

土 木 研 究 所 資 料

軟岩を対象としたダム基礎の岩盤分類のための調査

その3 新第三系中新統の石英安山岩における例

昭和63年 2 月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright ©1988 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

軟岩を対象としたダム基礎の岩盤分類のための調査

その3 新第三系中新統の石英安山岩における例

地質研究室	室長	市川	慧
	主任研究員	平野	勇
	研究員	佐々木 靖	人
		神保	悟*

要 旨

新第三系中新統の石英安山岩からなるダム基礎岩盤について肉眼観察、シュミットハンマーテスト、弾性波探査、点載荷試験、岩石物理試験、岩石・鉱物試験等の簡易調査を実施し、岩盤の岩石鉱物学および物理力学的性質を明らかにするとともに、これらの調査方法の岩盤分類への適用性について検討したものである。

キーワード：ダムの地質調査、軟岩、岩石試験、岩盤試験、岩盤分類

* 現関東地方建設局利根川水系砂防工事事務所工務課

ま え が き

近年、我国においては、治水・利水を目的としたダム建設が促進されてきている。しかし、地質条件の厳しさや用地事清の難しさを反映して、ダムの適地が少なくなり、新たなダムの岩盤条件は複雑あるいは問題の多いものがあり、必ずしも最適でないところに建設せざるをえない例が多くなっている。一方、これらに対処するために、ダムの型式・規模・施工法も多様化してきている。このような状況のもとで、安全かつ経済的なダムを建設するためには、ダムサイトの地質調査と岩盤評価についても、的確で精度の高いものが要求される。特に、最近増加しているものに軟岩基礎があり、これまでとは異にするあらたな視点を必要としている。

新第三系～第四系の砂岩、泥岩、凝灰岩などの堆積性軟岩、弱～中熔結の熔結凝灰岩、破碎岩、風化岩、変質岩のような軟岩は、強度が低く変形性が大きい、あるいは掘削面が急速に劣化するなど、硬岩とは違った多くの難しい問題点を持っている。そのためダム基礎岩盤の調査においても、硬岩の場合とは異なった注意が必要である。

ダム基礎岩盤の岩盤分類についてみると、硬岩では、これまでに多くの実績が重ねられていることもあって、岩盤性状からある程度岩盤の力学定数を推定でき、岩盤の評価も比較的行きやすい。しかし、軟岩では、岩質が多様な上に硬さの判定が難しいことなどから力学定数の推定が容易でなく、岩盤分類の方法も確たるものがない。

地質研究室では、かねてからダム基礎岩盤の岩盤分類に関する調査を行っており、軟岩の岩盤分類を目的とした地質調査法について「軟岩を対象としたダム基礎の岩盤分類のための調査 その1 簡易調査法(案)(土研資料第2508号)」として暫定的にとりまとめた。今回まとめた土木研究所資料は、「その1 簡易調査法(案)」に示したような岩盤分類のための地質調査法を、新第三系中新統の多孔質な部分を含む石英安山岩からなる基礎岩盤を対象に適用した例である。

なお、対象としたダムは目下、実施設計調査の段階にあり、ここに示した岩盤分類は暫定的なものである。したがって、原位置岩盤力学試験を含めた今後の地質調査によって適宜修正されるべき性質のものであることを断っておく。

昭和63年2月

目 次

はじめに

1. 地形・地質概要	1
1.1 調査地周辺の地形・地質	1
1.2 調査地点の地形・地質	1
2. 調査・試験方法	5
2.1 調査対象横坑およびボーリング	5
2.2 調査・試験の種類	5
2.3 調査・試験の詳細	5
2.3.1 横坑調査	5
1) 肉眼観察	5
2) 簡易力学試験	5
2.3.2 ボーリングコア調査	8
1) 肉眼観察	8
2.3.3 室内試験のためのサンプリング	9
2.3.4 室内試験	9
1) 岩石物理試験	9
2) 点載荷試験	9
3) 一軸圧縮試験	10
4) 偏光顕微鏡観察	10
3. 調査・試験結果	12
3.1 岩質の岩石学的鉱物学的特徴と区分	12
3.1.1 岩石学的鉱物学的特徴	12
1) 化学組織	12
2) 鉱物組織	12
3) 肉眼的特徴	14
3.1.2 岩質の初生的特徴に基づく区分	14
1) 岩相区分	14

2) 各岩相の特徴	14
3.1.3 岩質の後生的特徴に基づく区分	19
3.1.4 岩質区分の物理力学的性質による検討	19
1) 岩相区分と物理力学的性質の関係	21
2) 物理力学的指標値間の関係	27
3.2 岩盤分類要素と区分	31
3.2.1 横坑岩盤における区分	31
3.2.2 ボーリングコアにおける区分	32
3.2.3 岩質区分と「岩片の硬さ」の関係	33
3.3 岩盤分類基準	33
3.4 岩盤分類と簡易試験値の関係	34
3.4.1 横坑の岩盤状況	34
3.4.2 岩盤分類と簡易試験値の関係	34
1) 「岩片の硬さ」	34
2) 「割れ目間隔」	38
3) 「割れ目状態」	38
4) 岩 級	38
3.4.3 簡易試験値間の関係	44
1) 点載荷強度とシュミットハンマー反発度	44
2) シュミットハンマー反発度と弾性波速度	45
3.4.4 簡易試験の適用性の検討	45
1) 点載荷試験	45
2) シュミットハンマーテスト	45
3) 簡易弾性波探査	46
4. ま と め	47
おわりに	48
参考文献	49

は　じ　め　に

ダムにおける基礎岩盤の分類は、地質工学上の諸性質によって岩盤を分類・評価するものであり、一般的には次のような組立てからなっている。すなわち、①地質技術者による肉眼観察やハンマー打診、その他の簡易調査（弾性波探査、シュミットハンマーテストなど）に基づく岩盤性状区分（任意区分）、②①の区分の代表部分で実施する原位置岩盤力学試験値と岩盤性状区分とを対応させた岩盤力学特性区分（絶対区分）、③②の岩盤力学特性区分を当該ダムの型式規模などの条件に照らし、基礎岩盤としての優劣を評価する岩盤評価区分（相対区分）である。

ダム基礎の岩盤分類法が備えるべき条件としては、①岩盤の工学的性質（剪断強度や変形性）と良く対応していること ②評価対象となる岩盤の種類は多岐にわたっているので、汎用性のある方法であること ③線的あるいは面的に広く調査し区分する必要があるので、簡便な方法であること ④客観的で再現性が高い方法であること、などがあげられる。

硬岩については、これまでに多くのダムの基礎の対象となり、堅硬な岩石と割れ目の組合せという比較的簡単な構成ということもあって、経験が蓄積され、岩盤分類は一応確立されたものとなっている。しかしながら、新第三系以降の堆積性軟岩（一部の白亜系～古第三系堆積岩を含む）、火山性軟岩、破碎岩、変質岩、風化岩などの軟岩基礎岩盤には、硬岩を対象とした従来の岩盤分類基準はそのまま適用しにくい。

調査対象としたダムは、北上川水系胆沢川に建設される洪水調節、不特定用水補給、かんがい及び上水道用水の開発、発電を目的とする多目的ダムであり、堤高約130m、堤長約750m、総貯水容量約143,000,000m³のロックフィルダムの築造が計画されている。

ダムサイト周辺には、新第三系中新統の尿前層とよばれる石英安山岩質熔岩や火山碎屑岩類がみられる。ダム基礎として広く分布しているのは熔岩円頂丘をなして産出するとみられる石英安山岩である。この石英安山岩は、岩質は全体的に硬いが部分的にやや軟質に漸移する部分が分布しており、さらに割れ目と風化の要素が絡み、これらの要素をどのように調査し、ダム基礎としての評価を行うかということが、岩盤分類における大きなポイントとなる。

地質的に見ると、①硬質から軟質に漸移するという岩質の初生的な変化 ②冷却節理等の割れ目の発達 ③風化 の3要素が絡み、岩盤分類を考えるうえでの典型的な要素が見られる。今回は横坑・ボーリングコアについて肉眼観察、シュミットハンマーテスト、簡易弾性波探査、点載荷試験、岩石物理試験、岩石鉱物分析等の簡易調査を行い、石英安山岩についての岩石学的鉱物学的性質、物理力学的性質を検討するとともに、岩盤の力学的性質に影響を及ぼす要素について整理し、岩盤分類指標の検討を行い当ダムの基礎岩盤についての分類を試みた。さらに、これらの簡易調査の岩盤分類への適用性について検討した。

1. 地形・地質概要

1.1 調査地周辺の地形・地質

調査位置を図1-1に示す。当地域は東北地方の脊梁をなす奥羽山脈の東縁部にあたり、比較的なだらかな山稜が広がっている。胆沢川は1,000 m前後の標高をなす源流部より東流し、やがて胆沢扇状地をなし北上川本川に注ぐ。ダムサイトは胆沢扇状地の扇頂から2 km程度山地よりに位置する。

調査地周辺は、グリーンタフ地域に位置し、基盤の花崗閃緑岩及び古生層の上に前川層、下嵐江層、瑞山層、尿前層、大平層、国見山層（以上、新第三系）と新期火山碎屑堆積物、段丘堆積物が累重する。新第三系の堆積物のうち、前川層、下嵐江層はグリーンタフ活動の下～中期で、砂岩泥岩を主体とする堆積物からなる。その上位の瑞山層、尿前層は、大規模な火山碎屑流堆積物及び熔岩からなる。以上が中新統で大平層、国見山層は、前者が砂岩、礫岩を主体とし、後者は安山岩熔岩及び同質凝灰岩を主体とした共に鮮新統の堆積物である（表1-1）。

貯水池周辺の地質構造は、全体的に緩い東傾斜で、主にNNE-SSW性の数条の断層により断たれている。調査地点周辺では尿前層が分布するが、高位には国見山層（大平層は、この部分では挟在しない）が重なる。また、尿前層の主部は熔岩円頂丘状の岩体（カルデラ状の陥没地を埋めた凝灰岩という説もある）を形成していると考えられ、調査地周辺はその岩体の中心部とみられている（図1-2）。

1.2 調査地点の地形・地質

胆沢川は、ダム付近になると所々に河岸段丘を形成し、ダムサイト付近では左岸側に段丘面が広がっている。周りの山地は比較的急峻で標高400～450 mを示し、河床からの比高は150～200 mである。

調査地付近に分布する尿前層下部は、石英安山岩質熔岩と凝灰岩等の互層帯であり、調査地点にあたる尿前層上部は含雲母石英安山岩（所々に柱状節理が発達する）からなる。尿前層は以前、瑞山層とされていたが、当ダムにかかる一連の地質調査の結果によると、模式地の層相とは異質のようである（ただし、瑞山層相当層も薄く分布する）。

尿前層上部の石英安山岩は灰白色を呈し、部分的に冷却節理や粗鬆（多孔質でがさがさで脆い）がみられ、これまでの調査によって粗鬆な部分も含めて全体が熔岩であるという一応の結果を得ている。現在の調査段階では粗鬆な部分の分布に不明確なところが残されており、節理や表層部の風化、緩みも含め今後つめるべき課題の1つとなっている。

ここでは、尿前層上部の石英安山岩熔岩を中心に検討する。

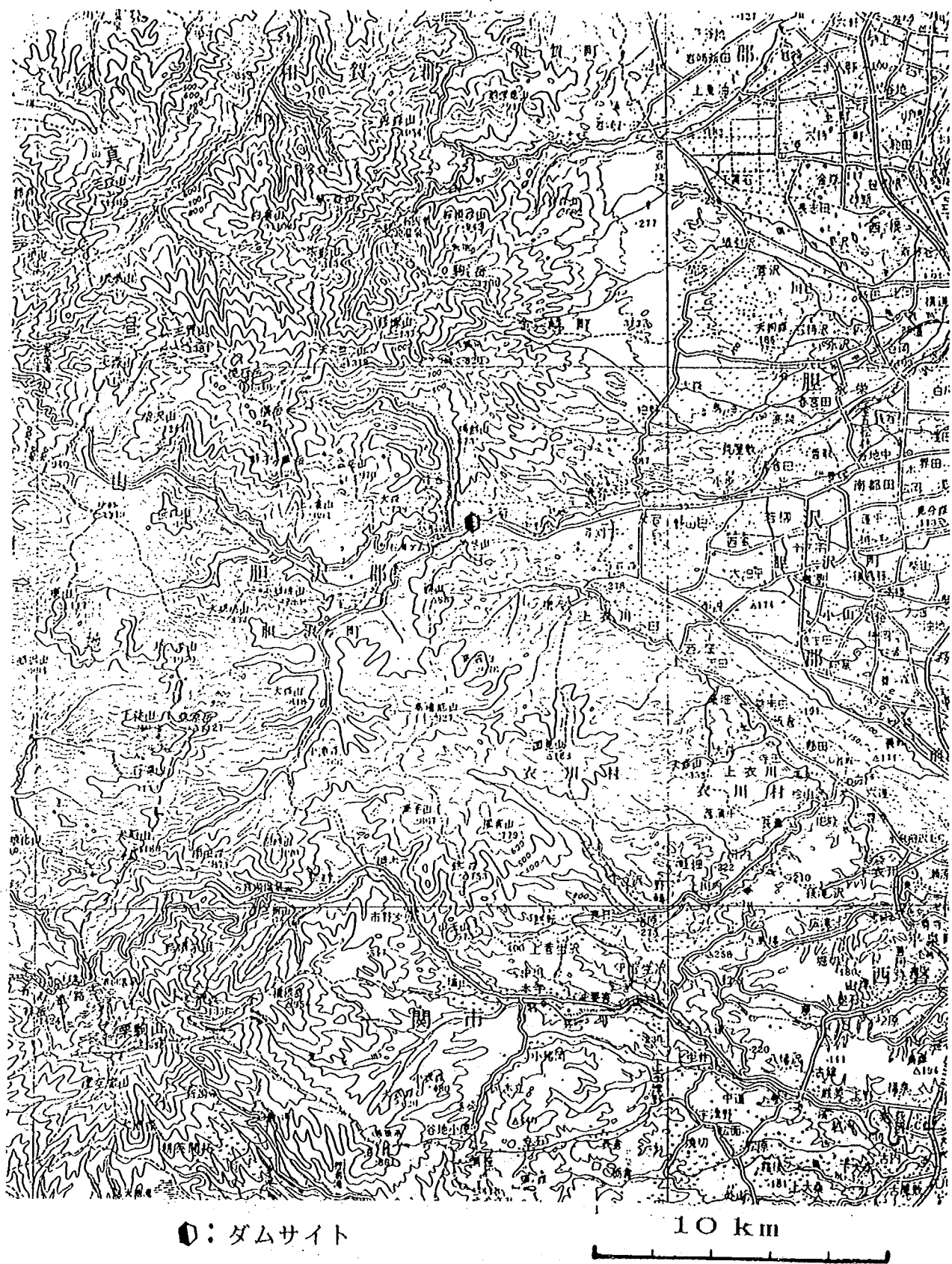


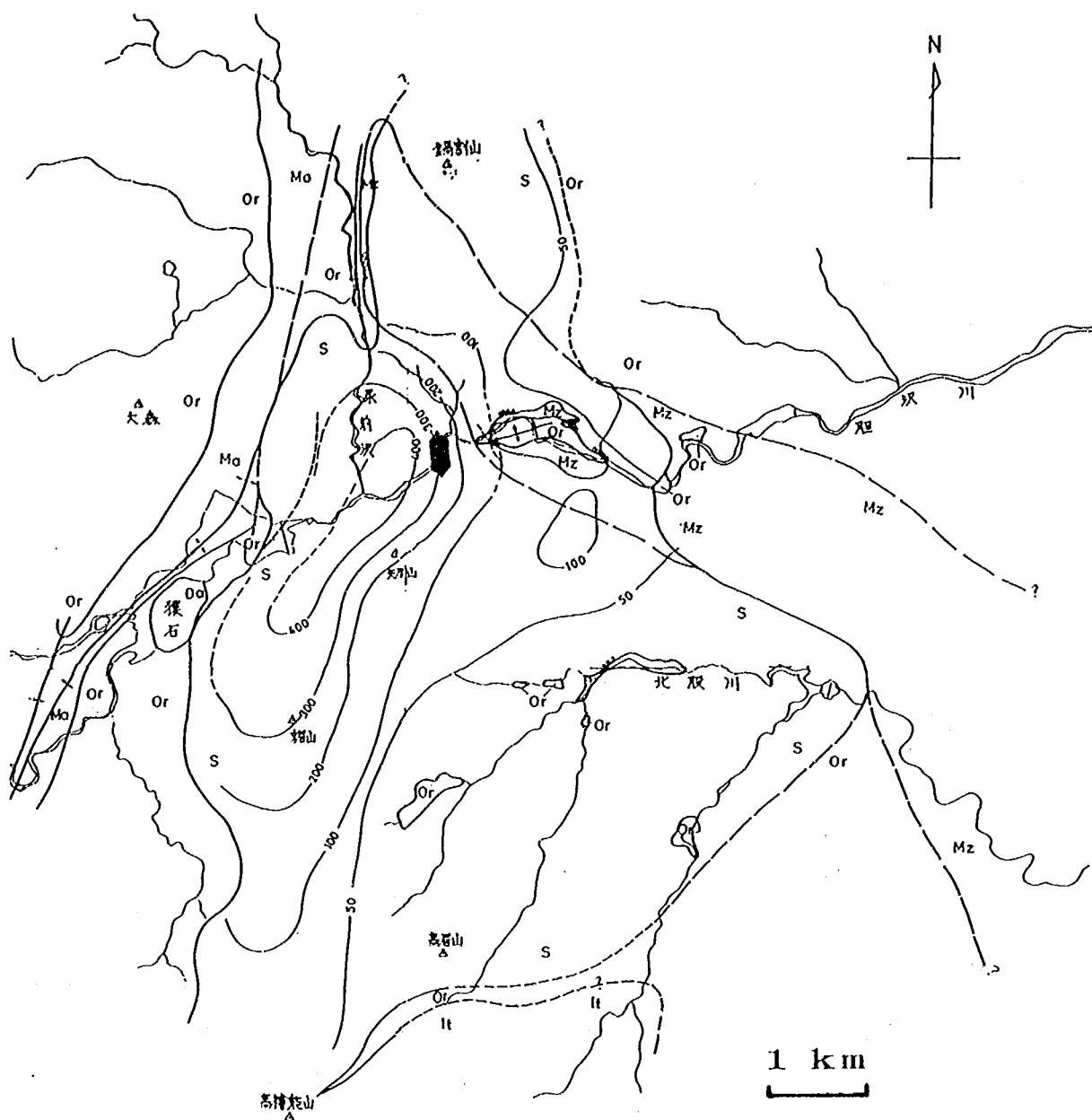
図1-1 調査位置図

表1-1 調査地周辺の地質層序

絶対年代	地質時代	地層名	岩相記号	記号	岩相
M.A. (百万年)		現河床堆積物		Rd	砂礫
		崖堆積物		Dt	角礫・粘土・砂
0.01	第四紀	段丘堆積物		Tr-V	砂礫
		新期火山碎屑性堆積物		Tr-IV	砂礫・ローム
				Vd	安山岩角礫混り火山灰質粘土
				Tr-III	砂礫・ローム・軽石層
				Tr-II	砂礫・ローム・軽石層
				Tr-I	砂礫・ローム・軽石層
2±0.2	鮮新世	国見山層		Ktb	凝灰角礫岩～火山泥流堆積物
				Kan	安山岩熔岩
				Ktb	凝灰角礫岩～火山泥流堆積物 (一部軽石凝灰岩を含む)
	新世	大平層		Od	礫岩(泥流堆積物状異質岩塊を含む) 砂岩・礫岩・泥岩互層・凝灰岩
6±0.5	中新世	尿前層		Sda	含黒雲母石英安山岩類 緻密質熔岩 中間質岩, 粗鬆岩 細粒火砕岩
				Sfs	砂岩, 礫岩
79±1.2 F.T	第三紀	瑞山層		Mz	含角閃石石英安山岩質軽石凝灰岩 同質熔結凝灰岩
9.0 K-Ar					同質軽石凝灰岩 軽石凝灰岩(有色鉱物なし) 石英砂岩, 凝灰岩, 礫岩互層
	新世	下嵐江層		Or	凝灰質砂岩 シルト岩, 泥岩 凝灰質砂岩
		市野原凝灰岩部層		It	緑色火山礫凝灰岩
		前川層		Ma	黒色砂質シルト岩・硬質頁岩 凝灰岩・火山礫凝灰岩 黒色砂質シルト岩・硬質頁岩
12~14		貫入岩		An	安山岩
				Da	石英安山岩
65 208±30 F.T		基盤岩			花崗閃緑岩類 古生層

注)・主な地質時代境界の絶対年代は、理科年表より抜粋

・矢印は、調査地域周辺での絶対年代測定値



凡例

[S] 尿前層

[Mz] 瑞山層

[Or] 下嵐江層

[It] 下嵐江層
(市野々原凝灰岩部層)

[Mo] 前川層

[Da] 貫入岩 (石英安山岩)

◆ : ダムサイト

--- 地質境界

--- 断層

X 背斜軸

X 向斜軸

°°° 基底礫

△△△ 基底部の岩塊

--- 等層厚線

図 1-2 瑞山層・尿前層の分布および層位関係概念図
(尿前層の等層厚線図)

2. 調査・試験方法

2.1 調査対象横坑およびボーリング

簡易調査は想定ダム軸および岩相、節理、風化程度のばらつきを考慮して調査対象横坑、ボーリングを選定した。対象横坑およびボーリング孔は図2-1に示したとおりである。図中黒く塗りつぶしたのはTR-3横坑で、大丸で示したのはB-8、B-22、B-32、B-33、B-34の各ボーリング孔である。また、岩質および岩盤分類要素区分にかかる調査は、ダムサイト全体について肉眼観察等を行った。

2.2 調査・試験の種類

簡易調査は、一定の調査範囲を設定した横坑壁、ボーリングコアを対象とした。さらに横坑壁の岩片とボーリングコアを採取し室内試験を実施した。調査の種類は表2-1に示すとおりである。

2.3 調査・試験の詳細

2.3.1 横坑調査

1) 肉眼観察

横坑について肉眼観察による岩盤性状の調査を行った。横坑壁においてはハンマー打診も合わせて行った。坑壁においては岩盤区分基準作成を念頭に置き岩相、岩片の硬さ、割れ目の間隔、割れ目の状態、風化、含水状態等に着目して調査した。

2) 簡易力学試験

横坑壁の調査は、上流壁（一部下流壁を含む）の踏前より1.4 mの基準線を設け、それを中央にはさみ概ね幅40 cmの帯状の調査域を設定し、延長1 m毎の単位区間を設けた。調査域では、次に示すシュミットハンマーテスト、簡易弾性波探査を実施するが、この単位区間毎に代表値を求めて整理することにした。調査域内は、横坑掘削で生じた表面の劣化や緩み、岩屑を取り除き、できるだけ新鮮な面を出しなだらかに整形して洗浄した。

(1) シュミットハンマーテスト

シュミットハンマーテストは打撃の反発度から岩石の硬さを判定する指標試験である。シュミットハンマーテストは、図2-2のような間隔で単位区間当たり25回打撃することを標準とし、割れ目等は避けた。25点の平均値をもって代表値とした。機種はKS型を使用した。なお、シュミットハンマーテストは弾性波速度測定に先行して実施した。

(2) 弾性波速度測定

弾性波速度は、各単位区間の両端間 1 m の弾性波伝播速度 (V_p) を求めようとするもので、次のようにして行った。

測定方法は、横坑側壁をハンマーで打撃することによって発生させた弾性波 (P 波) を

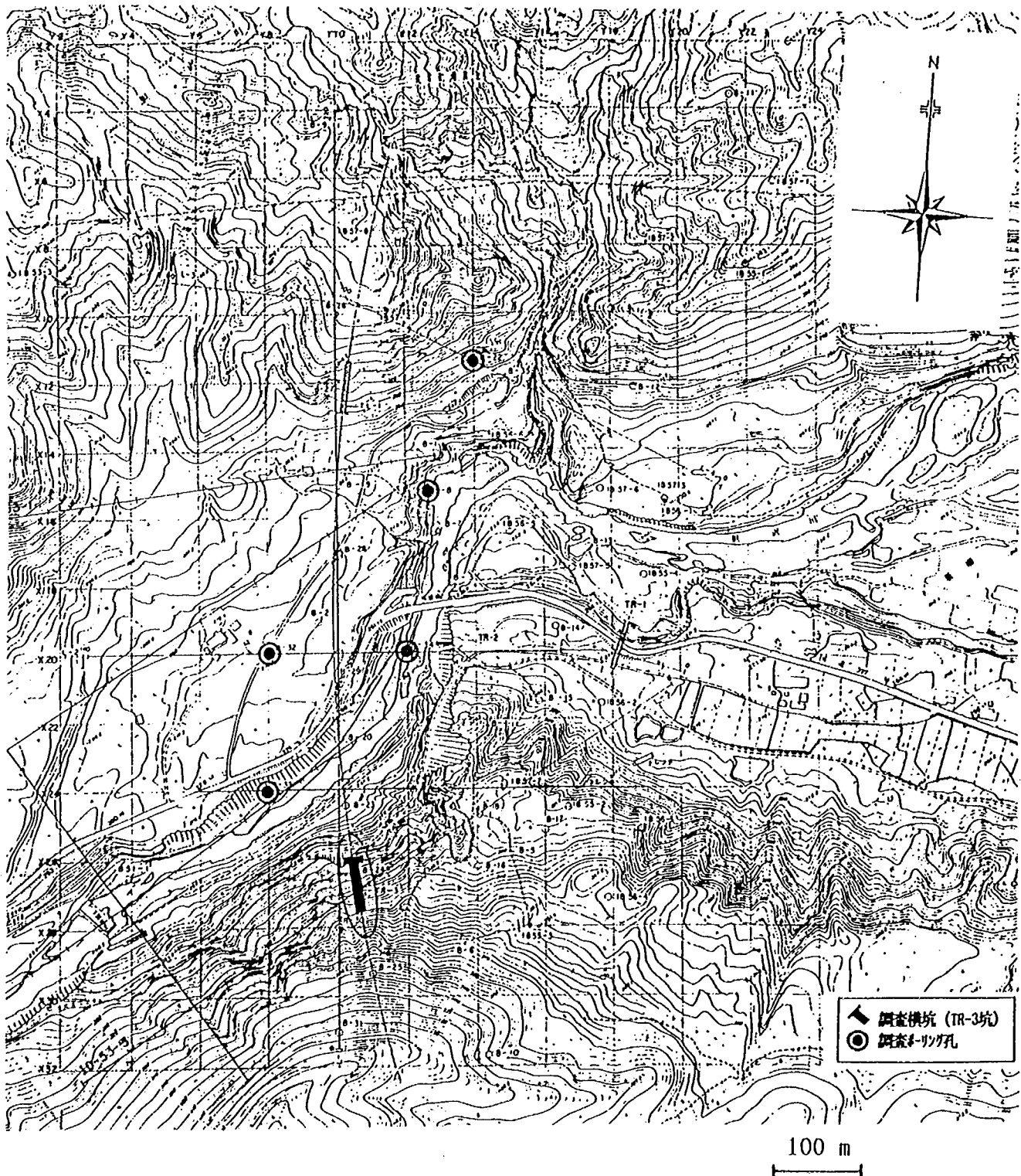


図 2 - 1 調査対象横坑およびボーリング

表2-1 軟岩を対象としたダム基礎の岩盤分類のための調査方法(斜線部は本調査において適用したもの)

地質調査の進捗段階		調査前半（予備調査～実施設計調査前半）				調査後半（実施設計調査後半～建設）				備	考
調査目的		岩盤分類基準作成のための調査		岩級分布把握のための調査		岩盤分類基準作成のための調査		岩級分布把握のための調査			
対象地質タイプ		I	Ⅱ	I	Ⅱ	I	Ⅱ	I	Ⅱ		
地表弾性波探査		△	○	△	○						
ボーリング	肉眼観察、ハンマー打診	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	割れ目計測	△	◎	△	○	△	○	△	○		
	針貫入試験	○		○		○		○			
	点載荷試験	△	◎	△	○	△	○	△	○		
	岩石物理試験	△	◎	△	○	△	○	△	○		
	岩質判定	○	◎	○	○	○	○	○	○		
	孔内、孔間弾性波探査						△		△		
孔内載荷試験						△	△				
横坑	肉眼観察、ハンマー打診	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	割れ目計測	○	◎	△	○	○	◎	△	○		
	シュミットハンマーテスト	○	◎	○	○	○	○	○	○		
	針貫入試験	○		○		○		○			
	針貫入試験	○				○					
	点載荷試験	△	◎	△	○	△	○	△	○		
	岩石物理試験	△	◎	△	△	△	△	△	△		
	岩質判定	○	◎	○	○	○	○	○	○		
	簡易弾性波探査	△	◎	△	△	△	△	△	△		
	坑内、坑間弾性波探査		△		△	△	△	△	△		どちらか一方で良い。
原位置岩盤変形試験						◎	◎			ダムの型式、岩盤状況等によって選択する。	
原位置岩盤剪断試験						◎	◎				
定形供試体	一軸圧縮強度試験	◎	◎			◎	◎				ボーリングコアまたは横坑より採取する。
	超音波伝播試験	◎	◎			◎	◎				
	岩石物理試験	◎	◎			◎	◎				
	岩質判定	◎	◎			◎	◎				
	岩石鉱物分析		△	△			△	△			不定形試料でもよい。
①岩盤分類基準作成のための調査は、岩盤性状の代表となるものについて行ない、各岩級の典型を定めるものである。岩級分布把握（岩級分布図作成）のための調査は、一次的にはボーリング、横坑等で線的に行ない、これを演繹して三次元分布を求めるものである。											
②地質タイプⅠ：本質的に軟質なもの、堆積性軟岩に多い。Ⅱ：硬～軟混在しやすいもの、熔結凝灰岩、自破砕熔岩、多孔質熔岩、周縁急冷相、破砕岩、変質岩、風化岩に多い。											
③調査方法については、調査の進捗と岩盤状況に応じて適宜選択する（◎ほとんど必ず行なうもの ○普通に用いられ有効な手段となるもの △必要に応じて適用するもの）。											
④トレンチ、基礎掘削面については、横坑調査に準じる。											

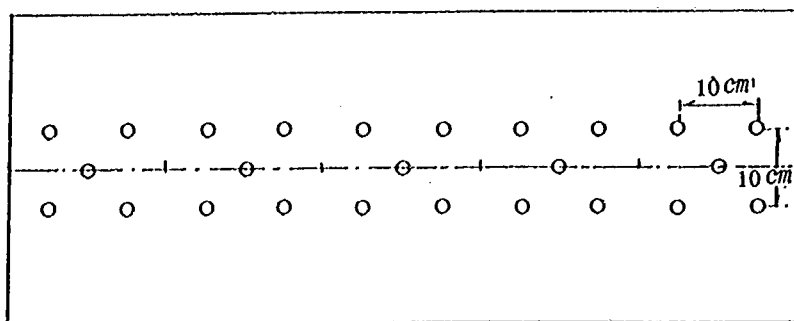


図 2-2 シュミットハンマー打点位置

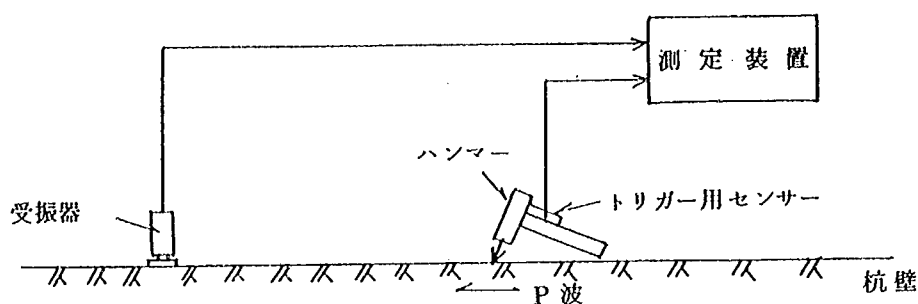


図 2-3 弾性波速度測定概要図

坑壁に圧着した受振器で検知し、このパルスを増幅により増幅して観測した。測定概要図を図 2-3 に示す。

受振器は、重コイル型ジオフォンを坑壁に圧着して測定した。トリガー用センサーは、ハンマーで打撃した瞬間を検知するものである。測定器のディスプレイにあらわれた観測波形から P 波の伝播時間を読み取り、区間距離と時間とから P 波伝播速度を算出した。

実際の測定は、トリガーセンサー・ジオフォンの感知誤差（伝達タイムロス）を最小にし、パルスの減衰や表面波・屈折波等の影響を排除するため次の方法で行った。

測定は数 m の試験区間から行い、次いで 1 m ずつ順次試験区間を短縮して速度を測定した。1 m 区間の伝播時間は、各伝播時間から 1 m 区間の伝播時間を求めた。

例えば

$$t_6 \text{ (6 m 区間の伝播時間)} - t_5 \text{ (5 m 区間の伝播時間)} = 1 \text{ m 区間の伝播時間}$$

2.3.2 ボーリングコア調査

調査にあたっては、ほぼ一様なコア性状を示す長さ 1 m の単位区間（岩質等によって 1 m 以下に細分することとした）を設定した。

1) 肉眼観察

ボーリングコアについて肉眼観察によるコア性状の調査を行った。岩盤区分基準作成を念

頭に置きコア形状、岩相、岩片の硬さ、割れ目の数、割れ目の状態、風化状態等に着目して調査した。

2.3.3 室内試験のためのサンプリング

室内試験に供するため、横坑壁調査と同一箇所からサンプリングを行った。サンプリングは、横坑の単位区間当たり代表部分について $20 \times 20 \text{ cm}$ を 1 個である。サンプルは緩んだ箇所や浮き石を避け、新鮮な岩塊を不定形で採取した。また、ボーリングコアによる室内試験用サンプルも採取した。

2.3.4 室内試験

1) 岩石物理試験

一般に岩石の密度、吸水率などの物理指標は、強さや硬さと相関を持つ。これを利用して、岩石サンプルについて、密度、吸水率などに関する試験を行い、力学的性質を間接的に知ろうとするものである。試験は重量測定だけであるから不定形試料でもよく、これから乾燥・湿潤・自然密度、吸水率、有効間隙率等を求める。

試験は横坑の単位区間または岩盤試験面当たり 1 個のサンプルについて行った。試験方法は KDK S 0501-0968 “岩石の密度・吸水率・含水比・飽和度・有効間隙率試験方法” による。

2) 点載荷試験

前項の1)と同一のサンプルを用い湿潤および自然乾燥状態で測定した。試験方法は図 2-4 に示した。点載荷強度 I_s は下式で求めた。これを供試体厚さによる校正曲線図 2-5 により厚さ 50mm における値 $I_s(50)$ に補正した。

$$\text{点載荷強度 } I_s = \text{荷重} / (\text{破壊時の載荷点の間隔})^2 \text{ kgf/cm}^2 \quad (1)$$

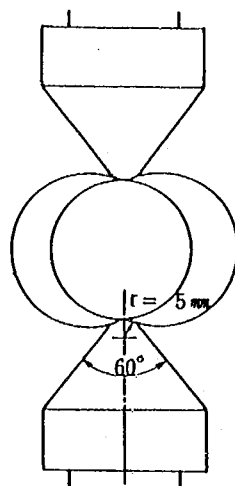


図 2-4 点載荷試験における載荷方法

供試体は、不定形でよいが、載荷点間距離を直径とする球が、供試体の中に完全に含まれるものでなければならない。2つの載荷点周囲の岩石表面は、できるだけ互いに平行なほうがよい。また、載荷点間距離すなわち供試体の厚みは、5 cm前後が望ましい。

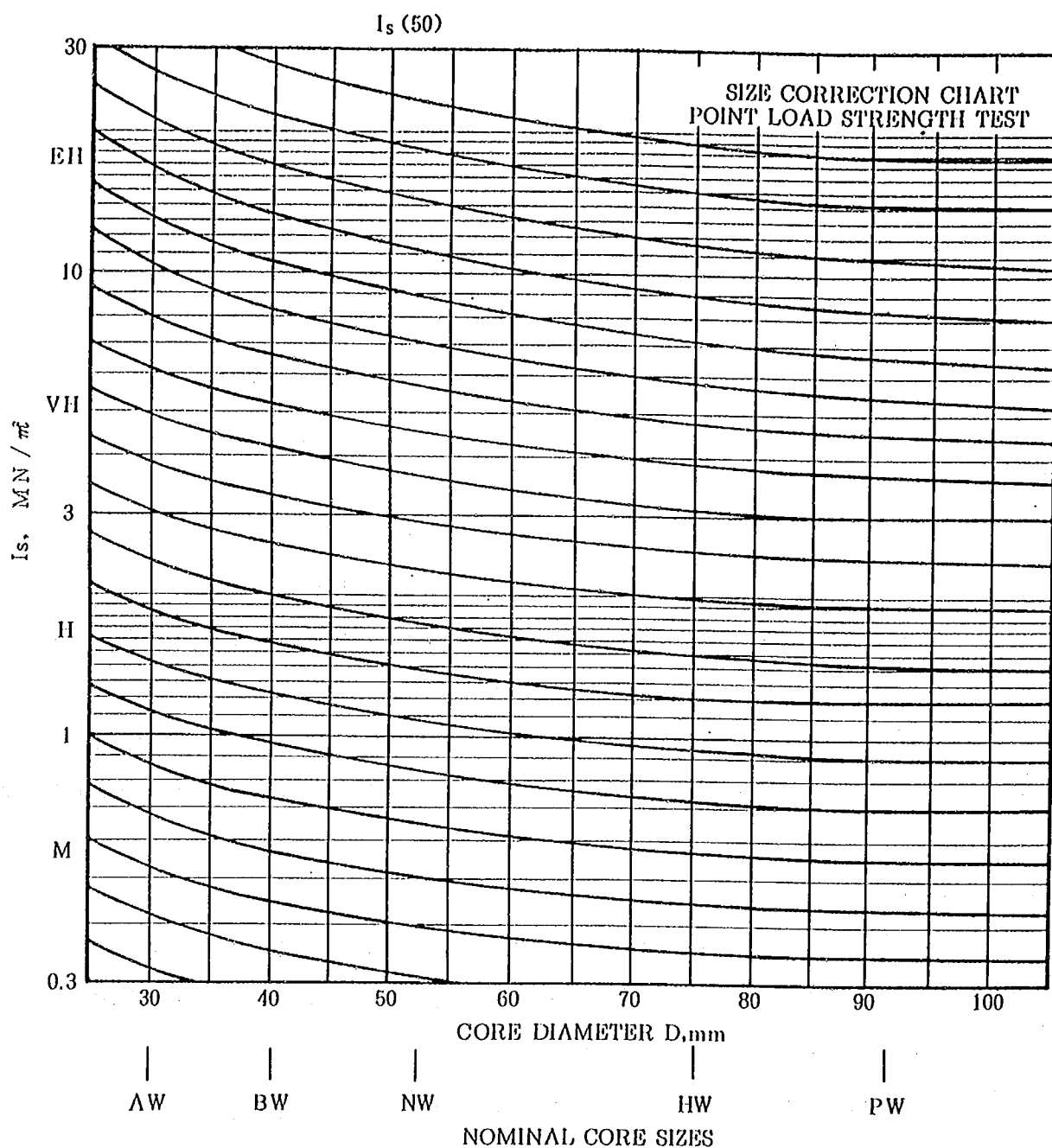


図 2 - 5 供試体厚さによる点載荷強度較正曲線
(E. BROCH, J. A. FRANKLIN 1972)

3) 一軸圧縮試験

ボーリングコアについて、代表的なものを、JIS A 1216-1961 の方法で行った。

4) 偏光顕微鏡観察

ボーリングコアサンプルの偏光顕微鏡による岩石・鉱物学的検討を行った。岩石の薄片は

岩質をばらつかせて作成した。偏光顕微鏡による観察は次のようにして行なう。サンプルを約 0.03 mm の厚さの薄片にし、透過光によって鉱物の形や色、へき開、岩石の組織等を観察する。また直交する 2 枚の偏光板の間に薄片を差し込むことにより、鉱物の干渉色（光源に近い方にある偏光板によって得られた単一の振動方向を持つ光波「偏光」を鉱物に通すと、鉱物内では互いに直交する 2 つの偏光に分かれて進む。さらに鉱物から出てきた 2 つの偏光を偏光板を通してみるとこれらの偏光が干渉し合った色が見える。これが干渉色である。干渉色は鉱物結晶の種類、鉱物結晶の配置と光の進行方向の関係、薄片のすなわち鉱物結晶の厚さによって決まる）、双晶、形、割れ目等の特徴により鉱物を鑑定し、岩石の構造や鉱物組成を調べた。

3. 調査・試験結果

石英安山岩の岩石・鉱物学的性質および各調査法的性質、岩盤性状ならびに各試験値の相関性および各試験法の岩盤分類への適用性について以下の結果を得た。

今回のとりまとめの目的は、ダムサイトの岩盤分類基準を検討することにあるが、当ダムは現在、本格的な地質調査が開始されつつある時期であり、そのために原位置岩盤変形試験等の力学試験値に基づく岩盤力学特性区分（絶対区分）による岩盤分類が可能になるまでには至っていない。したがって、現段階では力学試験値を用いず、岩盤性状区分によって岩盤分類を行い当ダムの基礎岩盤としての評価をせざるをえない。今回は、岩盤の肉眼観察やハンマー打診等に基づく岩盤性状区分を行うとともに、シュミットハンマーテスト、簡易弾性波探査、点載荷試験、岩石物理試験等の簡易試験の岩盤分類への適用性について検討した。

3.1 岩質の岩石学的・鉱物学的特徴と区分

3.1.1 岩石学的・鉱物学的特徴

ダム基礎岩盤となる尿前層の石英安山岩類には、場所により緻密、粗鬆、自破碎状あるいは明瞭に火砕岩とみられるような岩相がみられるが、これらの岩石学的・鉱物学的特徴および成因、岩相の相互の関係等について、これまでに実施されている調査に基づいてまとめる。

1) 化学組成

調査対象の尿前層の岩相変化が、尿前相がもともと異なった幾つかの形成の単位（熔岩の流出や火山砕屑物の堆積の単位）よりなるか、あるいは1つの単位よりなるかを岩石の化学組成によって検討した。複数の単位からなる場合は、岩石の化学組成も異なっている可能性が大きいことになる。

表3-1に石英安山岩類の各岩相の岩石全体としての化学組成の分析値を示した。これによると、いずれも、 SiO_2 が70～74%を示し非常に珪長質であり、化学組成もほとんど同じである。従って、緻密岩と粗鬆岩は同一の形成の単位である可能性が強い。ただし明瞭に火砕岩と判定できるものでも、化学組成は他の岩相とほとんど同じであるため断定は難しい。

2) 鉱物組成

顕微鏡計測で得られた各岩相に含まれる鉱物組成（体積比率）を表3-2に示した。岩石組織からみるとこの石英安山岩は大きな鉱物粒子すなわち斑晶と微細な鉱物粒子の集合部あるいはガラス質の部分である石基からなる斑状組織をなしているが、斑晶鉱物の組成は緻密、粗鬆、自破碎状の部分、凝灰岩ともほぼ似かよっており、斜長石（47.3～66.6%）、石英（28.1～46.7%）、黒雲母（1.3～3.8%）、斜方輝石（1.1～4.4%）、磁鉄鉱（0.2

表3-1 石英安山岩の各岩相の化学組成

岩 相	細粒火砕岩	粗鬆岩	緻 密 岩			
			緻密中粒-緻密粗粒			緻密(典型)
試 料	IB56-8	B-25	B-25	B-25	B-25	B-25
	75.20	21.25	79.15	79.75	80.00	81.00
	-75.60	-21.85	-79.30	-79.90	-80.20	-81.75
wt. %						
SiO ₂	70.32	71.55	78.56	78.97	78.81	74.27
TiO ₂	0.19	0.23	0.21	0.28	0.22	0.22
Al ₂ O ₃	14.77	14.07	14.21	13.84	14.12	13.91
Fe ₂ O ₃	1.19	1.05	1.37	1.62	1.59	1.30
FeO	0.56	1.20	0.79	0.66	0.72	0.82
MnO	0.03	0.08	0.03	0.03	0.03	0.06
MgO	0.81	0.80	0.36	0.32	0.30	0.32
CaO	2.46	2.42	2.32	2.29	2.37	2.20
Na ₂ O	2.94	3.29	3.82	3.76	3.87	3.70
K ₂ O	2.53	2.39	2.68	2.60	2.69	2.66
H ₂ O+	2.80	2.32	0.30	0.39	0.46	0.38
H ₂ O-	1.39	0.58	0.33	0.27	0.29	0.13
P ₂ O ₅	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02
Total	100.00	100.01	99.99	100.00	99.99	99.99

表3-2 石英安山岩の各岩相の鉱物組成(体積%)

孔 番		B-25	B-25	IB56-3	IB57-5	B-25		
深度(CL-m)		81.60 -81.75	21.25 -21.35	73.4	17.55 -17.70	79.15 -79.30	79.75 -79.90	80.00 -80.20
岩 相		緻密岩	粗鬆岩	凝灰岩	凝灰岩	中粒岩 ← 緻密岩 → 粗粒岩		
全 岩	斜方輝石	0.7	1.8	0.3	0.8	1.4	1.3	1.1
	黒雲母	1.3	1.0	0.9	1.3	0.6	0.9	1.8
	磁鉄鉱	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.1	0.4
	斜長石	26.9	18.4	14.2	18.1	25.2	29.2	22.5
	石英	14.7	19.0	11.0	16.3	18.4	12.3	21.8
	斑晶合計	44.1	40.6	26.8	36.8	46.0	43.8	47.6
	石基・基質	55.7	52.7	64.8	57.1	53.7	55.9	52.4
	気孔	0.4	6.9	8.6	6.3	0.5	0.4	0.2
	合 計	100.2	100.2	100.2	100.2	100.2	100.1	100.2
	斑 晶							
班 晶	斜方輝石	1.6	4.4	1.1	2.2	3.0	2.9	2.3
	黒雲母	2.9	2.5	3.4	3.5	1.3	2.1	3.8
	磁鉄鉱	1.1	1.0	1.5	0.8	0.9	0.2	0.8
	斜長石	61.0	45.3	53.0	49.2	54.7	66.6	47.3
	石英	33.3	46.7	41.0	44.3	40.0	28.1	45.8
	合 計	99.9	99.9	100.0	100.0	99.9	100.0	100.0

～1.5%)である。また、全岩に占める斑晶の比率は緻密な岩で(43.8～47.6%)、粗鬆な岩で(40.6～66.6%)、凝灰岩で(26.8～36.8%)であり、緻密な岩と粗鬆な岩はほぼ同じで、凝灰岩で小さい。気孔の比率(熔岩から火山ガス等が抜けてできた穴で顕微鏡観察で認められる程度のものであるから岩石組織内の空隙としてはかなり大きいものである)は、緻密な岩で(0.2～0.5%)、粗鬆な岩で(6.9%)、凝灰岩で(6.3～8.6%)であり、凝灰岩と粗鬆な岩はほぼ同じで、緻密な岩で小さい。

3) 肉眼的特徴

調査対象とした岩盤は、初生的な(破碎、変質、風化等による2次的な劣化を受けていない)状態では、肉眼的には白色～灰白色を呈し、やや粗粒の石英や長石および黒雲母の斑晶が特徴的に見られる石英安山岩である。一般に流理構造は認めがたく、全体的にマッシュである。岩体の部分により、緻密、粗鬆、あるいは自破碎状のところが認められる。

肉眼的な岩相の違いは、斑晶の周りの微細な鉱物結晶、ガラス、間隙等からなる石基の違いによっており、ガラス質～潜晶質な石基をもつものが肉眼的に緻密岩に対応し、多孔質でガラス質な石基をもつものが粗鬆岩に対応する。緻密岩は結晶度や球顆の発達状況に幾分変化があり、いくつかのタイプに分けることができる。また、多孔質なガラス質の石基は、発泡がきわめて顕著な軽石状～繊維状なので、肉眼的に容易に識別できる。

3.1.2 岩質の初生的特徴に基づく区分

1) 岩相区分

3.1.1の検討から、石英安山岩の岩石の初生的特徴すなわち岩相の区分を表3-3のようにした。

2) 各岩相の特徴

岩盤分類では、表3-3の岩相区分の基準となるが、以下岩盤分類を行う際の参考となる各岩相の特徴は次のとおりである。

表3-3 岩盤分類のための岩相区分

大区分	細区分	特 徴
緻密岩 C	C ₁	粗粒、硬質(緻密岩の典型)。
	C ₂	緻密であるが自破碎状の礫状構造を示す。
中間質岩 M	M ₁	緻密であるが晶洞(大型の気孔)が多い。
	M ₂	粗鬆であるが比較的多孔質でない。
粗鬆岩 S	S ₁	軟質、多孔質で粗鬆である(粗鬆岩の典型)。
	S ₂	粗鬆で礫状、流理構造を示す。

(1) 緻密岩 C

① C₁

緻密岩のうちC₁は、肉眼では気孔がほとんど観察されず岩石基質の発泡が認められない均質塊状緻密な石英安山岩であるが、仔細に観察すると次のような特徴を示す。

新鮮な岩石では、湿潤状態で灰色ないし淡灰色（乾燥状態で灰白色ないし淡紫灰色）を呈し、ハンマーで打撃するとかなりの手ごたえを伴い、高い濁音～濁音を発する程度に硬質である。

顕微鏡による観察では、明瞭な斑晶とガラス質石基よりなる斑状組織を示す（写真3-1）。

斑晶はφ2～数mmの半自形～他形の石英、自形～半自形の長石を主体とし、少量の黒雲母・斜方輝石・磁鉄鉱およびジルコン等を含有する。石英の含有量は斜長石と同量程度かやや少ない。石英は大型の結晶が多く、斑晶が大型の場合はひびわれていることが多い。岩石は緻密な健岩であっても手で強く擦ると斑晶石英が分離することがあるが、これはそのためである。

石基は緻密ガラス質～潜晶質で緻密であり、肉眼では灰白色半透明にみえる。また、褐色～赤色の球顆（Spherulite）が発達していることが多い。球顆が大きいものは（最大2mm程度のものがある）、肉眼で観察することも比較的容易である。

石基の性状については変化が比較的少ないが、微小な結晶が極めて少なく、ガラスのみからなるような緻密岩もみられ（右岸TR-1横坑など）、このような性状の岩石は、暗灰色（～黒色）を呈し、通常の緻密岩よりも（ハンマーの打撃感では）硬質である。

② C₂

緻密岩のうちC₂は、礫状部と基質からなる自破碎状を示す岩相であるが、礫部の岩石学的特徴はC₁と同一である。基質部は、肉眼では褐色、黄褐色、灰白色、白色などの色調を示し、凝灰岩状を呈す。鏡下では、岩石が破碎され分離して礫状（石英安山岩の小岩片）を呈し、礫部の間隙は微細な碎屑岩脈やガラスで充填されており、碎屑岩脈と石英安山岩の小岩片とは同一の鉱物組成を示す（写真3-2）。碎屑岩脈中には、礫状部岩石の斑晶鉱物が細片に分離している。また、斑晶鉱物がひびわれ細かに変化している薄片試料もある。このような岩石組織と露頭状況とから、C₂の礫状構造は、熔岩の固結時とほぼ同時期の自破碎によって形成されたものと考えられている。

(2) 粗鬆岩

① S₁

粗鬆岩（S₁）は、石基の発泡度が高く、明瞭な発泡組織を示す塊状の岩石である（班

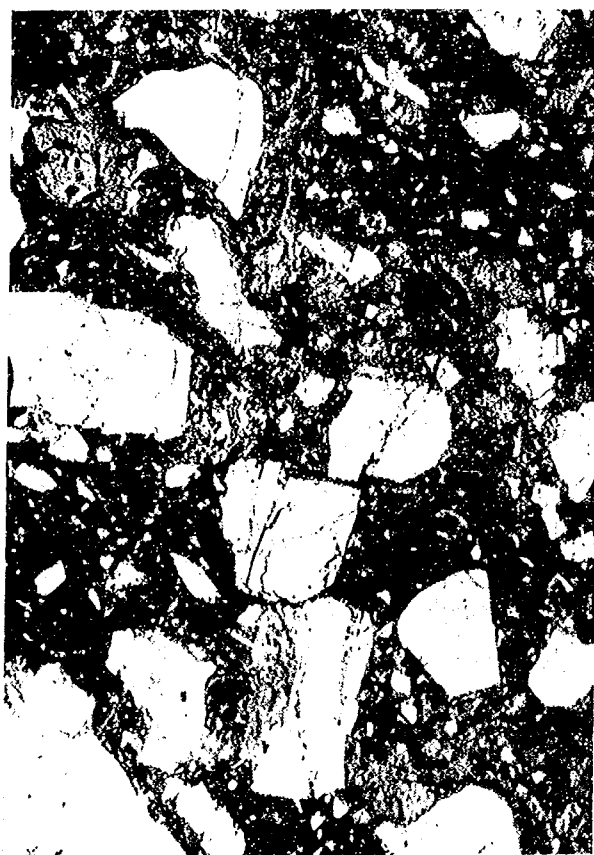


単ニコル



直交ニコル

写真3-1 緻密岩 (C₁: IB57-1孔 102.4~102.6m)



単ニコル



直交ニコル

写真3-2

緻密岩 (C₁: B-15孔 24.4~24.6m)

晶は、鉱物構成はほぼ同一で、緻密岩との相違はみられない)。

この岩石は、肉眼観察では軽石質な岩石であり、乾燥状態で白色～灰白色(湿潤状態では灰白色)などの白色味のつよい色調を呈し、露頭ではハンマーで打撃するとピックの先端が1～2 cmつきささる程度に軟質な岩石が主体である。

石基が多孔質で脆弱なため、乾燥すると全体に粉っぽい印象をうけ、手で擦ると緻密岩以上に斑晶石英が容易に分離することが多い。また、乾燥した試料を水に浸すと多数の気泡が生ずる。

岩石顕微鏡観察によると、石基には著しく気孔が発達し、細長く引き伸ばされ繊維状ガラスとなった組織が観察されるが、この繊維状ガラスには一定の方向性はみられない(写真3-3)。また、この岩石は前述のように白色味が強い色調を呈し、脆弱であることから変質作用を受けている可能性があったが、鏡下での観察では斑晶・石基ともに新鮮であり、変質作用は関与していないと考えられている。

② S₂

粗鬆岩(S₂)は、礫状構造、流理様構造を示す岩石である。肉眼的には白色と桃色～淡赤色のまだら状を呈するものが相当し、着色した部分で構造がよく観察される。鏡下では基質の繊維状ガラスが流理様構造を示し、斑晶は細片に分離している(写真3-4)。これらの構造は、緻密岩C₂と同様な石英安山岩の自破碎によるものと判断される。

(3) 中間質岩

肉眼的な特徴や岩石顕微鏡による組織の状態、岩石基質の発泡程度が緻密岩と粗鬆岩の中間または漸移部的な特徴を示すものがあり、これを中間質岩として区分した。

① M₁

中間質岩(M₁)は、色調、岩石斑晶鉱物の構成、石基の組織は緻密岩(C₁)とほぼ同様であるが、φ2～10 mm程度の気孔が多数発達する岩種である。

この気孔(特にφ4 mm程度以上の大型の気孔)の内部にα-リンケイ石等が晶出することが多いことから、粗鬆岩に発達する気孔と区別する必要がある場合には「晶洞」と呼ぶことにしている。

M₁に区別される石英安山岩は、緻密岩のうち気孔・晶洞の割合が面積で概ね10%以上(テストピースの吸水率は6～10%、有効間隙率は、12～20%の範囲内にあるもの)のものが該当する。

② M₂

中間質岩(M₂)は、肉眼観察によって部分的に粗鬆岩と同様の繊維状ガラスが認められるものであるが、発泡程度は粗鬆岩と緻密岩の中間程度のものである。

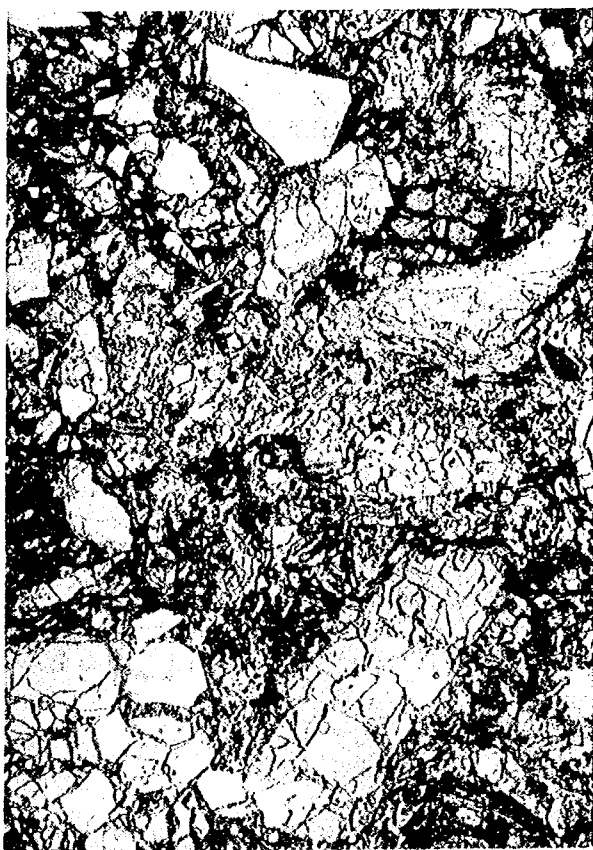


単ニコル



直交ニコル

写真 3 - 3 粗 鬆 岩 (S_1 : B-25 孔 21.25~21.35 m)



単ニコル



直交ニコル

写真 3 - 4 粗 鬆 岩 (S_2 : 1B56-3 66.3~66.5 m)

岩石顕微鏡による観察（写真 3－5、6）では、岩石の石基に繊維状ガラスと緻密岩で小型の球顆の両方が認められ緻密岩と粗鬆岩の漸移的な移行部や、緻密岩の石基組織と粗鬆岩の石基組織とがモザイク状に混在するもの、発泡性がかなり低く明瞭な発泡部以外は粗鬆岩組織が不明瞭で微小な結晶が集合した組織が卓越するものなどがある。

これらの中間質岩の未風化部の硬さは、各岩種ともに多孔質・発泡程度に応じて比較的大きな幅があるが、概ね緻密岩(C)と粗鬆岩(S)との中間的な硬さを示す。

3.1.3 岩質の後生的特徴に基づく区分

石英安山岩は、地表に近い部分では風化を受けており、強風化部では、褐色を呈し強度低下をきたしている。肉眼観察によると石英や長石の斑晶は比較的風化しにくく、石基や雲母、斜方輝石の斑晶が風化しやすい。緻密岩と粗鬆岩では粗鬆岩の方が水や空気が通りやすいため、風化が進みやすいようである。

以上のような風化による2次的な劣化の状況を色調、鉱物や火山ガラスの変質度を指標に、「ボーリング柱状図作成要領(案)⁸⁾」を参考にして表3－4のように区分した。なお、当岩は、各岩質とも熱水変質の影響は認められない。

表 3－4 風 化 区 分

風 化 区 分	特 徴
α	非常に新鮮である。造岩鉱物の変質は全くない。
β	ほぼ新鮮である。雲母の変色、長石の不透明化がみられる。また、基質の火山ガラスがやや変質している。
γ	風化している。有色鉱物の褐色化、長石の白色化がみられる。
δ	強風化している。石英および一部の長石を除きほとんどの鉱物の変質し、原岩組織が失われている。

3.1.4 岩質区分の物理力学的性質による検討

以上の岩質区分が岩盤分類を念頭においている以上、物理力学的性質と密接に関連しているものでなければ岩質区分の意味がない。そこで、各岩質区分と物理力学的性質の関係について岩片供試体を対象とした試験をもとに検討した。さらに、各物理力学的指標値の相関性について検討した。ここで、一軸圧縮強度および点載荷強度は自然含水比または飽和含水比の状態求めたものを使った。なお、軟岩の強度は含水状態で変化するので、既存のボーリングコア等



単ニコル



直交ニコル

写真3-5 中間質岩 (M₂: B-24 孔 85.75~85.8m)



単ニコル



直交ニコル

写真3-6 中間質岩 (M₂: B-25 孔 38.85~38.9m)

で試験をするとき乾燥状態で行うことがある（乾燥後水浸するとスレーキングを生じることがある）ので、点载荷試験について飽和状態と自然乾燥状態の強度の関係を図3-1に示した。

1) 岩相区分と物理力学的性質の関係

岩相区分（表3-4）すなわち岩石の初生的および2次的性質の違いと物理力学的性質の関係について検討する。

(1) 真比重

岩相区分と真比重の関係について表3-5、6(1)、6(2)に示した。表3-5によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩につれ、真比重が小さくなる傾向がある。岩種が同じであれば、たとえ風化していても真比重はほぼ一定であることが多いが、当岩盤は異なっている。粗鬆岩はガラス質で火山ガラスは一般に比重が小さい（2.4程度）ためであろう。

表3-6(1)、6(2)によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、風化が進むにつれ真比重が小さくなる傾向がある。これは風化が進むにつれ、鉱物結晶やガラス質部がそれより比重の小さい粘土鉱物に変化するためと考えられる。

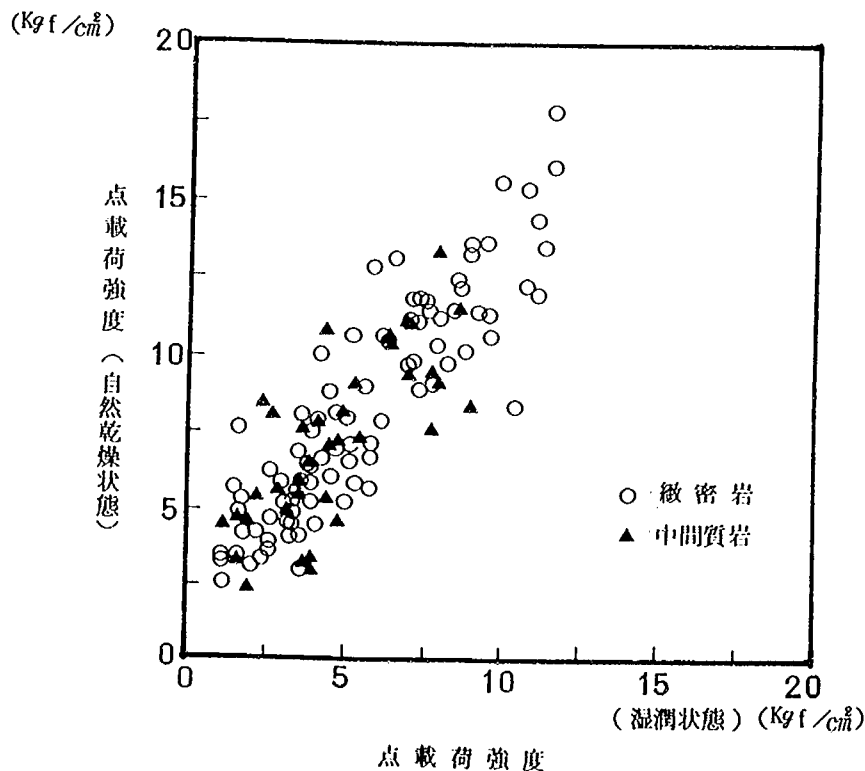


図3-1 点载荷試験における湿润飽和状態と長期乾燥状態の強度の関係

表3-5 岩相区分からみた真比重（風化区分 $\alpha \sim \delta$ ）

岩 相	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 C ₁	342	2.550	2.552	0.057	2.795	2.345
2 C ₂	21	2.570	2.576	0.047	2.651	2.445
3 M ₁	28	2.537	2.535	0.040	2.685	2.466
4 M ₂	51	2.519	2.504	0.115	2.800	2.276
5 S ₁	7	2.532	2.527	0.054	2.615	2.440
6 S ₂	7	2.205	2.182	0.147	2.378	1.964

表3-6(1) 風化区分からみた真比重（岩相区分 C）

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	0					
2 β	31	2.553	2.554	0.056	2.623	2.375
3 γ	107	2.522	2.536	0.423	2.598	2.382
4 δ	11	2.499	2.506	0.056	2.561	2.345

表3-6(2) 風化区分からみた真比重（岩相区分 M）

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	0					
2 β	30	2.505	2.520	0.576	2.577	2.276
3 γ	20	2.464	2.469	0.084	2.728	2.304
4 δ	2	2.410	2.410	0.023	2.433	2.387

(2) 有効間隙率

岩相区分と有効間隙率の関係について表3-7、8(1)～8(3)に示した。表3-7によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩につれ、有効間隙率が大きくなっている。これは緻密岩、中間質岩、粗鬆岩につれ多孔質であり、それを反映しているためである。

表3-8(1)～8(3)によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、風化が進むにつれ有効間隙率が大きくなる傾向がある。これは風化による岩質変化の一般的傾向と一致する。

表3-7 岩相区分からみた有効間隙率 % (風化区分 $\alpha \sim \delta$)

岩 相		データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1	C ₁	375	12.59	13.00	5.15	40.43	2.73
2	C ₂	24	15.17	12.06	8.74	35.39	5.73
3	M ₁	34	16.41	16.17	2.43	21.56	12.41
4	M ₂	58	19.50	18.59	4.42	29.48	12.13
5	S ₁	12	25.63	23.77	8.41	38.30	13.90
6	S ₂	12	26.25	25.30	5.11	35.50	17.00

表3-8(1) 風化区分からみた有効間隙率 % (岩相区分 C)

風 化		データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1	α	3	5.52	5.47	0.31	5.93	5.17
2	β	44	11.17	11.13	0.64	19.17	5.45
3	γ	127	14.22	14.20	3.89	26.22	14.20
4	δ	11	19.40	17.18	4.66	31.57	15.69

表3-8(2) 風化区分からみた有効間隙率 % (岩相区分 M)

風 化		データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1	α	0					
2	β	30	16.17	16.44	2.21	21.54	12.13
3	γ	33	19.67	18.49	4.48	29.48	13.40
4	δ	2	19.87	19.87	0.94	20.81	18.93

表3-8(3) 風化区分からみた有効間隙率 % (岩相区分 S)

風 化		データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1	α	0					
2	β	1	26.00				
3	γ	8	27.19	28.65	8.18	38.30	13.90
4	δ	1	24.80				

(8) 乾燥密度

岩相区分と乾燥密度の関係について表3-9、10(1)~10(3)に示した。表3-9によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩につれ、乾燥密度が小さくなっている。これは緻密岩、中間質岩、粗鬆岩につれ肉眼的にも分かるほど多孔質であり、真比重も小さくなっているためである。湿潤密度も同様であるが、ここでは省略する。

表3-9、10(1)~10(3)によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、風化が進むにつれ乾燥密度が小さくなっている。これは風化による岩質変化の一般的傾向と一致する。

表3-9 岩相区分からみた乾燥密度 g/cm^3 (風化区分 $\alpha \sim \delta$)

岩 相	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 C ₁	375	2.232	2.222	0.148	2.480	1.570
2 C ₂	24	2.179	2.240	0.226	2.470	1.660
3 M ₁	34	2.122	2.115	0.066	2.250	2.115
4 M ₂	58	2.044	2.050	0.121	2.300	1.743
5 S ₁	12	1.873	1.935	0.194	2.120	1.560
6 S ₂	12	1.603	1.615	0.110	1.790	1.400

表3-10(1) 風化区分からみた乾燥密度 g/cm^3 (岩相区分 C)

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	3	2.417	2.430	0.042	2.460	2.360
2 β	44	2.272	2.280	0.130	2.470	1.967
3 γ	127	2.174	2.180	0.119	2.470	1.873
4 δ	11	2.014	2.054	0.136	2.159	1.718

表3-10(2) 風化区分からみた乾燥密度 g/cm^3 (岩相区分 M)

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	0					
2 β	30	2.100	2.114	0.082	2.248	1.860
3 γ	33	2.034	2.040	0.134	2.300	1.743
4 δ	2	1.931	1.931	0.004	1.935	1.927

表 3-10(3) 風化区分からみた乾燥密度 g/cm^3 (岩相区分 S)

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	0					
2 β	0					
3 γ	8	1.701	1.630	0.213	2.100	1.630
4 δ	1	1.580				

(4) 一軸圧縮強度

岩相区分と一軸圧縮強度の関係について表 3-11、12(1)~12(3)に示した。表 3-11によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩につれ、一軸圧縮強度が小さくなっている。岩相区分の違いは強度に反映されており、岩相区分は岩盤分類からみて意味のあるものと言える。

表 3-12(1)~12(3)によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、風化が進むにつれ一軸圧縮強度が小さくなる傾向がある。これは風化による岩質変化の一般的傾向と一致する。劣化区分の違いは強度に反映されており、劣化区分は岩盤分類からみて意味のあるものと言える。

(5) 点載荷強度

岩相区分と点載荷強度の関係について表 3-13、14(1)~14(3)に示した。表 3-13によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩につれ、点載荷強度は一軸圧縮強度同様小さくなる傾向がある。

表 3-13、14(1)~14(3)によると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、風化が進むにつれ点載荷強度は一軸圧縮強度同様小さくなっている。

表 3-11 岩相区分からみた一軸圧縮強度 Kgf/cm^2 (風化区分 $\alpha \sim \delta$)

岩 相	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 C_1	208	182.0	173.0	93.1	431.0	11.5
2 C_2	21	116.3	119.0	78.0	264.0	1.8
3 M_1	20	112.1	91.3	61.5	252.9	44.7
4 M_2	20	89.1	101.4	42.9	163.0	26.4
5 S_1	12	70.9	70.3	46.5	147.0	12.5
6 S_2	12	25.3	23.0	11.2	46.0	14.0

表 3-12(1) 風化区分からみた一軸圧縮強度 Kgf/cm^2 (岩相区分 C)

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	3	282.0	292.0	23.1	303.9	250.0
2 β	13	225.3	231.3	55.7	323.0	231.3
3 γ	20	161.6	141.8	60.4	58.7	287.0
4 δ	0					

表 3-12(2) 風化区分からみた一軸圧縮強度 Kgf/cm^2 (岩相区分 M)

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	0					
2 β	0					
3 γ	13	108.0	104.2	59.5	217.9	252.9
4 δ	0					

表 3-12(3) 風化区分からみた一軸圧縮強度 Kgf/cm^2 (岩相区分 S)

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	0					
2 β	1	46.0				
3 γ	8	45.3	26.4	43.9	147.0	12.5
4 δ	1	14.0				

表 3-13 岩相区分からみた点載荷強度 Kgf/cm^2 (風化区分 $\alpha \sim \delta$)

岩 相	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 C_1	233	6.5	5.7	4.2	24.2	0.1
2 C_2	8	8.5	9.5	2.8	11.6	4.7
3 M_1	25	4.8	4.5	2.3	8.8	1.1
4 M_2	52	4.6	4.1	2.6	10.9	0.7
5 S_1	7	5.4	5.3	1.3	8.2	3.9
6 S_2	6	3.5	2.7	2.1	8.2	1.9

表3-14(1) 風化区分からみた点載荷強度 Kgf/cm^2 (岩相区分 C)

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	3	16.6	17.6	2.39	18.9	13.3
2 β	45	8.4	8.6	3.62	24.2	1.3
3 γ	128	5.0	4.6	2.79	15.3	0.7
4 δ	12	3.4	3.4	1.87	6.1	0.1

表3-14(2) 風化区分からみた点載荷強度 Kgf/cm^2 (岩相区分 M)

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	0					
2 β	30	5.0	4.5	2.2	9.0	1.1
3 γ	32	4.1	3.8	2.4	10.9	0.7
4 δ	12	1.2	1.2	0.3	1.5	0.9

表3-14(3) 風化区分からみた点載荷強度 Kgf/cm^2 (岩相区分 S)

風 化	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 α	0					
2 β	1	8.2				
3 γ	3	4.9	5.4	0.7	5.5	3.4
4 δ	0					

2) 物理力学的指標値間の関係

当ダムの石英安山岩の特徴を明らかにするために各物理力学的指標値の相関性について岩相区分も加味して検討した。

(1) 有効間隙率と乾燥密度

有効間隙率と乾燥密度の関係について図3-2に示した。これによると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、有効間隙率が大きくなるにつれ乾燥密度が小さくなる傾向がある。

(2) 有効間隙率と一軸圧縮強度

有効間隙率と一軸圧縮強度の関係について図3-3に示した。これによるとばらつきが大きいものの緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、有効間隙率が大きくなるにつれ一軸圧縮強度が大きくなる傾向がある。

(3) 有効間隙率と点載荷強度

有効間隙率と点載荷強度の関係について図3-4に示した。これによるとばらつきが大きいものの緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、有効間隙率が大きくなるにつれ一軸圧縮強度と同様点載荷強度が小さくなる傾向を示している。

(4) 乾燥密度と一軸圧縮強度

乾燥密度と一軸圧縮強度の関係について図3-5に示した。これによると緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、乾燥密度が小さくなるにつれ一軸圧縮強度も小さくなる傾向がある。

(5) 乾燥密度と点載荷強度

乾燥密度と点載荷強度の関係について図3-6に示した。これによるとばらつきが大きいものの緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、乾燥密度が小さくなるにつれ一軸圧縮強度と同様点載荷強度が小さくなる傾向を示している。

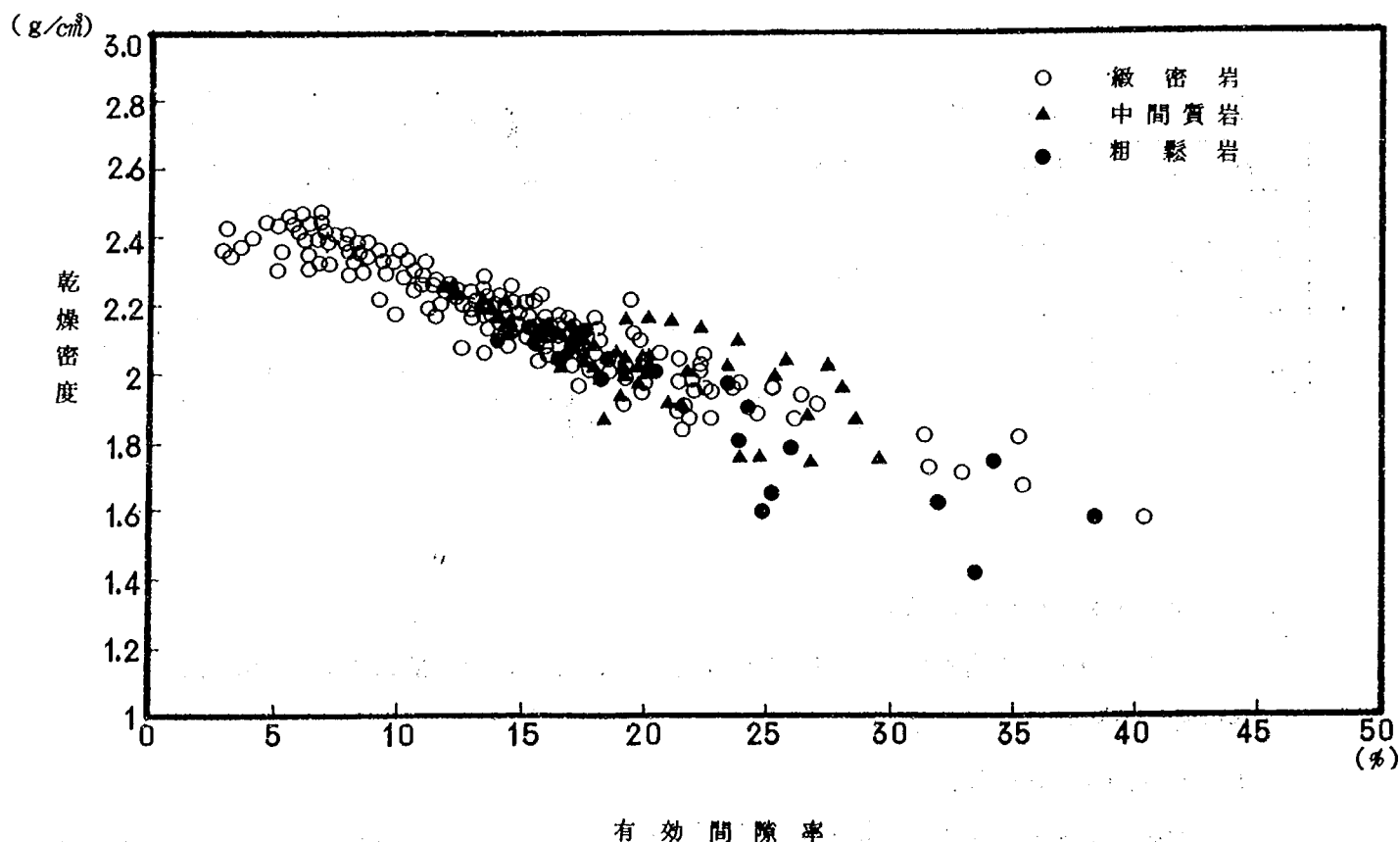


図3-2 有効間隙率と乾燥密度の関係

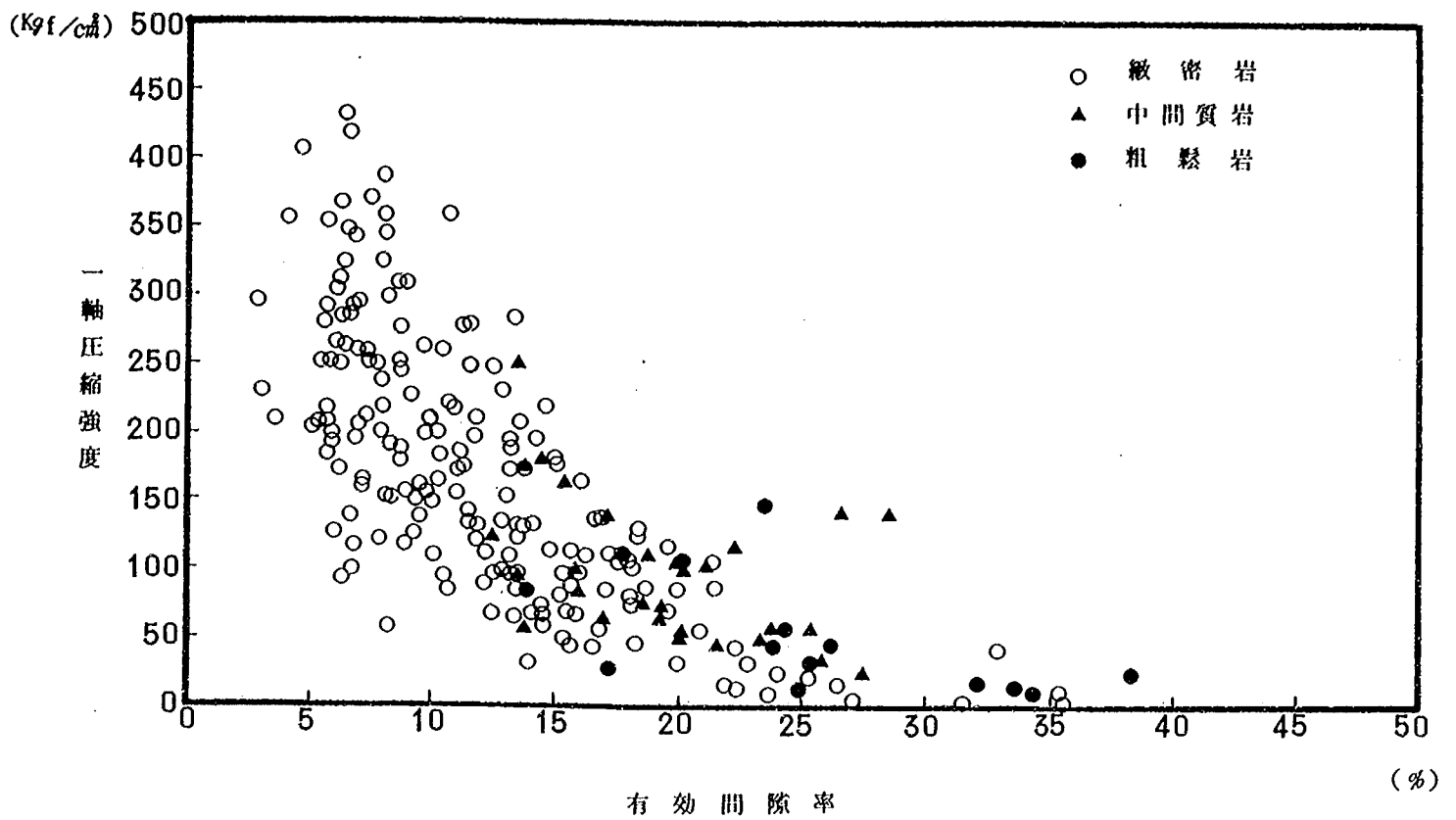


図3-3 有効間隙率と一軸圧縮強度の関係

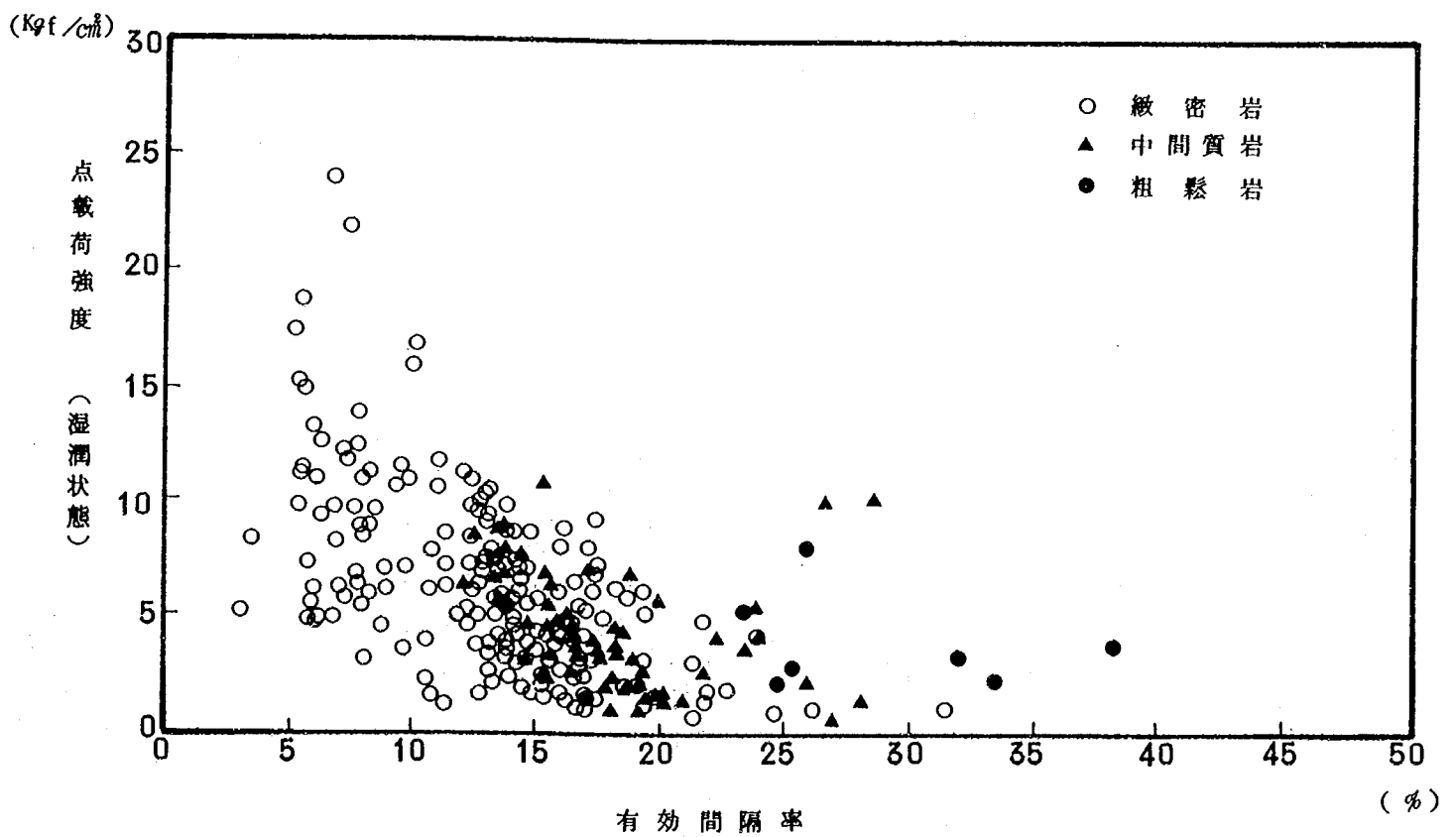


図3-4 有効間隙率と点載荷強度の関係

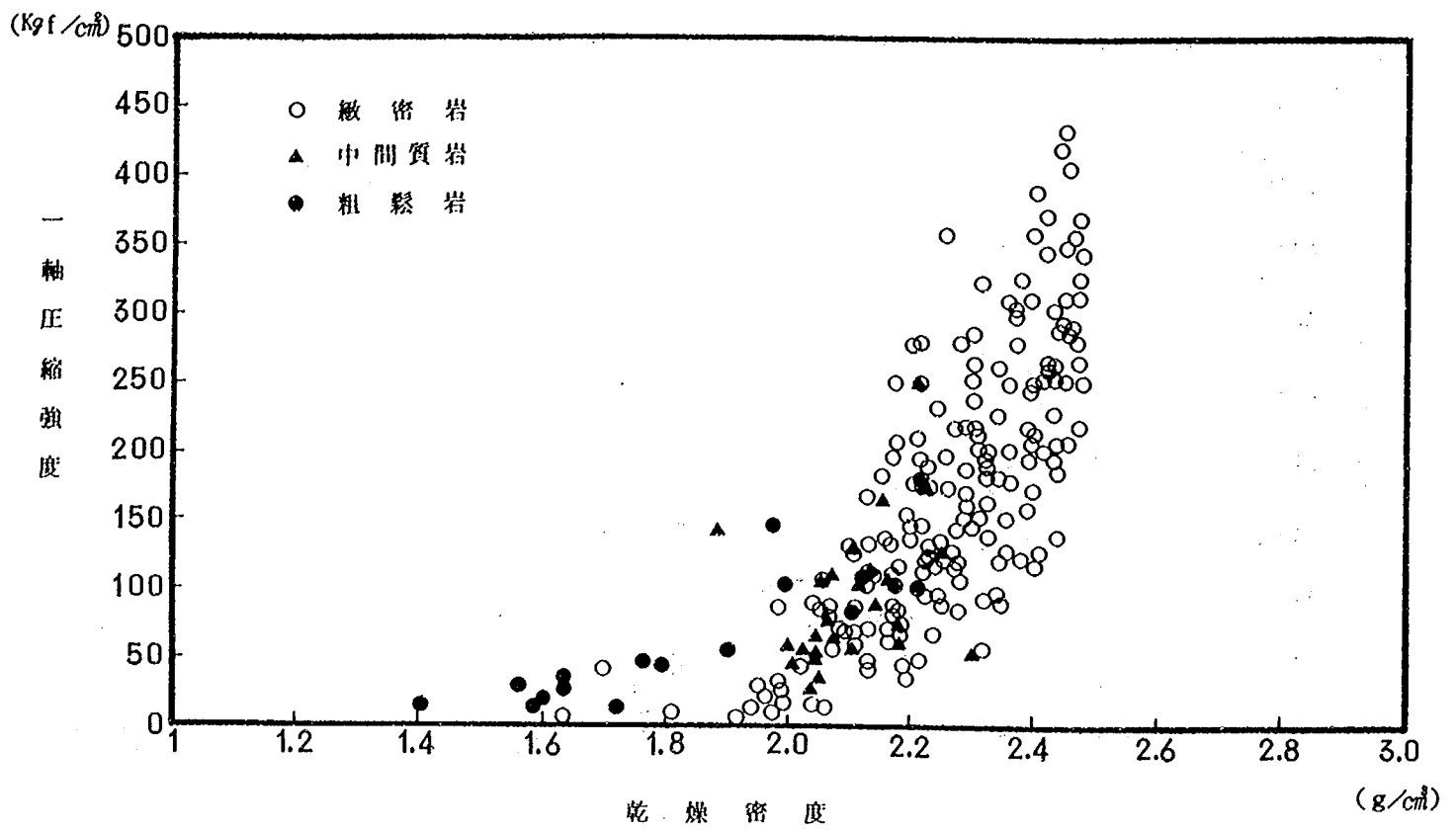


図3-5 乾燥密度と一軸圧縮強度の関係

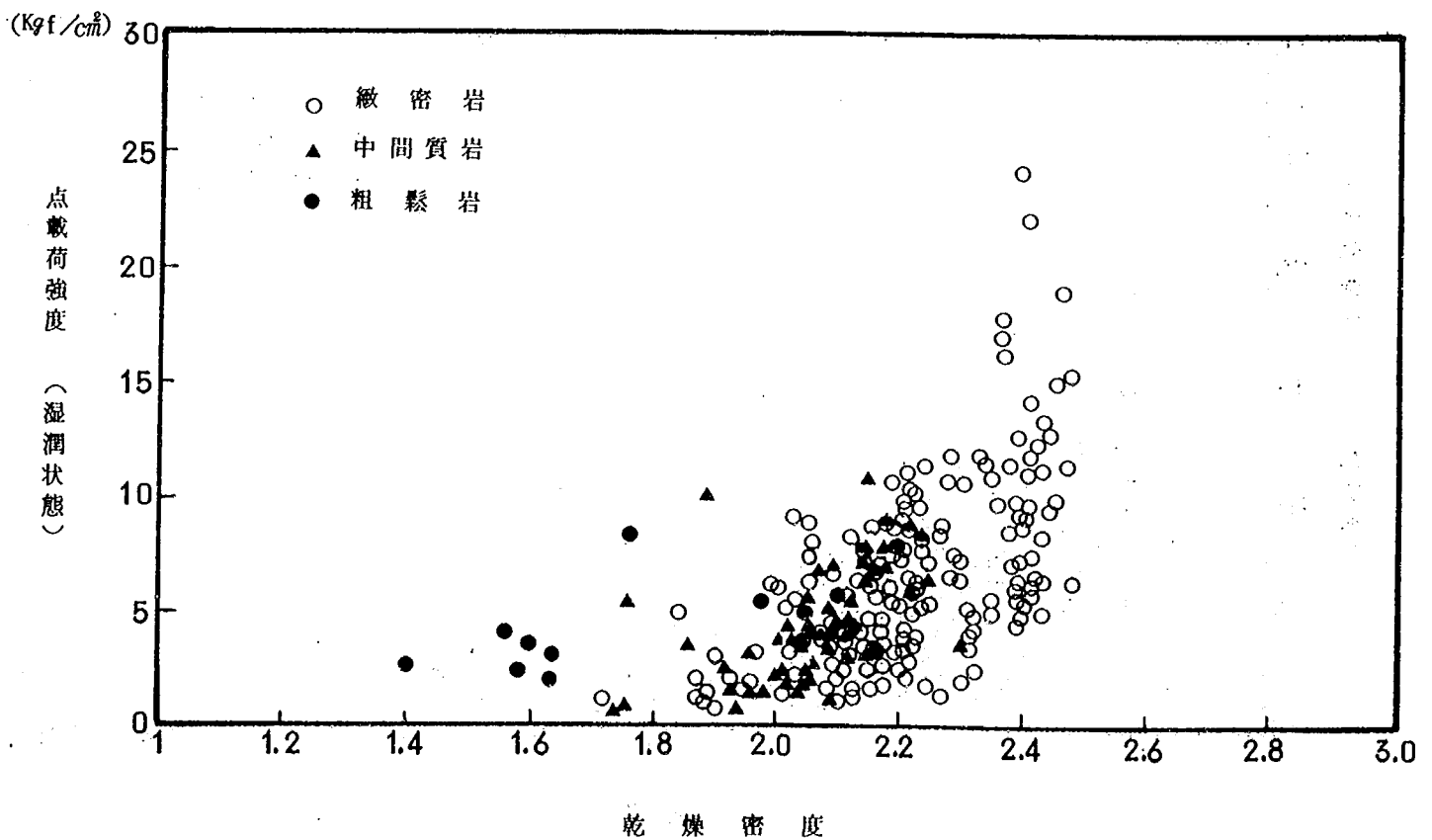


図3-6 乾燥密度と点載荷強度の関係

(6) 一軸圧縮強度と点載荷強度

一軸圧縮強度と点載荷強度の関係について図3-7に示した。これによるとばらつきが大きいものの緻密岩、中間質岩、粗鬆岩とも、点載荷強度は一軸圧縮強度に相関が認められる。

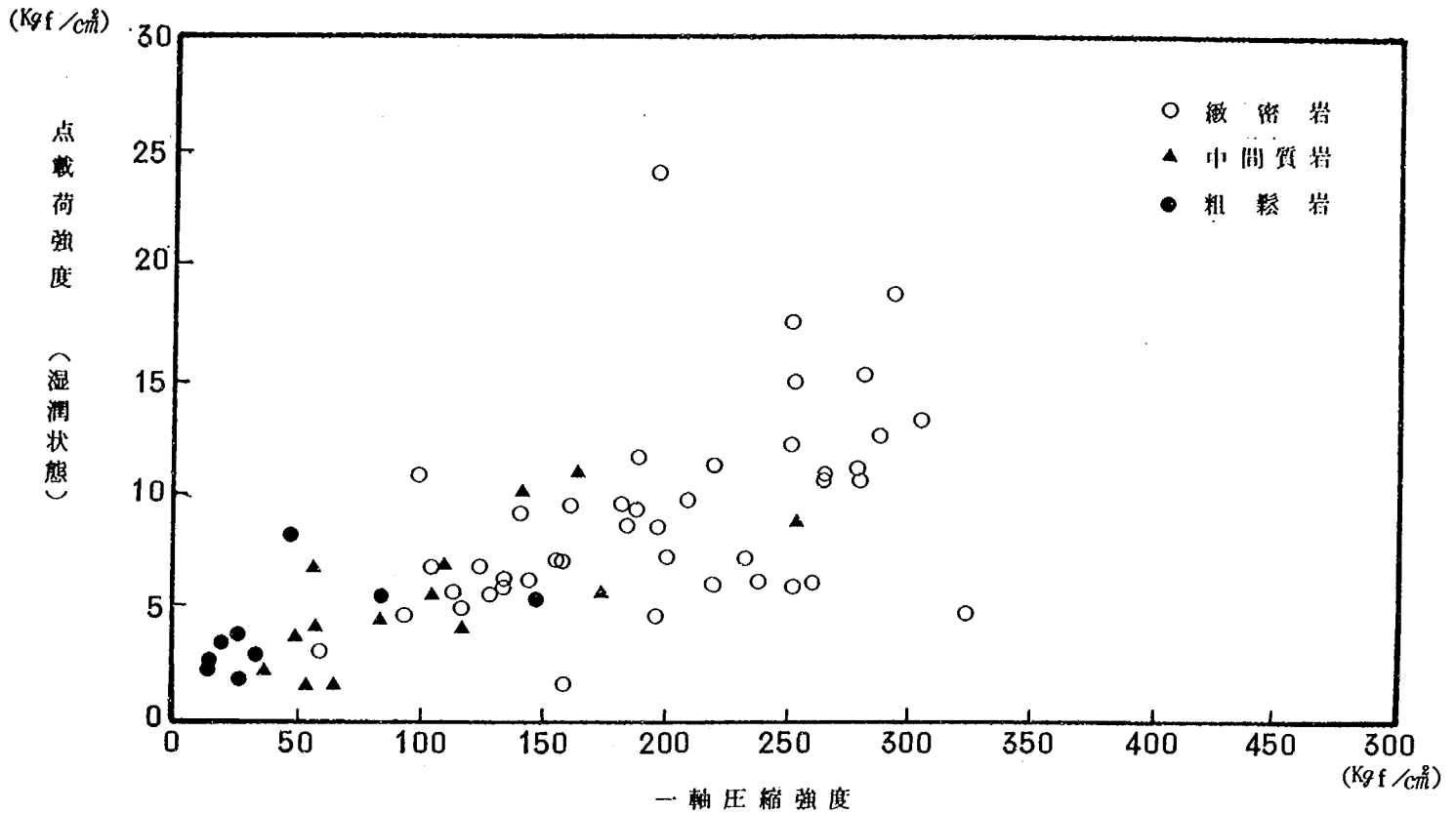


図3-7 一軸圧縮強度と点載荷強度（湿潤状態）の関係

3.2 岩盤分類要素と区分

岩盤性状に基づく岩盤分類における横坑岩盤・ボーリングコアの判定要素として、いわゆる土研方式¹⁰⁾に準じて「岩片の硬さ」、「割れ目間隔（ボーリングコアの場合はコア形状）」および「割れ目状態」を選択した。

各観察項目の選定・区分の内容は「ボーリング柱状図作成要領(案)」および「軟岩を対象としたダム基礎の岩盤分類のための調査 その1 簡易調査法(案)」に標準的なものが示されているが、これを当ダムサイトの肉眼観察に基づく岩盤性状に適合するように修正した。

3.2.1 横坑岩盤における区分

「岩片の硬さ」は、上記(案)におけるAランクに相当する岩石（極硬岩、非常に新鮮）が本ダムサイトの基盤岩には現れないため、上記(案)のBランクに相当するものを当ダムの区分ではAランクとし、さらに中硬から極軟を4ランクに分けた。この区分の基準を表3-15に示した。

表3-15 「岩片の硬さ」区分

区 分	特 徴
A	硬質、ハンマーの打撃で高音（高い濁音、亜金属音）を発する。
B	中硬～やや軟質、ハンマーの中打で濁音を発する。
C	やや軟質、ハンマーの軽打で濁音を発して割れる。
D	軟質、指で傷をつけることができ、ハンマーの軽打で細かく割れる。
E	極軟、指で割りつぶすことができる。

「割れ目間隔」は、上記(案)におけるⅣ～Ⅶランクに相当する岩盤を割れ目の密集帯としこれを3ランクに分けた。この区分の基準を表3-16に示した。

「割れ目状態」は、上記(案)について若干の手直しを行い、表3-17のようにした。

3.2.2 ボーリングコアにおける区分

「岩片の硬さ」は、横坑岩盤と同様に区分した（表3-15）。「コアの形状」は、上記(案)により表3-18のようにした。

「割れ目状態」は、横坑岩盤とほぼ同様に区分した（表3-19）。

表3-16 「割れ目間隔」区分

区分	特 徴	
I	50cm以上(1 m区間に0～2本程度発達) である。	
II	50～15cm(1 m区間に3～6本程度発達) である。	
III	15～5cm(1 m区間に7～20本程度発達) である。	
IV	割れ目の密集	3～5cm程度(岩片状) である。
V		3cm程度以下(礫状) である。
VI		(土砂状を呈するもの)

表3-17 横坑岩盤の「割れ目状態」区分

区 分	特 徴
a	密着している。割れ目沿いに付着物なし。
b	ほぼ密着している。割れ目沿いに弱風化したり、酸化物の薄膜が付着していることがある。
c	開口～やや開口している。割れ目沿いの風化・変質がみられる。
d	開口している。岩塊内部まで風化・変質がおよぶ。あるいは、割れ目として認識しにくい角礫状、砂状の岩盤となっている。

表3-18 ボーリングコア形状

記号	模式図	コア形状
I		長さ50cm以上の棒状コア。
II		長さが50～15cmの棒状コア。
III		長さが15～5cmの棒状～片状コア。
IV		長さが5cm以下の棒状～片状コアでかつコアの外周の一部が認められるもの。
V		主として角礫状のもの。
VI		主として砂状のもの。
VII		主として粘土状のもの。
VIII		コアの採取ができないもの。スライムも含む。(記事欄に理由を書く)

表3-19 ボーリングコアの「割れ目状態」区分

区分	特徴
a	岩片を合わせると密着する。割れ目沿いに付着物なし。
b	岩片を合わせるとほぼ密着する。割れ目沿いに弱風化したり、酸化物の薄膜が付着していることがある。
c	岩片を合わせると開口～やや開口する。割れ目沿いの風化・変質がみられる。
d	岩片を合わせると開口する。岩塊内部まで風化・変質がおよぶ。あるいは、割れ目として認識しにくい角礫状、砂状の岩盤となっている。

3.2.3 岩質区分と「岩片の硬さ」の関係

岩片の硬さは、岩石の初生的性質すなわち岩相と二次的な劣化すなわちここでは風化によって決まるとみられるが、肉眼判定、ハンマー打診によると概ねこれらの関係は表3-20のように整理できる。岩盤性状に基づく岩盤分類における判定要素として、「岩片の硬さ」、「割れ目間隔（ボーリングコアの場合はコア形状）」および「割れ目状態」の3要素の他に「岩相」「風化」をいれることもある。しかし、当岩盤では表3-20のようにこれらは「岩片の硬さ」で代表でき、また要素が増えると組合せが著しく増加し岩盤分類が複雑となるので岩盤分類における判定要素に入れる必要はないと判断した。

3.3 岩盤分類基準

当ダムは、横坑における原位置岩盤力学試験は実施していないので、他ダムにおける場合と同様に、岩盤性状すなわち3.2に基づく岩盤分類要素の組合せとダムの型式、規模等を加味し、経験的に表3-21のような岩盤分類の判定基準表を定め暫定的に用いることにした。

表3-20 岩相および風化区分と「岩片の硬さ」

岩 相	C ₁ , C ₂				M ₁ , M ₂				P ₁ , P ₂			
風 化	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ
硬 さ	A	B	C	D	B	C	D	E	C	D	E	E
岩相 ; 表3-3、 風化 ; 表3-4、 硬さ ; 表3-15 による												

表3-21 岩 盤 分 類 基 準

岩 級	分 類 要 素 の 組 合 せ
CH	A I a, A I b, A II a, A II b B I a, B I b, B II a
	A II c, A III a, A III b, A III c B II b, B II c, B III a, B III b, B III c
CM	C I a, C I b, C II a, C II b, C II c, C III a, C III b
	B IV a, B IV b, B IV c, B V a, B V b C III c, C IV a, C IV b, C IV c
CL	C V a, C V b D I a, D I b, D II a, D II b, D II c, D III b, D III c, D IV b
D	D IV c, D IV d, D IV b, D V c, D VI c 総てのE
A, B, C... ; 表3-15、 I, II, III... ; 表3-16、 a, b, c... ; 表3-17による	

3.4 岩盤分類と簡易試験値の関係

岩盤分類の要素および判定基準(表3-15~19、21)とシュミットハンマーテスト、簡易弾性波探査、一軸圧縮試験、点载荷試験の簡易試験値の関係、簡易試験値同志の関係を調べた。これは、岩盤分類が岩盤の物理的力学的性質を反映しているかを定量的に吟味するとともに簡易試験の適用性について検討するためである。検討の対象は TR-3 横坑の岩盤である。

3.4.1 横坑の岩盤状況

TR-3 横坑の岩盤はやや風化した部分が多く、岩相としては緻密岩 C₁ が主体であるが、21~31 m 区間は中間質岩 M₂ が分布している。横坑全体としてみると、坑口側ほど開口した割れ目が多く風化している。図3-8に現地調査結果をとりまとめて示した。

3.4.2 岩盤分類と簡易試験値の関係

1) 「岩片の硬さ」

岩片の硬さについては、表3-15のように区分したが、これと物理力学的性質との関係について岩相及び風化区分別に検討する。

60																																								55										50										45										40										35										30										25										20										15										10										5										穴口からの距離 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
緻密岩 (C ₁)										やや多孔質な (C ₂)										緻密岩 (C ₁)										多孔質岩 (M ₁)										緻密岩 (C ₁)										岩相区分																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
γ										δ										γ										β										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ										β										γ										δ										γ									

(1) 点載荷強度との関係

「岩片の硬さ」と点載荷強度との関係について表 3-22 に示した。これによると「岩片の硬さ」が低ランクになるにつれ点載荷強度も小さくなっている。点載荷強度は図 3-7 に示すように岩石の硬さと密接に関連する一軸圧縮強度と相関性が高く、したがってハンマー打診による定性的な岩片の硬さの区分は有効なものといえる。

(2) シュミットハンマー反発度との関係

シュミットハンマー反発度は、岩片そのものの硬さだけでなく、割れ目や緩みに影響されるが、ここでは単に「岩片の硬さ」とシュミットハンマー反発度の関係について表 3-23 に示した。これによると「岩片の硬さ」が低ランクになるにつれシュミットハンマー反発度も小さくなっている。したがってシュミットハンマー反発度は定量的な岩片の硬さの区分指標として有効なものといえる。

(3) 弾性波速度との関係

弾性波速度は、岩片そのものの硬さだけでなく、割れ目や緩みに影響されるが、ここでは単に岩片の硬さと弾性波速度 V_p との関係について表 3-24 に示した。これによると、「岩片の硬さ」と弾性波速度との相関性は認められる。しかしながらばらつきが大きく、したがって当岩盤のように割れ目を含む岩盤では、弾性波速度は「岩片の硬さ」のみでは説明できない。

表 3-22 「岩片の硬さ」別にみた点載荷強度 Kgf/cm^2 (湿潤状態)

硬 さ	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 A	1	5.3				
2 B	10	6.4	6.1	2.7	10.1	2.2
3 C	22	3.6	3.1	2.3	8.8	0.1
4 D	11	2.9	3.3	1.9	6.1	0.7
5 E	3	2.2	1.5	1.4	4.2	0.9

表 3-23 「岩片の硬さ」別にみたシュミットハンマー反発度

硬 さ	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 A	1	25.0				
2 B	11	26.9	26.0	2.5	31.0	23.0
3 C	24	20.5	20.0	2.6	26.0	16.0
4 D	12	15.9	15.5	2.1	18.0	12.0
5 E	3	15.3	14.0	3.4	20.0	12.0

表 3-24 「岩片の硬さ」別にみた弾性波速度 V_p (km/sec)

硬 さ		データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1	A	1	0.32				
2	B	11	1.35	1.00	0.68	2.50	0.45
3	C	24	1.21	1.04	0.75	3.33	0.25
4	D	12	0.84	0.63	0.48	1.67	0.23
5	E	3	0.38	0.33	0.13	0.55	0.25

2) 「割れ目間隔」

「割れ目間隔」については、表 3-16 のように区分したが、これとシュミットハンマーテスト、簡易弾性波探査の試験値との関係について検討する。

(1) シュミットハンマー反発度

「割れ目間隔」とシュミットハンマー反発度との関係について表 3-25、26(1)~(3) に示した。これによると「割れ目間隔」とシュミットハンマー反発度との相関性は小さくなっている。これは、もともとシュミットハンマーテストを割れ目を避けて実施したことが原因の一つとみられる。

(2) 弾性波速度値

「割れ目間隔」と弾性波速度値との関係について表 3-27、28(1)~(3) に示した。これによると「割れ目間隔」と弾性波速度値との相関性はほとんど認めがたい。

3) 「割れ目状態」

「割れ目状態」については、表 3-17 のように区分したが、これとシュミットハンマーテスト、簡易弾性波探査の試験値との関係について検討する。

(1) シュミットハンマー反発度

「割れ目状態」とシュミットハンマー反発度との関係について表 3-29、30(1)~(4) に示した。これによると「割れ目状態」とシュミットハンマー反発度との相関性はほとんどみられない。これは、もともとシュミットハンマーテストを割れ目を避けて実施したことが原因の一つとみられる。

(2) 弾性波速度値

「割れ目状態」と弾性波速度値との関係について表 3-31、32(1)~(4) に示した。これによると「割れ目状態」と弾性波速度値との相関性はほとんどみられない。

4) 岩 級

岩級については、表 3-21 のように区分したが、これとシュミットハンマーテスト、簡易弾性波探査の試験値との関係について検討する。

表 3-25 「割れ目間隔」別にみたシュミットハンマー反発度（全体）

割れ目間隔	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 I	12	20.3	19.5	4.6	30.0	14.0
2 II	29	20.4	20.0	5.3	31.0	12.0
3 III	10	21.3	20.5	3.1	26.0	9.0
4 IV	0					

表 3-26(1) 「割れ目間隔」とシュミットハンマー反発度（「岩片の硬さ」B）

割れ目間隔	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 I	2	26.5	26.5	3.50	30.0	23.0
2 II	6	27.8	27.5	2.27	31.0	25.0
3 III	3	25.3	25.0	0.47	26.0	25.0
4 IV	0					

表 3-26(2) 「割れ目間隔」とシュミットハンマー反発度（「岩片の硬さ」C）

割れ目間隔	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 I	5	20.6	20.0	2.2	24.0	18.0
2 II	14	20.5	20.0	3.2	26.0	16.0
3 III	5	20.4	20.0	1.6	23.0	18.0
4 IV	0					

表 3-26(3) 「割れ目間隔」とシュミットハンマー反発度（「岩片の硬さ」D）

割れ目間隔	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 I	4	15.5	15.0	1.7	18.0	14.0
2 II	6	15.0	14.5	2.3	18.0	12.0
3 III	2	17.5	17.5	0.5	18.0	17.0
4 IV	0					

表 3 - 2 7 「割れ目間隔」別にみた弾性波速度 V_p (km/sec) (全体)

割れ目間隔	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 I	12	1.11	0.87	0.77	3.33	0.32
2 II	29	1.11	0.98	0.74	3.33	0.25
3 III	10	1.00	0.92	0.51	2.00	0.23
4 IV	0					

表 3 - 2 8 (1) 「割れ目間隔」と弾性波速度 V_p (km/sec) (「岩片の硬さ」B)

割れ目間隔	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 I	2	0.80	0.80	0.03	0.83	0.77
2 II	6	1.48	1.22	0.78	2.50	0.45
3 III	3	1.46	1.55	0.48	2.00	0.83
4 IV	0					

表 3 - 2 8 (2) 「割れ目間隔」と弾性波速度 V_p (km/sec) (「岩片の硬さ」C)

割れ目間隔	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 I	5	1.56	1.13	0.91	3.33	0.83
2 II	14	1.17	1.00	0.76	3.33	0.25
3 III	5	0.96	1.00	0.30	1.43	0.53
4 IV	0					

表 3 - 2 8 (3) 「割れ目間隔」と弾性波速度 V_p (km/sec) (「岩片の硬さ」D)

割れ目間隔	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 I	4	0.89	0.75	0.49	1.67	0.38
2 II	6	0.95	0.77	0.47	1.67	0.39
3 III	2	0.42	0.42	0.19	0.60	0.23
4 IV	0					

表 3 - 2 9 「割れ目状態」別にみたシュミットハンマー反発度 (全体)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	1	18.0				
2 b	25	21.1	20.0	5.3	31.0	12.0
3 c	18	20.8	20.0	4.4	30.0	13.0
4 d	0					

表 3 - 3 0 (1) 「割れ目状態」とシュミットハンマー反発度 (「岩片の硬さ」B)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	0					
2 b	8	23.1	26.0	2.3	31.0	25.0
3 c	2	28.0	28.0	2.0	30.0	26.0
4 d	0					

表 3 - 3 0 (2) 「割れ目状態」とシュミットハンマー反発度 (「岩片の硬さ」C)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	0					
2 b	12	19.8	19.5	2.8	26.0	16.0
3 c	11	21.2	20.0	2.6	25.0	20.0
4 d	0					

表 3 - 3 0 (3) 「割れ目状態」とシュミットハンマー反発度 (「岩片の硬さ」D)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	1	18.0				
2 b	3	15.7	17.0	2.6	18.0	12.0
3 c	4	15.0	14.5	1.9	18.0	13.0
4 d	0					

表 3 - 3 0 (4) 「割れ目状態」とシュミットハンマー反発度 (「岩片の硬さ」E)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	0					
2 b	2	13.0	13.0	1.0	14.0	12.0
3 c	0					
4 d	0					

表 3 - 3 1 「割れ目状態」別にみた弾性波速度 V_p (km/sec) (全体)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	1	0.23				
2 b	25	1.03	0.98	0.59	2.50	0.25
3 c	18	1.32	1.00	0.86	3.33	0.32
4 d	0					

表 3 - 3 2 (1) 「割れ目状態」と弾性波速度 V_p (km/sec) (「岩片の硬さ」B)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	0					
2 b	8	1.32	1.21	0.64	2.50	0.45
3 c	2	1.75	1.75	0.75	2.50	1.00
4 d	0					

表 3 - 3 2 (2) 「割れ目状態」と弾性波速度 V_p (km/sec) (「岩片の硬さ」C)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	0					
2 b	12	1.07	1.28	0.51	1.84	0.25
3 c	11	1.38	1.00	0.95	3.33	0.53
4 d	0					

表 3-3 2 (3) 「割れ目状態」と弾性波速度 V_p (km/sec) (「岩片の硬さ」 D)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	1	0.23				
2 b	3	0.54	0.60	0.107	0.63	0.39
3 c	4	1.17	1.19	0.416	1.67	0.63
4 d	0					

表 3-3 2 (4) 「割れ目状態」と弾性波速度 V_p (km/sec) (「岩片の硬さ」 E)

割れ目状態	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 a	0					
2 b	2	0.40	0.40	0.15	0.55	0.25
3 c	0					
4 d	0					

(1) シュミットハンマー反発度

岩級区分とシュミットハンマー反発度との関係について表 3-33 に示した。これによると岩級が低ランクになるにつれシュミットハンマー反発度も低下している。これは岩級区分が岩片の硬さの要素を含み、シュミットハンマー反発度が岩片の硬さに密接に影響されるためと思われる。

(2) 弾性波速度値

岩級区分と弾性波速度値との関係について表 3-34 に示した。これによると岩級と弾性波速度値との相関性はばらつきが大きい認められる。

表 3-3 3 岩級別にみたシュミットハンマー反発度 (全体)

岩 級	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 CM	32	22.9	23.0	4.0	31.0	16.0
2 CL	16	16.8	16.5	3.2	25.0	12.0
3 D	3	15.3	14.0	3.4	20.0	12.0

表 3 - 3 4 岩級別にみた弾性波速度 V_p (km/sec) (全体)

岩 級	データ数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
1 CM	32	1.28	1.04	0.75	3.33	0.28
2 CL	16	0.83	0.63	0.47	1.67	0.23
3 D	3	0.38	0.33	0.13	0.55	0.25

3.4.3 簡易試験値間の関係

点載荷強度、シュミットハンマー反発度、弾性波速度の各簡易試験値間の相関性について検討した。

1) 点載荷強度とシュミットハンマー反発度

点載荷強度とシュミットハンマー反発度との関係を図 3 - 9 に示す。これによるとばらつきは大きいが明瞭な相関が認められる。ばらつきの原因として、シュミットハンマー反発度が 1 m 区間の 25 打撃の平均、点載荷強度が区間内の 1 個のデータであることもあげられる。図 3 - 8 のような図から、ボーリングコアにおける点載荷強度と横坑におけるシュミットハンマー反発度とを関係づけ、ダムサイトにおける岩の硬さについての全体的な区分を行うことができる。

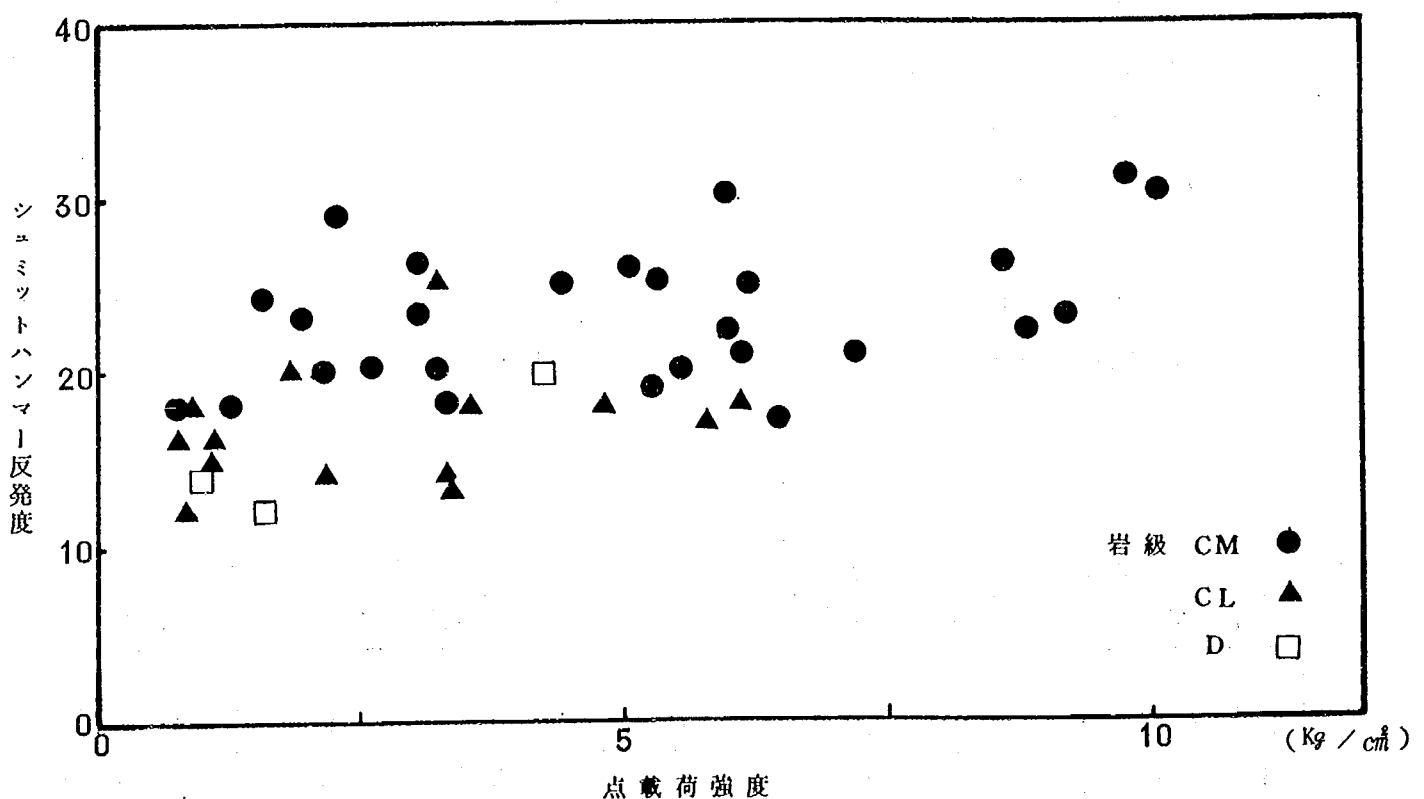


図 3 - 9 点載荷強度とシュミットハンマー反発度

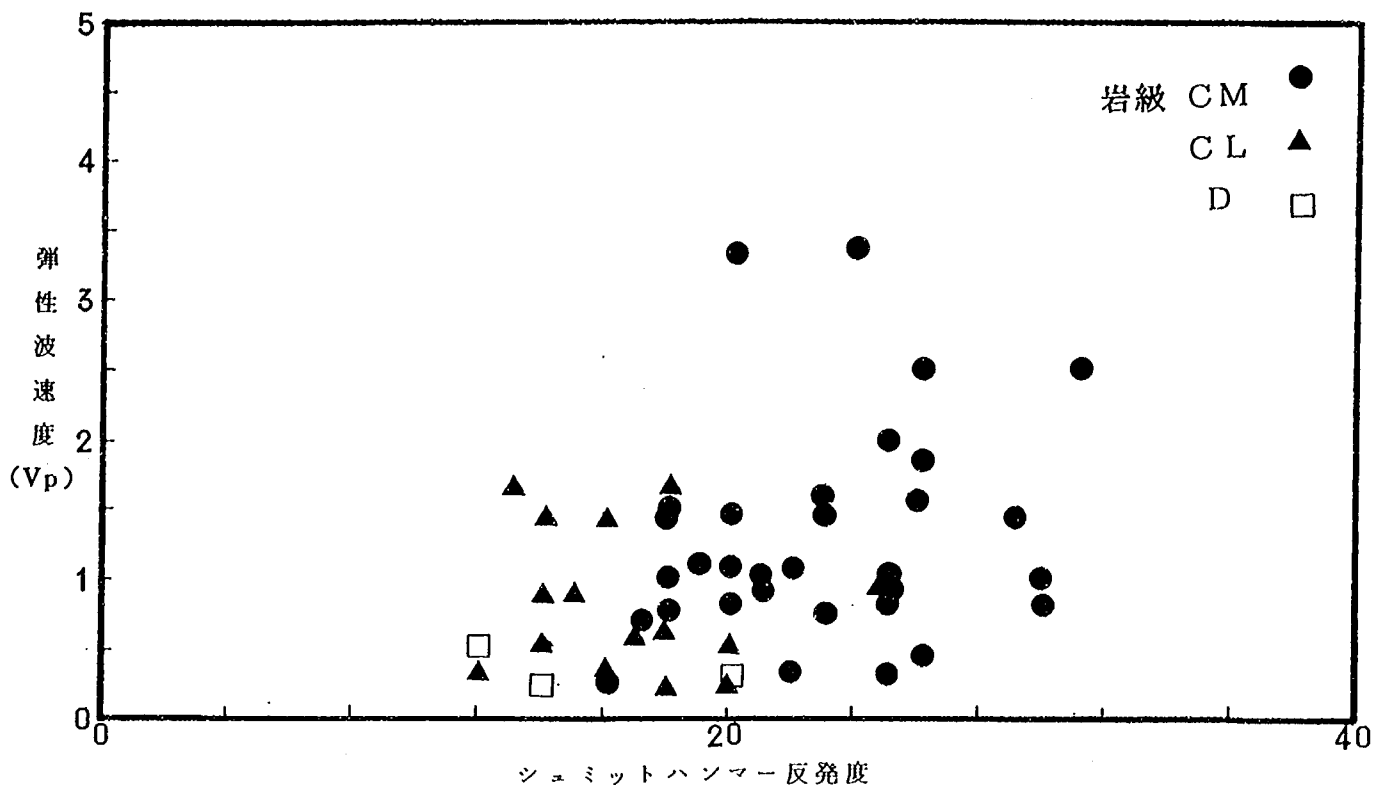


図 3-10 シュミットハンマー反発度と弾性波伝播速度

2) シュミットハンマー反発度と弾性波速度

シュミットハンマー反発度と弾性波速度との関係を図 3-10 に示す。これによるとばらつきが大きく相関性は低い。これは、調査対象横坑に CH 級岩盤が分布していなく、中～低ランクの岩盤が分布していたので物性の差が明瞭でなかったためであると思われる。

3.4.4 簡易試験の適用性の検討

以上をもとに、当ダムサイトの岩盤分類における点載荷試験、シュミットハンマーテスト、簡易弾性波探査等の簡易試験の適用性について検討する。

1) 点載荷試験

点載荷強度は一軸圧縮強度との相関も高く「岩片の硬さ」の定量的な指標として有効である。また、シュミットハンマーテストと異なりボーリングコアでも試験が可能である。ただし、岩盤性状のばらつきが大きいときは供試体数を増やす必要があるので、横坑についてはシュミットハンマーテストが有利と思われる。この場合でもボーリングコアと横坑岩盤の硬さの対応を求めるために、両者とも点載荷試験を行っておくとよい。

2) シュミットハンマーテスト

シュミットハンマー反発度と各岩盤分類要素との関係は、岩盤分類が高グレードのものほど反発度が大きいという一般傾向が認められた。特に岩級、「岩片の硬さ」の要素との関係

が比較的良好である。したがって、シュミットハンマー反発度は岩盤分類の定量的な指標として有効であると思われる。

3) 簡易弾性波探査

今回は調査対象に中～低ランクの岩盤のみが分布していたため物性の差が明瞭でなく、弾性波速度は岩級、「岩片の硬さ」などの要素との関係ではばらつきがかなり大きい相関が認められる。「割れ目間隔」「割れ目状態」などとはほとんど関連がみいだせない。OH級岩盤を含めれば、簡易弾性波探査は有効であると思われるが、当ダムのような軟岩の場合、弾性波速度は割れ目の要素より岩石の硬さの要素が強く反映されているようである。いずれにしても弾性波探査は、硬岩を起源とし風化、変質等でできた後性的軟岩を含むようなダムサイトで一般に有利と思われる。

なお、今回の岩盤分類基準が肉眼観察による岩盤性状に基づくものであり、原位置岩盤力学試験値との対応が吟味されていないので、簡易試験の適用性についての最終的な判断はできない。

4. ま と め

新第三系中新統の石英安山岩からなるダム基礎岩盤について、岩石の初生的な性質による岩相区分と風化による2次的な劣化区分および肉眼観察に基づく岩盤分類基準を作成した。さらに、点载荷試験、シュミットハンマーテスト、簡易弾性波探査等の簡易試験を行いこれらの試験値と岩盤分類との関係を検討し、岩盤分類と岩盤の物理的力学的性質との関係を定量的に吟味するとともに、簡易試験の岩盤分類への適用性について調べた。

- ① 石英安山岩の岩石鉱物学的な検討を行い、初生的な特徴によって表3-3のような岩相区分を行った。さらに風化による2次的な劣化区分を表3-4のように行った。当ダムサイトの岩盤の岩石鉱物学的な特徴は表3-3、4の区分の組み合わせで示される。
- ② ①の岩相区分、劣化区分は岩石の密度、有効間隙率、強度等の物理力学的性質の違いによく反映される。
- ③ 岩盤分類要素としていわゆる土研方式に準じ「岩片の硬さ」「割れ目間隔(またはコア形状)」「割れ目状態」の3要素(表3-15~19)を選定し、これらの要素の組み、合わせと当ダムの型式、規模等を加味し、岩盤性状に基づく岩盤分類基準表(表3-21)を作成した。
- ④ 岩盤分類規準表には「岩相」「風化」の要素は入れなかった。これらの要素は表3-20に示すように「岩片の硬さ」の要素に反映されているとみれるからである。
- ⑤ 点载荷強度は「岩片の硬さ」との関係については、ばらつきは大きいが両者に相関性が認められる。点载荷強度は一軸圧縮強度と相関性が高く、岩片の硬さの定量的な指標として有効である。
- ⑥ シュミットハンマー反発度は、岩級や「岩片の硬さ」と相関があり、岩盤分類の定量的な指標として有効である。
- ⑦ 弾性波速度は、岩級、「岩片の硬さ」などの要素とは、ばらつきがかなり大きいが相関が認められる。「割れ目間隔」「割れ目状態」などとはほとんど関連がみいだせない。
- ⑧ 簡易試験の適用性については、点载荷試験、シュミットハンマーテストとも有効である。しかし、当ダムの基礎は一般の堆積性軟岩に比較すると岩盤性状のばらつきが大きく、点载荷試験の個数を増やす必要があるので、横坑についてはシュミットハンマーテストが有利である。ボーリングコアについては点载荷試験が適用できる。
- ⑨ ただし、今回検討した岩盤分類基準は岩盤性状に基づくものであり、原位置岩盤力学試験値との対応が吟味されていないので、各簡易試験の適用性についての最終的な判断は今後の課題となる。

お わ り に

今回対象とした岩盤は、新第三系中新統の熔岩円頂丘状の岩体をなすとみられる全体的に緻密で均質な石英安山岩であるが、部分的に鉱物組成や間隙・組織の不均一性に起因する初生的な岩質のばらつきや冷却節理等の割れ目、風化等の影響を受けたものである。岩盤調査は「軟岩を対象としたダム基礎の岩盤分類のための調査 その1 簡易調査法(案)(土研資料第2508号)」に準拠して行ったが、今後さらに数多くの現場で同様の調査を実施し、色々な種類の岩盤について検討を行い同調査法(案)を充実していくとともに、軟岩の岩盤性状と物理的力学的性質との関係を整理し、これからの新しい軟岩のダムに広く適用できる岩盤分類基準の確立を図って行くつもりである。

なお、この資料は、地質研究室にて担当した調査・試験にこれまで新石淵ダム調査事務所において実施されたものを加えとりまとめたものである。なお、当ダムは目下、実施設計調査中で、ここに示された岩盤分類は暫定的なものであり、原位置岩盤力学試験を含めた今後の地質調査によって修正し、適宜より良いものに変更する必要があることを明記しておく。

最後に、調査・試験に当っては、新石淵ダム調査事務所の菅原所長を始め北沢調査設計課長、調査設計係の方々、土木研究所の大木地質官ならびに桑原地質化学部長より絶えず御協力と御指導を賜った旨を記し、深く感謝の意を表する。

問合せ先

〒305 茨城県つくば市大字旭1番地

建設省土木研究所地質研究室

N T T 0298(64)2211

マイクロ 8-93

市 川 内 線 405

平 野、佐々木 // 406

参 考 文 献

- 1) E. Broch, J.A. Franklin : The Point-load Strength Test. International Journ. of Rock Mechanics and Mining Sciences. Vol.9, pp.669 - 697, 1972.
- 2) 土木研究所地質研究室編：岩盤分類とその現場への適用、土木研究所資料、No.1907, pp.23 ~ 136. 1983.
- 3) 平野 勇：地質工学的性質からみた堆積岩の地質学的サイクル、昭和59年度研究発表会予稿集、pp.40 ~ 43. 日本応用地質学会、1984.
- 4) 平野 勇：ダムにおける地質調査と岩盤分類、地質と調査、No.4, pp.31 ~ 40, 1985.
- 5) I. S. R. M. Comm. on Testing Methods : Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. International Journ. of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Vol.15, No.6, pp.319 ~ 368, 1978.
- 6) 市川 慧・平野 勇・神保 悟：軟岩を対象としたダム基礎の岩盤分類のための調査その1 簡易調査法(案)、土木研究所資料、No.2506, 1987.
- 7) 市川 慧・平野 勇・佐々木靖人・神保 悟：軟岩を対象としたダム基礎の岩盤分類のための調査その2 新第三系中新統の砂岩における例、土木研究所資料、No.2545, 1988.
- 8) 建設大臣官房技術調査室、建設省土木研究所編：ボーリング柱状図作成要領(案)解説書、(財)日本建設情報総合センター、1986.
- 9) 菊地宏吉・藤枝 誠・岡 信彦・小林隆志：ダム基礎岩盤の耐荷性に関する地質工学的総合評価、応用地質特別号「岩盤分類」、pp.103 ~ 118, 1984.
- 10) 岡本隆一・安江朝光：ダムサイトにおける岩盤区分の試み、土木技術資料、Vol.8, No.9, pp.423 ~ 432, 1966.
- 11) 斎藤孝三・片平 博：ダム基礎岩盤の原位置試験に関する諸検討と考察、土木研究所資料、No.1899, 1983.
- 12) 田中治雄：ダムの地質と基礎処理、発電水力講習会テキスト、pp.135 ~ 154, 発電水力協会、1959.

軟岩を対象としたダム基礎の岩盤分類のための調査
その3 新第三系中新統の石英安山岩における例

I S S N 0 3 8 6 - 5 8 7 8
土木研究所資料第2613号
昭和63年2月(1988)
地質研究室 市川 慧・平野 勇
佐々木靖人 神保 悟

要 旨

新第三系中新統の石英安山岩からなるダム基礎岩盤について肉眼観察、シュミットハンマーテスト、弾性波探査、点載荷試験、岩石物理試験、岩石・鉱物試験等の簡易調査を実施し、岩盤の岩石鉱物学的および物理力学的性質を明らかにするとともに、これらの調査方法の岩盤分類への適用性について検討したものである。

キーワード：ダムの地質調査、軟岩、岩石試験、岩盤試験、岩盤分類

郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
地質研究室 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 002

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 2613 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印