な品質のロック材として盛立が可能である。

このため、中程度風化状態以上の砂岩を使用すべきである。ただし、ダム下部の常に水面下にあるような所では、風化の進行が少ないため、強風化岩状態の砂岩および頁岩も十分使用できるとと思われる。

要約すると以下の通りである。

- | | |
|----------------|---------------------|
| 骨 材 | : 中程度風化状態以上の砂岩及び石灰岩 |
| ロック材 (L.W.L以上) | : 中程度風化状態以上の砂岩及び石灰岩 |
| ロック材 (L.W.L以下) | : 砂岩、頁岩、石灰岩 |

7.6 ま と め

ボーリングコアを使用した岩石試験結果より、テカイ地点の各サイトの中程度風化以上の砂岩及び石灰岩は、骨材として使用でき、また、ロック材としてはL.W.L以上の盛立部分は骨材と同一岩種、L.W.L以下は砂岩、頁岩、石灰石のすべてが使用可能であると推定された。

また、採石場はロック材、上・下ダムの骨材とも、サイトBより採取した方が経済的であると推定された。

8. 地質工学的考察

8. 地質工学的考察

8.1 上部ダムサイト

*
図4.6に示すように、ダムサイトは砂岩ならびに頁岩により構成されており、比較的谷幅が狭く、フィルダム基礎として良好な岩盤が浅く分布することから、ダムサイトとしては適した地点と考えられる。また、地層は褶曲作用を受けているが、ダムサイト付近より上流地域では、上流方向傾斜である。

ダムの型式としては、近傍から堤体材料（コア材、ロック材）が採取可能であることから、中央土質しゃ水壁型ロックフィルダムが適していると考えられる。

また、ダムサイト右岸には、ダム軸と低角度で交差する比較的規模の大きな破砕帯（破砕帯20～40mと推定される）が分布する可能性があるため、基礎処理、構造物の設計に際しては、十分に考慮する必要がある。

8.1.1 ダム

(1) 掘削線の検討

*
ダム軸の地質断面図を図8.1に示す。

河床砂礫は、5～7m程度で分布するものと推定され、表土および崖錐堆積物は、左岸にはほとんど分布せず、右岸で最大5m程度の層厚をもって分布している。

*
ボーリングならびに弾性波探査結果により推定される岩盤区分は、図8.1に示されるようにC₁級岩盤が右岸でやや厚く分布し、左右岸とも高度が増すに順じて、風化層は厚くなっている。

岩盤等級別の地表からの平均深度は、表8.1に示す通りである。

Table 8.1 List of Depth of Rock Classification
of Foundation Rock

(Unit: m)

Rock Classification	Left Bank			Center of River bed	Right Bank		
	Near Crest	Near Midpoint	Near Bottom		Near Bottom	Near Midpoint	Near Crest
C _L	7	4	2	-	6	4	3
C _M	18	6	8	6	10	13	13
Over C _H	37	28	27	17	20	31	34

岩盤等級により区分された岩盤の100mクラスのロックフィルタイプダム基礎としての評価は以下の通りである。

完全風化岩であるD級岩盤は、風化の進行によって原岩構造をとどめず、土砂～粘性土状となっている。

中央土質しゅ水壁型フィルダムの基礎としては不適であり、特に変形性、パイピング等の危険性があるため、コア基礎部では、D級岩盤を完全に除去する必要がある。ロック基礎部においては、D級岩盤のうち地表面の良く締まっていないうちの部分除去した後、ロック材の盛り立てを行うことが必要である。

C_L級岩盤は、主に強風化岩よりなり、ハンマーの打撃で割れる比較的に脆い岩盤である。割れ目の発達した岩盤であるため、コア基礎岩盤としては、コアのパイピングを誘発される原因となるため除去する必要がある。またロック基礎部としては、特に問題はないものと考えられる。

比較的堅硬な、中程度風化岩であるC_M級岩盤は、基礎処理を実施することにより、コア基礎岩盤として適した岩盤である。

堅硬で新鮮～軽度の風化岩で構成されるC_H級、B級岩盤は、ダム基礎としては問題がない岩盤である。

上述のようにコア基礎部の掘削線は、C_L級岩盤までを除去し、C_M級岩盤を基礎とすることとし、コア基礎部以外は、土砂～粘性土状を呈するD級岩盤のルース

な部分を除去することとする。

*
図 8.1 における C_L 級と C_M 級岩盤との岩級境界は、図 8.2 に示されるように、
ボーリングコア観察において、5 m の間に 80% 以上の C_M 級岩盤が占める範囲を
岩級境界とした。

*
一方、基礎岩盤の透水性については、図 8.2 に示すルジオンマップによって把
握される。左岸部においては、50 Lu 以上の高透水ゾーンが、河床部付近から連
続して分布しており、2Lu 以下の難透水ゾーンは深いものと推定される。これに
反して河床部ならびに右岸部は、2Lu 以下の難透水ゾーンが比較的浅く分布して
いる。しかし、右岸部には、20~40m の破砕幅をもつ破砕帯が分布するものと推
定され、この破砕帯は、UD-16 のボーリングが全漏水となっていることから高透
水ゾーンを形成しているものと考えられる。

透水性からみたダム掘削線は、50Lu 以上の高透水ゾーンを完全に除去する掘
削線を検討する必要がある。

上述のように、岩盤等級ならびに透水性を考慮して検討した掘削線を図 8.1 なら
びに図 8.3 に示した。また、表 8.2 に掘削線の地表からの深度をまとめて示し
た。

Table 8.2 Proposed Excavation Depth
of Upper Dam (Rock Fill Dam)

(Unit: m)

Depth(m)	Left Bank			Center	Right Bank		
	Near Crest	Near Midpoint	Near Bottom	of River Bed	Near Bottom	Near Midpoint	Near Crest
	18	16	12	12	14	15	20

なお、参考として、同規模のコンクリートグラビティダムを建設する場合の
掘削線の地表からの深度をまとめて表 8.3 に示す。

Table 8.3 Excavation Depth of Upper Dam
(Concrete Gravity Dam)

(Unit: m)

Depth (m)	Left Bank			Center	Right Bank		
	Near Crest	Near Midpoint	Near Bottom	of River Bed	Near Bottom	Near Midpoint	Near Crest
	22	28	25	20	20	32	30

100mクラスのコンクリートグラビティダム基礎岩盤は、大きな耐荷力が必要とされるため、十分な耐荷性を有する C_H 級岩盤を基礎とする必要があり、膨大な掘削量となる。

このため、地質条件の上からも、ロックフィルタイプダムが有利であると考えられる。

(2) 基礎処理の検討

*
図 8.3 のルジオンマップに示すように上部ダムの右岸、河床部は、2Lu 以下の難透水層が、比較的浅く分布するのに対し、左岸部では深くなっている。

カーテングラウチングによる岩盤の改良目標値を 2Lu とし、漏水、パイピング等に十分に安全であるように基礎処理を施工することが望ましい。2Lu までを岩盤改良すると、改良範囲は^{*}図 8.3 に示す範囲となる。

また、河床部では 2Lu 以下が浅く分布するが、カーテン深度は以下の基準により実施し、確実な止水を行うことが望ましい。

○ 3次孔(3mピッチ)までのカーテングラウチングを行う範囲

$$L \div 1/2 \cdot H \div 50m \quad L: \text{グラウト深度 (m)}$$

$$H: \text{ダム高 (m)}$$

○ 2次孔(6mピッチ)までのカーテングラウチングを行う範囲

$$L \div 2/3 \cdot H \div 70m \quad L: \text{グラウト深度 (m)}$$

$$H: \text{ダム高 (m)}$$

また、左岸部の越流水位以下に残る 50Lu 以上の高透水ゾーンならびに右岸部の破砕帯については、グラウトトンネルを左右岸に設け、4次孔(1.5mピッチ)までのグラウチングを実施し、完全に止水する。

特に右岸部の破砕帯については、高透水ゾーンが深部へ連続する可能性があるため、河床標高(静水圧相当)までは、4次孔(1.5mピッチ)までのカーテングラウチングを実施し、完全な止水を行うことが望ましい。

8.1.2 鉄管路ならびに発電所

発電所は、ダム下流のり尻のテカイ川右岸の比較的平坦な地点に設置することが望ましい。このため鉄管路は、テカイ川右岸を経過することになる。

鉄管路から発電所に至る地質断面図を^{*}図 8.4 に示す。

経過地の地質は、取水口から約 130m までは頁岩、それ以後は一部に頁岩が分布するものの、概ね砂岩分布地域を通過するものと考えられる。

鉄管路経過地は、十分なかぶりがあるため、大半が C_{II} 級以上の良好な岩盤中を通過するものと推定される。

また、鉄管路経過地には、ダムサイト右岸から連続する破砕帯（破砕幅 20～40m 程度）が分布するものと推定される。また、破砕帯の掘削に伴い、湧水が発生する可能性がある。このため破砕帯近傍ならびに破砕帯の掘削時には、十分な注意が必要であり、安全な施工法を検討する必要がある。

鉄管経過地は、大半が堅硬な砂岩部を通過するものと推定される。このため掘削は NATM 工法が可能と考えられ、不良地質部に遭遇した場合は、十分な支保を行うことにより、効率的な掘削が可能であると考えられる。

発電所地点の地質は、砂岩と頁岩より構成されており、表土および崖錐におおわれているが、近傍のボーリング (UD-17, UD-9) によれば層厚は 5～10m 程度で、 C_{II} 級以上の堅硬な岩盤の分布するものと推定される。発電所基礎としては、問題のない岩盤である。

8.1.3 洪水吐

洪水吐は、テカイ川左岸に位置している。

洪水吐沿いの地質断面図を^{*}図 8.5 に示す。洪水吐の基礎は、砂岩ならびに頁岩がほぼ同量で分布している。また下流の減勢工付近には、5～10m 程度の段丘堆積物の下に 5～20m 程度の破砕幅を持つ破砕帯の分布が推定される。

洪水吐の基礎岩盤は、主に中程度風化岩よりなる C_{II} 級岩盤とする。^{*}図 8.5 に示すように、ボーリングならびに弾性波探査で推定される C_{II} 級岩盤までの深度は、概ね 5～20m である。

洪水吐の比較案として、奥体に近づけた案が検討されている。

比較案沿いの地質断面図を^{*}図 8.6 に示す。

洪水吐の基礎は、主に砂岩により構成されている。また、洪水吐の基礎となるC₄級岩盤までの深度は、10～20 m程度と推定され、比較案の方がやや深くなり、部分的にC₁級岩盤を基礎とすることも推定される。

現在までの地質調査精度では、2つの洪水吐ルート of 地質の優劣は明確ではない。

8.1.4 仮排水路トンネル

仮排水路トンネルは、地形・地質条件、構造物のレイアウトとの関連からテカイ川の左岸に選定される。

*
図8.7に仮排水路沿いの地質断面図を示す。

経過地の大半は、砂岩で構成されており、ダム軸付近などで頁岩が分布するものと推定される。また、2本の向斜軸、1本の背斜軸が通るため、地層の傾斜は一様でなく、複雑な地質構造を呈している。取水口、放水口近傍には、破碎帯（取水口20～40 m程度、放水口5～10 m程度の破碎幅を有す）が通過するものと推定されるため、坑口の斜面安定には、十分な検討が必要である。

トンネル経過地は、十分なかぶりがあるため、経過地の大半は、C_B級以上の良好な岩盤中を通過するものと推定される。このため、掘削はNATM工法で行うことが可能と判断される。

8.1.5 仮持切ダム

構造物のレイアウトにより上・下流の仮持切ダムは、図4.6に示す位置に選定される。
*
図8.8に仮持切ダムの地質断面図を示す。

下流仮持切ダム地点は、河床に堅硬な砂岩の露頭がみられ、河床砂礫の分布も薄いものと推定される。また、近傍のボーリング（UD-18）も良好なコアが連続しているため、表土ならびに河床砂礫の除去により、仮持切ダム基礎としては十分な岩盤が得られるものと考えられる。

上流仮持切ダム地点は、河床に堅硬な砂岩の露頭がみられ、河床砂礫の分布も薄いものと推定される。

また、左岸部には、段丘堆積物が分布しており、段丘堆積物を除去するため、掘削はやや深くなるものと推定される。

8.2 上部ダムの建設材料

上部ダムならびに付帯構造物を含めた上部サイトで必要な建設材料は、以下の通りである。

土質材料（コア材） 580,000m³

岩石材料（ロック材、フィルター材、コンクリート骨材） 2,700,000m³

この建設材料を確保するために、上部サイトでは、2ヶ所の土質材料採取地点（Site A、Site B）、1ヶ所の原石山（Site B）を選定し、調査を実施した。

8.2.1 土質材料採取地点（Site A、Site B）

(i) サイトA

サイトAは、頁岩が広く分布する地域で厚い風化層の分布が期待された。しかし、表4.7に示されるボーリング結果のように、UB-1を除き、総じてコア材となりうる風化層の厚さは、最大3m程度と薄くなっている。また、ボーリングおよび弾性波探査により作成した地質断面図^{*}8.9、風化層の等層線図^{*}を^{*}図8.10にそれぞれ示す。1,000m/sec以下の弾性波速度を有す風化層は、上流側で10m程度とやや厚いヶ所を除けば、総じて5m以下と薄くなっている。表土および有機土の厚さは、表4.18に示すように1m程度であり、コア材となりうる風化層の層厚は、平均2m程度と推定される。

一方、土質試験の結果は、以下の通りであり、コア材として必要される諸条件は満足している。

○比 重：250～275（平均262）

○含 水 比：10～30%（平均18.2%）

○粒 度：平均粒度分布

礫 7.7%

砂 26.1%

シルト・粘土 66.2%

○最大乾燥密度：1.57～1.92g/cm³（平均1.79g/cm³）

○自然含水比～最適含水比：Wopt = Wn ± 4（%）

○透 水 係 数：1.15 × 10⁻⁷ ～ 8.14 × 10⁻⁷ cm/sec（平均 4.6 × 10⁻⁷ cm/sec）

サイトAは、品質の面からはコア材採取地として適していると言えるが、大量のコア材を効率的に採取することは問題があると考えられる。

(2) サイトB

サイトBは、頁岩が広く分布する地域に位置している。サイトBでは、ボーリングを実施していないため、弾性波探査結果により^{*}図8.11に示す地質図ならびに^{*}図8.12に風化層の等層厚線図をそれぞれ示す。1,000m/sec以下の弾性波速度を有する風化層は、1m~10mの厚さで分布している。また、表4.19に示すように表土および有機土は、1m程度である。このため、コア材となりうる風化層の厚さは、5m程度と推定される。

一方、土質試験結果は、以下の通りであり、コア材として必要とされる諸条件は満足している。

○比 重：250 ~ 275 (平均262)

○含 水 比：12~26% (平均18.9%)

○粒 度：平均粒度分布

礫 6.9%

砂 27.9%

シルト・粘土 65.2%

○最大乾燥密度：1.58 ~ 1.87 g/cm³ (平均1.74 g/cm³)

○自然含水比~最適含水比： $W_{opt} = W_n \pm 3$ (%)

○透 水 係 数： $1.10 \times 10^{-7} \sim 2.66 \times 10^{-7}$ cm/sec (平均 2.0×10^{-7} cm/sec)

サイトBは、コア材に適した土質材料であり、サイトAに比べ、量的には有望な地点である。

8.2.2 原石山地点 (Site B)

上部サイトは、主に砂岩および頁岩により構成されている。図7.1～図7.14ならびに表8.4に示すように、ロック材としての品質は、砂岩の方が優れている。

Table 8.4 Results of Rock Testing

	(Mean value)						
	Specific gravity (D.S.)	P. of W.A. (%)	U.C.S (kgf/cm ²)	H. of E. dynamic (×10 ³ kgf/cm ²)	Poisson ratio dynamic	Velocity P wave (×10 ³ m/sec)	Velocity S wave (×10 ³ m/sec)
Sandstone	2.571	1.10	1267	410	0.30	4.395	2.384
Shale	2.435	2.79	449	249	0.32	3.613	1.833

このため、ロック材としては、砂岩を対象とするが、7.岩石試験の項で述べたように、頁岩もダム下部の常に水面下にあるヶ所での使用は可能と考えられる。

ロック材に比べコンクリート骨材は、堅硬、緻密な岩石が要求され、良好な岩石が必要である。このため、コンクリート骨材は砂岩が対象となる。

サイトBは、砂岩が広く分布する地域であり、ボーリング、弾性波探査により作成した地質断面図^{*}を図8.11に示す。

ボーリング結果では、ロック材に適すると考えられる岩盤までの深度は、表4.9に示すように5～20mであり、かぶりはやや厚く、また、1,000m/sec以下の弾性波速度を有する風化層の厚さは、平均8m程度と推定される。

新鮮岩盤部では、弾性波速度が4,000～5,000m/secと良好な結果が得られ、またボーリング結果も良好なことから、原石山としては適した地点と考えられる。

8.2.3 建設材料の運用計画

(i) コア材

コア材の必要量は580,000m³である。歩止り、体積変化率を考慮すると地山必要量としては約1,000,000m³が必要となる。

サイトA、サイトBとも品質においては、コア材として適した材料であるが、サイトAは効率的な採取に問題があるため、サイトBを採取候補地とし、サイトAは、第2サイトとし、サイトBの予備サイトとすることが望ましい。また、原石山(サイトB)地点の風化層も比較的厚いことから、この風化層もコア材に流

用し、効率的な採取を行うことが望ましい。

(2) ロック材

ロック材の必要量は、2,700,000 m^3 である。歩止り、体積変化率を考慮すると地山必要量として約2,400,000 m^3 が必要となる。

ロック材は、原石山地点(Site B)において十分確保できるものとする。また、仮排水路、鉄管路は、堅硬な砂岩を通過するものと推定されるため、掘削岩をロック材として流用することも可能である。

8.3 下部ダムサイト

*
図 5.5 に示すように、ダムサイトは、砂岩および頁岩により構成されている。地質は上流方向傾斜である。

地質は、上部ダムサイトと比べ左右岸の風化層が、やや深くなっている。

ダム型式としては、フィルタイプダムならびにコンクリートグラビティダムが考えられるが、堤体材料、特にコア材について現在までに有望な候補地がないこと、ならびに建設費の比較を行った結果、コンクリートグラビティダムが有利であるとされている。

8.3.1 ダム

(1) 掘削線の検討

*
ダム軸の地質断面図ならびに越流部の地質断面図を図 8.13～8.14 にそれぞれ示す。

河床砂礫は、5 m 程度の層厚をもって分布し、左右岸に分布する表土および崖錐も薄く分布する。

*
ボーリングならびに弾性波探査結果により推定される岩盤区分は、図 8.13 に示されるように左岸では、C₁ 級岩盤がやや厚く分布し、高度が増すに順じて風化層は厚くなっている。また、右岸では、河床部付近で C₁ 級岩盤がやや厚く分布する他は、10 m 以内で C₂ 級岩盤に到達するものと推定される。

また、河床部右岸のボーリング (LD-4) の深度 72～80 m 間で確認された比較的、規模の大きな破碎帯については、地下深部であるため、ダム基礎岩盤としての耐荷性については、問題がないものと判断される。

岩盤等級の地表からの平均深度は、表 8.5 に示すとおりである。

Table 8.5 List of Depth of Rock Classification
of Foundation Rock

(Unit: m)

Location Rock Classi- fication	Left Bank			Center of River Bed	Right Bank		
	Near Crest	Near Midpoint	Near Bottom		Near Bottom	Near Midpoint	Near Crest
C _L	5	7	-	3	-	-	3
C _M	20	16	5	5	5	-	7
Over C _H	33	38	25	23	15	12	28

岩盤等級により区分された岩盤の40mクラスのコンクリートグラビティダムとしての評価は以下の通りである。

完全風化層であるD級岩盤は、風化の進行により、原岩構造をとどめず、土砂～粘性土状となっている。ダム基礎岩盤としては不適である。

C_L 級岩盤は、主に強風化岩よりなり、ハンマーの打撃で割れる比較的多い岩盤である。ダム基礎としては、十分な基礎処理を実施すれば、大きな耐荷が必要とされないダム上部の基礎として使用可能と考えられる。

比較的堅硬な、中程度風化岩である C_M 級岩盤は、亀裂の発達がみられるが、40mクラスのコンクリートグラビティダム基礎で必要とされるせん断強度（約10 kg/cm²）は、十分に有しているものと判断される。堅硬で新鮮～軽度の風化岩で構成される C_H 級岩盤は、ダム基礎岩盤としては問題のない岩盤である。

上述のように、ダム掘削線は、C_L 級岩盤を除去し、C_M 級岩盤を基礎とすることとし、ダムの上部の大きな耐荷力が必要とされない部分では、十分な基礎処理を施した C_L 級岩盤が使用可能であると考えられる。

*
図8.13における C_L 級と C_M 級岩盤との境界は、*
図8.15に示されるように、ボーリングコア観察において、5mの間に80%以上の C_M 級岩盤が占める範囲を岩盤境界とした。

*
一方、基礎岩盤の透水性については、図8.16に示すルジオンマップにより把握される。

50Lu 以上の高透水ゾーンは、5～10m程度の厚さをもって、左右岩、河床部

に分布している。

透水性からみたダム掘削線は、50 Lu 以上の高透水ゾーンを完全に除去する掘削線を検討する必要がある。

上述のように、岩盤等級および透水性を考慮して検討した掘削線は、図8.13 ^{*} _{*} ならびに図8.16 に示し、表8.6 に掘削線の地表からの深度をまとめて示した。

Table 8. 6 Proposed Excavation Depth of Lower Dam

(Unit: m)

	Left Bank			Center of River Bed	Right Bank		
	Near Crest	Near Midpoint	Near Bottom		Near Bottom	Near Midpoint	Near Crest
Depth(m)	12	18	13	10	12	21	12

(2) 基礎処理の検討

^{*} 図8.16 のルジオンマップに示すように、下部では、深部においてもルジオン値は収束せず、10Lu 程度の透水ゾーンが深部まで連続している。また、LD-4 で確認された、破砕帯部では20Lu 以上の透水ゾーンが分布している。

一般に、カーテングラウチングの改良範囲は、 $L = \frac{H}{3} + a$ ($\frac{H}{2}$ 、L: グラウト深度、H: ダム高、a: 余裕長) とされている。しかし、下部ダムは、高透水ゾーンが深部まで分布するため、10Lu を改良目標値と定め、3次孔(3mピッチ)までのカーテングラウチングを実施することにより、確実な止水を行うことが望ましい。

また、下部ダムサイトは、全体に高透水ゾーンであるため、パイロット孔をさらに深部まで掘削し、深部に高透水ゾーンが分布しないことを確認する必要があると考えられる。

ダム基礎のコンソリデーショングラウチングは、ダム基礎岩盤の耐荷力を増加するとともに、着岩部付近の止水を確実に行うことを目的として実施する。

コンソリデーショングラウチングの深度は、7m程度とし、十分な岩盤改良を行うことが望ましい。

8.3.2 発 電 所

発電所は、テカイ川右岸の比較的平坦な地点に設置することが望ましい。

発電所地点の地質は、^{*}図8.17に示すように、砂岩と頁岩により構成されており、表土および崖錐におおわれている。また、河床砂礫は、3～5m程度で分布するものと推定される。ボーリング(LD-7、LD-8)によれば、強風化岩であるC_L級岩盤が10m程度の厚さをもって分布しているため、発電所は、C_L級岩盤を除去し、C_M級岩盤を基礎とすることが望ましい。

8.4 下部ダムサイトの建設材料

下部ダムならびに付帯構造物を含めた下部ダムサイトで必要とされるコンクリート骨材は、約91,000m³である。

コンクリート骨材の採取地としては、地質踏査により選定された原石山地点(Site C)ならびに比較地点(Site D)について調査を実施した。

8.4.1 原石山地点(Site C)

サイトCは、砂岩が優勢に分布する地域である。下部サイトの砂岩を対象に実施した岩石試験結果は、図7.1～図7.14ならびに表8.7に示すように、コンクリート骨材としての品質は良好である。

Table 8.7 Results of Rock Testing

(Mean value)

	Specific gravity (D.S.)	P. of W.A. (%)	U.C.S. (kgf/cm ²)	M. of E. dynamic (×10 ³ kgf/cm ²)	Poisson ratio dynamic	Velocity P wave (×10 ³ m/sec)	Velocity S wave (×10 ³ m/sec)
Sandstone	2.520	1.99	1221	330	0.31	3.608	1.948

ボーリングならびに弾性波探査により作成した地質断面図ならびに表土および風化層の等層厚線図を^{*}図8.18～8.19にそれぞれ示す。

サイトCの基盤の弾性波速度は、最大で2,500～2,800m/secと低く、ボーリングも風化の進行したC_L級ならびにC_M級岩盤で、岩石試験の供試体と同様の新鮮なC_H級以上の岩盤は、ほとんど分布していない。

このため、コンクリート骨材の効率的な採取は困難であると考えられ、サイトCは、原石山としては不適であると結論される。

8.4.2 原石山比較地点 (Site D)

サイトDは、図1.2に示すようにテンプリン川とテカイ川の合流点より約7km下流のテンプリン川左岸のルブク・パヤン付近に位置している。この地域は、1974年にマレーシア地質調査所がN.E.Bの要請により実施した「Geological Investigation for Proposed Quarry Site, near KG. LUBUK PAYONG, Jerantut, (Geological Report)」により地質の概要が明らかにされている。同報告書の地質平面図^{*}ならびに地質断面図を図8.20～8.24にそれぞれ示す。

サイトDは、砂岩と石灰岩により構成されており、石灰岩は250～340フィート(75～102m)の層厚をもち、北北西-南南東の走向、約40°東落傾斜をもって分布している。

岩石試験結果は、図7.1～7.14ならびに表8.8に示すように良好な結果となっている。

Table 8.8 Results of Rock Testing

(Mean value)

	Specific gravity (D.S.)	P. of W.A. (%)	U.C.S. (kgf/cm ²)	M. of E. dynamic (×10 ³ kgf/cm ²)	Poisson ratio dynamic	Velocity P wave (×10 ³ m/sec)	Velocity S wave (×10 ³ m/sec)
Limestone	2.701	0.15	954	925	0.287	6.627	3.603

サイトDは、原石山地点として表土が薄く良好な地点であり、量的にも下部ダムのコンクリート骨材を十分に確保できるものと推定される。

8.4.3 建設材料の運用計画

コンクリート骨材の必要量は、91,000 m³である。歩止り、体積変化率を考慮すると地山必要量は約100,000 m³が必要となる。

サイトCから良好な骨材が採取できないこと、ならびにダム掘削岩は、風化岩が主体となり利用ができないことから原石山は、サイトDもしくは上部サイト原石山地点(サイトB)との比較により、原石山を選定する必要がある。

参 考 文 献

- 1) Geological Survey of Malaysia (1973): Geological Map of West Malaysia, Malaysia Geol. Survey.
- 2) KHOO HAN PENG (1977): The Geology of the Sungai Tekai Area, Malaysia Geol. Survey Ann. Rept. 1977.
- 3) Koopmans, B.N. (1966): A Structural Map of North and Central Pahang, Journal of Trop. Geogr. Vol. 22.
- 4) Koopmans, B.N. (1968): The Tembeling Formation - A Litho-stratigraphic description (West Malaysia), Geol. Soc. Malaysia, Bull. 1.
- 5) International Commission on Large Dams (1978): Standards for Geological Investigation of Dam Foundations.
- 6) D.U. Deere, A.J. Hendron, Jr., F.D. Patton and E.J. Cording (1966): Design of surface and near-surface construction in rock, Symp. Rock Mech. 8th, Minnesota, 1966. (Proc. to be published by AIME, 1967).
- 7) D.U. Deere (1968): Geological considerations, Chapter 1, Rock Mechanics in Engineering Practice (Stagg & Zienkiewicz).
- 8) 服部保正, 杉本卓司 (1975) 岩石のP波伝播速度に関する統計的研究 (I)、物理探査第28巻第1号
- 9) Shu Yeoh Khoo & Lai Kok Hong (1974): Geological Investigation for a Proposed Quarry Site, near KG. LUBUK PAYONG, Jerantut, Pahang, Geol. Sur. Malaysia.
- 10) Muawia Barazangi & James Dorman (1969): World Seismicity Maps Compiled from ESSA, Coast and Geodetic Survey, Epicenter Data, 1961-1967, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 59, No. 1, 1969.

JICA