

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4
新第三系中新統の堆積性軟岩における例

平成元年2月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright © (1989) 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、複写は、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4 新第三系中新統の堆積性軟岩における例

地質研究室 室 長 中 村 康 夫

主任研究員 平 野 勇*

研 究 員 佐々木 靖 人

要 旨

新第三系中新統の堆積性軟岩からなる三ヶ所のダム基礎岩盤について、各々肉眼観察、シュミットハンマー試験、針貫入試験、簡易弾性波速度測定、点載荷試験、岩石物理試験を実施し、岩盤の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

* 現九州地方建設局立野ダム工事事務所 副所長

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の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情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得ない例が多くなっている。一方、これらに対処するために、ダムの形式・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、これまでとは異なる新たな視点を必要としている。

新第三系～第四系の礫岩・砂岩・泥岩・凝灰岩などの堆積性軟岩、弱～中溶結の溶結凝灰岩、破碎岩、風化岩、変質岩のような軟岩は、強度が低く変形性大きい、あるいは掘削面が急速に劣化するなど、硬岩とは異なった注意が必要である。

岩盤分類については、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、岩盤分類を行なうことによってある程度岩盤の力学定数を測定出来、岩盤の評価も行ないやすい。しかし、軟岩については、岩質とその分布が複雑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、軟岩の岩盤分類を対象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)(土木研究所資料第2506号)』¹⁾として暫定的にとりまとめた。これを適用した例について、昭和62年度は『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2 新第三系中新統の砂岩における例(土木研究所資料第2545号)』²⁾「同 その3 新第三系中新統の石英安山岩における例(土木研究所資料第2613号)』³⁾として既にとりまとめている。この土木研究所資料は、このような現場の適用への一連の試みの一つとして、新第三系中新統よりなる三箇所のダム基礎岩盤について各調査・試験法を適用した例についてとりまとめたものである。なお、調査対象としたダムは目下建設の途にあり、今後の調査において地質図あるいは岩盤分類についても必要であれば、随時より良いものを目指して変更されるべき性質のものであることを断っておく。

とりまとめの対象とした基礎岩盤の調査・試験結果については、地質研究室が行なった調査・試験結果をもとに、石川県河川開発課、金沢工事事務所、八ヶ川ダム建設事務所で実施された調査・試験結果の一部も利用して検討を加えたものである。

1989年2月

目 次

はじめに	1
1. 地 質	2
1.1 調査地周辺の地質	2
1.2 調査地点の地質概要	5
2. 調査・試験方法	8
2.1 調査域の設定	8
2.2 調査・試験方法の詳細	13
3. 調査・試験結果	20
3.1 肉眼観察	20
3.2 岩石物理試験および簡易試験	20
3.3 試験値の相関	28
3.4 原位置力学試験値との関係	35
4. 検 討	40
4.1 簡易試験の適用性	40
4.2 簡易試験と岩盤分類基準	41
5. ま と め	45
おわりに	46
引用文献	47

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、一般には次のような組み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試験など）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の力学特性区分を当該ダムの形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、などが挙げられる。

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（一部白亜系～古第三系を含む）の堆積性軟岩、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、石川県下に建設中の三つのダムであり、ともに新第三系中新統の堆積性軟岩よりなるが、砂岩・泥岩・凝灰岩等との互層よりなるもの（Aダム）、比較的均一な細粒砂岩を主体とするもの（Bダム）、火山円礫岩を主体とするもの（Cダム）等、ダムサイトの地質状況はそれぞれ異なっている。今回、これらの各ダムサイトの原位置岩盤試験面（一部ボーリングコア）を対象に肉眼観察、岩石物理試験、針貫入試験、シュミットハンマー試験、簡易弾性波速度測定、点載荷試験を行ない、これら堆積性軟岩について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、岩盤分類への各簡易試験の分類指標としての適用性を検討した。

1. 地 質

1.1 調査地周辺の地質

能登半島の大部分を含んで南北に細長く伸びる石川県の山地は、大きく、北部（能登山地、能登丘陵）、中部（石道・宝達山地、津幡・森本丘陵）、南部（加越山地、能美・江沼丘陵）に分けられ、北～中部は共に 400～500m 程度の山地からなり、南部は、白山（2,702m）を最高峰とする概して 1,000m 程度の山地を主体とする。各山地を形成する地質は、北～中部では主に新第三系中新統、南部では主に中生界（低部では中新統）である。各山地を流下する河川は、北部では、北西方向と南東方向の二系列があるが、中～南部は共に北西方向が主体で、また、手取川（流程約 77km）を除くと山地から海までの距離が短いことを反映してどの河川も流程約 50km 以下となっている。⁹⁾

石川県及びその周辺の地質を年代の古い順に概略的に述べると、先ジュラ紀の変成岩及び深成岩類（飛騨変成岩、船津花崗岩等）、ジュラ紀～白亜紀の砂岩礫岩頁岩層（手取層群等）、白亜紀～古第三紀の流紋岩類（濃飛流紋岩等）、中新世前期の安山岩類（岩稲累層、穴水累層等）、中新世中期～更新世前期の堆積岩類（八尾累層、音川累層、氷見累層、埴生累層等で主に海成層）、更新世中期以降の堆積物（主に段丘堆積物）及び第四紀の火山岩類（白山、戸室山等）に分けられる。古第三紀以前の地層は南部の急峻な山地部にほぼ限定され、石川県の山地の多くを形成するのは、主に中新世前～中期の安山岩類や堆積岩類である（表 1.1.1）。⁹⁾

調査対象としたダムサイトの地質はいずれも石川県下の新第三系下部～上部中新統に属し、比較的軟質な堆積性軟岩を主体としている。石川県地域の中新統は一般に、下部の安山岩熔岩及び同質角礫凝灰岩及び同質角礫凝灰岩または流紋岩質熔結凝灰岩を主体とするいわゆる狭義のグリーンタフと、これと同時期及びその直後に堆積した砂礫岩～泥岩・凝灰岩互層主体の地層（これらの分布域も含めて広義のグリーンタフ地とされる）が広く分布し、これらが大局的には北東－南西方向の褶曲軸をもって、南部では花崗岩類または白亜紀～古第三紀流紋岩類（濃飛流紋岩及び太美山層群）を被覆し累重している。北部では先中新統の分布域が限定されているため詳細な点は不明であるが、花崗岩～片麻岩類が部分的に地窓状または断層で境されて分布している。中部でも北部と同様と推定される。なお、調査対象の三つのダムサイトは各々、Aダム（金沢市相合谷町及び上辰巳町）が南部、Bダム（羽咋郡志雄町）が中部、Cダム（鳳至郡門前町）が北部に属し、Aダムは主に砂岩・泥岩・凝灰岩（中新世中期八尾累層の七曲凝灰岩層）、Bダムは塊状の砂岩（中新世後期の小久米層）、Cダムは火山円礫岩（中新世前期の穴水累層）よりなる。

表-1.1.1 石川県の代表的な地質⁴⁾

地域別 地質時代			能登北東部	能登北西部	能登中部	能登南部	加賀北部	加賀南西部	加賀南東部	
新 生 代	第 四 紀	完新世	砂丘 沖積層	砂丘 沖積層	砂丘 沖積層	砂丘 沖積層	砂丘 沖積層	砂丘 沖積層	沖積層	
		更新世	後期	海成段丘	海成段丘	海成段丘	"洪積層" 中川層 杉野屋層	河成段丘 高位砂礫層 火山噴出物 卯辰山層	海成段丘 南郷層	河成段丘 火山噴出物
			中期		砂礫岩層	高階層				
	第 三 紀	鮮新世	前期						火山噴出物	
				粗面岩	鮎倉安山岩	崎山層				
		中新世				赤崎層			尼御前峠層	
					和倉層	聖川層 小久米層 葛葉層 三尾層 神子原層 新宮層	高窪層 下荒屋層	加佐峠層 錦城山層		
			飯塚層 南志見層 飯田層 栗蔵層 赤持層 東印内層 柳田累層 六水累層	黒崎安山岩 輪島崎層	赤浦層		朝ヶ屋層 七曲層 砂子坂層 医王山累層 岩稻累層 椋原累層	細坪層 河南層 流紋岩質 安山岩質 火砕岩	流紋岩質 安山岩質 火砕岩	
	中生代	白堊紀		皆月層 鷺又層 火山岩類 椋原累層	火山岩類 椋原累層					
								古期流紋岩質 火砕岩類	古期流紋岩質 火砕岩類	
							後期中生代層	大道谷層 手取層群		
先ジュラ紀			花崗岩類 片麻岩類	花崗岩類 片麻岩類	花崗岩類 片麻岩類	花崗岩類 片麻岩類	花崗岩類 片麻岩類	花崗岩類 片麻岩類		

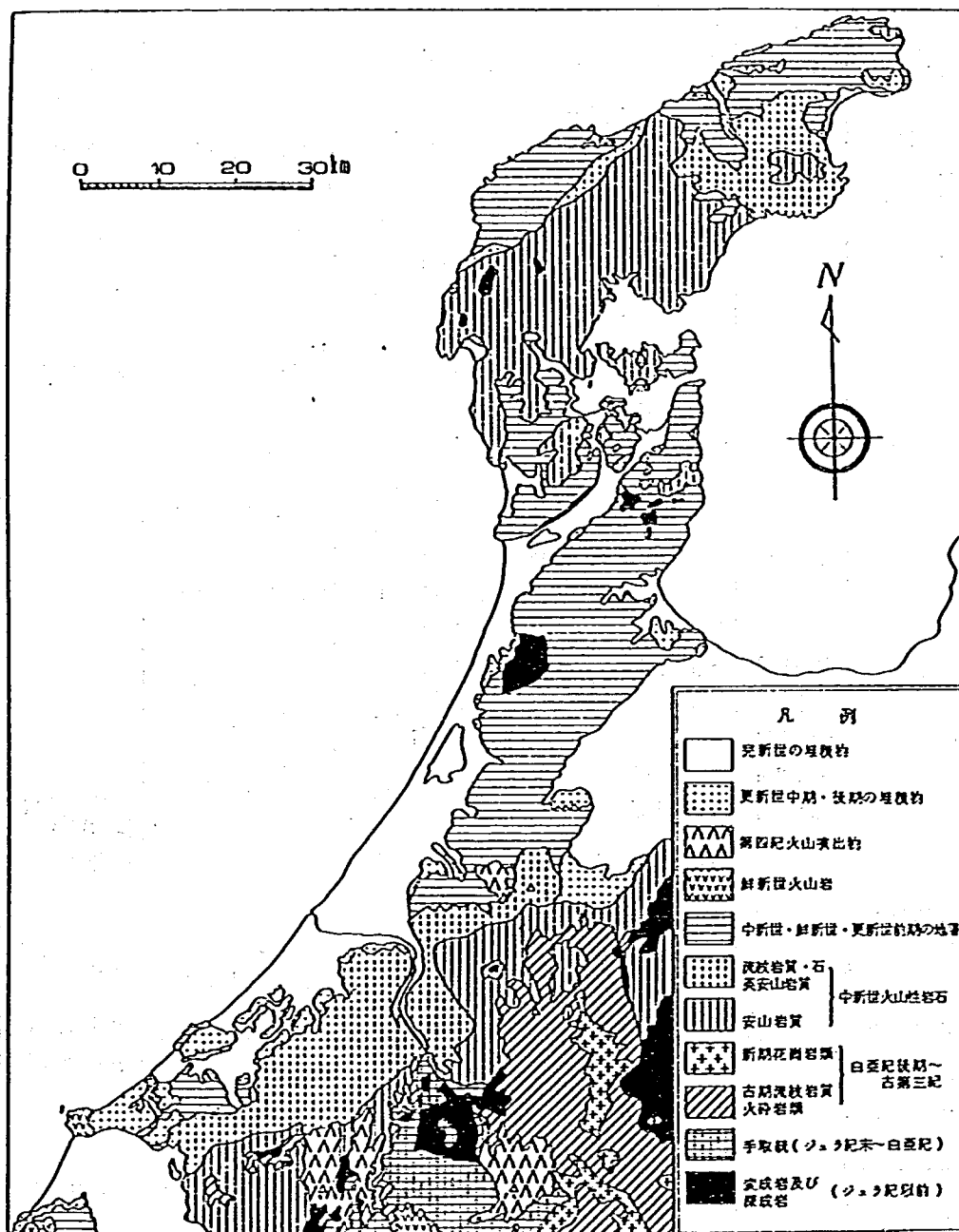


図-1.1.1 石川県内の地質分布⁴⁾

1.2 調査地点の地質概要

1.2.1 Aダム

Aダム計画地点付近を構成する基盤の地質は、新生代新第三紀中新世中～後期の八尾累層に属する砂岩、泥岩、凝灰岩、凝灰角礫岩等である。地質構造は、大局的にはほぼ東西の走向を有する同斜構造を呈しているが、傾斜は必ずしも一定しておらず、概ね10～35°程度で、北に傾斜している。被覆層としては、両岸上部に高位砂礫層（古期段丘堆積物）、左岸に広く段丘堆積物が分布しており、更に崖錐堆積物、現河床堆積物が広く堆積している。

ダムサイト左・右岸及び河床部を中心に広く分布する七曲凝灰岩層は、ダムサイト付近で層厚約80 mで、凝灰角礫岩、砂岩、泥岩、軽石凝灰岩等よりなり、これらが互層状に分布し、全体に凝灰質である。砂岩部は主に粗粒、軽石質の粒子を多く含み、割れ目は未発達である。泥岩部は、黒色～黒灰色の比較的硬質で塊状の泥岩よりなり、横坑では割れ目が比較的発達している。凝灰角礫岩部は、主に灰色で細粒の火山灰を基質とし、安山岩等の礫及び軽石質礫を20～30%程度含有している。軽石質凝灰角礫岩は、基質は凝灰角礫岩とほぼ同質だが礫全体に占める軽石の比率が高い。軽石凝灰岩は、

発砲の良い数cm程度の軽石からなり、他の岩に比較して間隙率が高くまたかなり軟質である。この様に、ダムサイトは数種の堆積性軟岩の互層となっており、また、岩の強度も各層ごとにより異なっている。本調査では、これらの主な各岩種（凝灰角礫岩、砂岩、泥岩、軽石凝灰岩）を対象とした（表－1.2.1）。

表－1.2.1 Aダム周辺の地質層序

時 代		層 序		主 な 岩 相		
		表土、崖錐堆積物、 現河床堆積物		腐殖土、風化土、砂、泥岩、礫、粘土		
		段 丘 堆 積 物		粘土、砂、礫含む。厚 0.5～3 m		
		高 位 砂 礫 層		砂、礫、火山灰		
		卯 辰 山 層		礫岩、砂岩、シルト岩、泥岩		
新 第 三 紀	新鮮世	高 窪 泥 岩 層		シルト岩、シルト質泥岩		
	中新世 中期～後期	大 八 尾 累 層	朝 屋 泥 岩 層		泥岩、シルト岩	
			黒 壁 玄 武 岩		玄武岩	
			七 曲 凝 灰 岩 層		凝灰質砂岩泥岩互層、凝灰岩	
			砂子坂 凝灰質互層		凝灰岩、凝灰角礫岩、凝灰質砂岩、 泥岩	
	医 王 山 累 層		凝灰質互層、凝灰角礫岩、流紋岩、 石英安山岩			

★調査を実施した地質

1.2.2 Bダム

ダムサイトから貯水池付近にかけての地質は、新第三紀中新世の新宮礫岩層及び小久米砂岩層を基

盤とし、これらを覆って、第四紀の段丘堆積物、現河床堆積物及び崖錐堆積物が分布している。

新宮礫岩層は、軟質なアルコース質砂岩・礫岩互層及びアルコース砂岩・泥岩互層からなり、貯水池末端の子浦川上流域にNE-SW方向を軸とする向斜構造をなして分布している。

小久米砂岩層は、軟質な青灰色砂岩を主とし、凝灰岩質粗粒砂岩、泥岩、砂岩泥岩互層、砂質泥岩～泥質砂岩の薄層を挟有し、ダムサイトを含む調査地北端から貯水池中流部にかけて広範囲に分布する。本層は、調査地域北部（下流部）で南東落ち緩傾斜（15～20°）の同斜構造を呈し、調査地中流部で、石川・富山県境の分水嶺を軸とする向斜構造を呈する。

ダムサイトの基盤は、小久米砂岩層に属する青灰～青緑灰色砂岩を主体とし、走向・傾斜N50°E～N70°E、15～25°SEで上流～右岸落ちの同斜構造を呈している。

砂岩中には、灰～暗灰色泥岩、暗緑灰色砂質泥岩～泥質砂岩及び砂岩・泥岩の薄層を挟在する。砂岩は、青灰～青緑灰色を呈する層理に乏しい淘汰の良い細～中粒の軟質な岩石で、乾燥すると淡緑灰色を呈する。砂岩は全体として塊状であるが、数m幅おきに層理面沿いに数mm～数cm幅で泥質部が挟在される。この泥質部は、しばしば凝灰質で、径1～3mm程度の凝灰岩片や炭質物を散在し、炭質物が厚さ1～2mm毎の竊状葉理をなして、幅1mm～2cm程度挟有される。泥質部は、砂岩に比べて脆弱で風化・浸食に対して抵抗力が弱いため、露頭においては、層理に沿うへこみとして観察され、また横坑では微小な割れ目が多く入り、場所によっては鱗片状に風化している部分もある。本調査は、ダムサイトのほとんどを占める砂岩を対象とした（表-1.2.2）。

表-1.2.2 Bダム周辺の地質層序

地質年代		地 質 名	記号	岩 相 ・ 層 相
第 四 紀		現 河 床 堆 積 物	r d	砂礫層。花崗岩、砂岩、泥岩、凝灰角礫岩の円～亜角礫を含む。未固結
		崖 錐 堆 積 物	d t	砂・礫・粘土。砂岩、泥岩～シルト岩、アルコース砂岩、礫岩等の角～亜角礫含む。厚 0.5～3 m
		段 丘 堆 積 物	t r	砂礫層および灰～灰褐色含礫凝灰質シルト層 未固結、厚 1～10m (?)
新 第 三 紀	中 新 世	大 砂 岩	S s	青灰～青緑灰岩、細～中粒軟質砂岩 しばしば凝灰質となる。
		小久米砂岩層	A l	幅 10～50 cm 毎細互層 軟質、互層の層理面は脆弱
		泥 岩	M m	暗灰色～灰色、塊状、軟質
		泥質砂岩～砂質泥岩	S m s	暗緑灰色、凝灰質、軟質
		凝灰質粗粒砂岩	T s	青灰色、軟質、層理に乏しい。径 2～5 mm の軽石片や凝灰岩片を含む。
	新 世	砂 岩 ・ 礫 岩 互 層	A c s	アルコース砂岩・礫岩互層、1～数 m 幅毎に互層。軟質
		砂 岩 ・ 泥 岩 互 層	A m s	アルコース砂岩・泥岩互層 10～50 cm 幅毎に互層、軟質

★調査を実施した地質

1.2.3 Cダム

ダムサイト周辺は主として穴水累層と呼ばれる中新世前～中期の火山性岩石からなっている。ダムサイト付近の穴水累層は下位より熔結凝灰岩、軽石質凝灰岩、安山岩（熔岩または貫入岩）、火山円礫岩からなるが、このうちダムの基盤を構成するのは主に火山円礫岩及び安山岩である。地質構造は単調で各層とも大きな地層の乱れはなく、下流右岸側へ30～45°で傾斜する同斜構造を呈する。

安山岩は硬質、緻密であるが、右岸下流側へ傾斜する板状節理が明瞭に発達するため、節理面に沿って剥がれやすい性質がある。一方、火山円礫岩は径20～50cm、最大200cmに達する主として硬質なヒン岩・安山岩の亜角

～亜円礫を特徴的に含むも

ので、安山岩との境界部付

近でマトリックスがやや軟

質化している以外は、礫と

マトリックスはよく膠結し

ている。マトリックスは径

1cm程度までの軽石や火

山灰を含む石英安山岩質軽

石凝灰岩である。基質中の

軽石と火山灰の量比は著し

く変化し、1:9～8:2、

平均で4:6程度で、火山

灰自体も細粒火山灰とラピ

リの混合物である。割れ目

等は乏しいが、まれに不明

瞭な亀裂を有する。本調査

は、ダムサイトの大部分を

占める火山円礫岩を対象と

した（表-1.2.3）。

表-1.2.3 Cダム周辺の地質層序

年代	地層名	岩相
完新世	採石所ズリ	未固結砂礫
	崖錐堆積物	"
	現河床堆積物	"
	扇状地堆積物	"
	地すべり堆積物	"
更新世	段丘堆積物	"
中新世	安山岩Ⅲ	構成鉱物は斜長石、単斜輝石と斜方輝石で、組織は斑状間粒状である。連続性に乏しい柱状及び板状節理が10～200cm間隔でみられ、岩体は方状にブロック化している。
	軽石凝灰岩Ⅱ	淘汰の良い細粒の軽石凝灰岩である。軽石は径1～3cm程度まで、岩片は殆んどみられず、また結晶片は石英と斜長石が少量みられるのみである。基質はガラス片が大部分を占める。岩塊は軟質。
	安山岩Ⅱ	斑状組織が明瞭である。流理面に添う板状節理が発達する。岩塊は硬質。
	火山円礫岩	最大径150cm、平均30cm程度の房岩の亜円～亜角礫を多量に含む。基質は径1cm程度までの軽石を含む石英安山岩質軽石凝灰岩である。基質中の軽石と火山灰との量比は著しく変化し、1:9～8:2、平均で4:6程度。礫、基質共にまれにラミナを示す。礫は硬質。基質は軟質。
	微晶質	構成鉱物は斜長石と単斜輝石で、組織は毛せん状である。流理面に沿う節理が発達し、厚さ2～5cmの板状に剥がれ易い。また、流理面に直交する連続性に乏しい節理も若干みられる。節理面には油肌状を呈することが多く、一般に青緑灰色のや硬質な2次鉱物（セフィト）のフィルムが付着する。岩質は硬質。
	斑状	構成鉱物は斜長石と単斜輝石で、組織は斑状間粒状である。連続性に乏しい柱状及び板状節理が10～200cm間隔でみられ、岩体は大方状にブロック化している。
	軽石凝灰岩Ⅰ	径5cm程度までの軽石片と径2cmまでの石英安山岩片を含む。基質は石英と斜長石結晶及び火山灰より成る。節理はない。岩塊は軟質。
	熔結凝灰岩	弱～中程度に熔結。岩片を殆ど含まない。基質は石英と斜長石（及びまれに単斜輝石）の結晶片及び火山灰より成る。岩塊は硬質。一般に塊状であるが局部的に30～100cm間隔で柱状及び板状節理がみられる部分もある。岩塊は中硬質。
	火山性凝灰岩	径5cm程度までの軽石片及び石英安山岩を含む。基質は石英と斜長石の結晶片及び火山灰よりなる。軽石：岩片：基質の量比は5:2:3程度。淘汰は悪いがまれにラミナがみられる。節理はまれにしか存在しない。岩塊は中硬質。

※調査を実施した地質。

2. 調査・試験方法

2.1 調査域の設定

調査対象とした横坑（岩盤試験箇所）及びボーリングは図－2.1.1，2.1.2，2.1.3の通りである。また，調査数量を表－2.1.1に示す。調査対象とした岩盤試験箇所は，各ダムサイトの各岩の強度・変形性及びそのばらつきを典型的に表わしていると判断されるものを選択した。岩盤試験箇所については，井型に合計4本の測線を設定し（図－2.1.4，2.1.5）これに沿って針貫入試験及びシュミットハンマー試験を1測線当たり25点，弾性波速度測定を，1測線当たり1～4回行なった（ただし，礫の存在等により，多少ずれることもある）。また，Aダムにおいては，模式的な層序を示していると判断されるボーリングコア（B－40孔）を選定して，約5cm毎に自然乾燥状態で針貫入試験を行なった。

表－2.1.1 横坑ボーリング調査数量

横 坑 調 査 数 量

ダ ム 名	調 査 横 坑	ブロック数
A ダ ム	T s L－4	4
	T L－2	4
	T R－1	7
B ダ ム	A L－3	4
	A R－2	1
C ダ ム	A R－3	8
合 計 3 ダ ム	6 横 坑	28ブロック

ボーリング調査数量

ダ ム 名	ボーリング孔名	孔 長
A ダ ム	B－40	100m

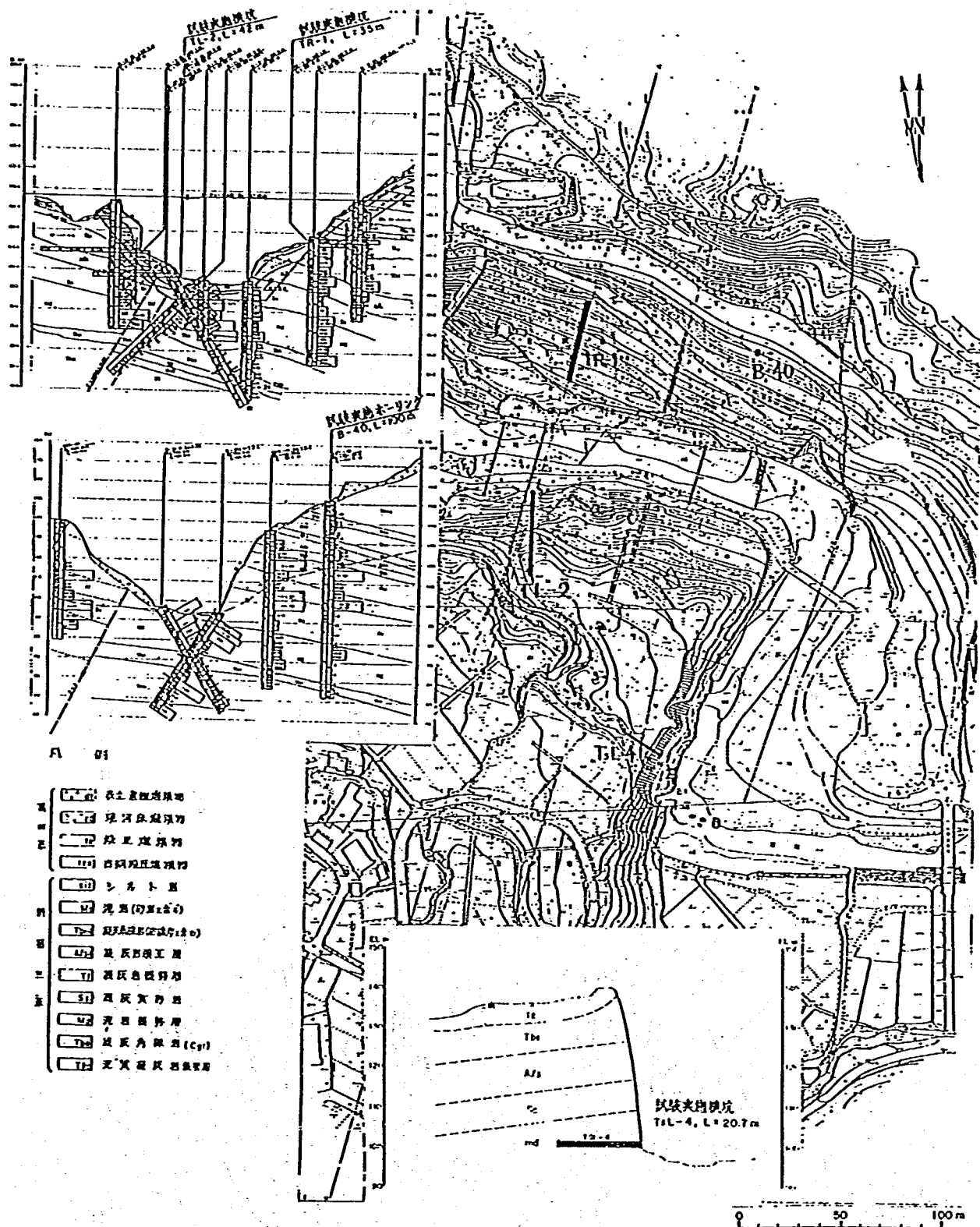


図-2.1.1 Aダム 試験実施横杭及びボーリング

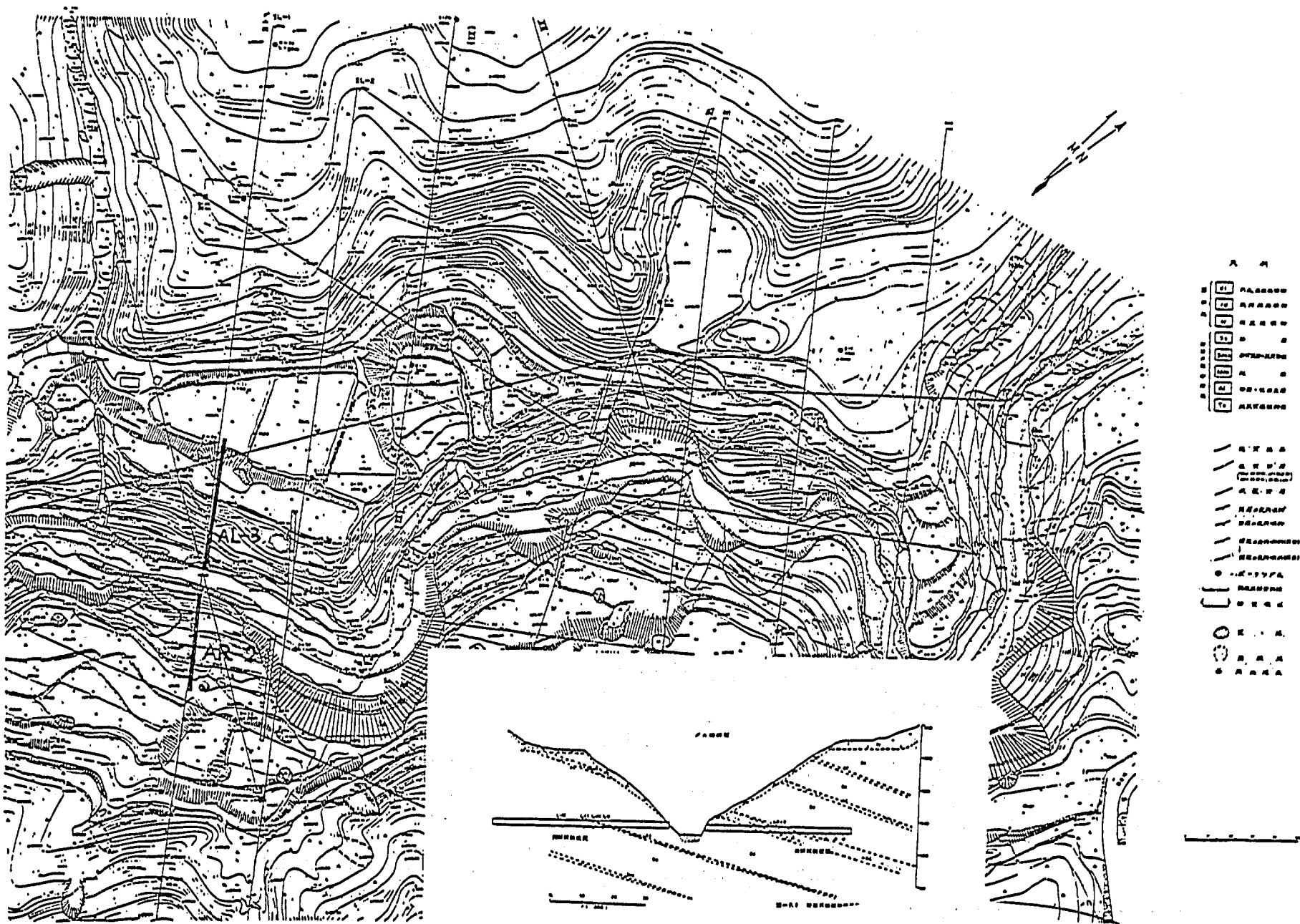


図-2.1.2 Bダム 試験実施横杭

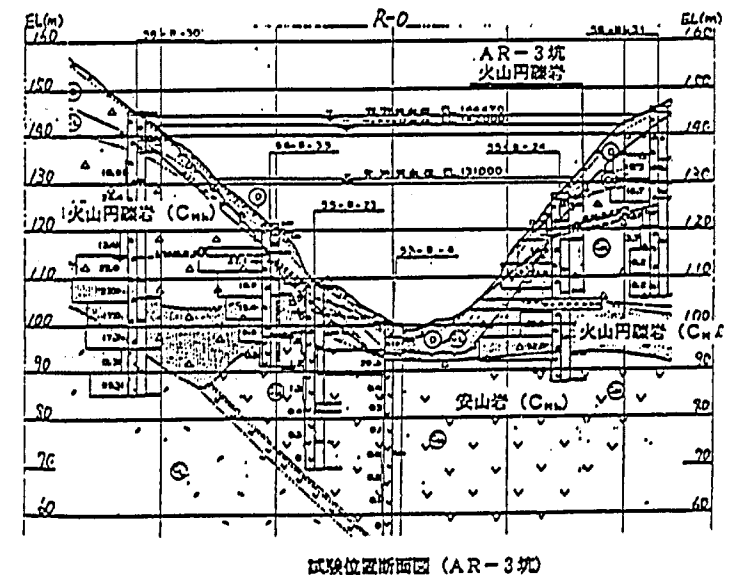
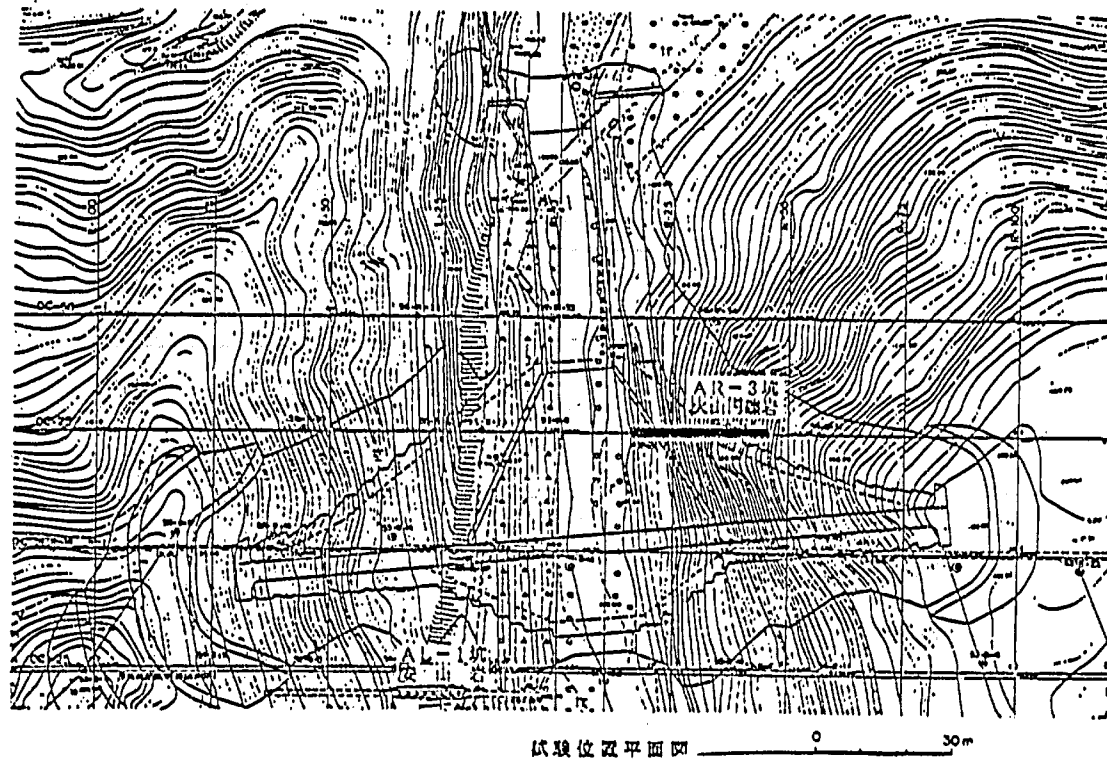


図-2.1.3 Cグム 試験実施横杭

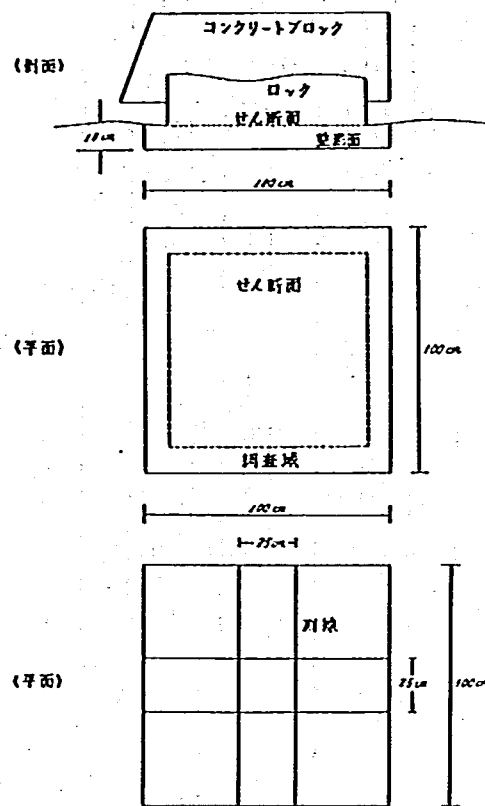


図- 2.1.4 剪断面における調査域・測線

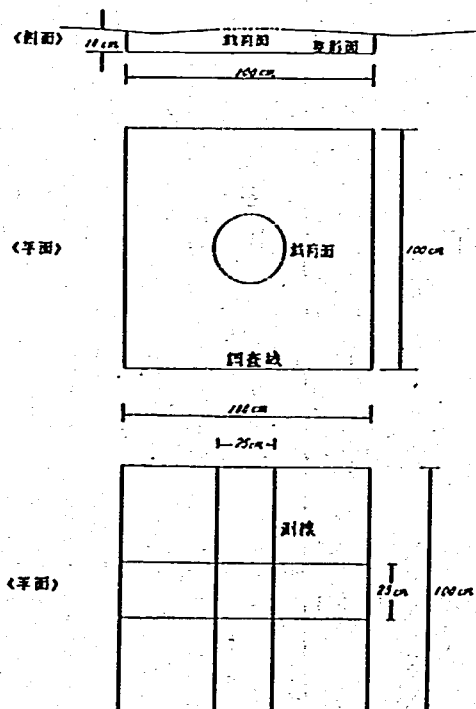


図- 2.1.5 変形試験面における調査域・測線

2.2 調査・試験方法の詳細

2.2.1 肉眼観察

岩盤試験面において、剪断面（載荷面）を中心に1m四方の調査域を設け、調査前にズリを取り除き、さらに10cm程度掘削して、緩んだ岩片・岩屑を除去し、平滑に整形した。その後、調査域の岩種・岩質、硬さ、ゆるみ、風化・変質、礫の含有状況、亀裂の有無及び走向傾斜等について観察及びハンマー打診を行なった。

2.2.2 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。そこで、各岩盤試験面より20個程度の不定形試料（5～10cm四方形程度）を採取し、乾燥密度、湿潤密度、真比重、有効間隙率、吸水率の測定を行なった。試験方法は、KDK S 0151-0968 “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。

2.2.3 針貫入試験

細い針を貫入させ、貫入力と深度の関係から貫入強度を求めるもので、岩片そのものの硬さを判定するための指標試験である。貫入強度は、次式より求める。

$$\text{針貫入強度 (Np)} = \text{貫入力} / \text{貫入深度 (kgf/mm)}$$

針貫入試験は、概ね一軸圧縮強度100～150kgf/cm²以下の岩石に適用できる。試験器は、室内用と携帯用があり、本試験では携帯用（図-2.2.1）を用いた。針は、径0.84mmの木綿針2号を用いた。

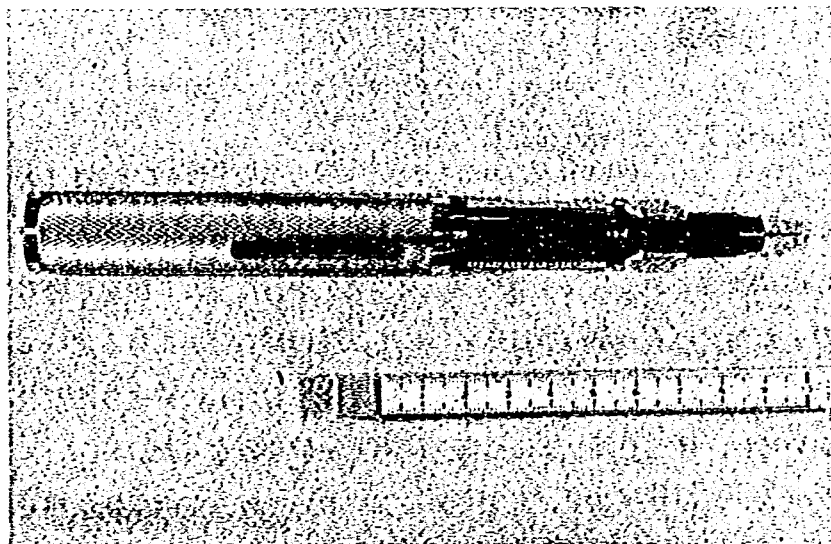


図-2.2.1 針貫入試験器（携帯用）

針貫入試験は、岩盤試験面で1測線当たり25点（1岩盤試験面当たり100点）測定を行なった（これを以降原位測定と称する）。試験位置を図-2.2.2に示す。また、同じく岩盤試験面より、20個程度の試料を採取し、2昼夜以上水浸した後、湿潤状態で各試料につき1点、合計約20点測定し

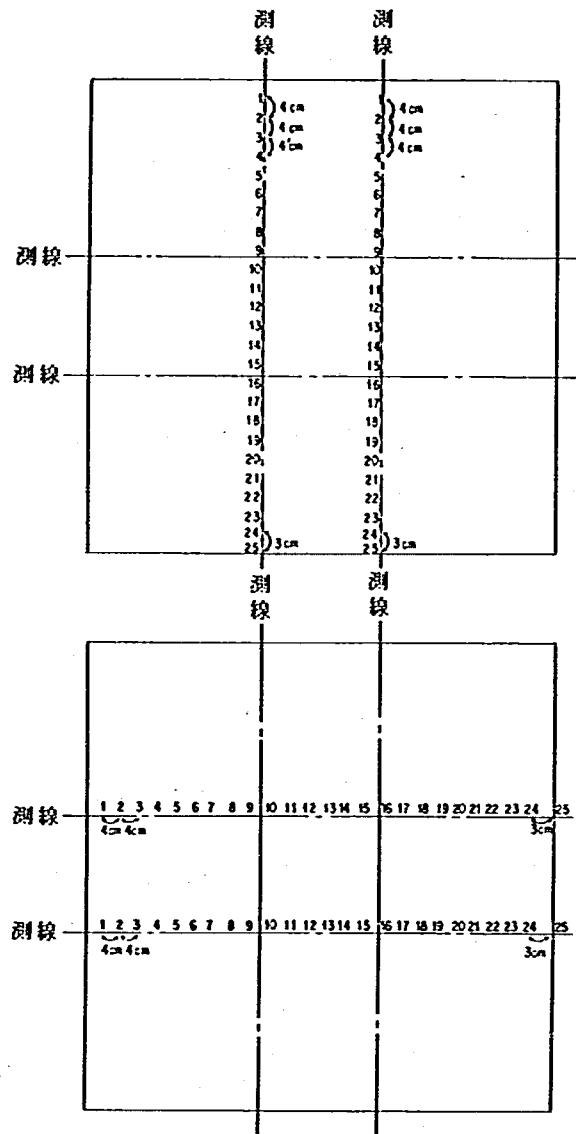


図- 2. 2. 2 針貫入試験貫入位置
(礫の存在、表面の状態等により多少ずれることがある)

(これを以降湿潤測定と称する)，同じ試料について 110℃で 1 昼夜以上の炉乾燥状態で各試料につき 1 点，合計約 20 点の測定（これを以降絶乾測定と称する）を行なった。測定に際しては，基本的には礫部を避けて行なったが，いくつかの供試体について試験のばらつきを見る意味で行なった試験（湿潤状態で，1 試料において約 1 cm 間隔で集中的に 30 点測定したものであり，これを以降ばらつき試験と称する）においては，礫部を避けずにほぼ等間隔で試験を行なった。

ボーリングコア（A ダムの B-40 孔，延長 100 m）においては，室内風乾状態で約 5 cm おきに 1 点の間隔で試験を行なった（これを以降風乾測定と称する）。室内風乾状態では，室内の温度や湿度の変化により多少の増減はあるが，泥岩で含水率約 20%，砂岩及び軽石質凝灰角礫岩は含水率約 10% 前後ではほぼ平衡状態に達している。

針貫入試験の試験方法について基礎的なデータを得るために，A ダム，軽石凝灰角礫岩中の軽石部分（軟質ではほぼ均質な部分である）を用いて，貫入力と貫入量の相関を見たのが図- 2. 2. 3 である。

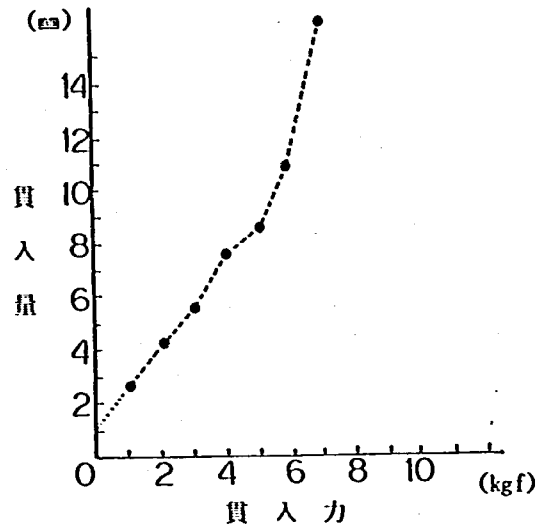


図-2.2.3 針貫入試験における貫入力と貫入量の関係(Aダム軽石における例)

他の岩種も同様に実験しなければ明確なことは言えないが、貫入力と貫入量が直線的な関係にあるのは貫入量約10mmまでであり、貫入量約10mm以上では勾配が急になっている。これは針先端の形状による性質と考えられ、10mm以上の部分では針の太さが一定に近くなっていることによると推定される。また、図中の近似直線では貫入力0においても貫入量は0となっていないが、これは試験器自体の持つ測定誤差（内部での摩擦、ばねの誤差等）と考えられる。このため、この誤差は補正するか貫入力を大きくして相対的な誤差を小さくする必要がある。本調査では、以上のことから、①貫入量は10mm以下に抑えること、②貫入力は（①を満たす範囲で）なるべく大きくとること、の二点に注意して試験を行った。

2.2.4 シュミットハンマー試験

シュミットハンマー試験は、打撃の反発度から岩石の硬さを判定する試験である。岩盤用のハンマーには、図-2.2.4の様なものがあり、軟岩でも利用できる。シュミットハンマー試験は、1測線当たり25点（1岩盤試験面当たり100点）測定を行ない、割れ目や凹凸のある部分は避けて実施した（図-2.2.5）。また、Cダムにおいては、安山岩等の礫が多いため、3～4cm程度の礫を境界として、これより大きい礫については便宜上基質の打撃と区別して扱える様にした。なお、本調査では、シュミットハンマーの機種はKS型を使用した。

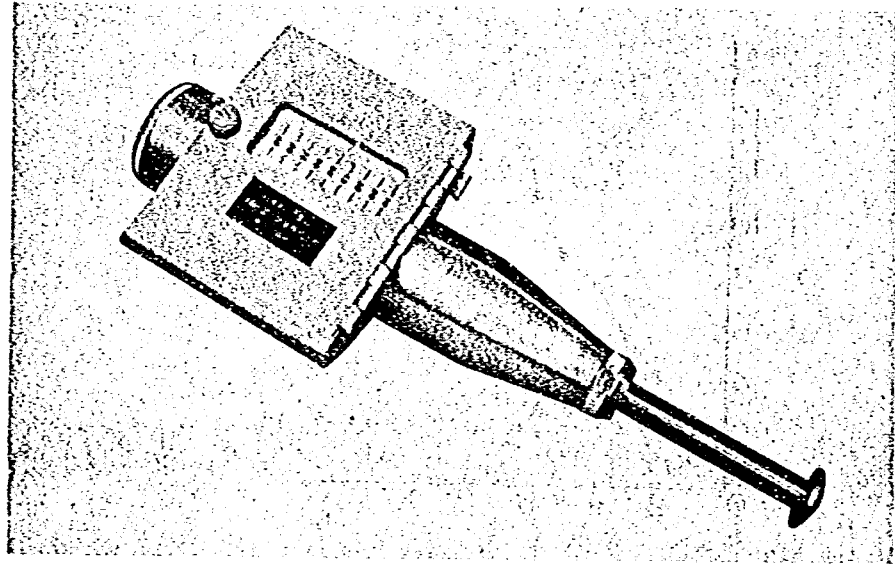


図-2.2.4 岩盤用シュミットハンマーの例 (KS型)

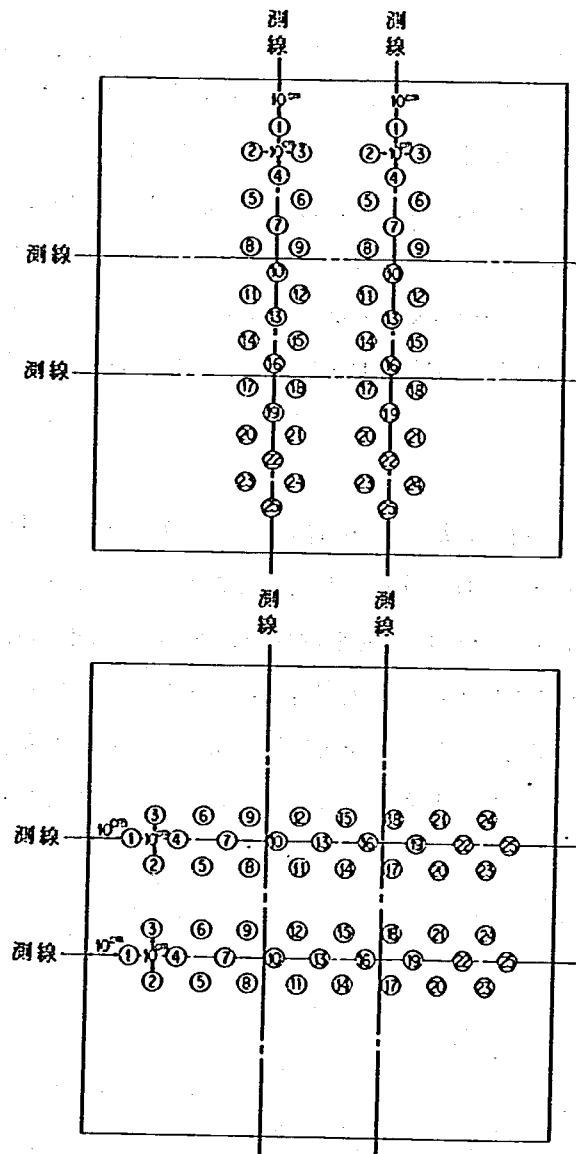


図-2.2.5 シュミットハンマー試験 打撃位置
(表面の凹凸の状態により多少ずれることがある)

シュミットハンマー試験は、錘の反発度を測定するものであるため、試験面が重力に対して垂直でないときには、補正が必要である（表-2.2.1）。今回は、 -90° （鉛直）に実施したものがほとんどであるため、表-2.2.2のように補正して用いた。

表-2.2.1 シュミットハンマー反発度の補正

反発度 R	補正值 (ΔR)
8~12	+3.2
13~17	+3.3
18~22	+3.4
23~27	+3.3
28~32	+3.1
33~37	+2.9
38~42	+2.7

表-2.2.2 シュミットハンマー補正基準

反発度 R	傾斜角に対する補正值 (ΔR)			
	$+90^\circ$	$+45^\circ$	-45°	-90°
10			+2.4	+3.2
20	-3.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.6	-2.6	+2.0	+2.7

2.2.5 簡易弾性波速度測定

簡易弾性波速度測定は、測線間の V_p の伝播速度を測定するものである。速度測定に使用した測定器は、McSEIS-160（応用地質機）、受振器は、Geo Space 社（USA）製の固有周期 28Hz の受振器を用い、起振はカケヤまたはハンマーで実施した（図-2.2.6）。McSEIS-160 を起動させるためのハンマースイッチは、カケヤまたはハンマーの柄に取付けた。受振器は油粘土を用い、岩盤に固定した。McSEIS-160 の測定条件は次の通りである。

サンプリングレート	25 μ sec
ハイカットフィルタ	1536 Hz
ゲイン	34~74 dB
タイミングライン	0.1 msec/LINE
スタック回数	1~4回

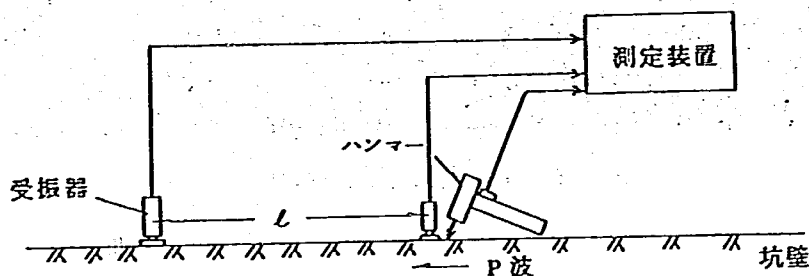


図-2.2.6 簡易弾性波速度測定の概要

2.2.6 点載荷試験

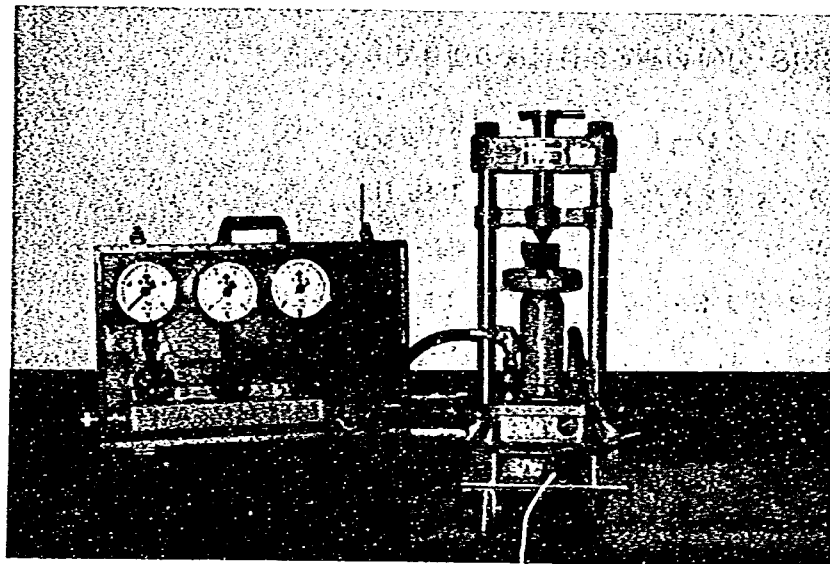
点載荷試験は、上下から円錐形の加圧体により供試体をはさんで加圧し、破壊時の載加點距離と荷重を求め、これから供試体の強度を求める試験である（図－2.2.7）。供試体は不定形でよいが、載荷點間距離を直径とする球が、供試体のなかに完全に含まれるものでなければならない。二つの載荷點周囲の岩石表面は、できるだけ互いに平衡な方が良く、また、載荷點間距離すなわち供試体の厚みは、5 cm前後が望ましい。本調査では、ほぼ5 cmの供試体が多いが、Cダムについては、火山閃岩であることから約5 cmの供試体の採取は難しく、載荷點間隔にばらつきがある。また、Cダムについては、礫部は除き、主に基質部分を用いて試験した。点載荷強度は、一般には次のように求める。

$$\text{点載荷強度 (Is)} = \text{荷重} / (\text{破壊時の載荷點の間隔})^2 \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

これを、供試体厚さによる校正曲線（図－2.2.8）により厚さ50 mmにおける値に補正する。（ただし今回は、測定個数をふやすために測定項目数の少ない簡易な方法

$$\text{簡易点載荷強度} = \text{荷重} / (\text{供試体厚さ})^2 \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

を用いている。なお、今回の供試体を用いて行なった点載荷強度 / 簡易点載荷強度は、約1.5である（図－2.2.9）ので、正式な値を必要とする際はこれを参考に補正する。）



図－2.2.7 点載荷試験機の例

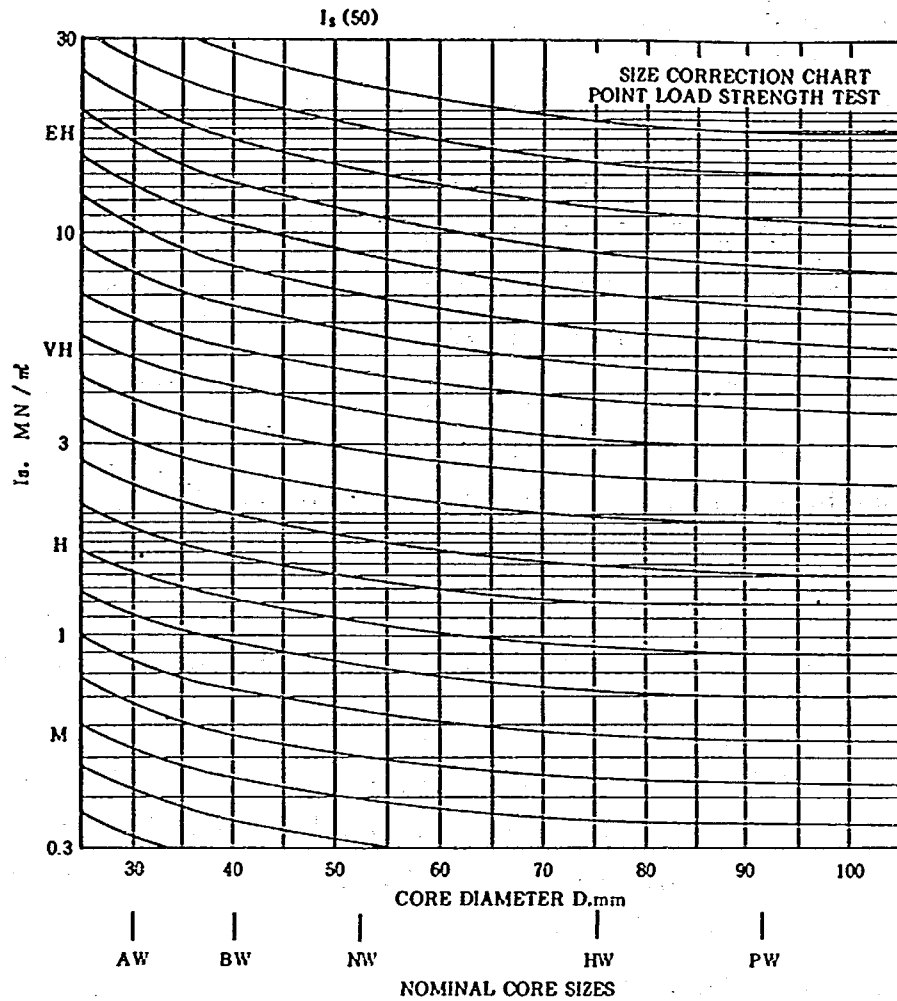


図-2.2.8 供試体厚さによる点載荷強度較正曲線
(E. BROCH, J. A. FRANKLIN 1972)

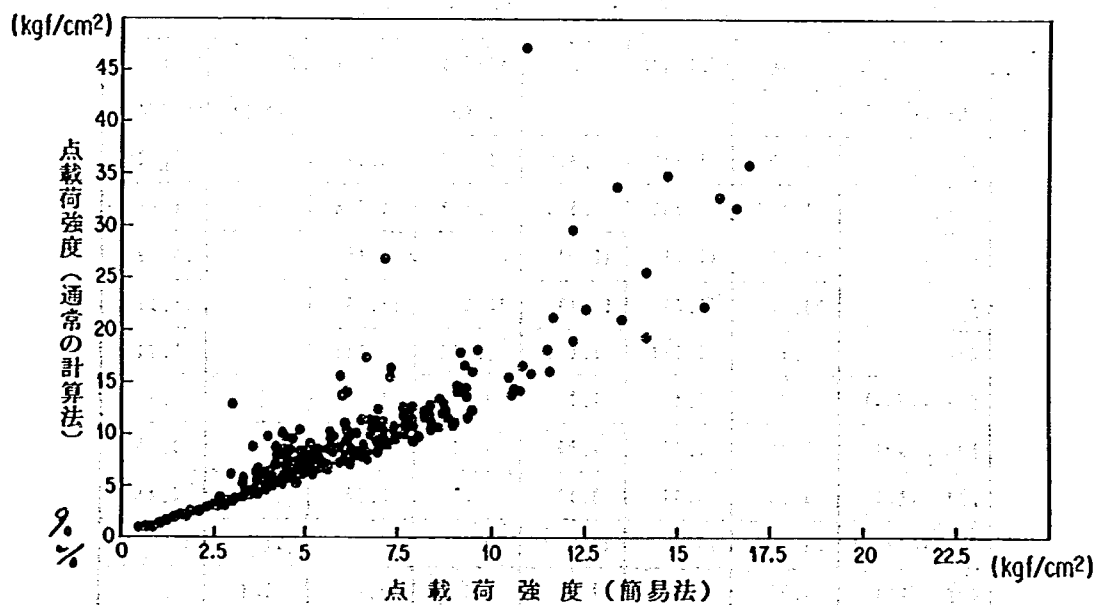


図-2.2.9 点載荷強度 (今回用いた簡易法) と通常の試験法の関係
と通常の試験法の関係

3. 調査・試験結果

3.1 肉眼観察

調査対象としたブロックのスケッチ及び(1)地質、(2)割れ目、(3)面の整形法、(4)面の状況、(5)地下水、等の状況について肉眼観察を行なった結果を巻末①～⑧に示す。

Aダムの場合、泥岩部は硬質でハンマー打診で貝殻状に割れることが多いが、亀裂も多い。しかし、亀裂の多くは密着している。一方砂岩や凝灰角礫岩は、亀裂が少なく軟質であり、ハンマーの打撃によって塊状に砕ける。軽石質凝灰角礫岩（軽石凝灰岩）は、ハンマーの軽打～中打で塊状～小片状に砕ける傾向があり、Aダムサイトのなかでは最も軟質である。

Bダムの細粒～中粒砂岩は、わずかに潜在的な低角度の割れ目が認められるが、面は密着している。ハンマーの中～強打で塊状に破碎し、中打で表面が凹む。

Cダムの火山円礫岩は、全体に良く固結しており、基質はハンマーの中打で凹むが、礫の剥離は強打でないと難しい。礫部は一般に基質と良く膠結しており、ハンマーの打撃によって金属音を発して反発する。

調査対象となる岩種の平均的な硬さを肉眼観察およびハンマー打診の結果から比較すると、最も硬質なのはAダムの泥岩部と考えられる。最も脆弱なのは、軽石質凝灰角礫岩である。しかし、その他の岩種の硬軟の差は微妙であり、粒度、円礫、亀裂等の状況が判断をさらに難しくしている。

3.2 岩石物理試験および簡易試験

岩種毎の岩石物理試験（密度、間隙率、真比重）、針貫入試験（原位置測定）、シュミットハンマー試験、簡易弾性波速度測定、点载荷試験（湿潤）の結果を表-3.2.1に示す。

表-3.2.1 各試験による平均値

岩種	Aダム泥岩	Aダム凝灰角礫岩	Aダム砂岩	Aダム軽石質凝灰角礫岩	Bダム砂岩	Cダム火山円礫岩 (密着)	Cダム火山円礫岩 (主に基質のみ)
試験項目							
湿潤密度	1.908	1.810	1.960	1.476	2.127	—	2.225
乾密度	1.426	1.338	1.540	0.803	1.766	—	1.937
含水率	48.12	47.21	42.04	67.28	34.35	—	28.69
真比重	33.80	35.51	27.49	85.24	19.29	—	15.27
真比重	2.751	2.525	2.655	2.455	2.711	—	2.718
針貫入試験(原位置)	1.7	1.4	1.2	0.9	1.4	—	1.3
針貫入試験(湿潤)	2.35	2.52	1.99	0.45	1.91	—	2.15
針貫入試験(乾重)	4.39	4.37	3.32	0.86	2.73	—	3.48
シュミットハンマー試験	24	17	13	6.8*	18	21	18
弾性波速度(P波)	2.3	2.1	2.1	1.7	2.1	2.4	
点载荷試験(湿潤)	7.77	7.30	4.68	1.70	4.80	—	9.16
点载荷試験(乾重)	10.99	10.75	7.34	3.41	5.97	—	12.85

* 打撃角による補正を行った値

岩石物理試験結果によると、密度が最も高いのはCダム火山円礫岩で、次にBダム砂岩、Aダム砂岩、泥岩、凝灰角礫岩、軽石質凝灰角礫岩(軽石凝灰岩)の順である(図-3.2.1)。岩石の強度と負の相関が高いと言われる間隙率は、最も高いのが軽石質凝灰角礫岩で約67%,次に泥岩および角礫凝灰岩(軽石凝灰岩)で約47~48%,火山円礫岩は最も間隙が少なく、約29%であった。

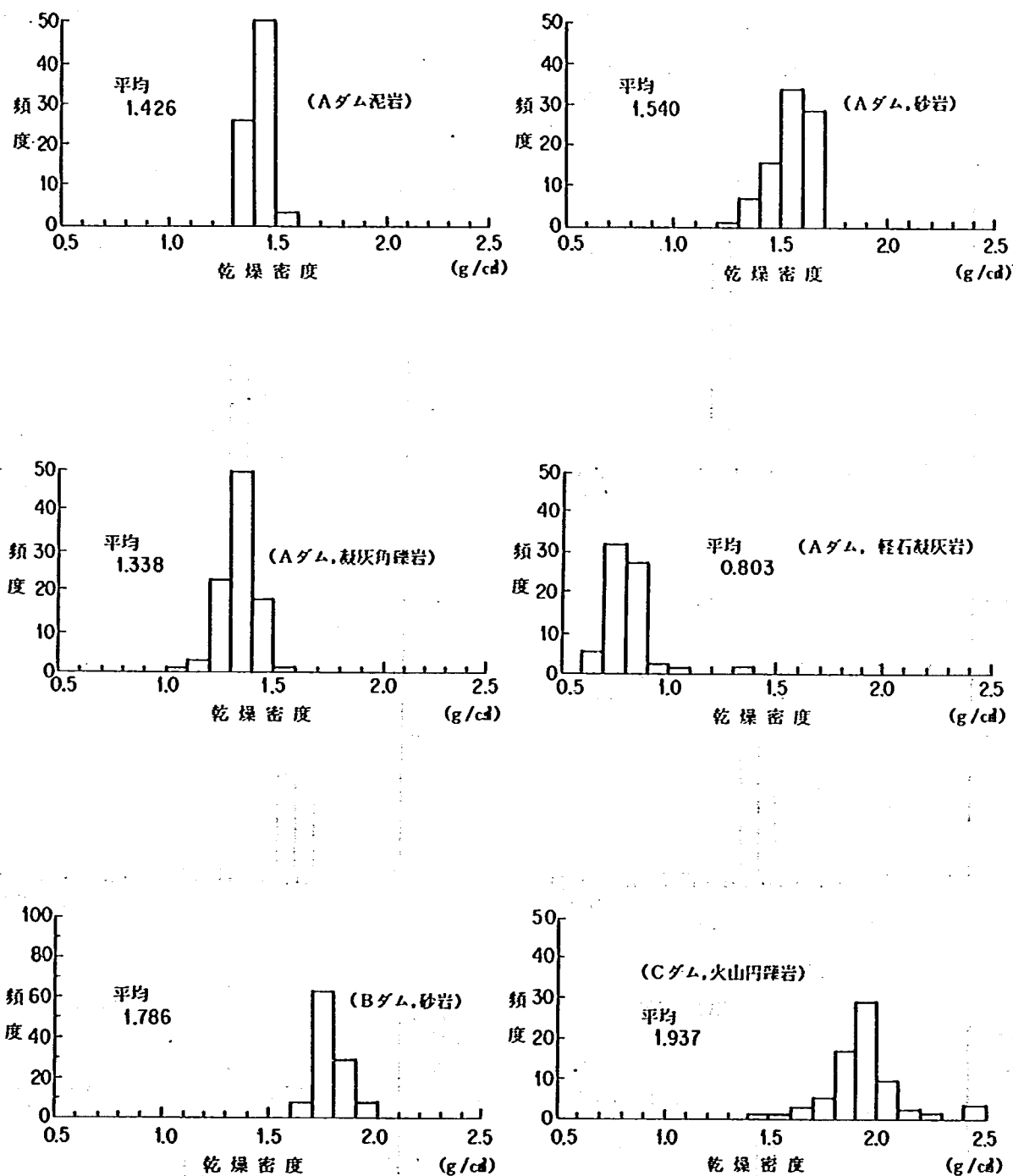


図-3.2.1 各岩種毎の乾燥密度ヒストグラム

針貫入試験（原位置測定）によると、Aダムの泥岩が平均1.7 (kgf/mm) と最も高く、凝灰角礫岩は平均1.4 (kgf/mm)、砂岩は平均1.2 (kgf/mm)、軽石質凝灰角礫岩(軽石凝灰岩)は平均0.9 (kg/mm) と、同じダムサイトでも平均値で最大2倍弱の相違がある。Bダムの砂岩は、平均1.4 (kg/mm)、Cダムの火山円礫岩は平均1.3 (kg/mm) と、ほぼ同じ強度を示している。これは、Aダムの砂岩～凝灰角礫岩に相当する値である（図-3.2.2）。なお、針貫入試験は、湿潤状態および絶乾状態でも行なっているが、湿潤状態での測定の方が原位置測定より高い値を示した。これは原位置測定が表面の風化や緩みの影響を受けたものと考えられる（図-3.2.3）。

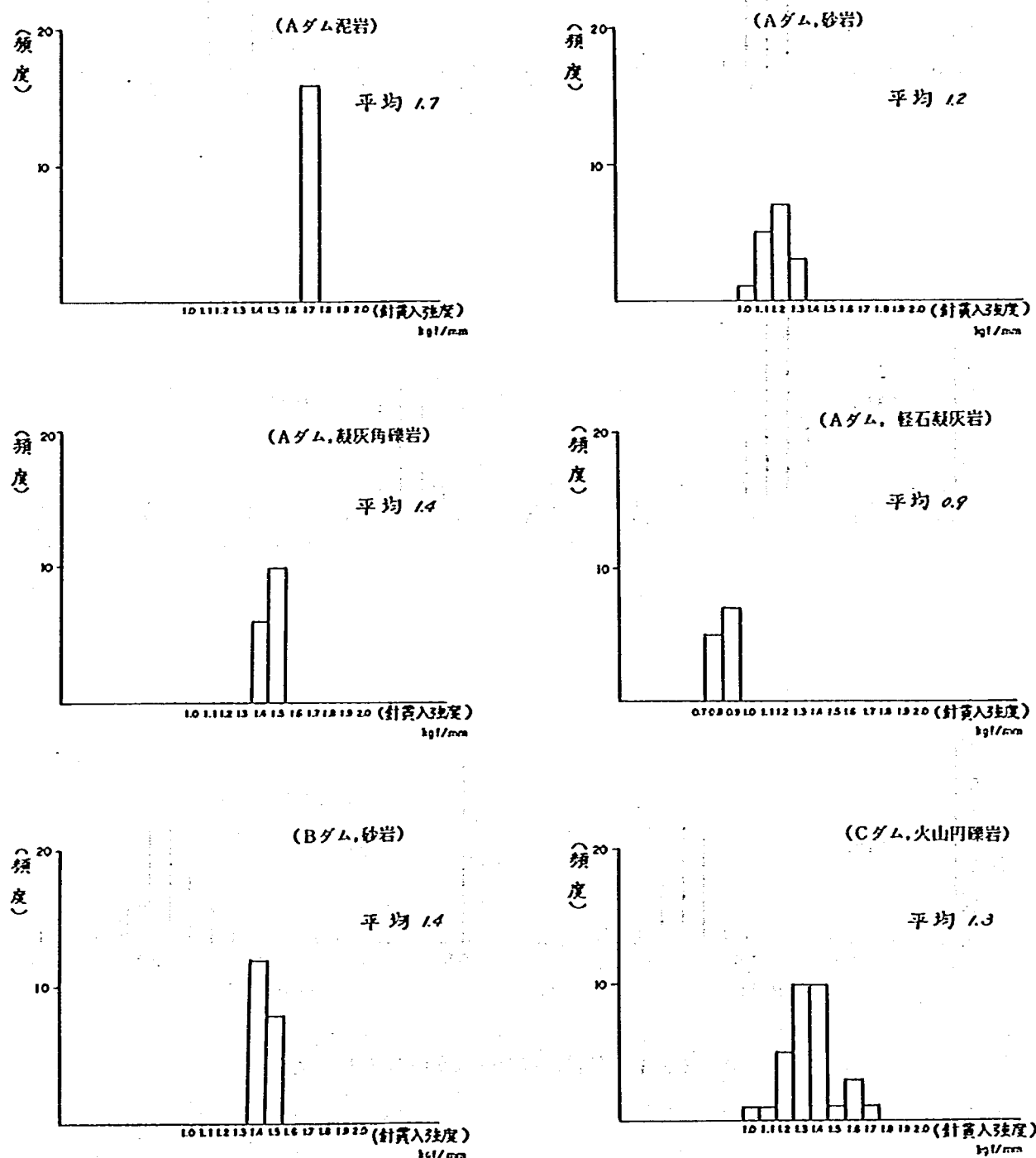


図-3.2.2 針貫入強度の頻度分布

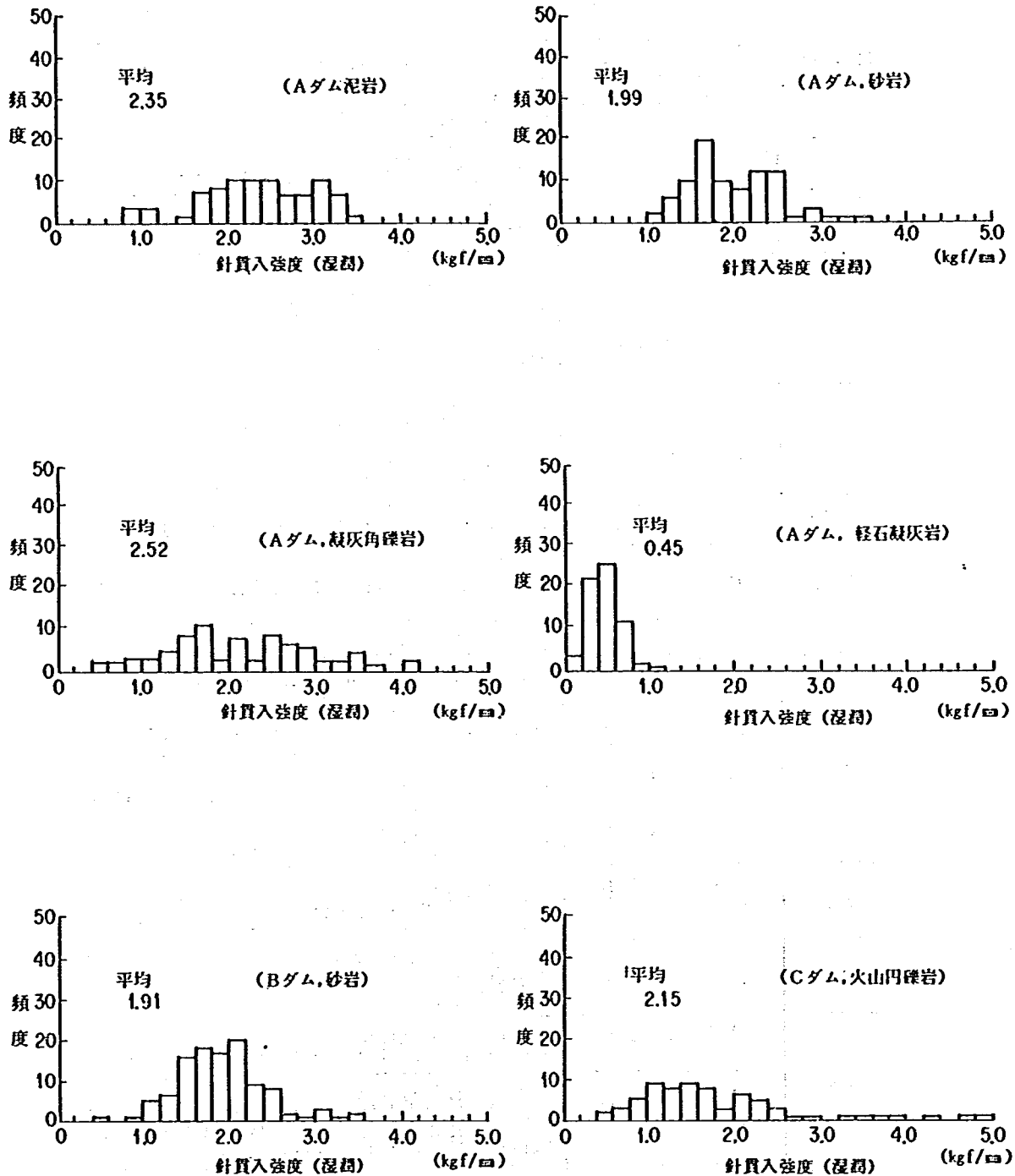


図- 3.2.3 各岩種毎の針貫入強度 (湿潤) ヒストグラム

Aダムのボーリングコアを用いた針貫入試験 (風乾測定) では、泥岩部は平均 $1.9 \sim 2.0$ (kgf/mm^2) であり原位置測定に比較して約 $1.1 \sim 1.2$ 倍、砂岩部は平均 $1.7 \sim 1.9$ (kgf/mm^2) であり原位置測定に比較して約 $1.4 \sim 1.6$ 倍、凝灰角礫岩は平均 1.8 (kgf/mm^2) であり同じく 1.3 倍、軽石質凝灰角礫岩は平均 0.8 (kgf/mm^2) であり約 1.1 倍というように、岩種毎に硬さの比がかなりの割合で異なっているのが特徴的である (表- 3.2.2)。

表-3.2.2 ダムB-40孔ボーリングコア（風乾）の針貫入試験結果

地質区分	岩 種	針 貫 入 試 験 結 果
Tf _M	砂岩・泥岩（礫岩）互層	平均 0.4 kgf/cm ² 風化のため強度が低い。
	泥 岩	平均 0.8 kgf/cm ² ほぼ 0.5~2.0 kgf/cm ² で値のばらつき大きい。
Tb ₃	凝灰角礫岩	平均 2.1 kgf/cm ² ほぼ 0.2~3.3 kgf/cm ² で値のばらつき大きい。 （礫の含有率高いために値がばらつく）
	含軽石凝灰質砂岩	平均 2.1 kgf/cm ² ほぼ 0.5~3.3 kgf/cm ² で値のばらつき大きい。
Ms	砂岩・泥岩互層	平均 2.7 kgf/cm ² ほぼ 0.5~3.5 kgf/cm ² で値のばらつき大きい。
	泥 岩	平均 1.1 kgf/cm ² ほぼ 0.5~1.5 kgf/cm ² にやや集中している。
Tf	軽石凝灰岩	平均 0.8 kgf/cm ² ほぼ 0.5~1.0 kgf/cm ² に集中している。
Al ₁	泥質岩互層	平均 1.6 kgf/cm ² ほぼ 0.5~3.0 kgf/cm ² で値のばらつき大きい。
Tb ₂	軽石質凝灰角礫岩	平均 0.8 kgf/cm ² ほぼ 0.5~1.0 kgf/cm ² に集中し、1.0kgf以上もまれに含まれる。
Tb ₁	凝灰角礫岩	平均 2.5 kgf/cm ² ほぼ 0.5~3.5kgf/cm ² で値はばらつき、37~38cmの付近に100kgf/cm ² 以上の硬質部分を介在する。
Al ₂	凝灰質中粒~細粒砂岩	平均 1.8 kgf/cm ² ほぼ 0.5~2.5 kgf/cm ² で値のばらつき大きい。
	粗粒砂岩	平均 1.9 kgf/cm ² ほぼ 1.5~2.25kgf/cm ² にやや集中するが、ばらつく。
	細粒砂岩	平均 2.0 kgf/cm ² ほぼ 1.5~2.5 kgf/cm ² に集中する。
S ₂	粗粒~極粗粒砂	平均 1.7 kgf/cm ² ほぼ 1.5~2.0kgf/cm ² に集中し、2.0kgf/cm ² 以上は極少量で 0.5~1.5kgf/cm ² にばらついている。
Ms	泥 岩	平均 1.9 kgf/cm ² 2.0kgf/cm ² 付近に良く集中している。1.5kgf/cm ² 以下はほとんどない。
Tb ₀	凝灰質泥岩	平均 3.5 kgf/cm ² 3.0~3.5 kgf/cm ² に集中している。
	軽石質凝灰角礫岩	平均 1.9 kgf/cm ² 1.0~1.3に集中が認められ、1.0~2.0kgf/cm ² にほとんど認められる。一方、局部的に30~100 kgf/cm ² の硬質部が含まれる。
	凝灰角礫岩と凝灰質砂~泥岩互層	平均 2.6 kgf/cm ² 1.5~4.0 kgf/cm ² で値のばらつき大きい。
Tf ₄	極粗粒砂岩	平均 1.2 kgf/cm ²

シュミットハンマー試験によると、Aダムの泥岩が平均24、凝灰角礫岩が平均17、砂岩が平均13、軽石質凝灰角礫岩は平均10（打撃角の補正を行うと平均6.8）である。また、Bダムの砂岩、Cダムの火山円礫岩（基質部のみ）ともに平均18であり、火山円礫岩は礫部も含めると平均21である。データのばらつきは針貫入試験に比較して泥岩で大きい、これはシュミットハンマー反発度が泥岩に発達している亀裂の影響を受けているのかも知れない（図-3.2.4）。

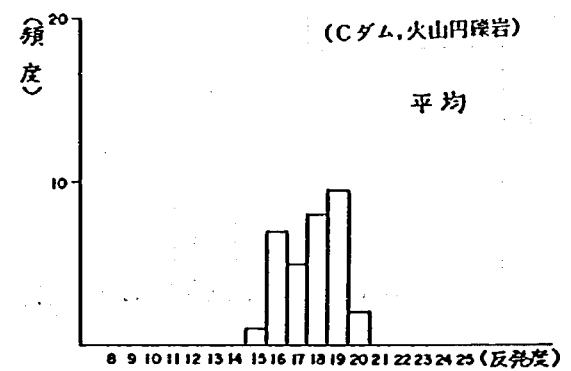
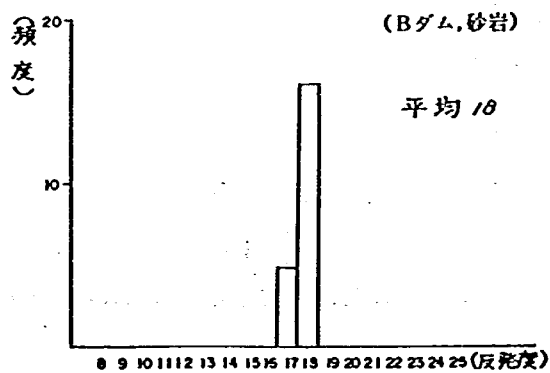
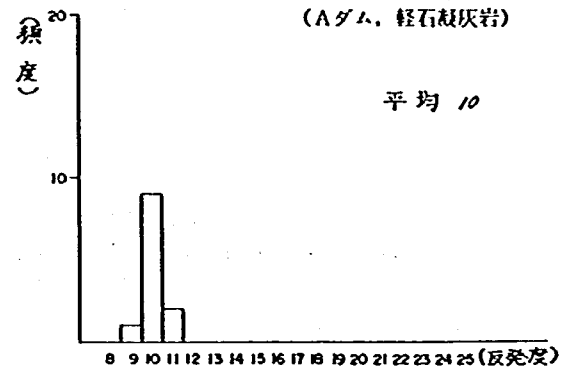
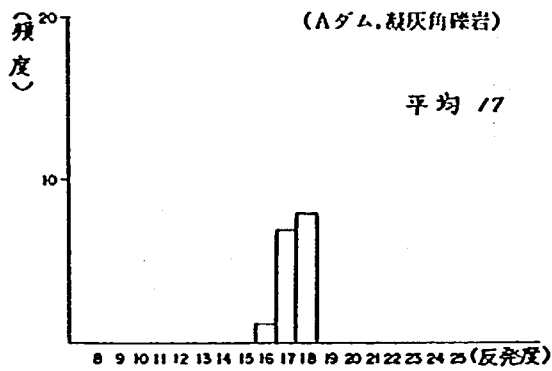
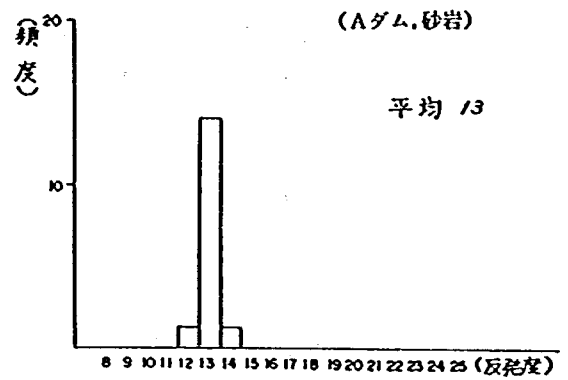
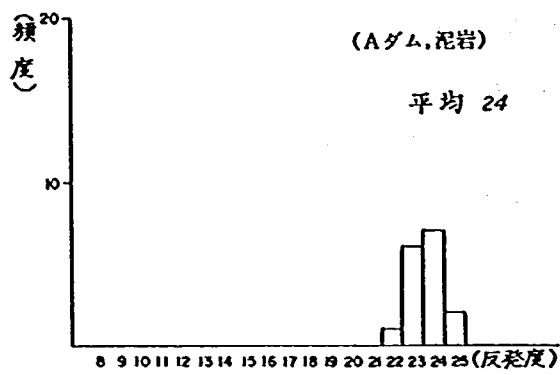


図- 3.2.4 シュミットハンマー反発度の頻度分布

簡易弾性波（P波）速度測定の結果によると、Aダムの泥岩で平均2.3 (km/sec)、軽石質凝灰角礫岩（軽石凝灰岩）で平均1.7 (km/sec)、Bダム砂岩で平均2.1 (km/sec)、Cダム火山円礫岩で平均2.4 (km/sec)であった。弾性波はばらつきが大きく、同じ岩種でも最高速度と最低速度の比が2倍近くに達しているものもあり、また、Cダムの火山円礫岩の速度の方がAダムの泥岩よりも高い値を示すという、針貫入試験やシュミットハンマー試験とは異なる結果が得られた（図-3.2.5）。

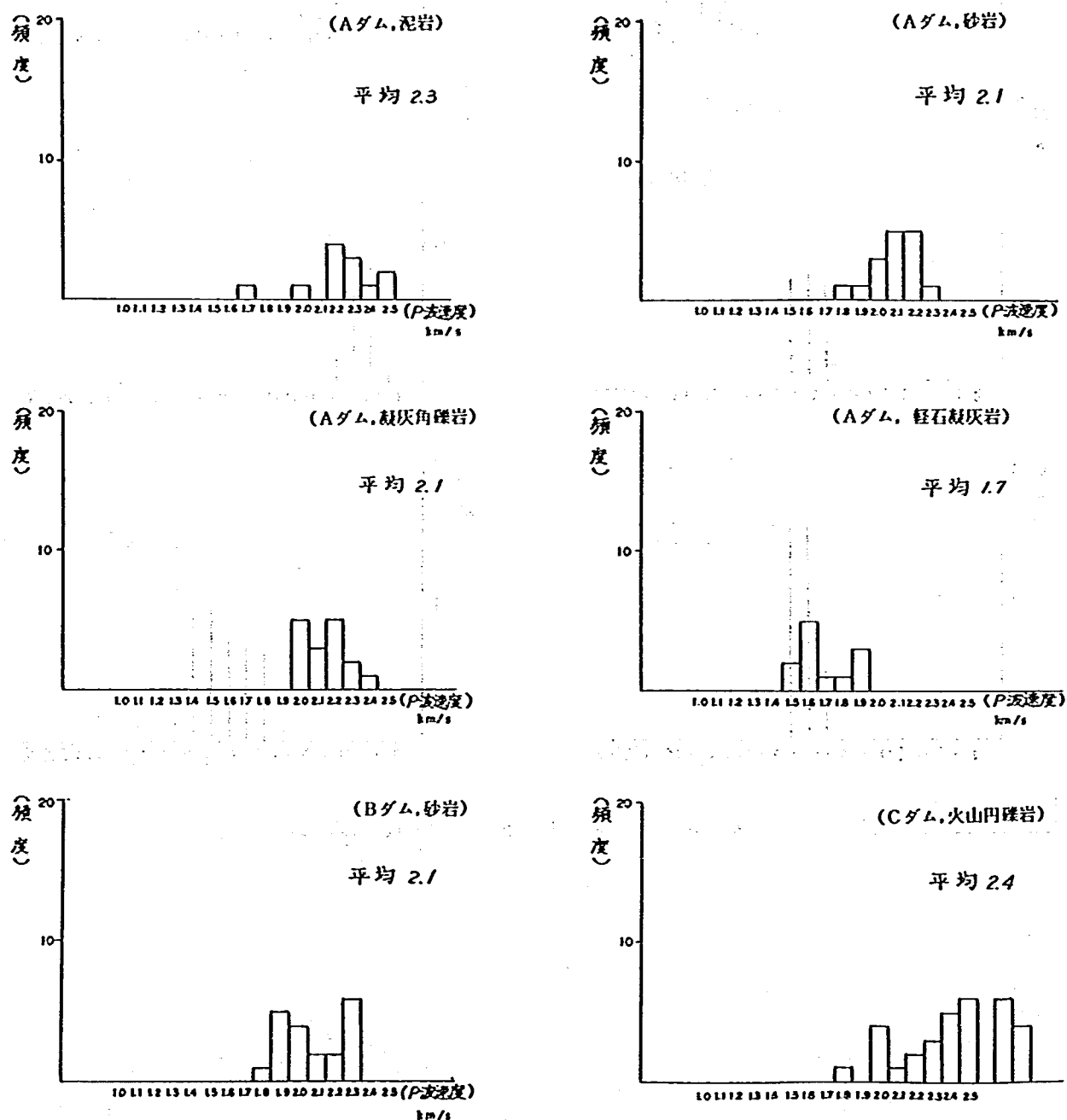


図-3.2.5 P波速度の頻度分布

点載荷試験（湿潤）によると、Cダム火山閃輝岩が平均9.16 (kgf/cm²) で最も高く、次がAダム泥岩の7.77 (kgf/cm²)、軽石質凝灰角礫岩（軽石凝灰岩）は1.70 (kgf/cm²) と最も脆弱である。点載荷試験（絶乾）においてもほぼ同様な結果が得られた（図-3.2.6）。

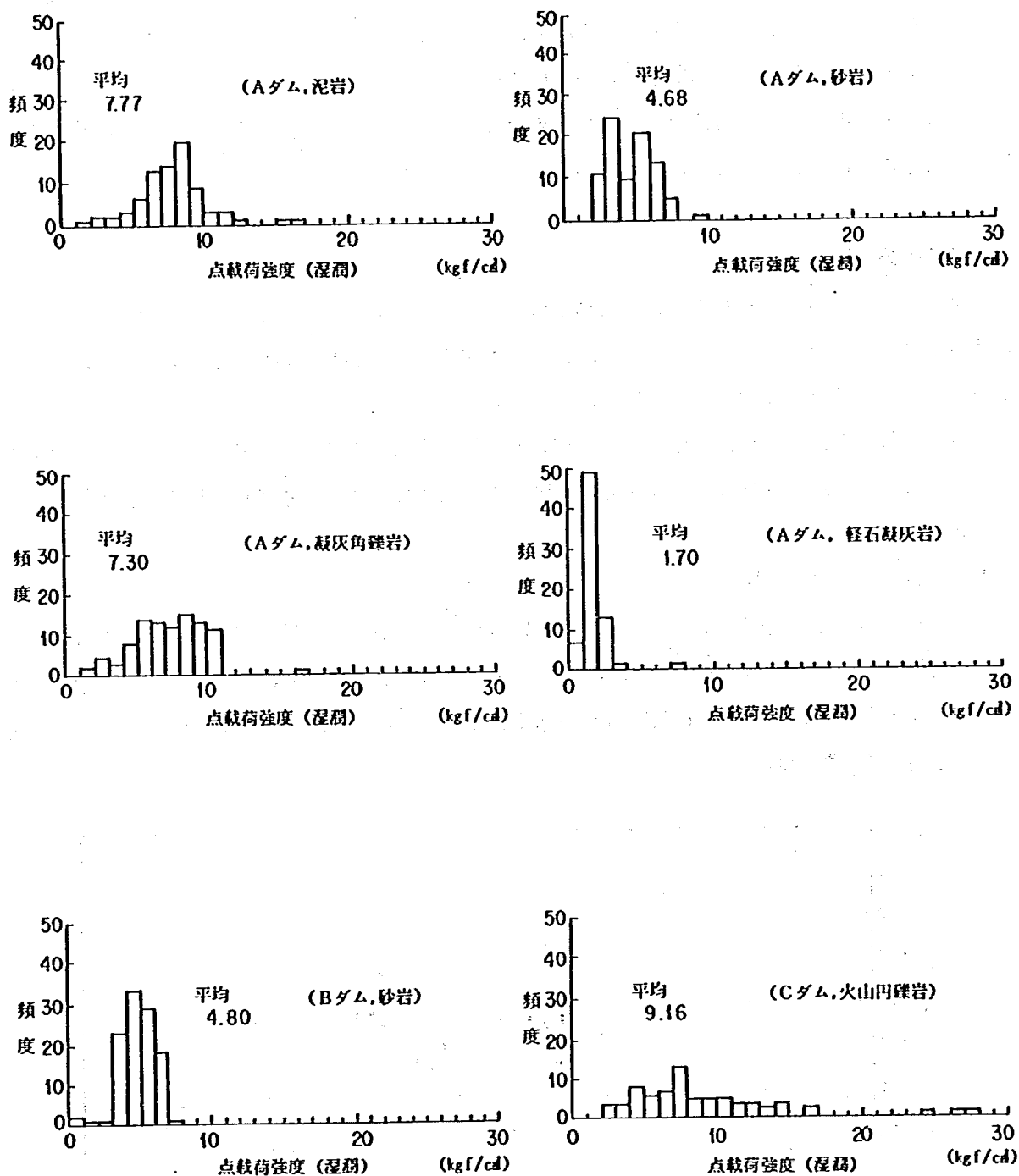


図-3.2.6 各岩種毎の点載荷強度（湿潤）ヒストグラム

試験結果を比較すると、一般にAダムの泥岩が高い値を示し、同じくAダムの軽石質凝灰角礫岩が最も低い値を示している。この傾向は、肉眼観察とはほぼ一致する。しかし、肉眼観察ではその他の岩種については、硬軟を比較するのは難しかった。この点に関して岩石物理試験、針貫入試験、シュミットハンマー試験、点载荷試験は有意な差をもって区別できると判断される。しかし、弾性波速度ばらつきが大きいだけでなく、火山角礫岩の方が泥岩よりも高い値を示すなど、他の試験の傾向と多少異なっており、全体の測定個数が少ないという問題もあるが、それ以上に有意な差があると考えられる。弾性波速度等は、その他の簡易試験と異なり微小歪領域での測定であることから、このように値が異なることについてはなんらかの原因を考える必要がある。

3.3 試験値の相関

3.2に示したように、それぞれの調査結果は微妙に異なっていることから、実際の調査においてはいずれかひとつだけを用いるのではなく、複数の方法を組み合わせるのが望ましい。また、シュミットハンマー試験はボーリングコアでは試験できず、逆に点载荷試験はサンプリングが必要であるというように、各調査方法の制約よりお互いに補いあう様に複数の方法を使用せざるを得ない場合もある。このような場合に、それぞれの試験間の相関関係や試験条件（主に含水条件）による相違等を知っておく必要がある。

3.3.1 岩石物理試験と簡易試験

一般に岩石の強度と相関性があると言われている有効間隙率と各簡易試験の相関を、各岩盤試験面毎の平均値で相関をみたのが図-3.3.1～3.3.7である。どの試験も、わずかな負の相関が認められるが、間隙率の高い3点（軽石凝灰岩）を除くとその他の岩は間隙率や試験値のばらつきが重複しており相関は不明瞭である。

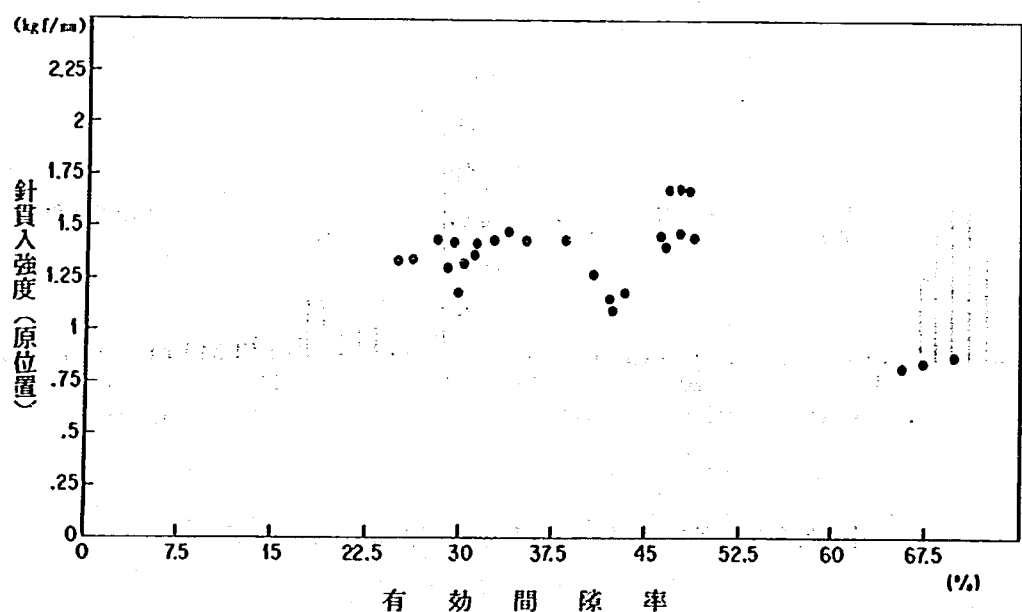


図-3.3.1 有効間隙率と針貫入の強度（原位置測定）の関係
（原位置測定）の関係

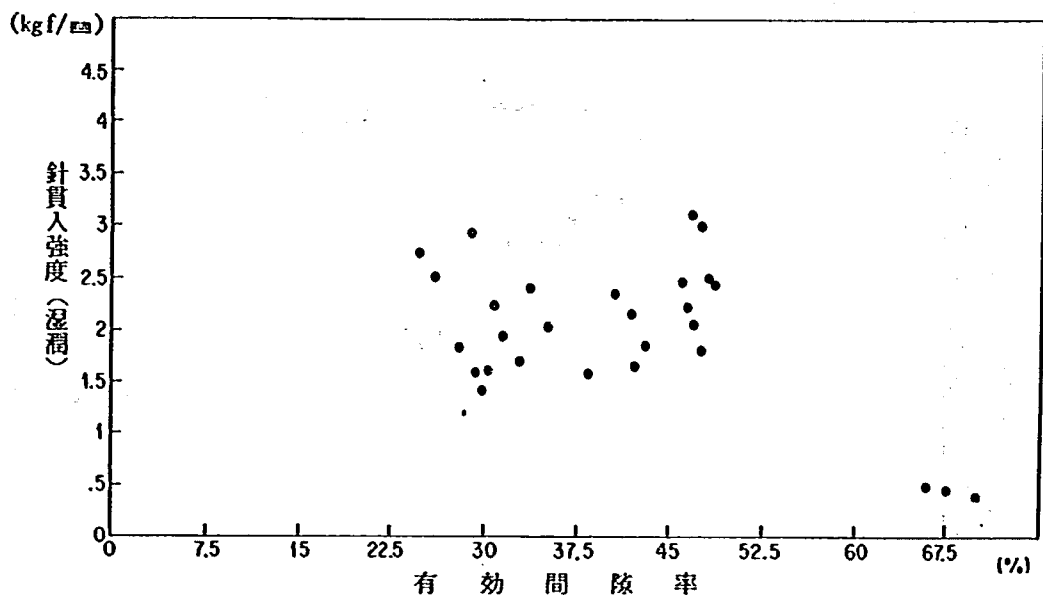


図- 3.3.2 有効間隙率と針貫入強度 (湿潤測定) の関係

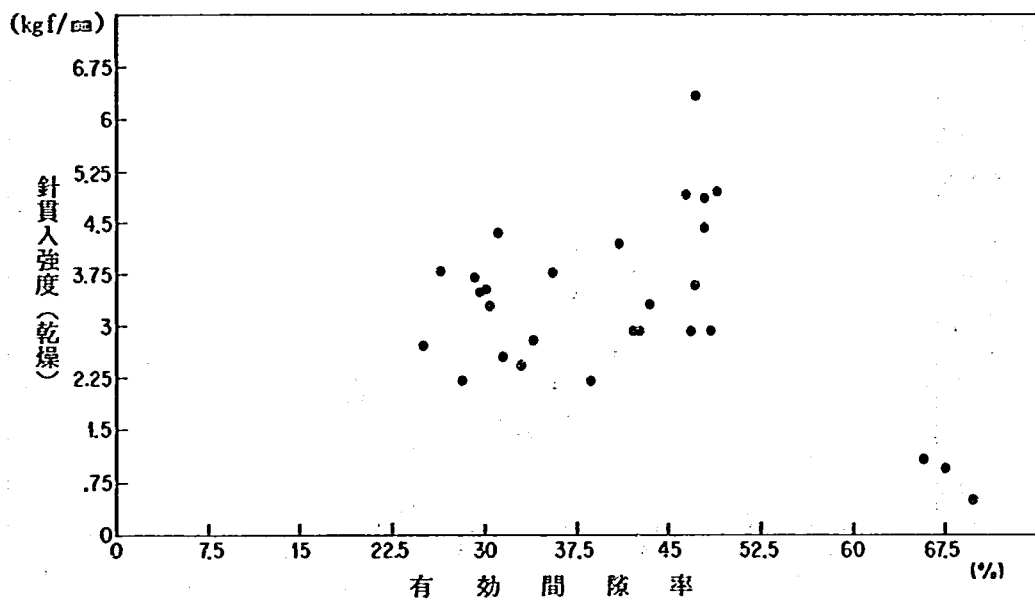


図- 3.3.3 有効間隙率と針貫入強度 (絶乾測定) の関係

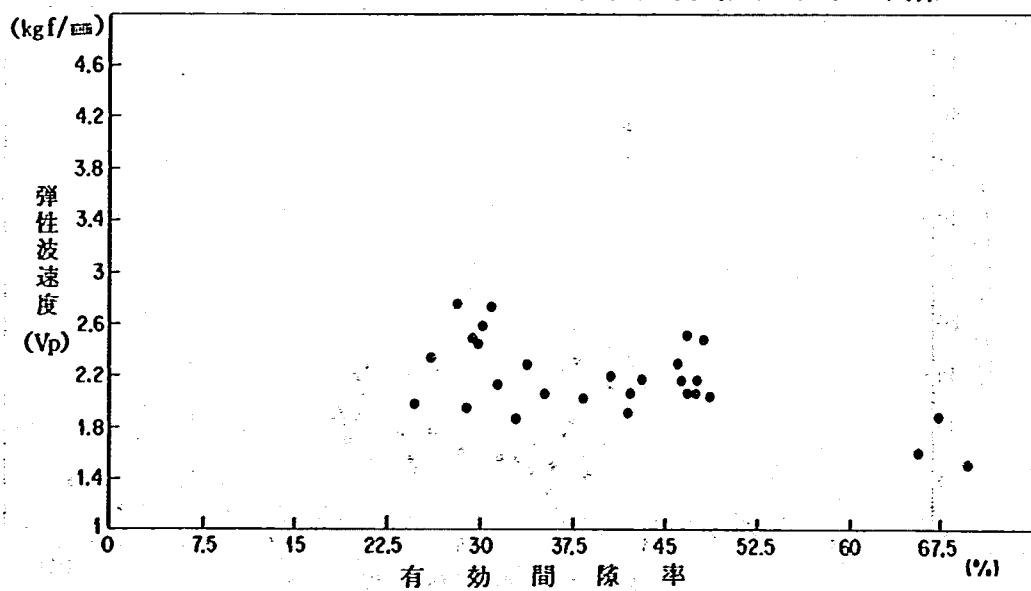


図- 3.3.4 有効間隙率と弾性波速度の関係

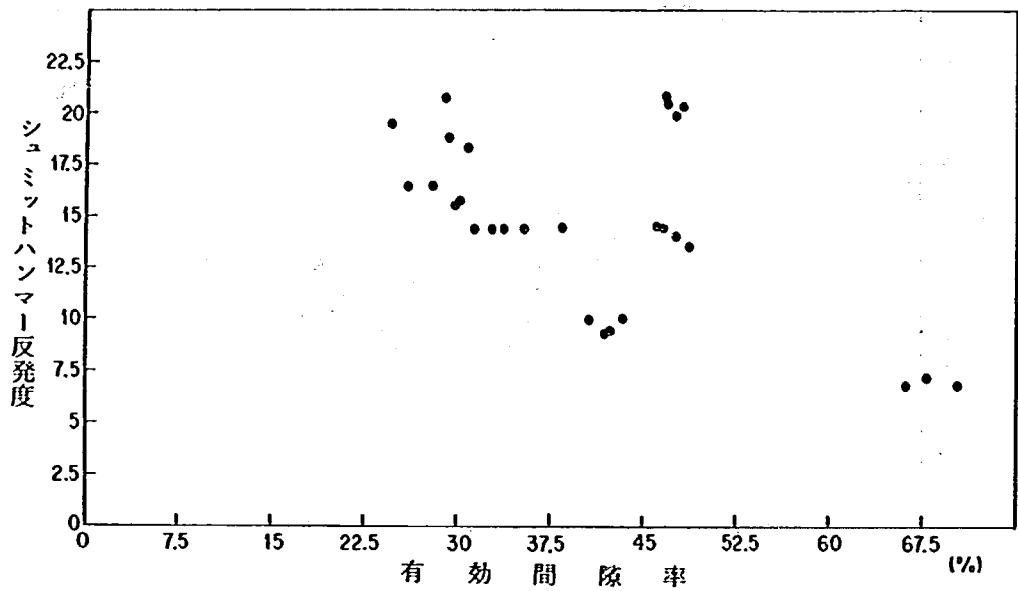


図- 3.3.5 有効間隙率とシュミットハンマー反発度の関係

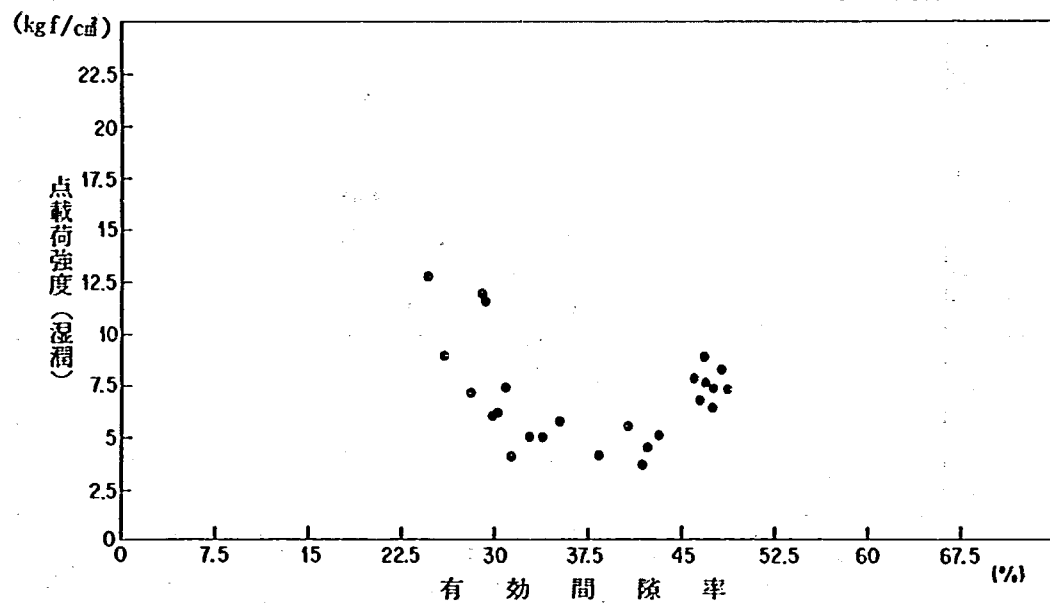


図- 3.3.6 有効間隙率と点荷荷強度(湿潤)の関係

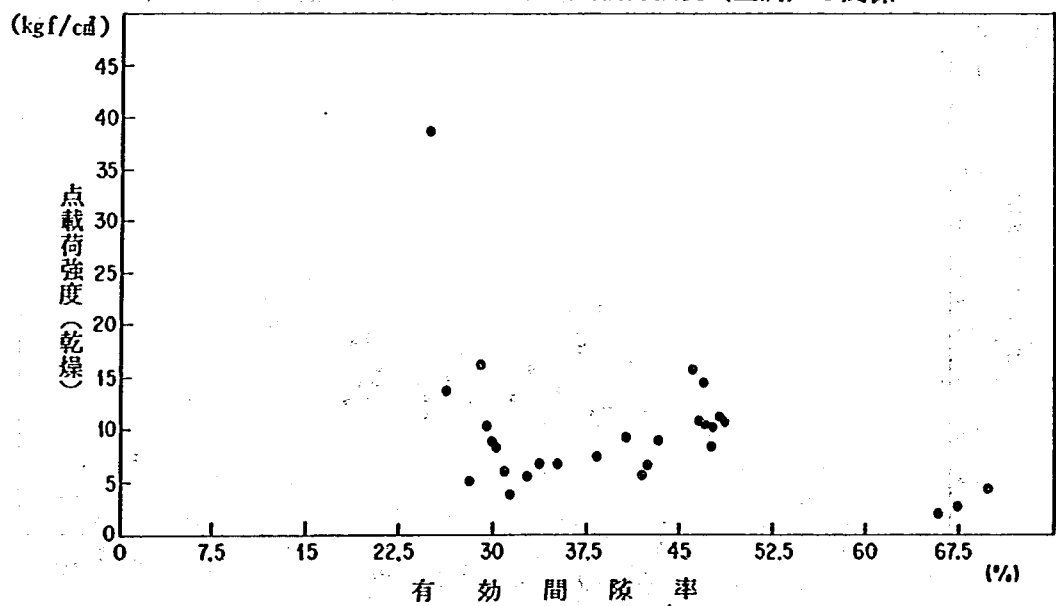


図- 3.3.7 有効間隙率と点荷荷強度(絶乾測定)の関係

3.3.2 各簡易試験間の相関

各岩盤試験面毎の平均値による、試験値間の相関を図- 3.3.8 ~ 3.3.13 に示す。どの試験値間にも正の相関が認められるが、比較的相関のよいのはシュミットハンマー試験と点载荷試験で、点载荷試験と針貫入試験なども相関がよい。

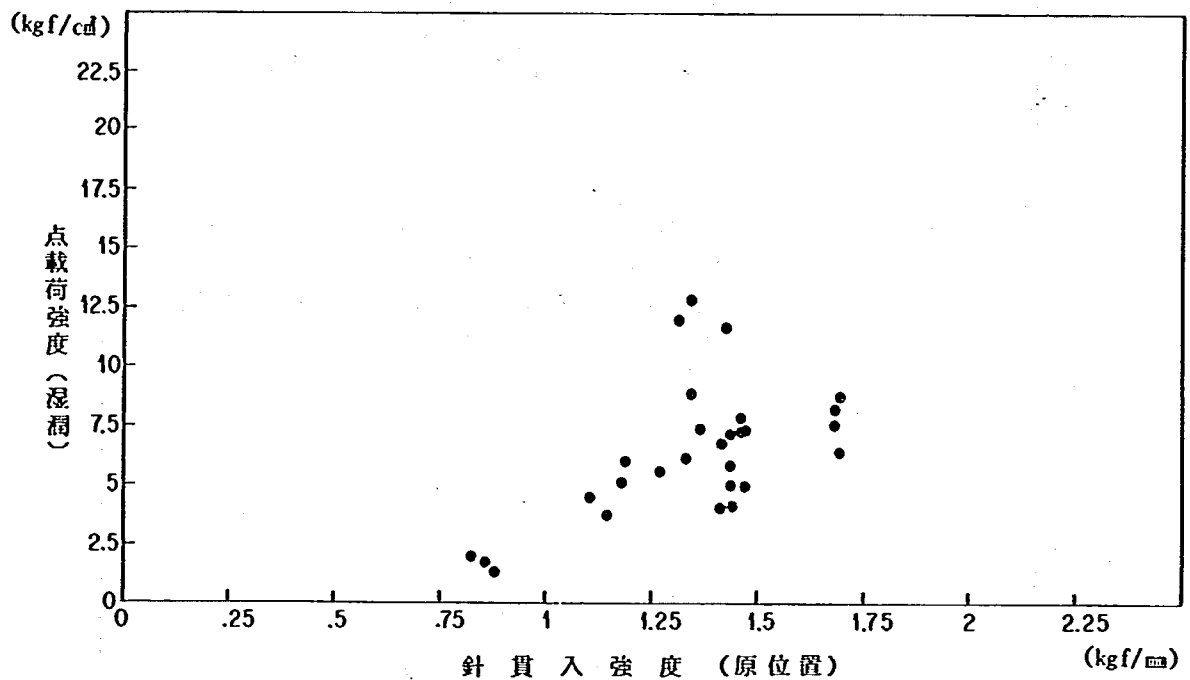


図- 3.3.8 針貫入強度と点载荷強度の関係

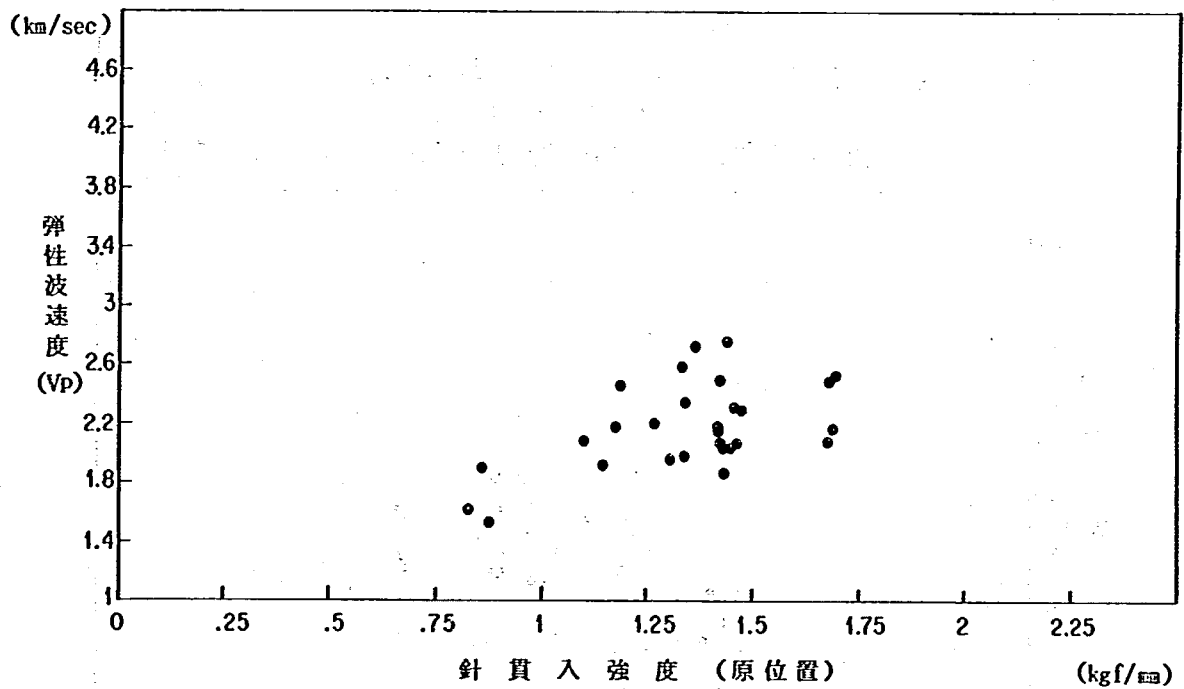


図- 3.3.9 針貫入強度と弾性波速度の関係

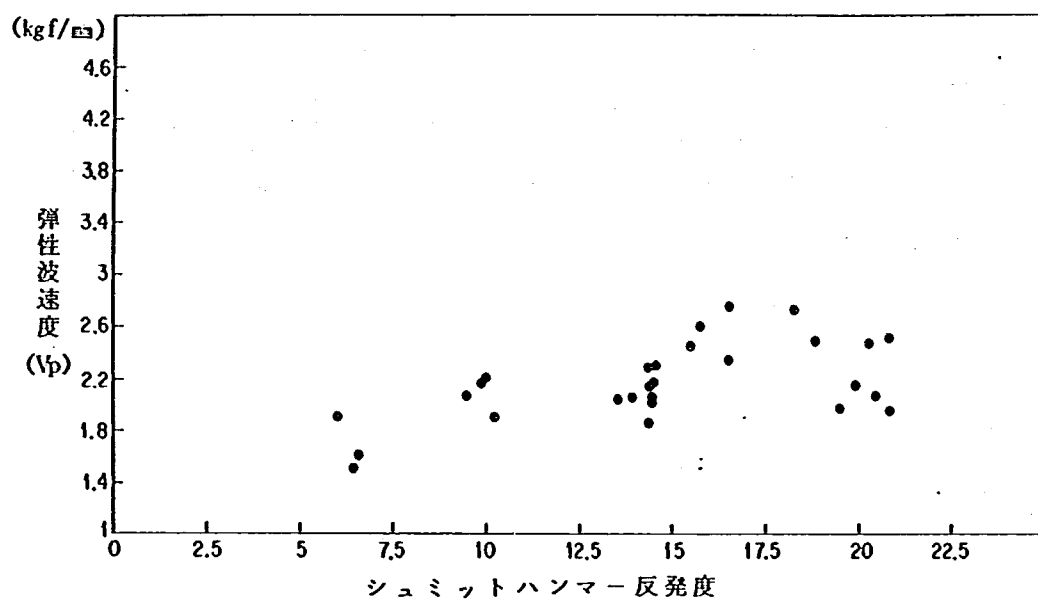
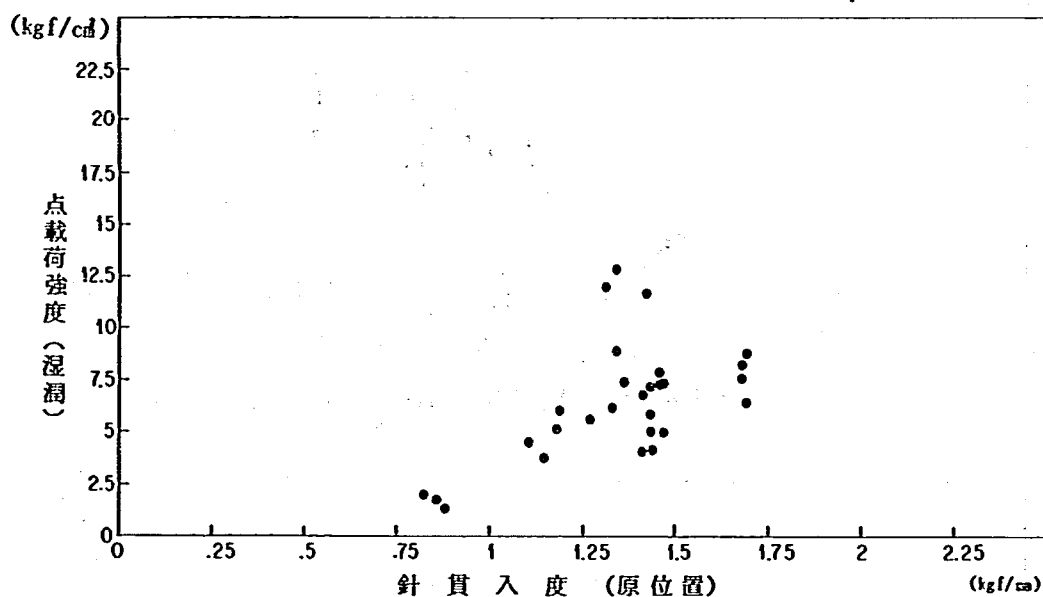
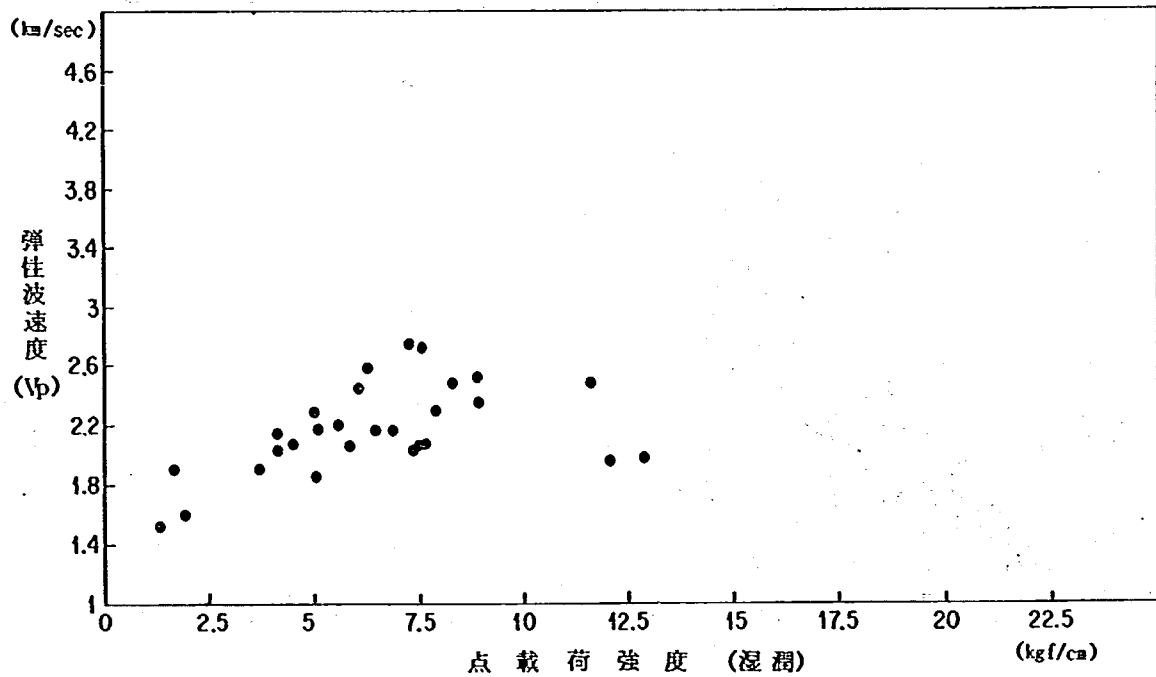


図- 3.3.10 シュミットハンマー反発度と弾性波速度 (V_p) の関係

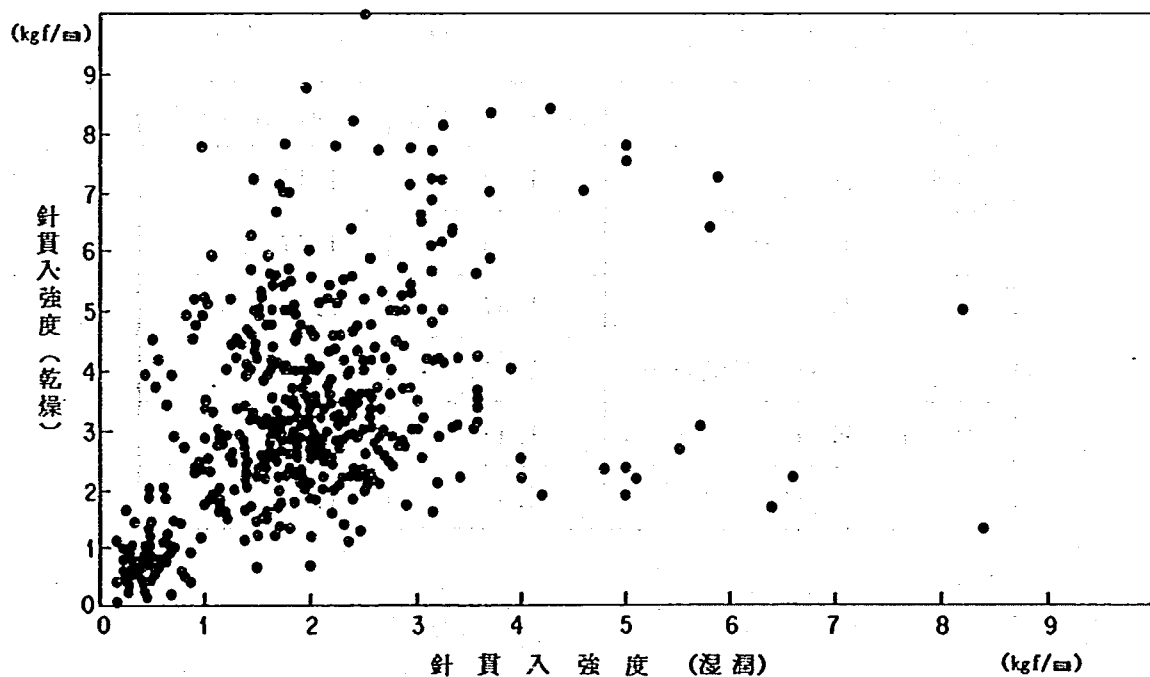




図－ 3.3.13 点载荷強度（湿潤）と弾性波速度（Vp）の関係

3.3.3 含水条件による相違

針貫入試験と点载荷試験について同じ供試体を強制湿潤状態と強制乾燥状態の二状態での比較を行なってみたのが図－ 3.3.14, 3.3.15である。データは針貫入試験, 点载荷試験ともに一供試体あたり湿潤, 乾燥各1回の測定である。全体としては, 針貫入試験, 点载荷試験値ともに乾燥試料は湿潤試料の1.2 ～ 2.0 倍の値を示している。これは水分の蒸発による内部摩擦の上昇によるものと思われる。



図－ 3.3.14 含水条件による針貫入強度の相違

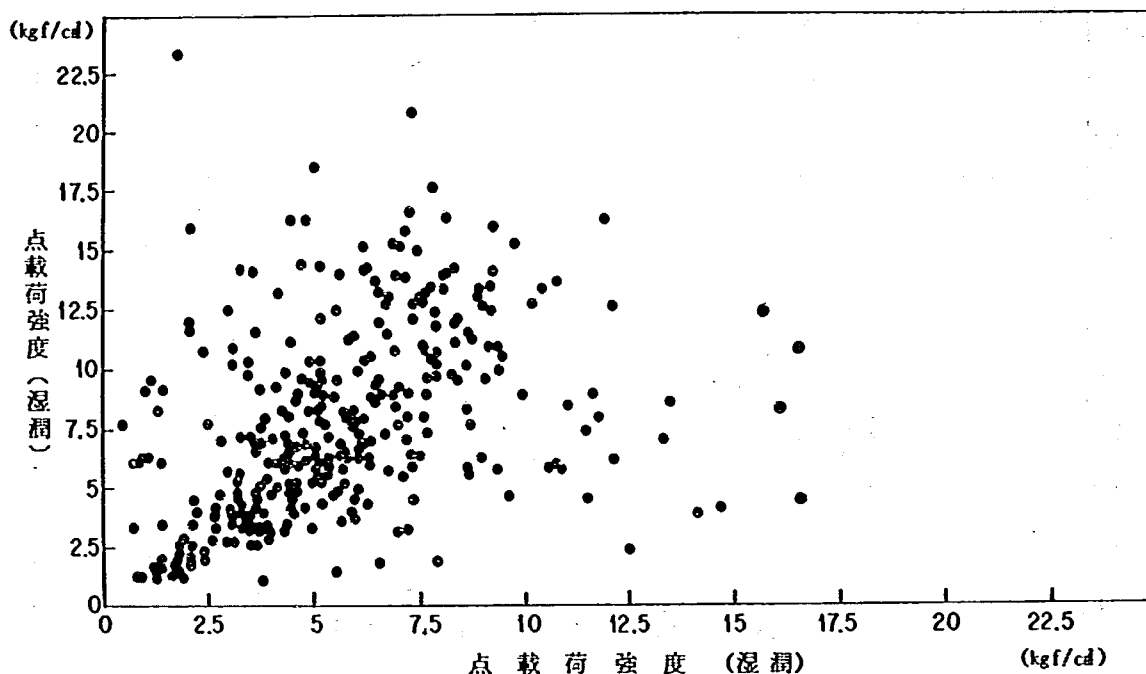


図- 3.3.15 含水条件による針貫入強度の相違

る。しかし、表- 3.3.1 に示す様に岩種によってその倍率は多少異なっている。一般に砂岩等は硬化率が低く、細粒分の含有率の高い岩石は硬化率が高い（ただし、泥岩は乾燥により供試体に亀裂の入るものがあるため、点载荷試験ではさほど強度上昇がみられない。しかし、亀裂のないものは2倍に近い硬化がみられる様である）。おそらく基質中に含まれる細粒分、特に粘土鉱物の含有率の相違等が影響しているのであろう。

表- 3.3.1 岩種による乾燥硬化率（乾燥強度／湿潤強度）の相違

ダム	岩種	針貫入試験(乾燥/湿潤)	点载荷試験(乾燥/湿潤)
Aダム	泥岩	1.87	1.42
	角礫凝灰岩	1.73	1.47
	砂岩	1.67	1.57
	軽石質凝灰角礫岩	1.917	2.00
Bダム	砂岩	1.43	1.24
Cダム	火山円礫岩	1.62、	1.40

3.4 原位置力学試験値との関係

それぞれの簡易試験の示す値は、亀裂を含まない「岩片」の強度の指標となるもの、亀裂も含めた「岩盤」としての強度を反映するもの、圧縮強度と相関の高いもの、引張強度と相関の高いもの、変形性と相関の高いもの等々、各試験固有の意味合いを持っている。現場への適用にあたっては、その試験によって求められる値の意味を考慮しつつ利用するならば、原位置試験との相関がそれほど高くなくとも利用の価値が失われるものではない。しかし各簡易試験の現場への適用の際に最も重要視されるのは、原位置試験との相関であろう。そこで、簡易試験と原位置試験との相関について検討した。

図-3.4.1は、今回調査対象の各試験面での原位置岩盤剪断試験における破壊時の強度である（軽石質凝灰角礫岩は剪断試験を行っていない。また、火山円礫岩8試験面のうち、4つは変形試験面であるので省略した）。異なった岩種・異なったダムサイトの試験結果を単純に比較することはできないが、5岩種の中では、Aダムの砂岩の強度が相対的に低く、Aダム泥岩やCダム火山円礫岩が高い強度を示している。

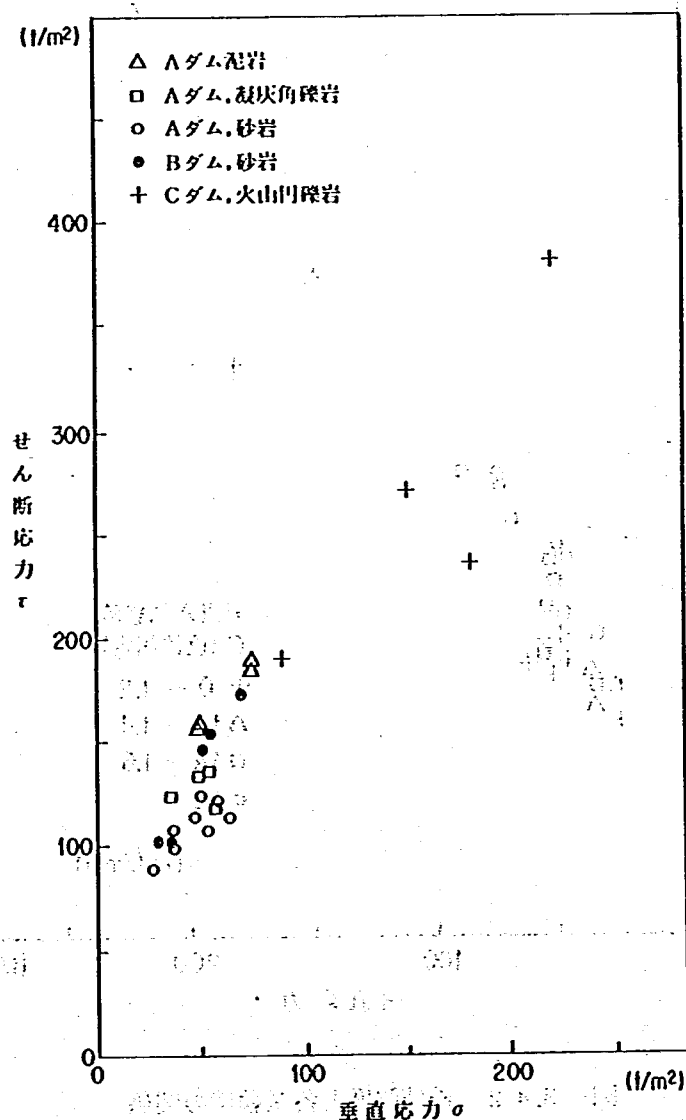


図-3.4.1 各岩における破壊時の強度

3.4.1 針貫入試験

針貫入試験では、硬質の礫の強度を測定することができないので、Cダム火山円礫岩の強度は基質部分の強度のみで判定している。このため、Cダム火山円礫岩の強度は多少低く表現されているが全体的には針貫入強度が大きいと剪断強度が大きい傾向がある。なお、針貫入試験は強制湿潤状態および強制乾燥状態でも行なっているが、これらは20点の平均であるためか（原位置測定は100点平均）これよりも相関が低かった（図-3.4.2）。

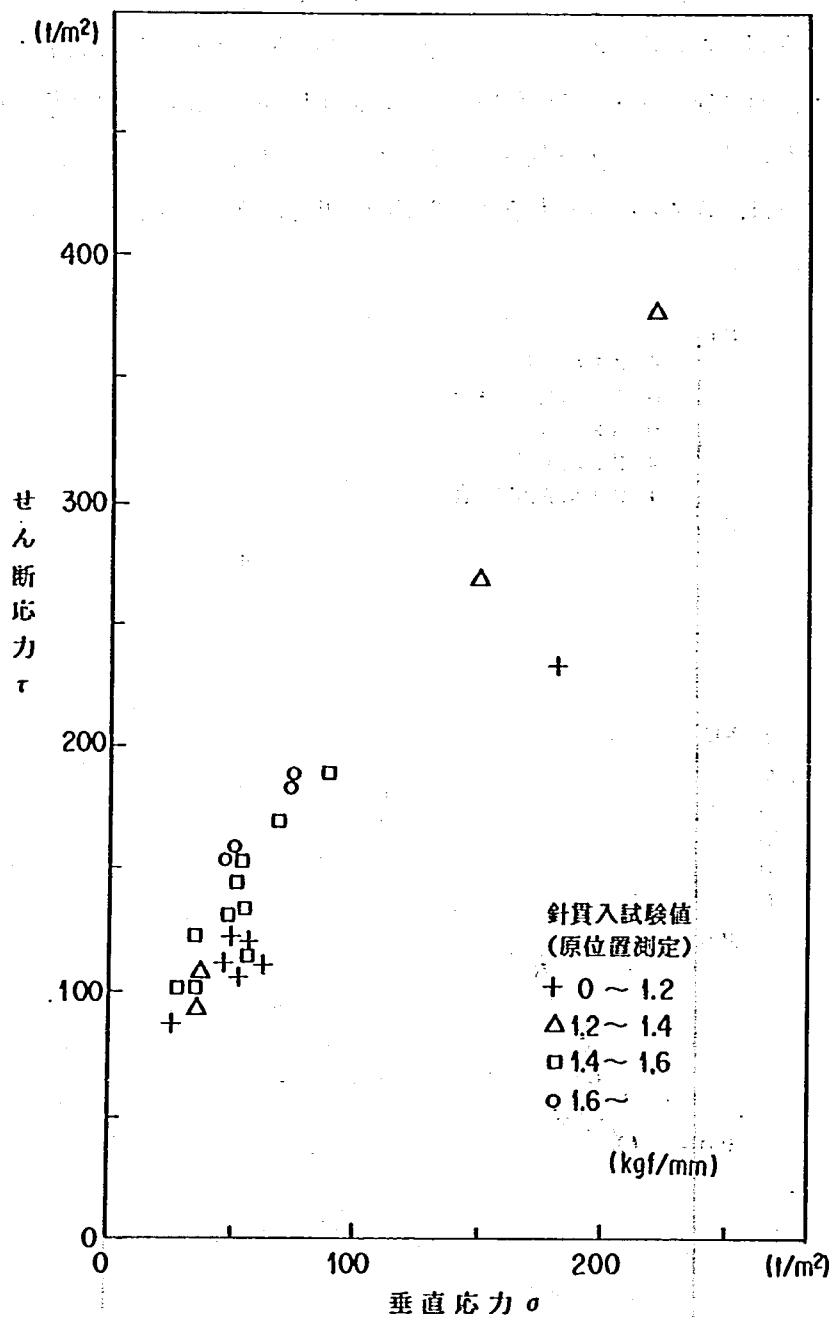
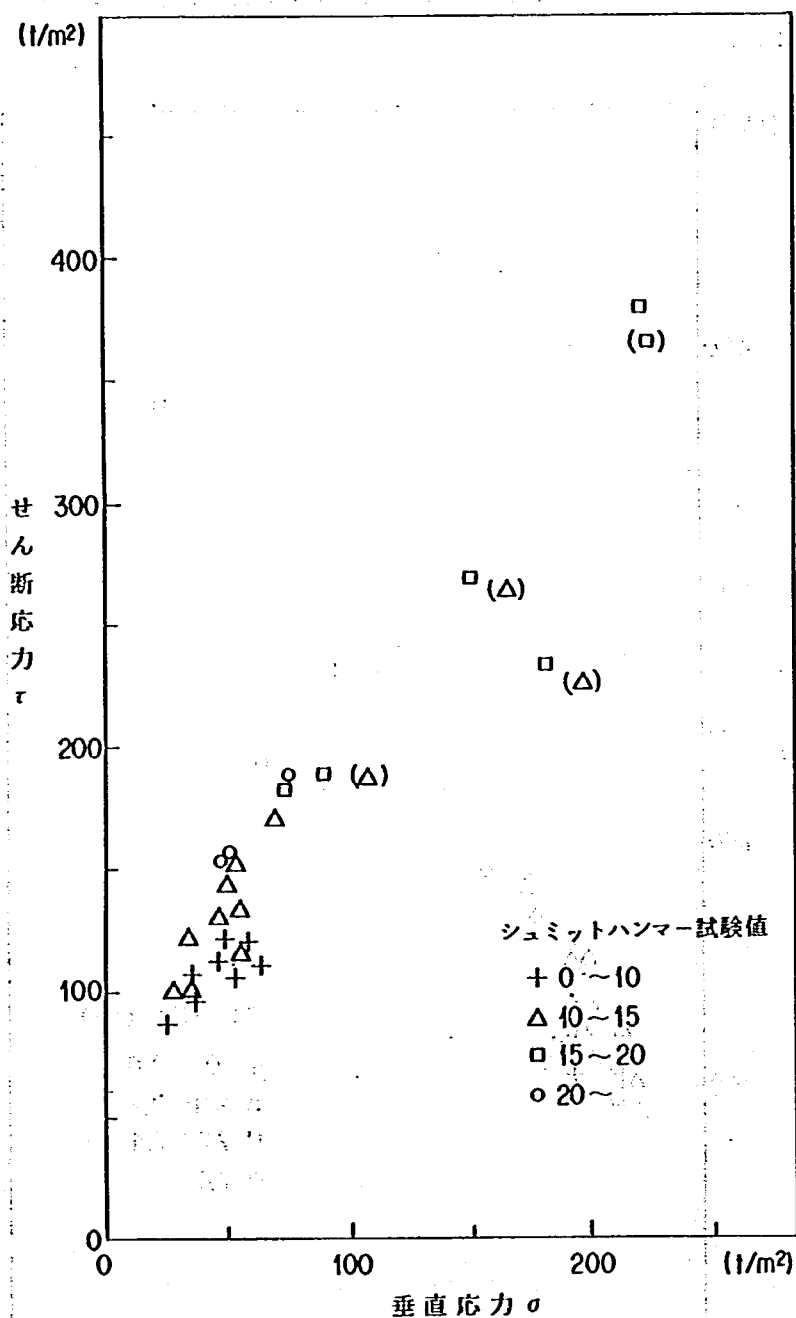


図-3.4.2 破壊強度と各試験値の関係
(針貫入試験(原位置測定))

3.4.2 シュミットハンマー試験

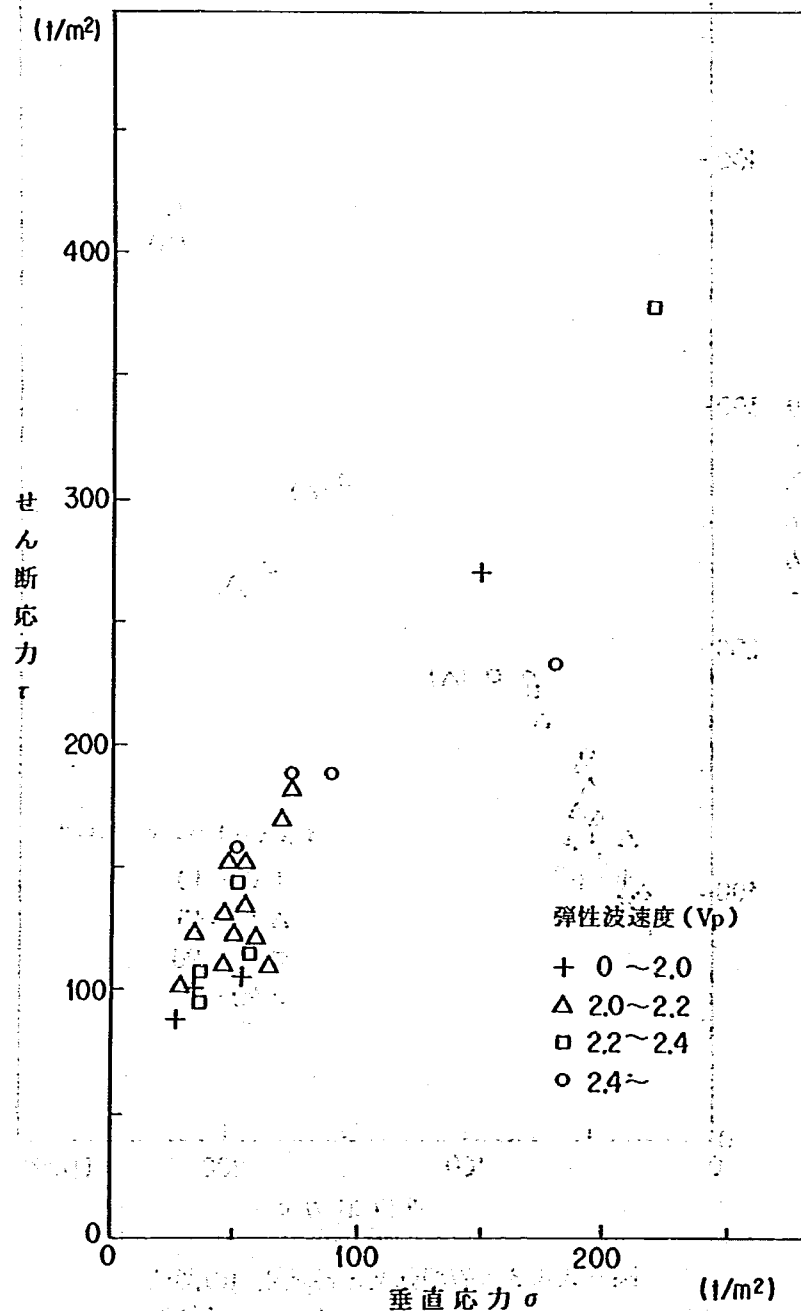
シュミットハンマー試験も針貫入試験と同様 100 点の平均値である。反発度と剪断強度はかなり密接な関係を示す。火山円礫岩に関しては、礫を除くとほぼ 1 ランク（反発度で約 2～4）低下する。シュミットハンマー試験は、礫の存在する岩盤について、礫部と基質部を分けて（または分けずに）測定できる点に、針貫入試験に比較しての利点がある。亀裂の発達している A ダム泥岩についても、高い値を示しており、亀裂の存在の影響はさほど大きくない様である（図－3.4.3）。



図－3.4.3 破壊強度と各試験値の関係
(シュミットハンマー試験値)

3.4.3 簡易弾性波速度測定

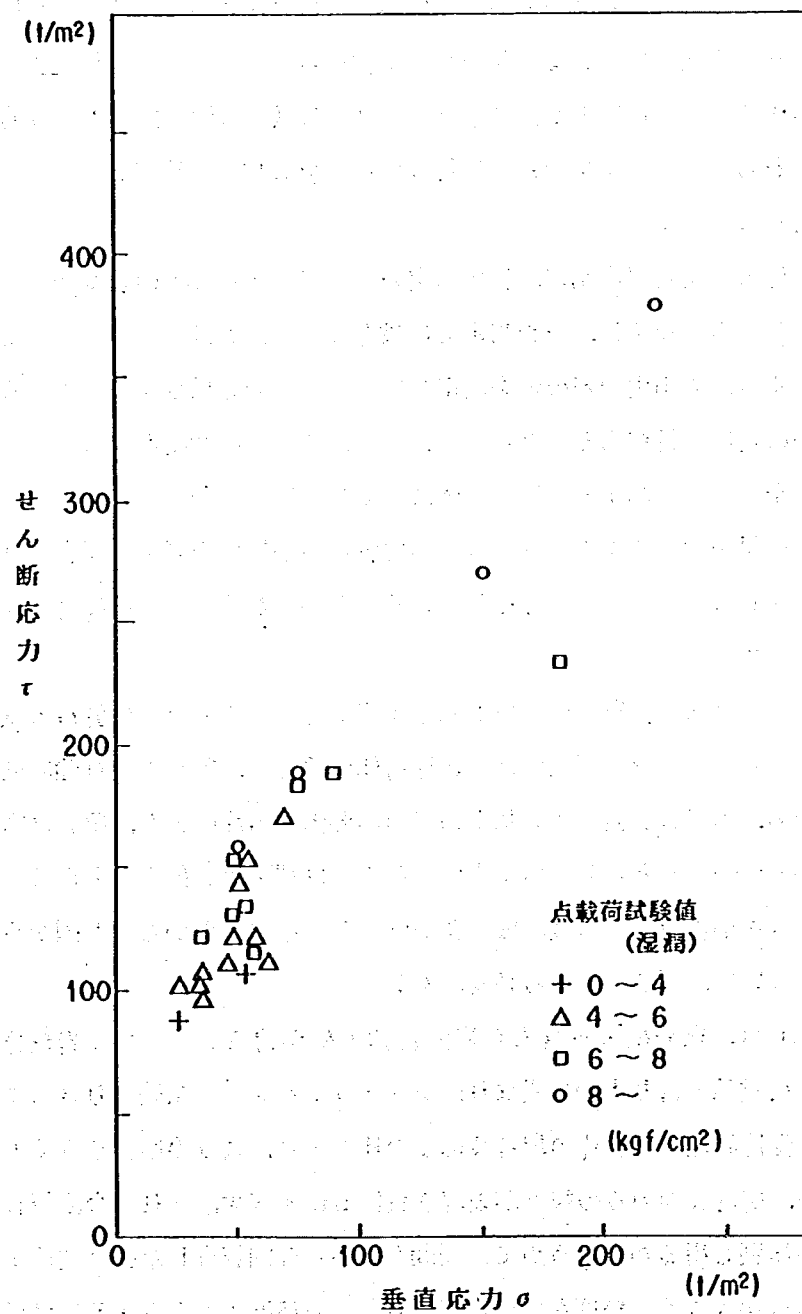
弾性波速度による分類では最も硬質な岩（Aダム泥岩やCダム火山円礫岩）と軟質な岩（Aダム砂岩）の相違が区別出来る程度であり，その他はかなりばらついている。岩盤剪断強度との相関は今回の試験中最も低い。しかし，弾性波速度は1試験面当り4～16回しか測定しておらず，他の試験の個数（100個）と比較するときわめて少ない。測定値をふやすことによってより相関のよい値が得られる可能性はあるが，今回の試験では同じ測線をスタッキングしてもほぼ同じ速度しか得られなかったため，スタッキングよりむしろ測線の種類をふやしたり，測線の長さを伸ばしたりする必要がある（図－3.4.4）。



図－3.4.4 破壊強度と各試験値の関係
(弾性波速度 (V_p))

3.4.4 点载荷試験

点载荷試験もシュミットハンマー試験や針貫入試験等と同様に岩盤試験と相関のよい結果がえられた。なお、火山円礫岩では礫部を避けて試験を行っているが、基質中にも小～中礫が存在しているためか比較的高い値を示す供試体があった。また、供試体の中には強制乾燥により亀裂のはいるものがあり、点载荷試験は微小な亀裂の影響を強く受けるためか、強制乾燥状態の供試体を用いた結果は湿潤状態を用いた結果よりもばらつきが大きかった（図－3.4.5）。



図－3.4.5 破壊強度と各試験値の関係
(点载荷試験(湿潤))

4. 検 討

4.1 簡易試験の適用性

3.4で述べたように、針貫入試験、シュミットハンマー試験、点載荷試験は、ともに原位置岩盤剪断試験とかなりよい相関を示し、岩盤分類の手法として有効な手法である。しかし、これらの手法は異なった岩種間での強度の比較という点ではともに精度が落ちる。つまり、ある岩種において得られた試験値と他の岩種で得られた試験値では、同じ値であっても原位置岩盤剪断試験で比較すると全く異なることがあり、これら異岩種間での試験値の比較には注意を要する。逆に同じ岩種・岩質での強度比較、例えば同一の地質において風化の強弱を調べる等の場合には、精度よく行なえる。

これら異岩種間の比較をより精度よく行なうためには、各試験特性の把握とよりの確な測定法の検討が必要となる。これらについて多少の検討を行ない、岩盤分類のためにさらにどのような方法が必要かについて考察を行なってみる。

針貫入試験は、原位置測定と湿潤測定、乾燥測定の各々で、各岩種毎の強度順位が異なっている。例えばAダムの角礫凝灰岩の順位は、湿潤測定では最も高いが、実はこれを中央値でとると泥岩よりも弱い値となる。つまり、火山円礫岩の礫を測定しているのと同じ様な現象を生じることを意味している（凝灰角礫岩中の角礫に針があたったため、結果的に非常に高強度となってしまった供試体が多く含まれており平均値を計算すると値が全体に高くなる）。この点に関して、針貫入試験のばらつき測定を行なった結果を図-4.1.1に示す。火山円礫岩の基質部や凝灰角礫岩だけでなく、粗粒砂岩も、正規分布からずれる硬質な部分が存在していることがわかる。このような場合は、平均値ではなく中央値を代表値とする方が良い。

シュミットハンマー試験は、硬質な礫部でも測定可能であり、この点では針貫入試験よりすぐれている。しかし、シュミットハンマー反発度は、岩片自体の強度と、亀裂により強度低下分の複合値とみなす必要があるため、土研式岩盤分類の基準の三つの要因（岩片の硬さ、亀裂の密度、亀裂の挟在物）のいずれか一つのファクターとしてそのまま用いることは精密さを欠く。例えば、もし亀裂によって挟まれた岩石のマスが小さい場合には、反発度が低くなる。反発度がどの要因からどの程度の影響を受けた値かについて、事前に調べる必要がある。

弾性波速度（ V_p ）は、礫や亀裂を含んだ岩盤自体の値が得られるため、岩盤分類の指標としては針貫入試験や点載荷試験とは基本的に異なり、シュミットハンマー試験よりさらに複合的な値が得られている。岩盤の弾性波速度と岩片の超音波速度の比をとり、緩みの影響をみるという方法がすでに考えられているが、横坑表面のみの緩みが表現され得るにすぎず、それも今回調査した程度の軟岩についてを精度よく区別し得るかという点では疑問が残る。今回調査した弾性波速度の最大の問題点は、データのばらつきが大きく、精度が低い点であり、より精度よく測定するには伝播速度だけでなく波形やその減衰状況についてみる方法、 V_s を用いた方法など、今まで数例試みられている方法も含めて検討する必要がある。

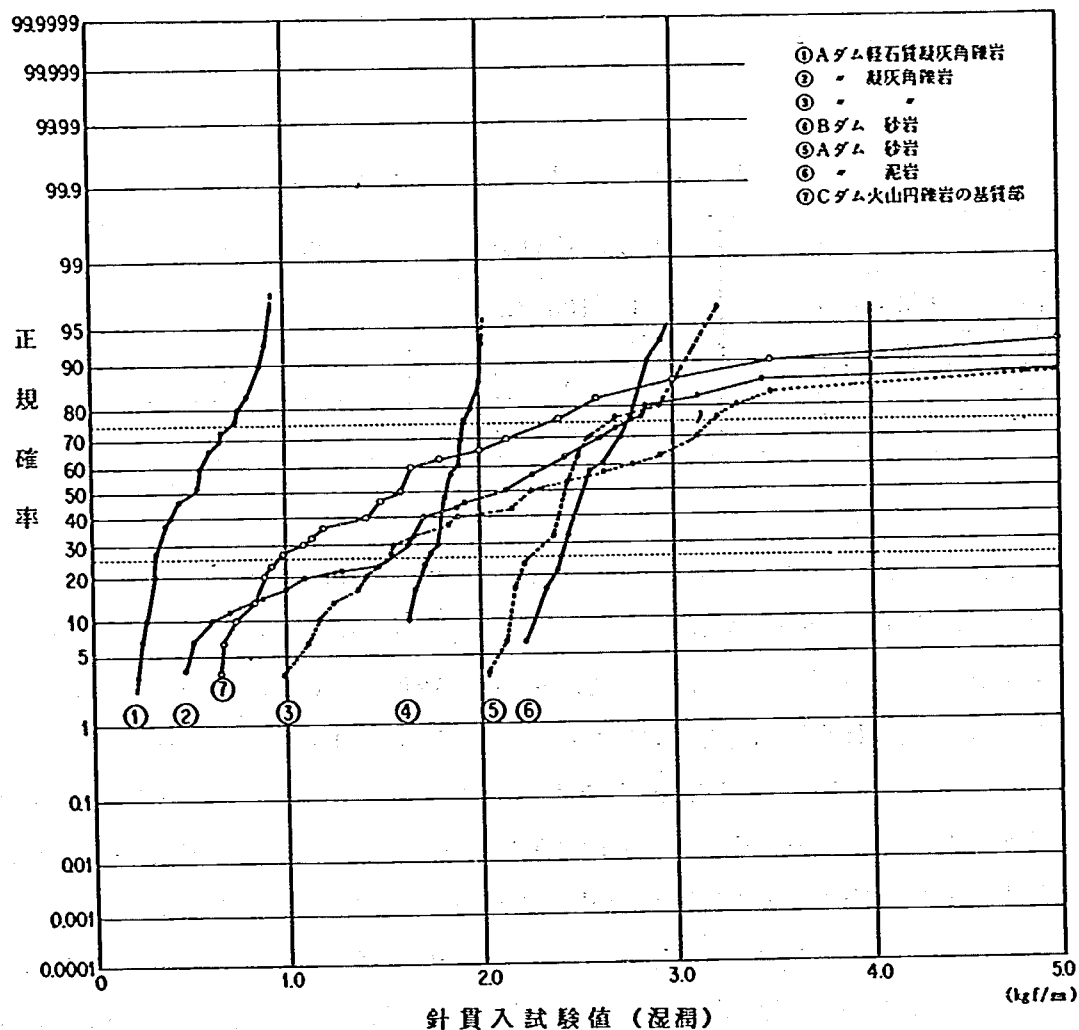


図-4.1.1 岩種による針貫入試験値のばらつき
 (単一供試体での等間隔測定の場合。これは、単一の供試体での値であり、岩種毎の平均を示している訳ではないので注意。)

点载荷試験は供試体1ケにつき1データしか得られないという点では、針貫入試験に劣るが、低強度な岩から高強度の岩まで測定可能である点ですぐれている。今回検討中の岩盤分類の指標として有望な試験の一つと考えられる。

今回調査した各簡易試験はともに岩盤分類の指標として利用可能性が高いと思われるものであるが、今回対象の堆積性軟岩は、亀裂の影響が比較的少ないため、岩片の強度を表現し得る試験が特に有効である。しかし、亀裂の影響度などについても定量的に調査し得る手法が今後必要である。

4.2 簡易試験と岩盤分類基準

Aダムでは、剪断試験を3岩種実施しており、各剪断試験結果から、泥岩層は約100t/m²、凝灰角礫岩は約80t/m²、砂岩層は約60t/m²の値を示すことがわかっていった。このことから、CM級岩盤を約100t/m²、CL～CM級岩盤を約80t/m²、CL級岩盤を約60t/m²とし、地層毎に岩級区分してい

る（表－4.2.1）。

表－4.2.1 Aダムの剪断強度、岩級区分の関係

地 質 名	セン断試験結果	岩 級 区 分
泥 岩 (M d 層)	約 100t/m ²	C _H
凝灰角礫岩 (T b ₁ 層)	約 80t/m ²	C _L ～C _H
砂 岩 (S s 層)	約 60t/m ²	C _L

岩級区分は、シュミットハンマー試験や針貫入試験（原位置）、点载荷試験等の結果とはほぼ一致している。よって、これらの各試験を指標として、岩級区分を行なうのが有効であろう。なお、軽石質凝灰角礫岩の強度は、簡易指標から判断すると、砂岩の0.52倍（シュミットハンマー試験）～0.36倍（点载荷試験）と推定されるため、単純に比をとると剪断強度は31.2～22t/m²程度となる。

Bダムにおいて既に作成している岩級区分の基準について表－4.2.2に示す。Bダム砂岩層で実施した剪断試験の結果、 $C = 69\text{t/m}^2$ 、 $\phi = 56.5^\circ$ を示している。Bダムの砂岩はほぼ塊状で岩質に変化が乏しいため、Aダムに比較すると精度のよい区分が可能であろう。

最後に、Cダムにおける既存の岩盤区分および試験値を表－4.2.3に示す。火山円礫岩については、主に基質の膠結度または基質と礫の膠着度で岩級を判断している。基質の膠結度については針貫入試験も有効であるが、礫の存在を考えると主にシュミットハンマー試験や点载荷試験を指標として区分し、弾性波速度等を併用するのが有効である様に思える。また、礫の含有状況（マトリックスサポートか否か等）も参考にする必要がある。

表-4.2.2 Bダム岩盤区分基準

横坑岩盤区分

岩盤区分	ダム（高さ50～60m） の基礎としての適否	性 状
C _H	可	B～C I a 軟質なるも、層理に乏しく割れ目のほとんどない均質な岩盤。新鮮
C _L	応力の小さい部分でのみ 可	C I～II a～b C _H に比べて、層理面が多く、一部脆弱な部分を含む。新鮮
D _H	不 可	C II～III a～c 全般に脆弱で、弱層をひんばんに含み、層理面発達。
D _L	不 可	C III c 断層破砕部や風化、変質が著しく進んでいるもの。

試掘坑抗細区分

硬 さ	記 号	割れ目の間隔	記 号	割れ目の状態	記 号
堅 硬	A	50cm以上	I	密 着	a
一部堅硬 一部軟質	B	15～50cm	II	開 口	b
軟 質	C	15cm以下	III	粘土をはさむ	c

ボーリング岩盤区分

岩盤区分	ダム（高さ50～60m） の基礎としての適否	コ ア 性 状
C _H	可	棒状（一部半棒状）、中硬～軟 f～(W ₁) コア採取率 90%以上
C _L	応力の小さい部分でのみ 可	棒状主体（一部半棒状～礫状） 軟（やや脆弱）、f～(W ₂) コア採取率 70～80%以上
D _H	不 可	半棒～礫状主（一部砂～粘土状部含む） 軟（脆弱）、W ₁ ～W ₂
D _L	不 可	礫、砂、粘土状主体 軟（脆弱）、W ₁ ～W ₂ 破砕状部を含む

ボーリングの区分要素

コ ア 形 状		風 化		硬 さ	
棒 状		f	新鮮	硬	ハンマーの打撃により 金属音を発する
半 棒 状		W ₁	割れ目沿いに変色 又は粘土付着	中硬	ハンマーの打撃により 濁った音を発する
礫 状		W ₂	一部の鉱物変質、 又は内部まで変色	軟	ハンマーの尖頭部による打撃で 岩石表面にくぼみを生じる
砂・粘土状		W ₃	ほとんどの鉱物が 内部まで風化変色		

表-4.2.3 Cダムにおける岩盤分類基準と試験値の対応

区 分	地 質	特 徴	岩 石 試 験				岩 盤 試 験				弾性係 数 (kg/cm^2)
			比 重	吸水率 (%)	一軸圧縮 強度 (kgf/cm^2)	弾 性 係 数 (kgf/cm^2)	せん断試験		変 形 試 験		
							C (kgf/cm^2)	ϕ ($^\circ$)	弾 性 係 数 (kgf/cm^2)	変形係数 (kgf/cm^2)	
C_H	安 山 岩	岩塊は硬質でハンマーの強打でも容易に割れない。板状節理が30cm以上の間隔で発達するか、良く密着している。節理面には黒い赤色あるいは青緑色の粘土が付着することがある。	2.72	1.28	1.276	—	—	—	—	—	—
	火山円礫岩	硬質な粉岩の礫は、マトリックス中にしっかりと密着しており、ハンマーでは分離させることが困難である。マトリックスは硬質でハンマーで強打してもビックはほとんど突きささらない。	2.23	13.2	134.6	9.43×10^4	—	—	—	—	—
C_N	安 山 岩	岩塊は硬質であるが、ハンマーの強打では節理に沿って分離させることができる。板状節理が5~30cm間隔で発達する。節理面には赤色あるいは青緑色の粘土が概一般に付着している。	2.65	1.30	1.245	66.3×10^4	20.0	50	(接 12)(割 12) 77,000 163,700	42,000	4.5
	火山円礫岩	硬質な粉岩の礫は、マトリックス中に良く密着しているが、ハンマーの強打で分離させることが可能である。マトリックスは比較的硬質であり、ハンマーの強打ではビックが0.5cm程度突きささる。	2.17	15.3	65.6	2.26×10^4	15.0	48	—	—	5
	溶結凝灰岩	中硬質で節理は大きく比較的密着しているが節理面は、褐色に汚れているものが多い。ハンマーの強打では節理状には割れることがあっても岩芯から割れることはあまりない。	1.96	22.0	54.5	2.41×10^4	—	—	—	—	3.6
	火山円礫岩	比較的硬質な粉岩の礫はマトリックス中にやや強く密着しており、ハンマーの強打でゆるみ分離させることができる。マトリックスは硬質、軟質のものが混在し、一般にはハンマーの強打によりビックが0.5~1cm程度突きささる。礫とマトリックスの間、あるいはマトリックス中の割れ目に白色の粘土が介在するものが多い。	2.13	16.5	49.2	1.97×10^4	8.0	45	(接 12)(割 12) 68,500 70,200	40,700	2.5 2.2
C_L	安 山 岩	岩塊は中硬質~硬質でハンマーの強打で節理に沿ってあるいは岩塊自身から容易に割れる。板状節理が発達し厚さ1mm以上の粘土が介在する。節理間隔は5cm以下が主体であるがこれ以上であっても節理の汚染が著しいものはこのクラスに入る。	—	—	—	—	—	—	—	—	1.7
	火山円礫岩	中硬質の礫はマトリックス中に強く密着しており、ハンマーで容易に分離させることができる。マトリックスは軟質で、ハンマーの強打によりビックが1cm以上突きささる。礫とマトリックスの間には流入状の褐色粘土が介在することが多い。	1.90	25.4	15.9	1.48×10^4	—	—	—	—	5
	軽石凝灰岩	軟質でハンマーの強打で岩塊は容易に割れる。またビックでひっかいて浅い溝をつけることが可能である。節理は少なく褐色の汚染は見られるが良く密着している。	1.86	27.3	44.6	1.97×10^4	—	—	(接 12)(割 12) 8,500 7,600	—	1.5
	安山岩急冷周縁相	径3cm程度のやや硬質な部分と著しく軟質な部分とが粘土質のマトリックス中に散在する。指で押しハンマーのごく軽い打撃により容易にくずすことができる。	—	—	—	—	—	—	(接 12)(割 12) 7,850 7,900	—	—
D	全 岩 石	角礫、砂及び粘土状。ハンマーにおいては打撃を与えることなく容易に崩すことができる。また指圧程度で割れるかあるいは破れ引きはがすことができる。	—	—	—	—	—	—	—	—	1.1 0.3

*ダムサイトにおける試験は行われていないため、同一岩体を対象とする原石山調査で試験値を掲げる。

5. ま と め

新第三系中新統の堆積性軟岩からなる三種のダム基礎岩盤について、岩石物理試験および針貫入試験、シュミットハンマー試験、簡易弾性波速度測定、点載荷試験等の簡易試験を実施し、主に岩盤剪断試験との相関を検討した結果、次の結果を得た。

- ① 岩種毎の強度順位を求めると、各試験法毎に順位が多少異なる。これは、岩の粒度分布など岩質の変化と各試験の測定特性により生じるものと考えられるが、このようなことが生じる機構については検討を要する。
- ② 原位置岩盤試験と各試験の関係によると、全体として針貫入試験、シュミットハンマー試験、点載荷試験等の簡易試験は原位置岩盤剪断試験結果とよい相関があることが分かった。一方、簡易弾性波速度は相関が低かった。
- ③ 針貫入試験は少ない測定点で強度を推定する場合ばらつきが大きい、測定点を多くすることにより岩片の強度と相関が高い結果を得られる。しかし、岩石の微細構造に強く影響されるため、粒度の異なる岩石（礫岩、砂岩、泥岩等）間で比較する場合や礫質な岩において強度を推定する場合には、なんらかの工夫が必要である。
- ④ シュミットハンマー試験は1点の測定が簡単であり測定個数をふやせること、サンプリングを要しないこと、針貫入試験に比べ礫質岩でも岩盤全体に対して測定が可能であることなど利点が大きく、また、原位置岩盤剪断試験との相関もよい。しかしボーリングコアによる試験ができないことや、亀裂のある岩盤に対して測定値の評価をどのように行なえばよいか等の問題がある。
- ⑤ 弾性波速度測定は測定値にばらつきが大きく、原位置岩盤剪断試験との相関も低かった。弾性波速度をよりばらつき小さく測定し、岩盤分類に用いることが可能な程度にするためには、測線長をより長くとり、測線数をふやす等の必要がある。また、 V_s を用いるなどの工夫も必要であると思われる。
- ⑥ 点載荷試験は不定形試料を用い簡易に測定できること、低強度から高強度までの岩石に応用できること、原位置岩盤剪断試験との相関もよいことなどから、有効な指標となる。しかし、微小な亀裂の存在に強く影響される点に注意する必要がある。

今回の調査で問題点のひとつに挙げられるのは火山円礫岩の強度であり、針貫入試験や点載荷試験の場合、礫の存在をどのように評価するかが試験結果に大きく影響する。礫の含有量が少ない場合には基質のみの強度を評価してもよいように思われるが、礫の含有量が多い場合、特に礫間のかみ合いによって礫岩が構成されている場合の強度評価は、簡易試験値を単純に適用した値とはかなり異なる。

また、今回は堆積性軟岩が主体であり、岩の強度は岩片自体の強度に依存しており、亀裂の影響はあまり大きくないと考えられるが、今後亀裂の岩盤強度への影響度を量的に、しかも簡易に測定することが必要になってくる。

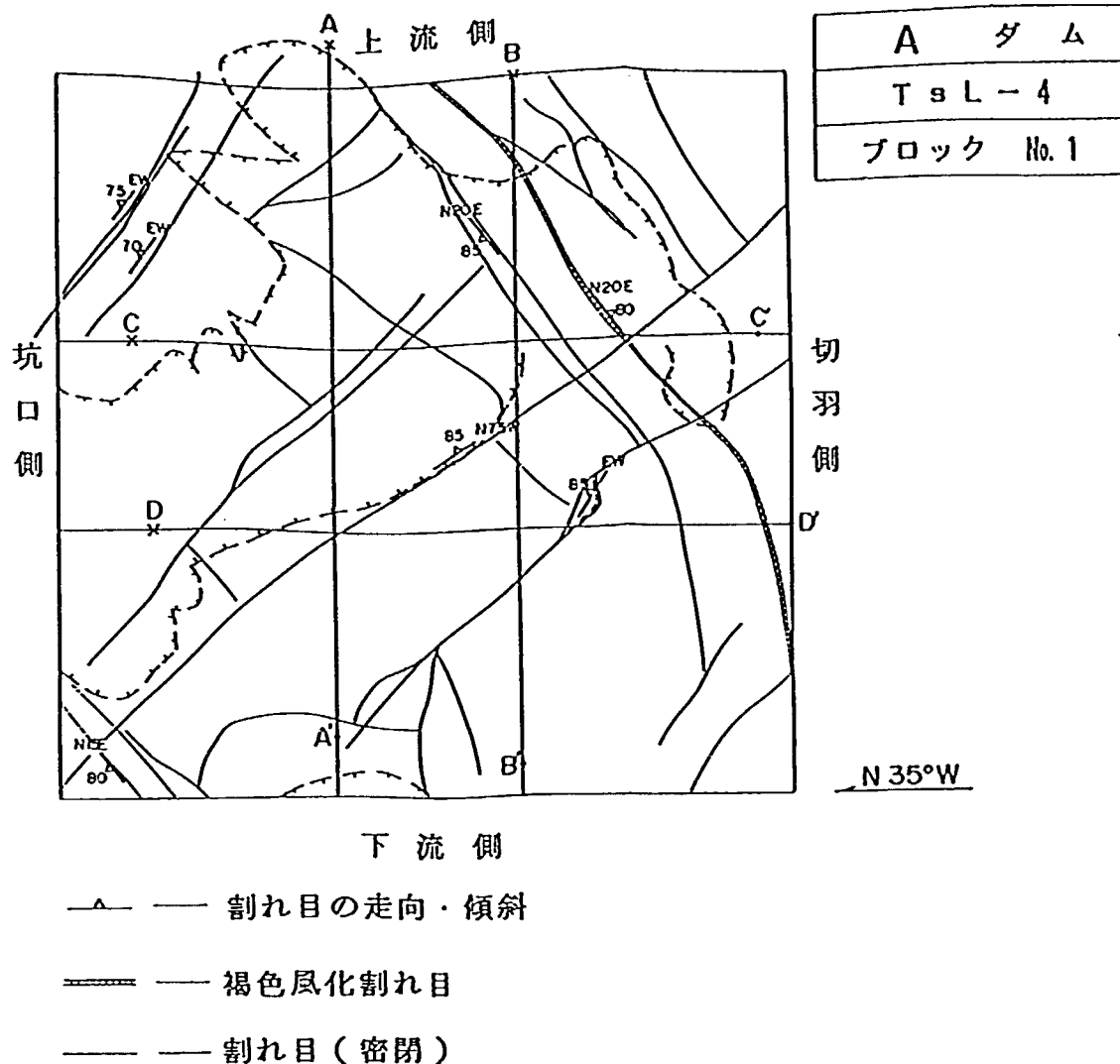
お わ り に

今回対象とした岩盤は、新第三系中新統の堆積性軟岩である。本調査は岩質が大きく異なり強度が類似しているこれらの岩盤に、それぞれの簡易試験がどの程度適用可能かを検討したものであるが、これについて有効な結果を得た。

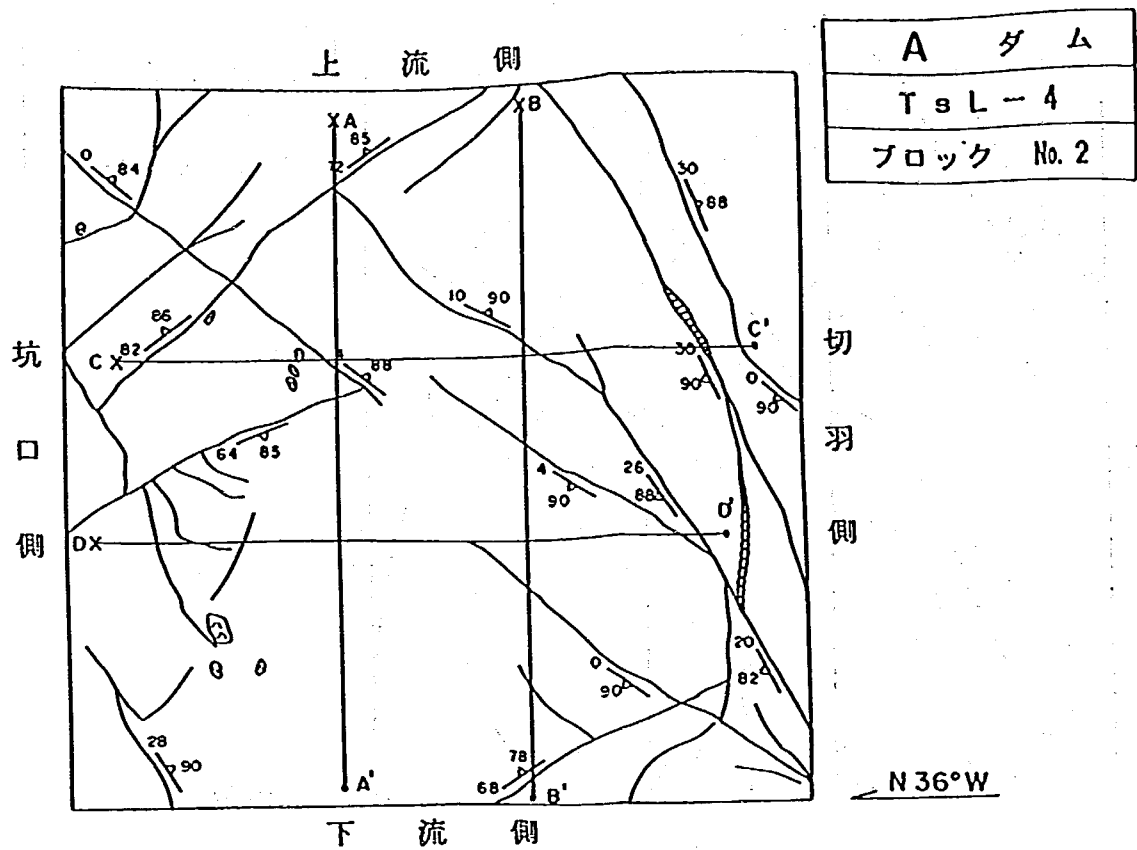
岩盤調査は文献¹⁾に準拠して行ったが、今後さらに数多くの現場で同様の調査を実施し、色々な種類の岩盤について検討を行い同調査法(案)を充実していくとともに、軟岩の岩盤性状と物理的力学的性質との関係を整理し、これからの新しい軟岩のダムに広く適用できる岩盤分類基準の確立を図っていくつもりである。

引用文献

- 1) 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，№ 2506，1987.
- 2) 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，№ 2545，1988.
- 3) 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3 新第三系中新統の石英安山岩における例，№ 2613，1988.
- 4) 紺野義夫：石川県の環境地質（10万分の1地質図解説書），1977.
- 5) E. Broch, J. A. Franklin : The Point - load Strength Test. International Journ. of Rock Mechanics and Mining Sciences. Vol.9, pp. 669 - 697, 1972.

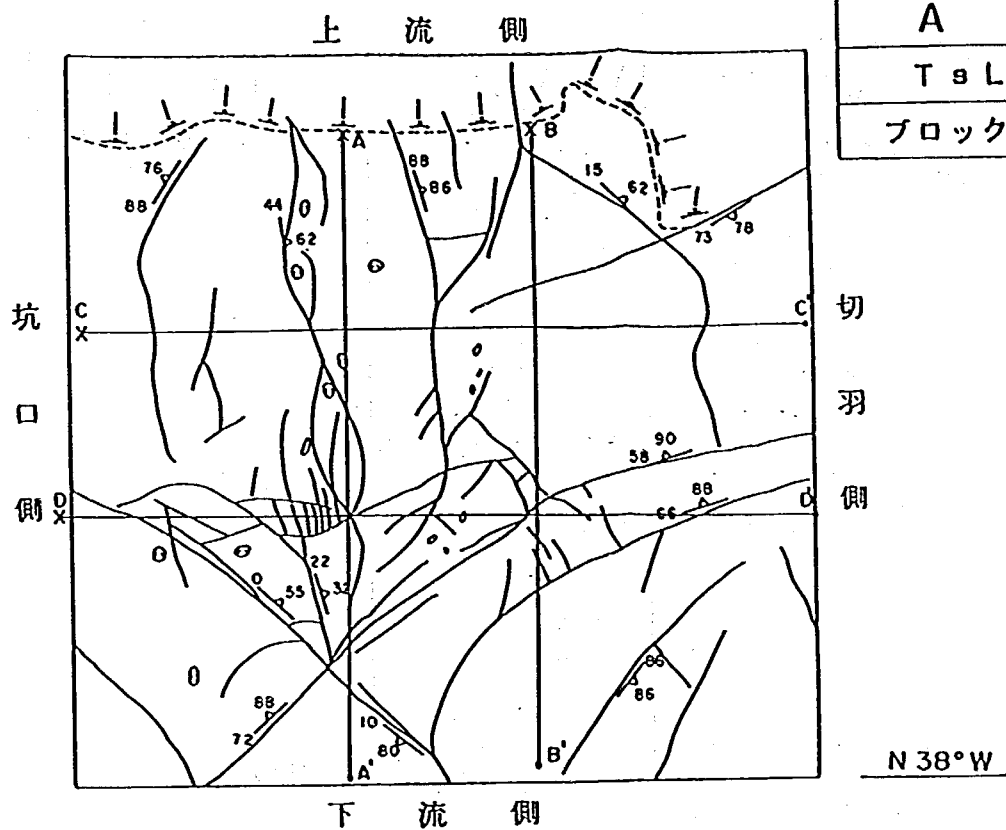


- (1) 地 質 : 泥岩〔黒灰色の塊状岩盤〕
- (2) 割 れ 目 : 褐色に酸化した割れ目が、上・下流方向に1条分布する。割れ目は70°~90° 傾斜の高角度で、上記1条の割れ目の他は、密閉しており、割れ目面の変色や挟在物はない。褐色風化割れ目は、0.1~0.3 cmで風化粘土介在する。T s L - 4 杭中で最も割れ目多いブロック。
- (3) 面 の 整 形 : 手のみで整形する。
- (4) 面 の 状 態 : 替在的な低角度割れ目沿いに一部（ブロック中央部）が岩塊状にとれたため、深さ4~5 cm凹地状になる。他ブロックに比べて凹凸がやや大きい。
- (5) 地 下 水 : 天端・横杭壁から湧水5~10 l / 分が認められる。



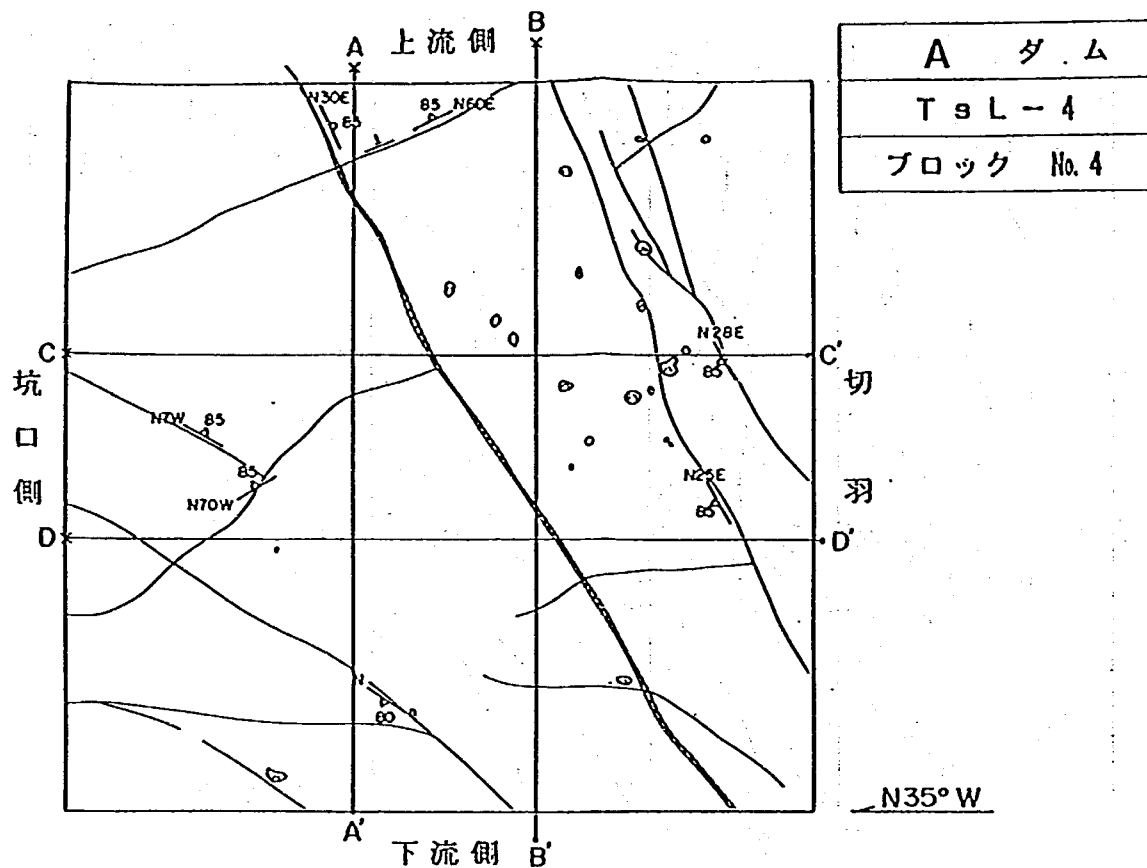
- {
 ⑤ - 軽石
 - 割れ目 (密閉)
- {
 - 割れ目の走向傾斜
 - 割れ目 (開口)

- (1) 地 質 : 泥岩〔黒灰色塊状岩盤、 $\phi 10\text{m/m}$ 以下の白色軽石点在。〕
- (2) 割 れ 目 : 切羽側に開口して茶褐色面を有し 1 ~ 2 ℓ /分の湧水を伴う割れ目 1 本があり、他の割れ目は密閉状態で変色挟在物なし。
- (3) 硬 さ : ハンマーの強打で塊状に砕け、貝殻状の面をみせる。シュミットハンマーの打撃により凹むことはないが、表面がうすく破碎し粘土化する。褐色風化部は、特に新軟質部に比べ軟化していない。
- (4) 面 の 状 況 : 割れ目等による浮き石状態のところはない。一枚岩的状态。



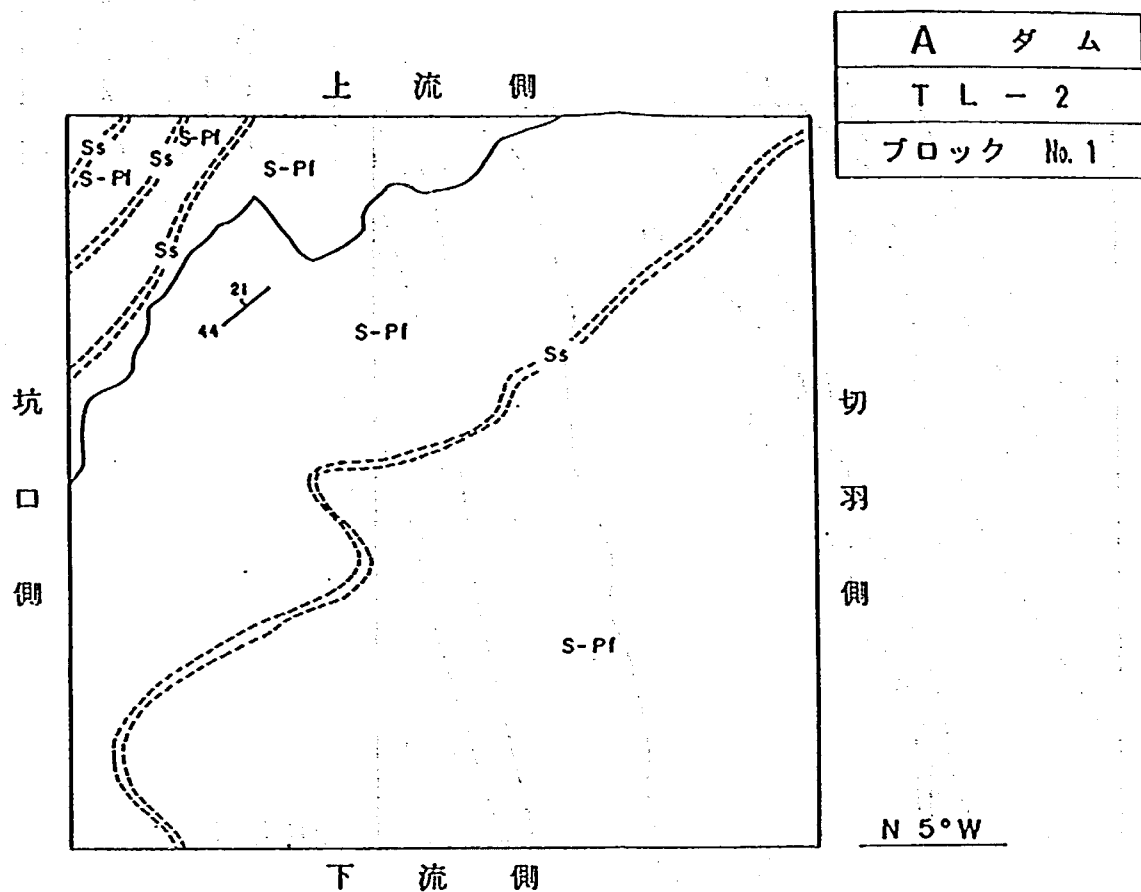
- {
 軽石
 割れ目 (密閉)
- {
 割れ目の走向傾斜

- (1) 地 質 : 泥岩。〔黒灰色塊状岩盤、こめ粒大の白色軽石がまばらに点在〕
- (2) 割 れ 目 : 開口したものはなく密閉状態、割れ目面の変色や挟在物ない。
- (3) 硬 さ : ハンマーの強打で、塊状に破碎する。シュミットハンマーの打撃で表面は凹むことはないが、うすく破碎し粘土状になる。
- (4) 面 の 状 況 : 割れ目等による浮き石状態のところはない。一枚岩的状态。



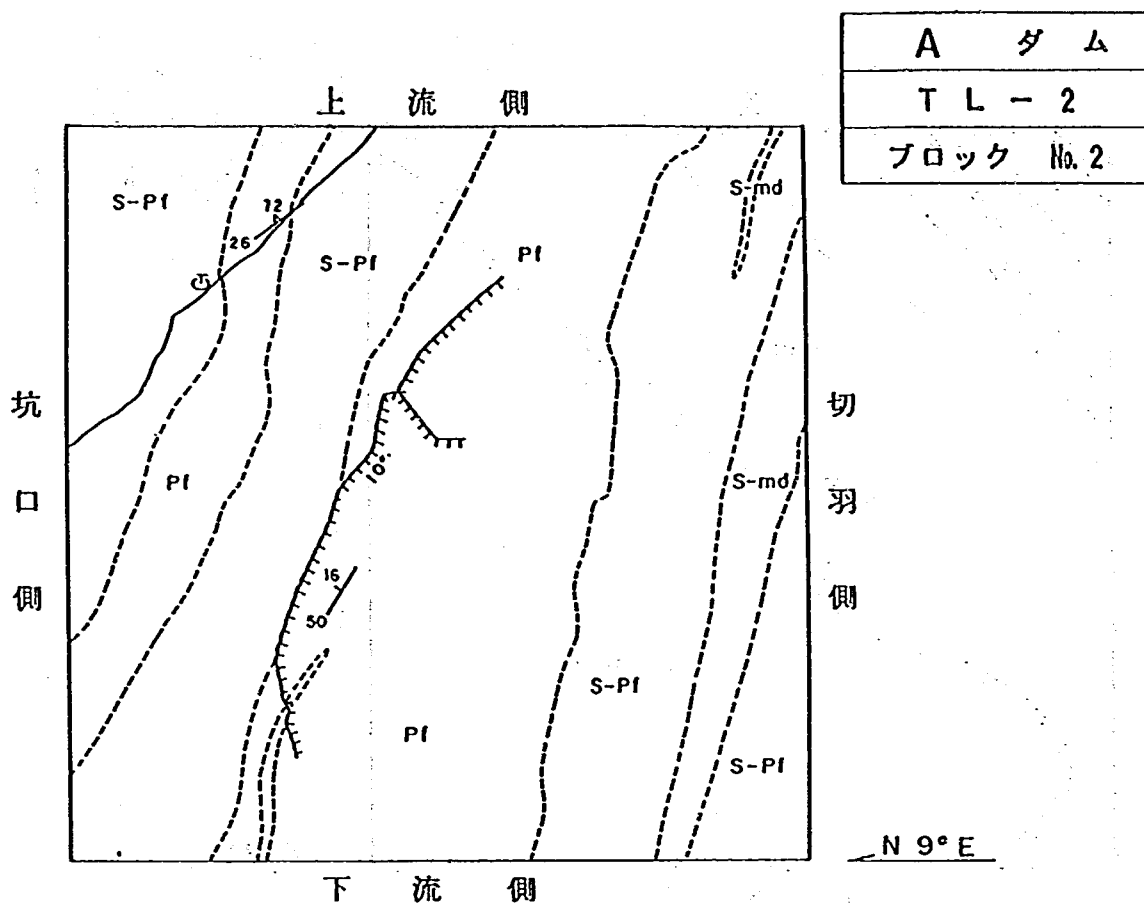
- — 軽石 ——— 褐色風化割れ目
 —△— 割れ目の走向・傾斜 ——— 割れ目

- (1) 地質 : 泥岩〔黒灰色の塊状岩盤、軽石礫が少量点在する。〕
- (2) 割れ目 : 褐色に酸化した割れ目が、上・下流方向に1条分布する。高角度の割れ目のみ分布し、上記の割れ目の他は、密閉しており、割れ目面の変色や挟在物はない。酸化割れ目は割れ目沿いに酸化するだけで粘土の介在や湧水はない。
- (3) 面の整形 : 手のみで整形する。
- (4) 面の状態 : 手のみで多少（1～2 cm凹凸する）凹凸するが全体に平滑。



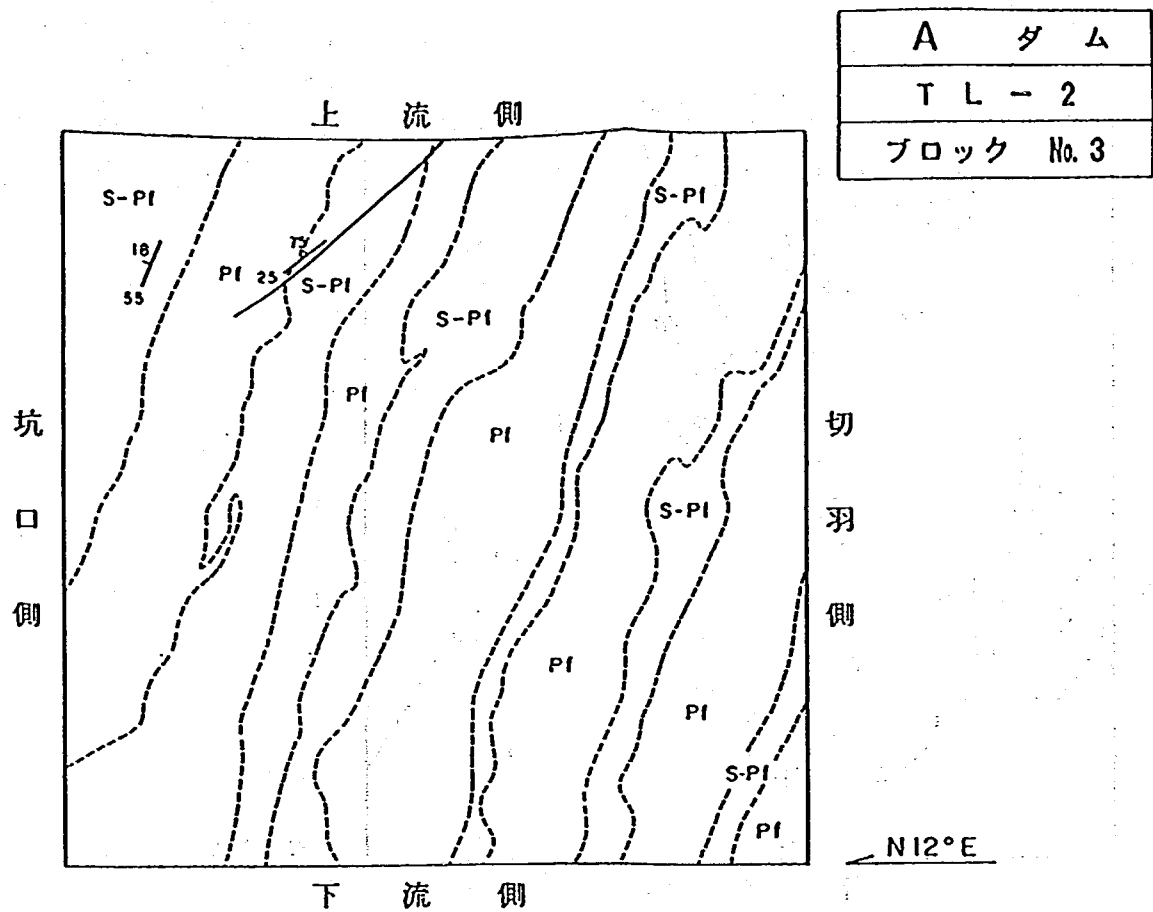
- | | | | | |
|---|------|-----------|-----------|-------|
| { | Ss | — 凝灰質砂岩 | ----- | 地質境界 |
| { | S-Pf | — 砂質軽石凝灰岩 | ——— | 剥離破壊面 |
| { | 44 | 21 | — 層理面走向傾斜 | |

- (1) 地 質 : 凝灰質砂岩と砂質軽石凝灰岩の互層。〔 ϕ 1~2 mm 以下の細かい白色軽石を多量に混じる砂質凝灰岩で、Ss部は特に軽石が少なく、暗灰色を示し、層厚 1~2 cm の凝灰質砂岩からなる。〕
- (2) 割 れ 目 : 特に目立つものはない。地質境界にそった割れ目が、上流側~坑口側に認められるが、特に剥げやすいものではない。
- (3) 硬 さ : ハンマーの中打~強打で塊状に砕け、中打で表面が砂状に砕ける。シュミットハンマーの打撃により、打撃面がうすく砂状になる。
- (4) 面 の 状 況 : 層理面に沿って一部が剥げて、層理面が出る。面は平坦である。



{	Pl	— 軽石凝灰岩	----- 地質境界	50 — 16	— 層理面走向傾斜
	S-Pl	— 砂質軽石凝灰岩	—— 割れ目	26 — 72	— 割れ目の走向傾斜
	S-md	— 砂質泥岩	低角度割れ目	⑤	— 湧水

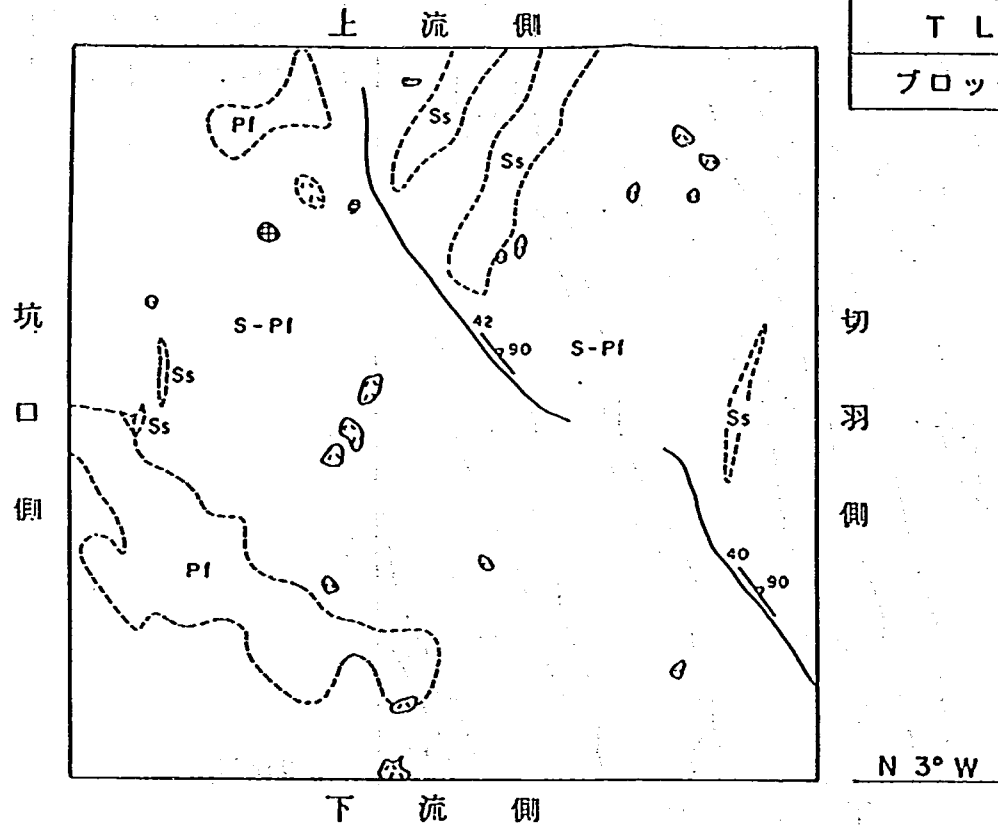
- (1) 地 質 : 軽石凝灰岩と砂質軽石凝灰岩互層。〔中央に $\phi 4\text{mm}$ 以下の軽石が密集し、他の地質に比べ軟かい。切羽側に帯状に楕円様の泥岩をうすく挟みやや硬い。全体的に $\phi 2\text{mm}$ 以下の細かい軽石を含む凝灰岩〕
- (2) 割 れ 目 : 坑口側に小さい割れ目(N26W72N)があり地下水が浸み出る程度に湧水するが時に挟在物はない。中央部に低角度($\theta = 10^\circ$)の割れ目がある。
- (3) 硬 さ : ハンマーの中打～強打で塊状に砕け、中打で表面が砂状に砕ける。シュミットハンマーの打撃により、Pl部はやや凹み表面がうすく砂状になる。S-mdに比べ硬質。
- (4) 面 の 状 況 : 層理面に沿う剝離はないが、軽石の多いところは面に平行する低角度の割れ目が発生しやすい。軽石の多いところは軟かく、泥岩部は硬い。



{ PI — 軽石凝灰岩 { S-PI — 砂質軽石凝灰岩 { 44 — 18 — 層理面走向傾斜	{ ———— — 地質境界 { ————— — 割れ目 { 25 — 75 — 割れ目走向傾斜	
---	---	--

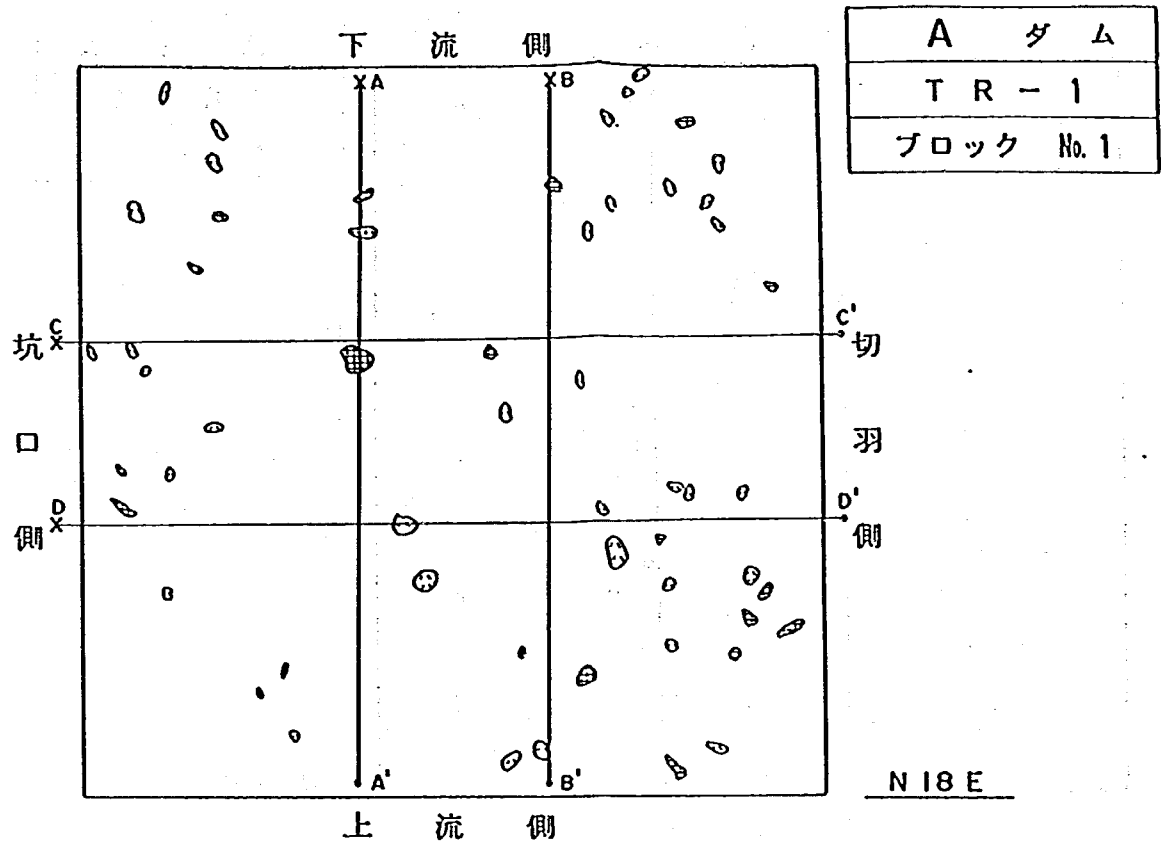
- (1) 地 質 : 軽石凝灰岩と砂質軽石凝灰岩の互層。〔全体にφ 2 m/m 以下の細かい軽石が混じりゴマ塩模様をなす〕
- (2) 割 れ 目 : 上流側にN25° E75° Eの長さ40cmの小さな割れ目あり、面には挟在物はなく、少し開口気味で地下水がジワッと浸み出る。
- (3) 硬 さ : ハンマーの中打～強打で塊状に砕け、中打で表面が砂状に砕ける。シュミットハンマーの打撃により打撃面が凹み、表面がうすく砂状になる。
- (4) 面 の 状 況 : 層理面に沿って一部が剥げて層理面が出る。面は平坦である。

A	タム
T	L - 2
ブロック	No. 4



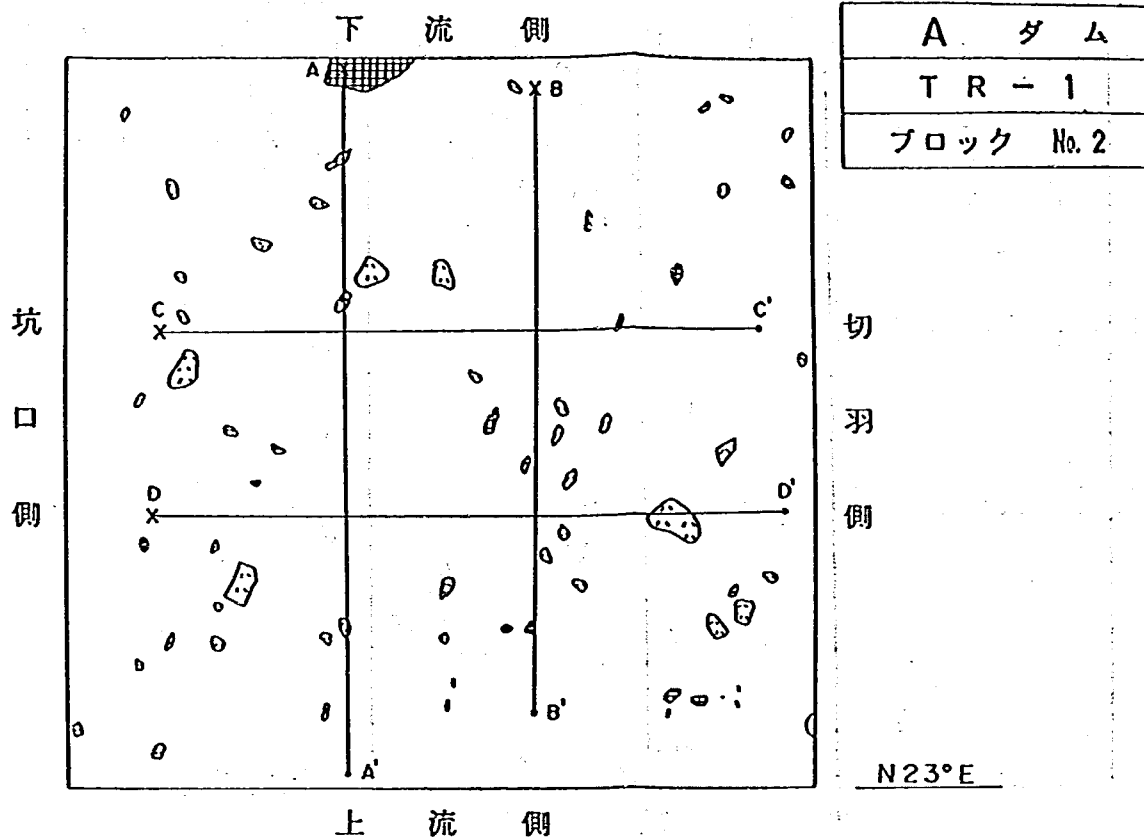
- ⊕ — 異質礫 S-PI — 砂質凝灰岩 — — — 割れ目
 ⊙ — 軽石 PI — 軽石凝灰岩 —△— 割れ目走向傾斜
 Ss — 砂岩 (凝灰質) - - - - - 地質境界

- (1) 地質 : 砂質凝灰岩、凝灰質砂岩、軽石凝灰岩互層 (全体に $\phi 2\text{mm}$ の細かい軽石多く混じる地層)
- (2) 割れ目 : 中央に $N42^\circ E90^\circ$ の密閉した割れ目が潜在する。顕著な割れ目はない。
- (3) 硬さ : ハンマーの中打～強打で塊状に砕け、中打で表面が砂状に砕ける。シュミットハンマーの打撃により PI 部はやや凹み、打撃面がうすく砂状になる。
- (4) 面の状況 : 特に層理面に沿って剝離するところはない。面は平坦である。



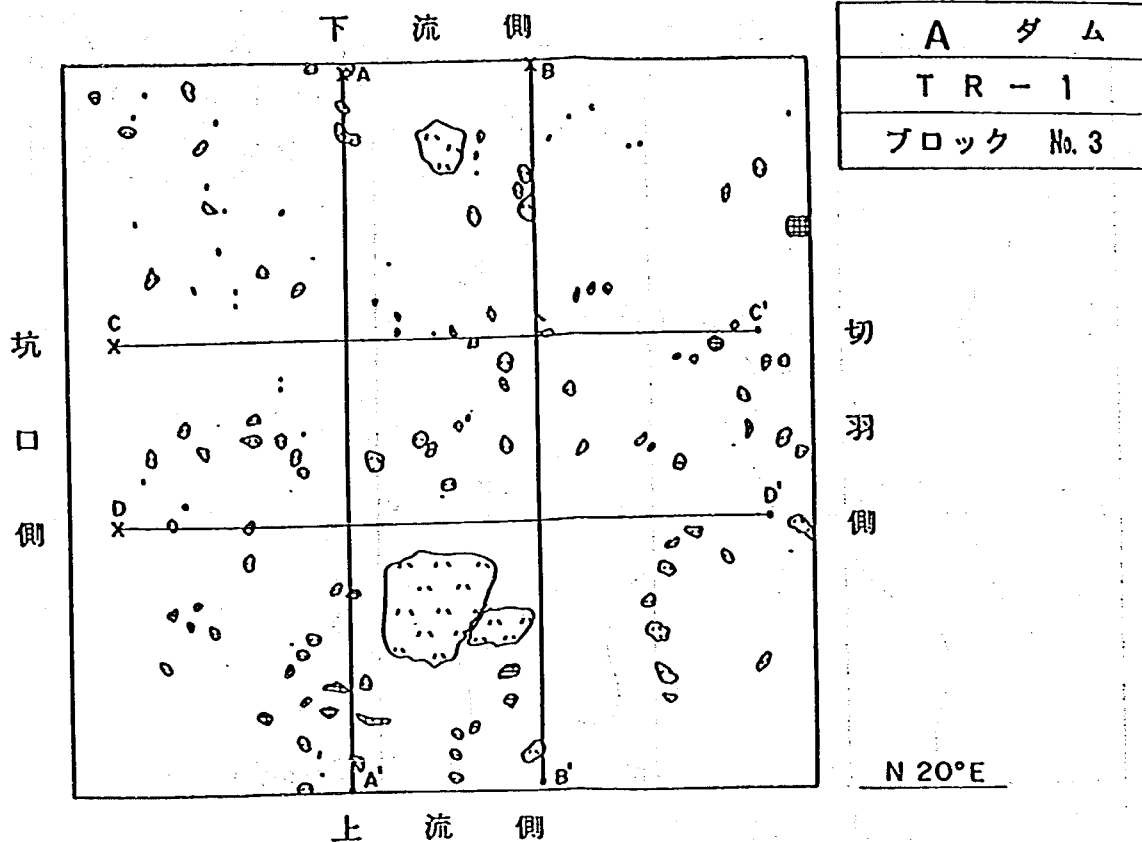
- { ● — 異質礫
 { ⊙ — 軽石

- (1) 地 質 : 含軽石凝灰角礫岩。〔 黒っぽい安山岩質の硬い異質礫の点在あり、全体的に白っぽい軽石を多く含みよく膠結している。軽石はφ 3 cm 以下で細かいものが大部分。〕
- (2) 割 れ 目 : 認められない。〔塊状で一枚岩状態〕
- (3) 硬 さ : ハンマーの強打で塊状に碎ける。ハンマーで中打すると表面がやや凹み、小片状にこわれるところもある。
- (4) 面 の 状 況 : 異質礫部は硬くて凸部となり、基質部は相対的に軟かい。



- { ⊕ — 異質礫
 { ⊙ — 軽石

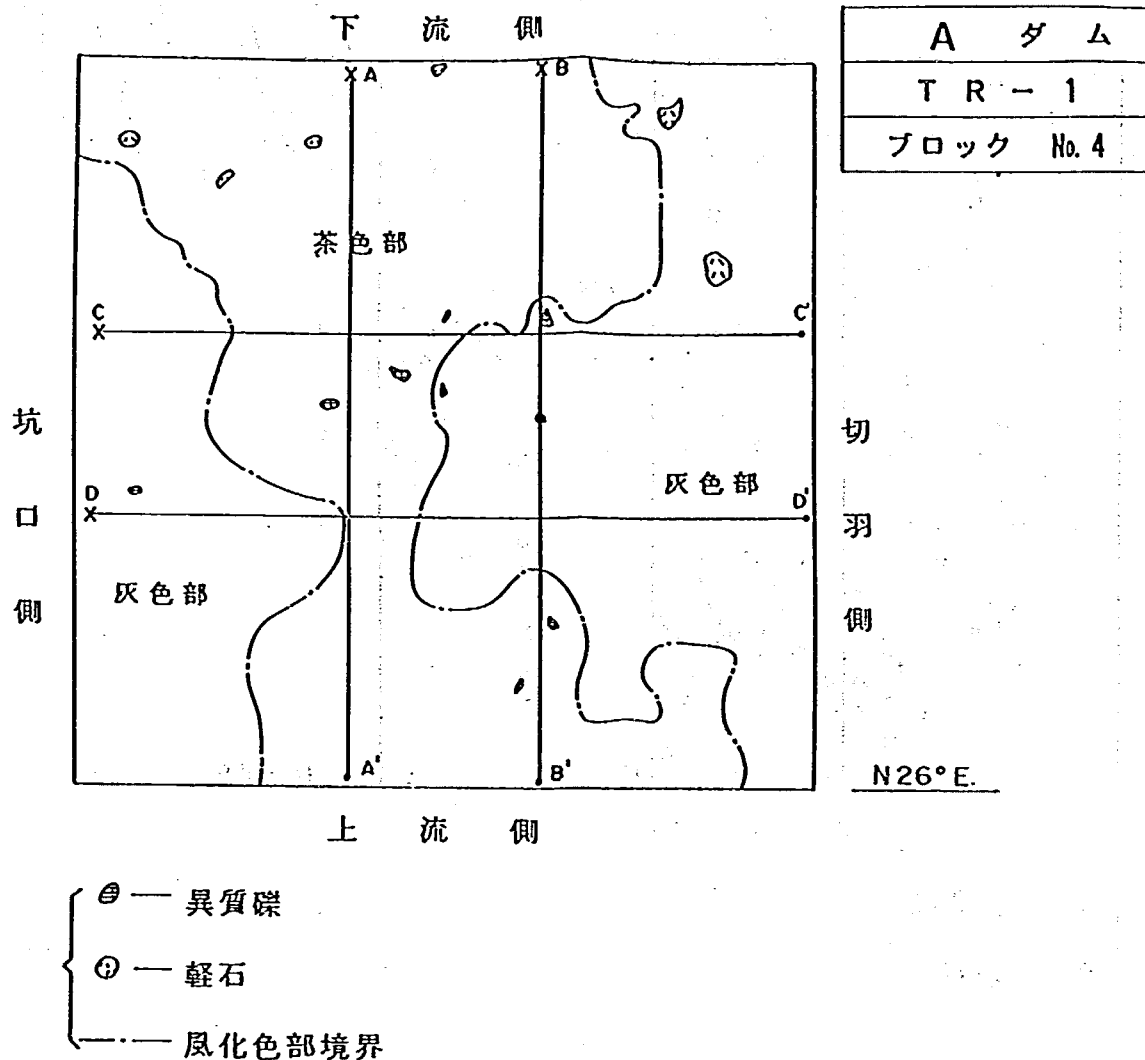
- (1) 地 質 : 含軽石凝灰角礫岩。〔黑色安山岩質の硬い異質礫の点在があり、全体的に白色の軽石を多く含みよく膠結している。軽石はφ5cm以下で細かいものが大部分。〕
- (2) 割 れ 目 : 認められない。〔塊状で一枚岩状態〕
- (3) 面 の 状 況 : 礫の剝離で多少凸凹しており、基質部は相対的に軟かい。



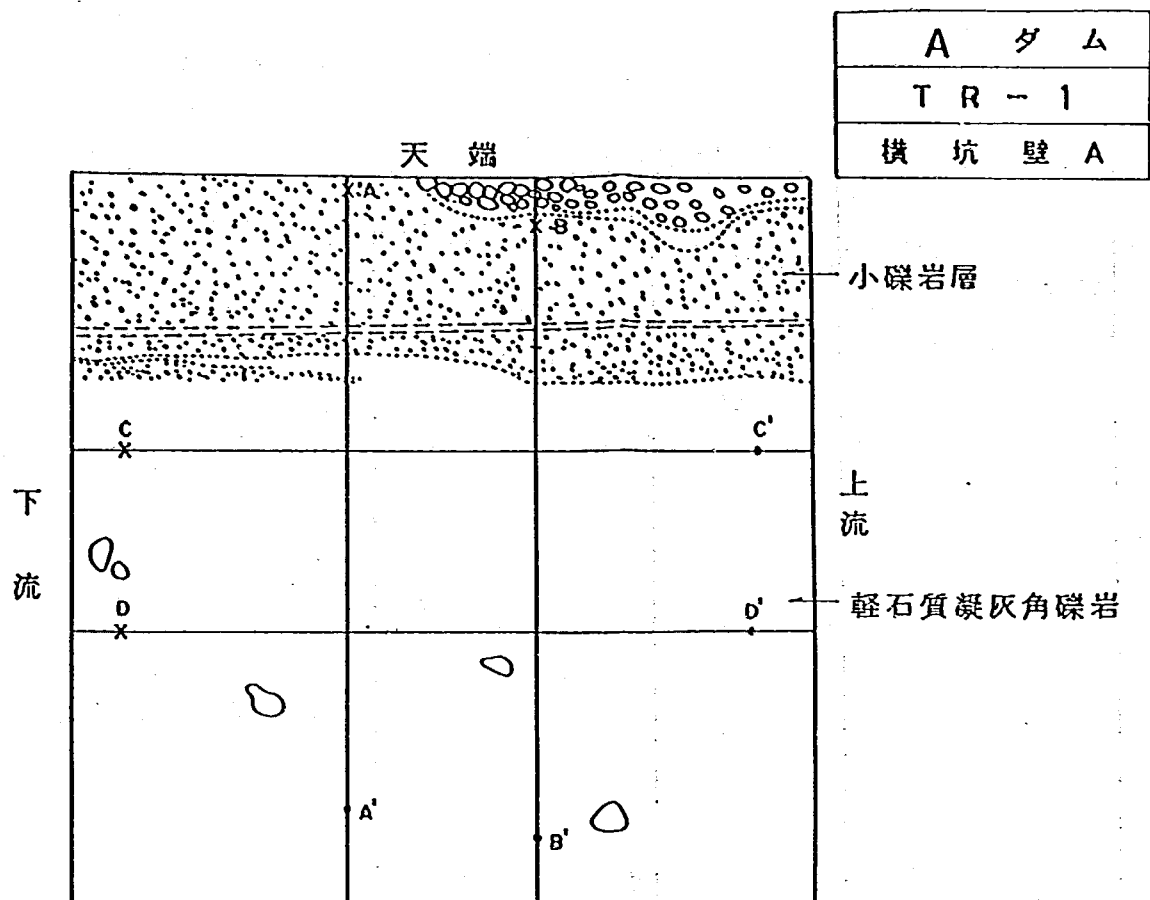
- {
 — 異質礫
- {

●
 — 軽石

- (1) 地 質 : 含軽石凝灰角礫岩。〔黒色安山岩質の硬い異質礫の点在あり、全体的に白色の軽石を多く含みよく膠結している。〕
- (2) 割 れ 目 : 認められない。〔塊状で一枚岩状態〕
- (3) 硬 さ : 軽石レキ部をのぞくとハンマーの強打で塊状に砕ける。
 シュミットハンマーの打撃で、表面がかすかに凹み、打撃面表面がうすく破碎する。



- (1) 地 質 : 含軽石凝灰角礫岩〔黒色安山岩質の硬い異質礫の点在あり、全体的に白色軽石を多く含みよく固結している。〕
- (2) 割 れ 目 : 認めない。〔塊状で一枚岩状態〕
- (3) 硬 さ : ハンマーの強打で塊状に碎ける。軽石礫の多い部分がやや軟質でハンマーの中打でやや凹む。シュミットハンマーの打撃では軽石、レキの多い部分で凹みが形成される。風化部は新鮮部に比べ特に軟化していない。
- (4) 面 の 状 況 : 中央部の半分が茶色系に風化色を呈するが、硬さは新鮮部と殆ど変わらない。全体には礫部は硬く、基質部は相対的にやや軟かい。



(1) 地 質 : 軽石質凝灰角礫岩と細礫岩からなる。

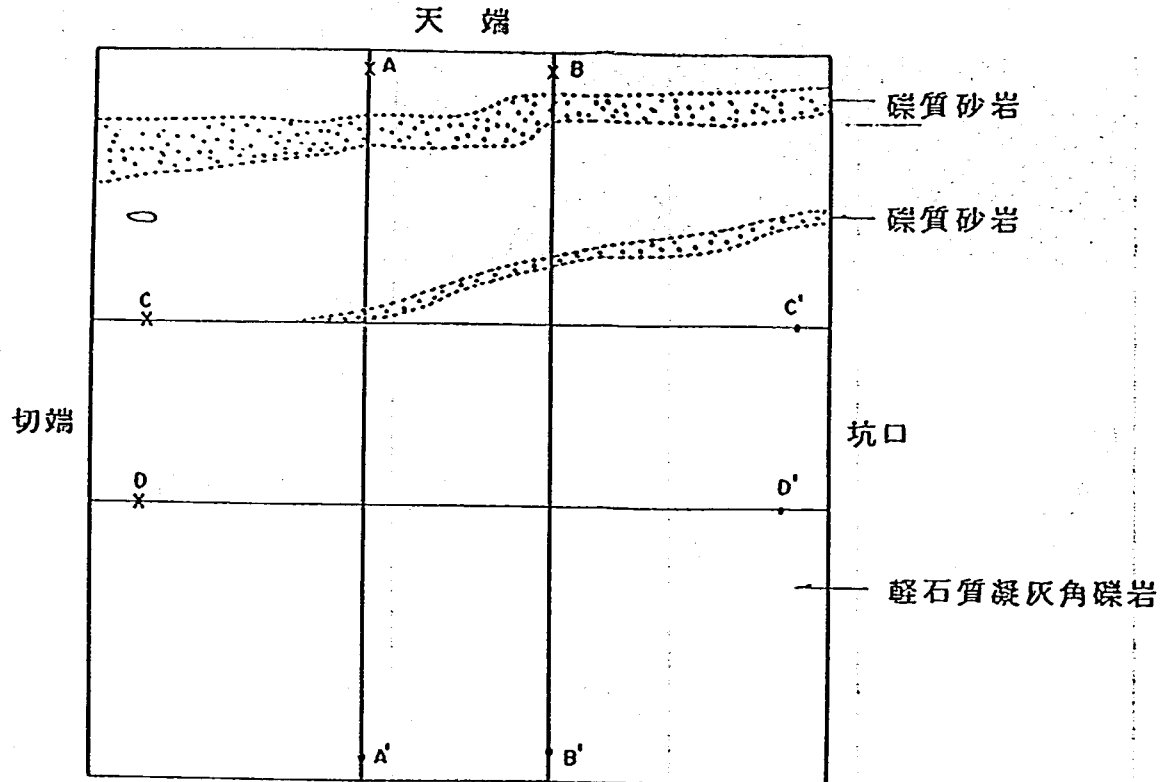
〔軽石質凝灰角礫岩 — $\phi 2 \sim 5$ cmの軽石礫を多く含み、基質は軽石凝灰質泥岩～凝灰質泥岩からなる。細礫岩 — $\phi 0.2 \sim 1$ cmの安山岩、泥岩、砂岩と少量の軽石を含む礫岩で、基質部も極粗粒砂岩で基質と礫の区分は不明なもの。〕

(2) 割 れ 目 : 割れ目は認められない。

(3) 硬 さ : 軽石質凝灰角礫岩の部分はハンマーの軽打～中打で塊状～小片状に砕けるが小礫岩の部分は、中打では表面の一部が砂～礫状にくずれる程度で、岩盤を破碎するには中～強打が必要。シュミットハンマーの打撃により、軽石質凝灰岩は凹みを生じるが小礫岩部ははっきりした凹みは生じない。

(4) 面 の 整 形 : 電動ピックにより、横坑を奥1 m、幅約 1.5 m、高さ 1.8 mで拡張した後手のみなどで整形した。

A	ダ	ム
T	R	1
横	坑	壁 B



(1) 地 質 : 軽石質凝灰角礫岩と礫質砂岩からなる。

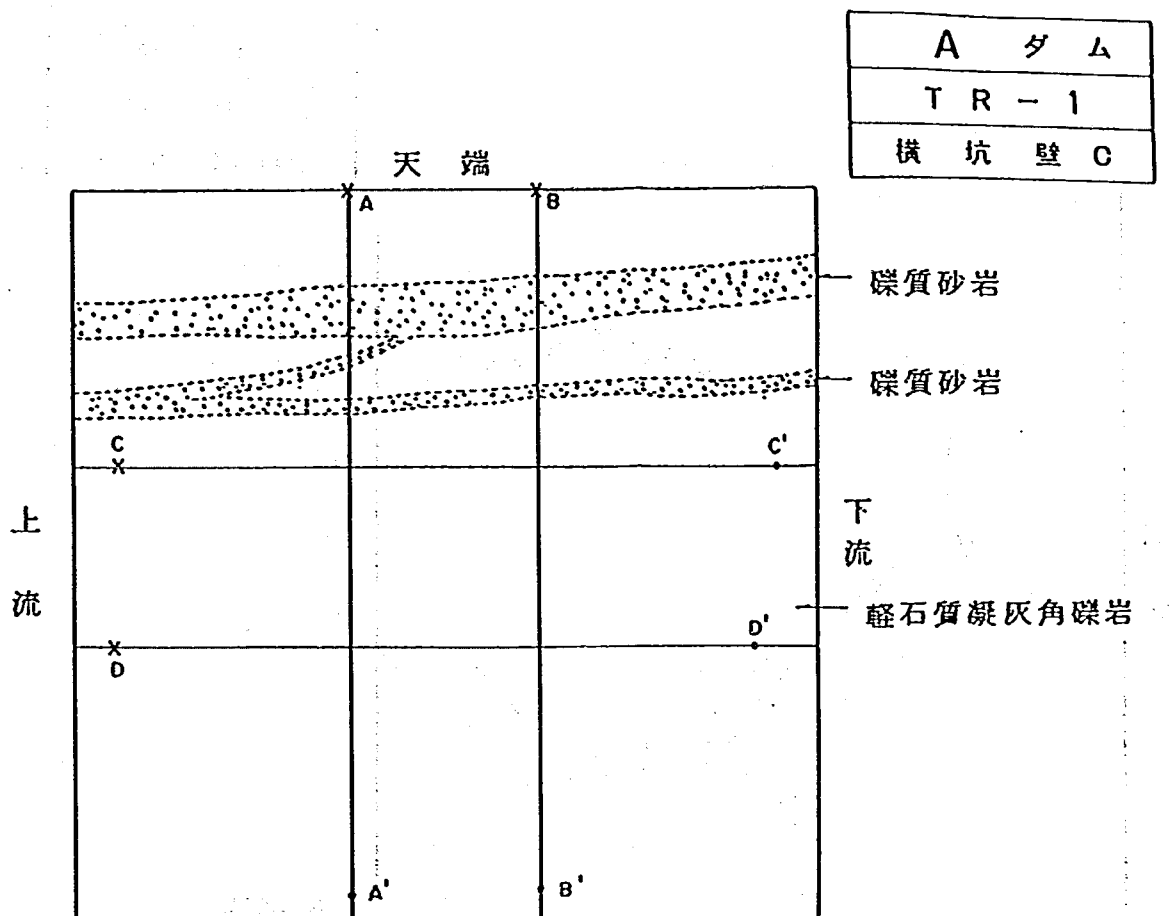
〔軽石質凝灰角礫岩 — $\phi 2 \sim 5$ cmの軽石礫を多く含み、基質は軽石凝灰質泥岩～凝灰質泥岩からなる。〕

礫質砂岩 — 0.1～0.5cmの安山岩、泥岩、砂岩、少量の軽石を含む礫岩〕

(2) 割 れ 目 : 割れ目は認められない。

(3) 硬 さ : 軽石質凝灰角礫岩の部分はハンマーの軽打～中打で塊状～小片状に碎けるが礫質砂岩の部分は、中打では表面の一部が砂～礫状にくずれる程度で、岩盤を破砕するには中～強打が必要。シュミットハンマーの打撃により、軽石質凝灰岩は凹みを生じるが礫質砂岩ははっきりした凹みは生じない。

(4) 面 の 整 形 : 電動ピックにより横坑を奥1m、幅約1.5m、高さ1.8mで拡幅した後手のみなどで整形した。



(1) 地 質 : 軽石質凝灰角礫岩と礫質砂岩からなる。

〔軽石質凝灰角礫岩 — ϕ 2 ~ 5 cmの軽石礫を多く含み、基質は軽石凝灰質泥岩〜凝灰質泥岩からなる。

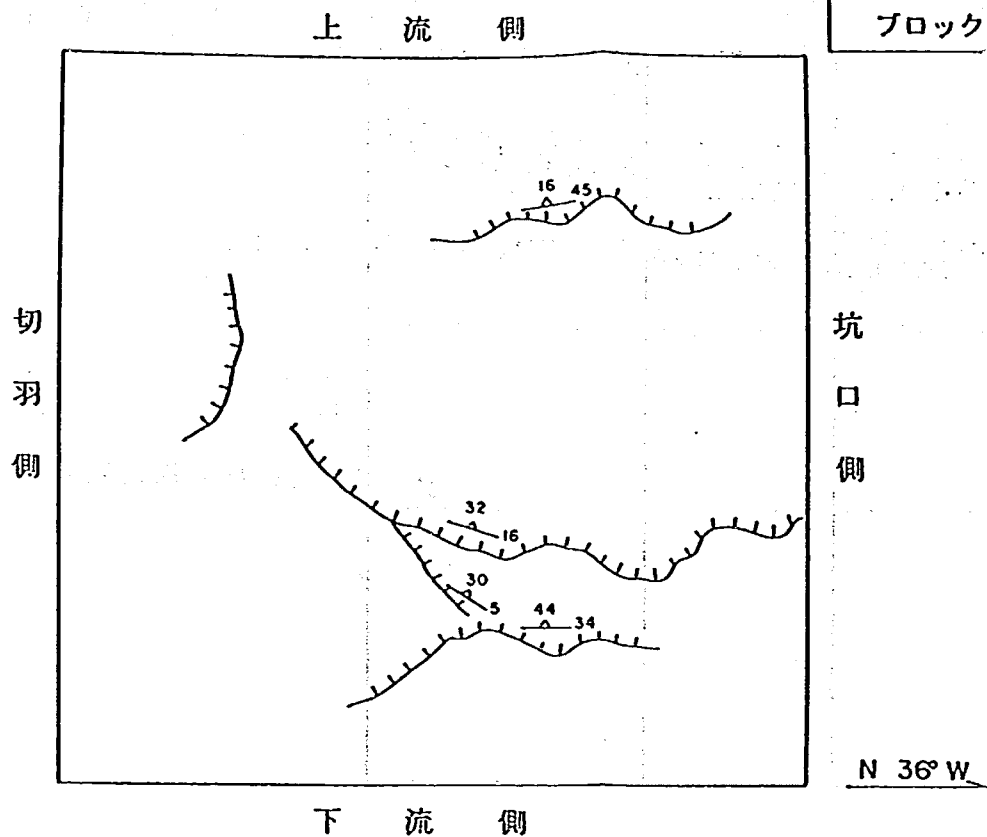
礫質砂岩 — ϕ 0.1 ~ 0.5 cmの安山岩、泥岩、砂岩、少量の軽石を含む砂岩。

(2) 割 れ 目 : 割れ目は認められない。

(3) 硬 さ : 軽石質凝灰角礫岩の部分はハンマーの軽打〜中打で塊状〜小片状に砕けるが、礫質砂岩の部分は、中打では表面の一部が砂〜礫状にくずれる程度で、岩盤を破砕するには中〜強打が必要。シュミットハンマーの打撃により、軽石質凝灰岩は凹みを生じるが礫質砂岩ははっきりした凹みは生じない。

(4) 面 の 整 形 : 電動ピックにより、横坑を奥 1 m、幅約 1.5 m、高さ 1.8 mで拡幅した後手のみなどで整形した。

B	ダム
A	R - 2
ブロック	R - 4

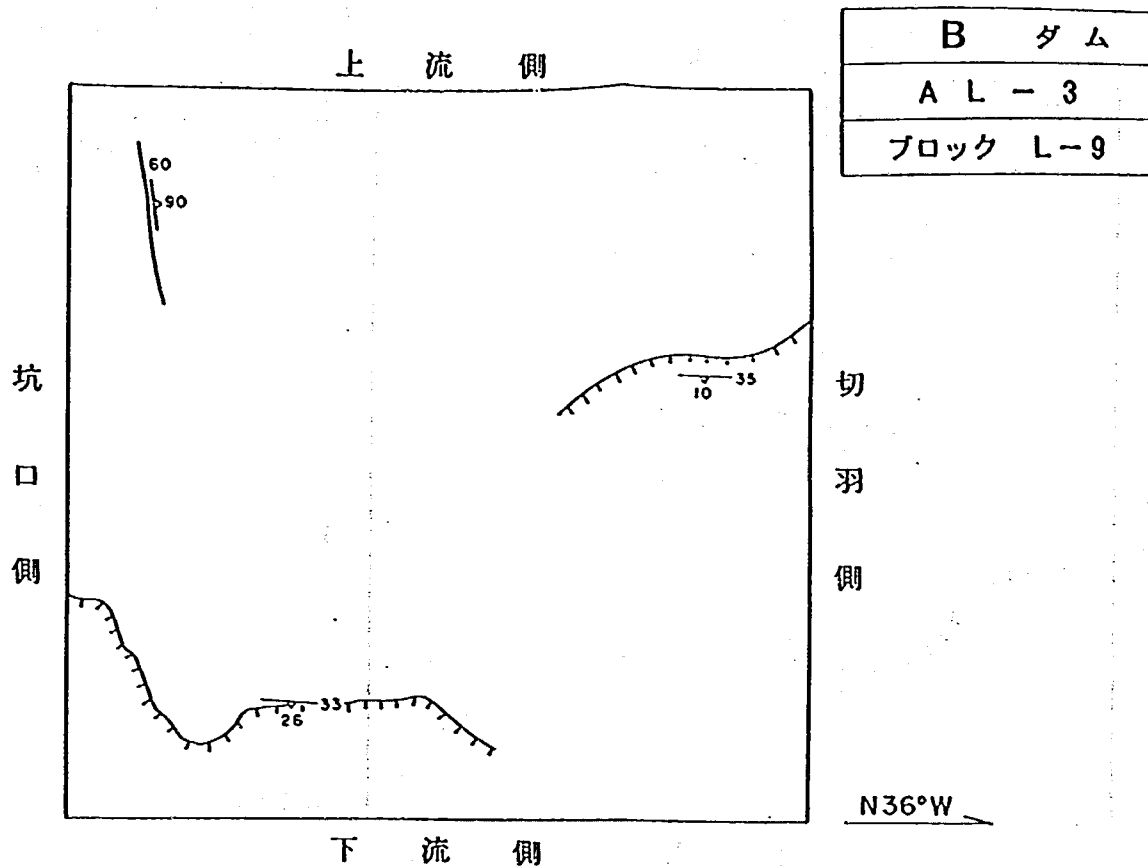


{

 〰〰〰 低角度割れ目

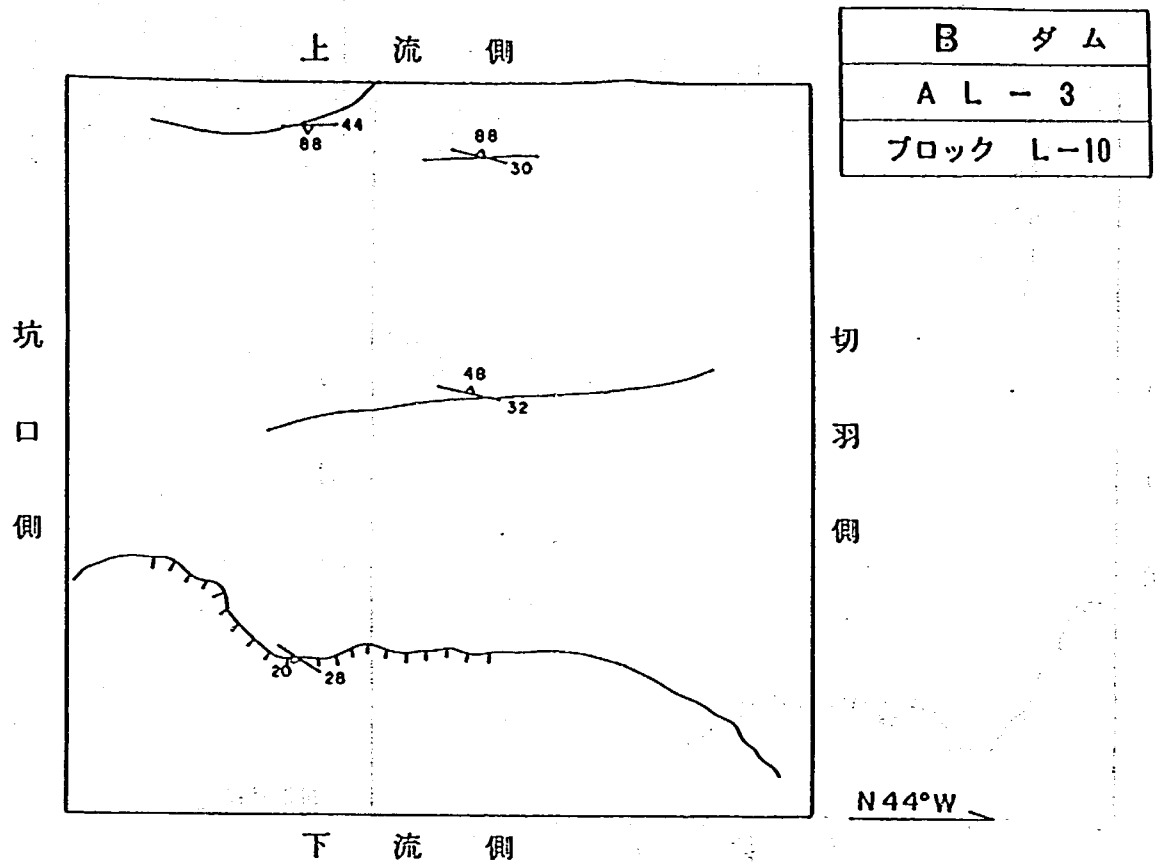
 〰△〰 割れ目走向傾斜

- (1) 地 質 : 粗粒～中粒砂岩〔左岸の地質に比べやや粗粒である。層理面なし。〕
- (2) 割 れ 目 : 潜在的な低角度の割れ目が認められるが、面は密に閉塞しており、良く見ないと気が付かない程度である。
- (3) 硬 さ : ハンマーの中～強打で塊状に破碎し、ハンマーの中打で表面が凹む。シュミットハンマーの打撃でも打撃面表面がうすく砂状になる。
- (4) 面 の 整 形 : 大部分を小電動ピックではつり、後に手のみとクワで整形する。
- (5) 面 の 状 況 : 手みなどによる凹凸が残る平坦面であるが、整形によるゆるみは認められない。

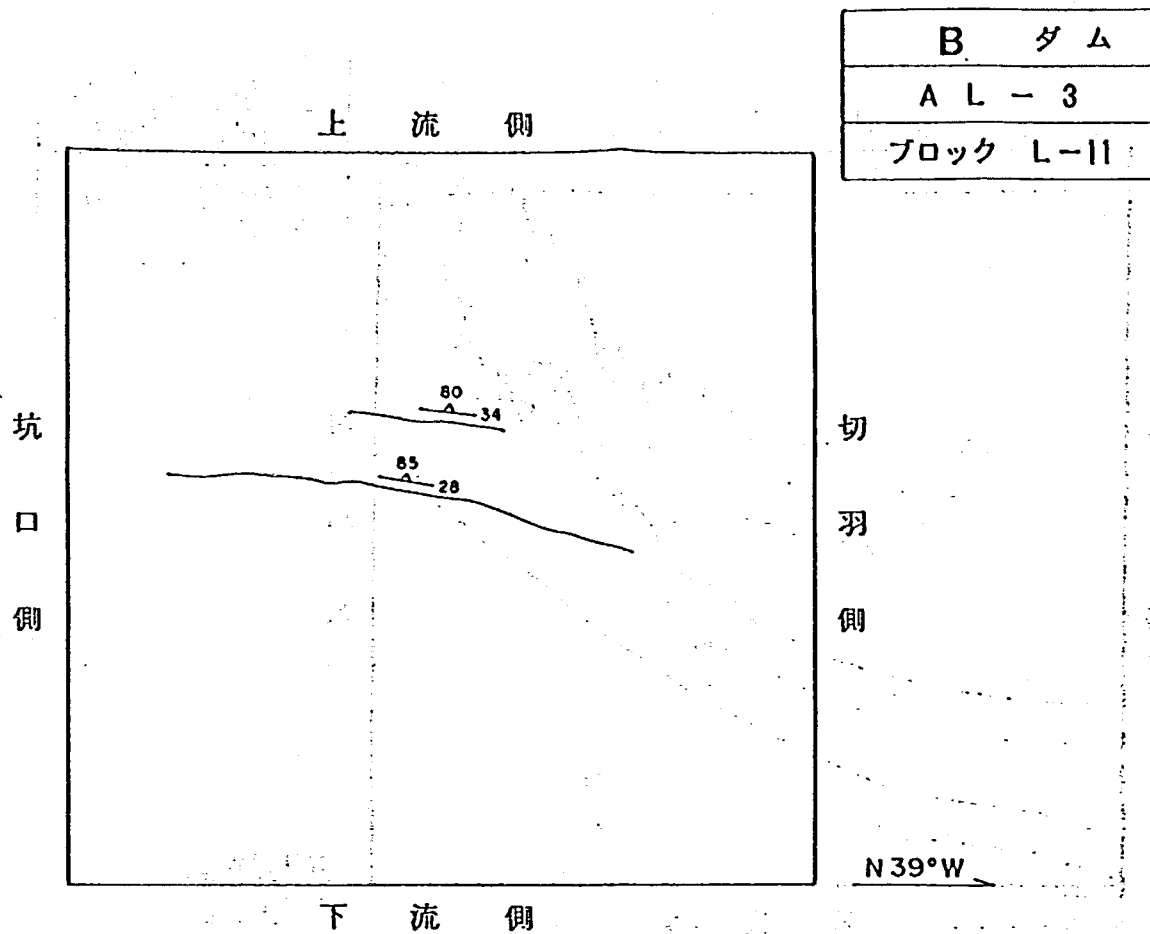


- 割れ目
- 低角度割れ目
- 26 33 割れ目走向傾斜

- (1) 地 質 : 中粒砂岩。〔灰色均一、層理面不明瞭〕
- (2) 割 れ 目 : 特に目立つものはなく、密着した潜在的なものが3本。内2本が低角度である。介在物や、変質は認められない。
- (3) 硬 さ : ハンマーの中打～強打で破碎し、シュミットハンマーの打撃により表面がうすく砂状になる。辰己ダムの砂岩に比べて、固結度は高い。
- (4) 面 の 整 形 : 大部分を小電動ピックで削り、手のみ、クワ等で仕上げる。ピックによる凹凸（深さ 0.5～1cm）が残っている。



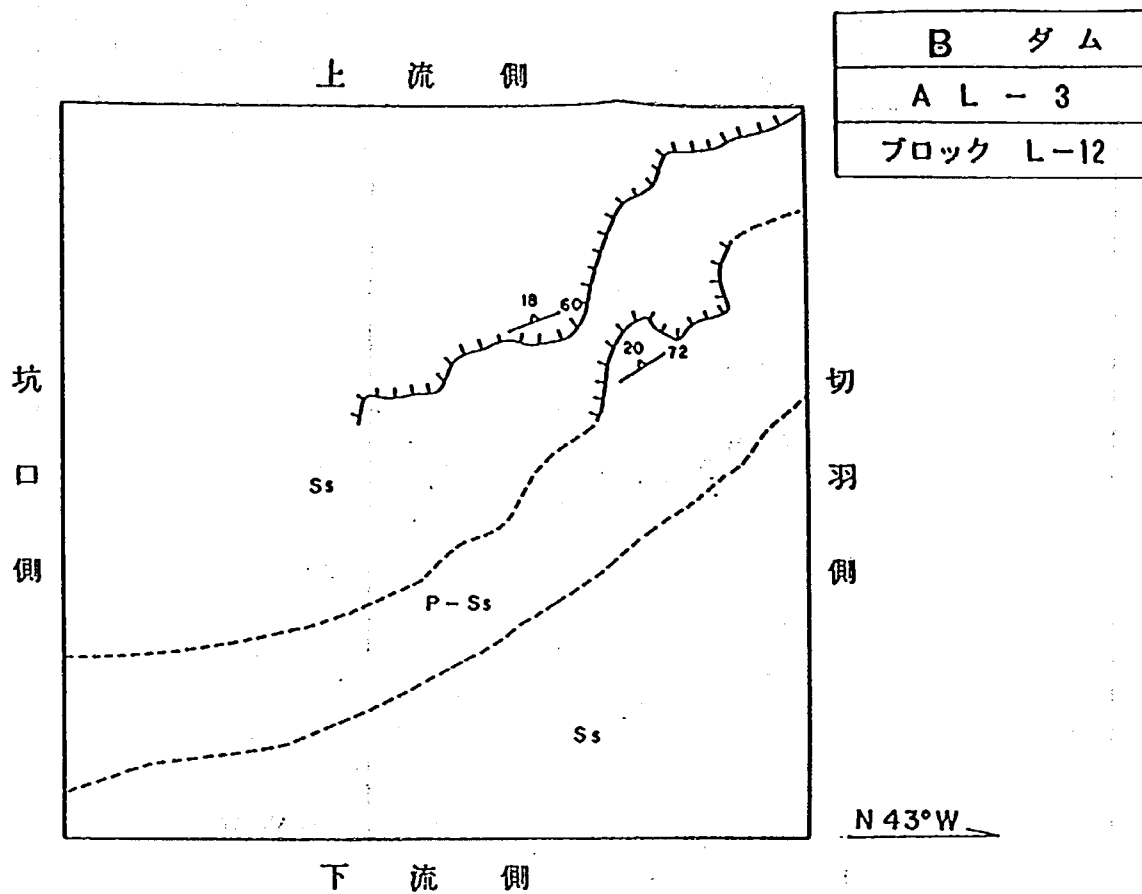
- (1) 地 質 : 中粒砂岩。〔灰色均一、層理面不明瞭〕
- (2) 割 れ 目 : 割れ目の密着した潜在的なものが3本、その内1本は低角度 ($\theta = 20^\circ$) である。低角度割れ目周辺が少し砕けやすいが、他は特に周辺岩質と硬さは変らない。
- (3) 硬 さ : ハンマーの中打～強打で破砕し、シュミットハンマーの打撃によって、打撃面の表面がうすく砂状になる。
- (4) 面 の 整 形 : 大部分を小電動ピックではつり、手のみ、クワ等で仕上げる。
- (5) 面 の 状 況 : 均一砂岩で、層理面はなく塊状である。ピックの凸凹の残る平坦面。



割れ目

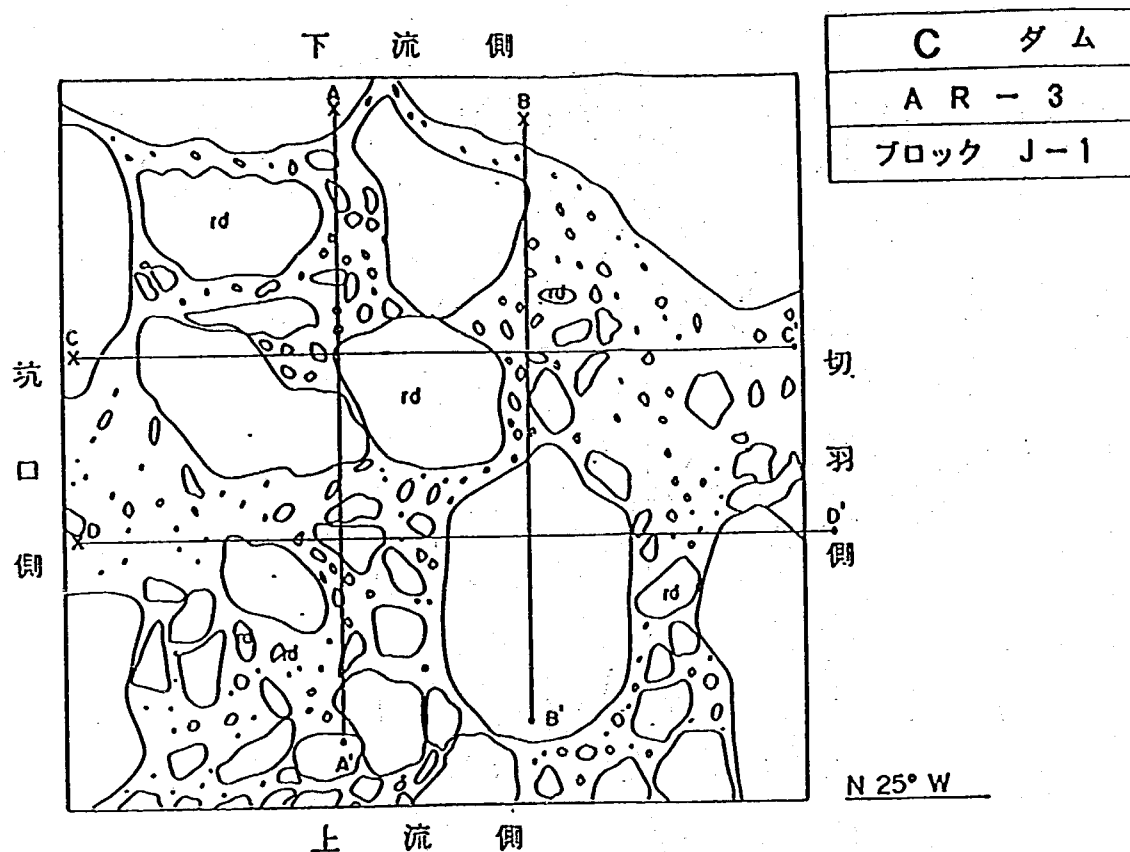
85
28
 割れ目走向傾斜

- (1) 地 質 : 中粒砂岩。〔灰色均一、層理面不明瞭〕
- (2) 割 れ 目 : 密着した潜在的割れ目が2本。介在物や変色、割れ目周辺が軟化することはない。
- (3) 硬 さ : ハンマーの中打～強打で破碎し、シュミットハンマーの打撃により、打撃面がうすく砂状になる。
- (4) 面 の 整 形 : 大部分を小電動ピックではつり、手のみやクワで仕上げる。
- (5) 面 の 状 況 : ピックの凹凸（深さ 0.5～1cm）の残る平坦面。割れ目に沿う弱いところはない。



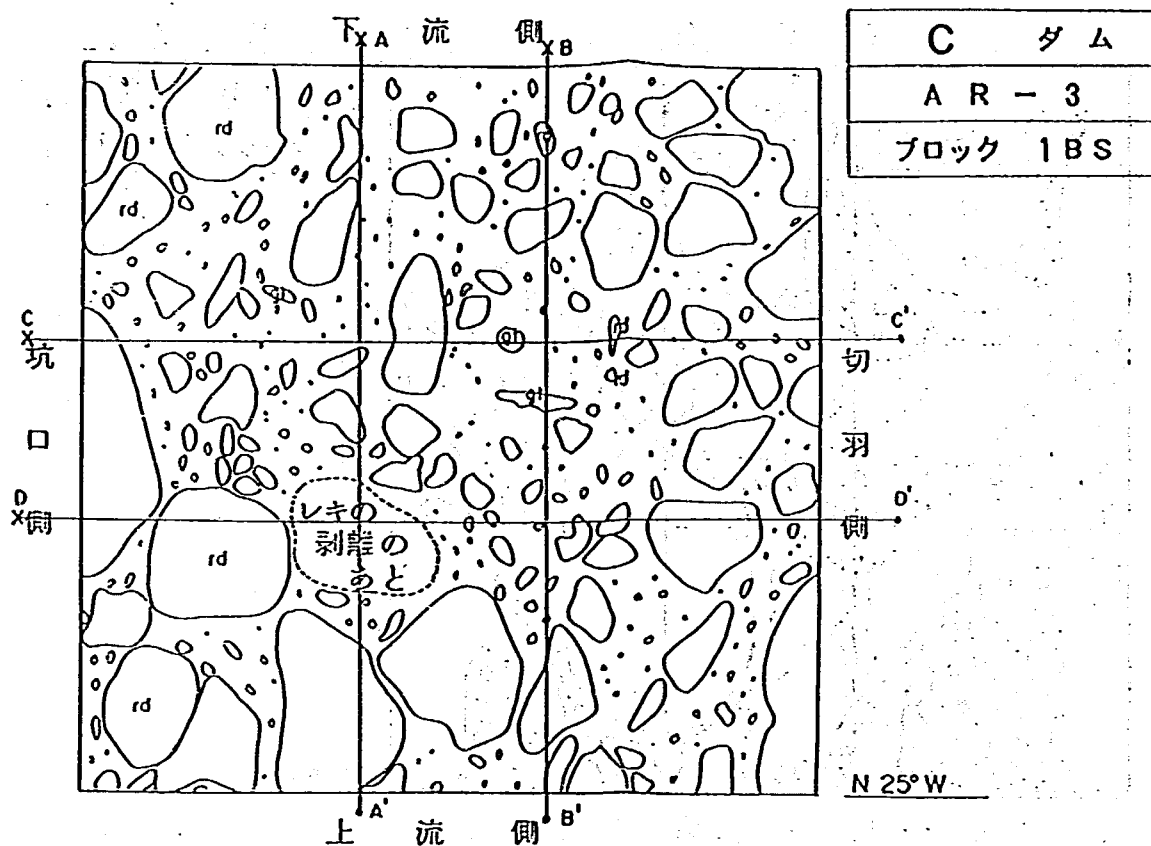
{ — 低角度割れ目 Ss — 細粒砂岩
 — 20/72 — 割れ目走向傾斜 P-Ss — 軽石混り細粒砂岩

- (1) 地 質 : 中粒砂岩。〔軽石混り中粒砂岩。層理面は不明瞭でP-Ssは砂岩の中に $\phi 1 \sim 2 \text{ mm}$ の緑色化した小さい軽石を含んでいるものである。〕
- (2) 割 れ 目 : 潜在的な層理面に沿うものと思われる低角度な割れ目が認められる。
- (3) 硬 さ : 中央に小さな緑色化した軽石がゴマ塩状に混じっているが、強度的に周辺の中粒砂岩と特に差がない。
- (4) 面 の 整 形 : 大部分を小電動ピックではつり、手のみ、クワ等で仕上げる。
- (5) 面 の 状 況 : ピックの凹凸(深さ 0.5~1 cm)の残る平坦面で整形によるゆるみは認められない。。



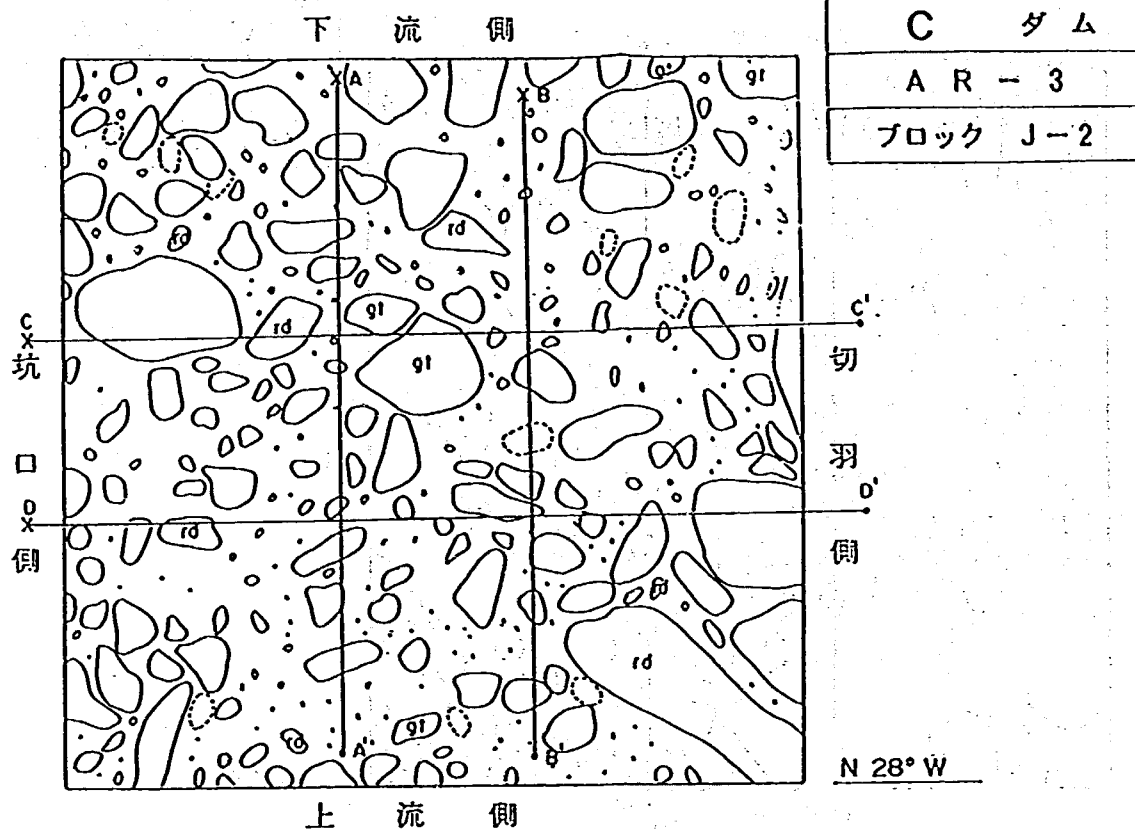
rd — 赤色軟質安山岩礫（他は黒色堅硬安山岩礫）

- (1) 地 質 : 火山円礫岩〔黒色安山岩の大礫が多量混入、マトリックスは茶黄～黄緑色の凝灰質泥岩からなる。〕
- (2) 割 れ 目 : 認められない。
- (3) 基質の硬さ : 全ブロックのなかでもっとも良く固結していると思われる。巨礫が多いが、基質とよく膠着している。
- (4) 面 の 整 形 : 硬い安山岩の礫は大きく、マトリックスとよく膠結しており、ダイヤモンドカッター等でノコ目を入れて砕く。安山岩礫は強打して砕いてもマトリックス部をよく膠着している。
- (5) 面 の 状 況 : 硬い礫のため面は多少凹凸している。マトリックスは比較的よく締まっている。



- rd — 赤色軟質安山岩礫 ○ — 礫のぬけたところ
 gt — 緑色軟質凝灰岩礫 (他の礫は黒色堅硬安山岩礫)

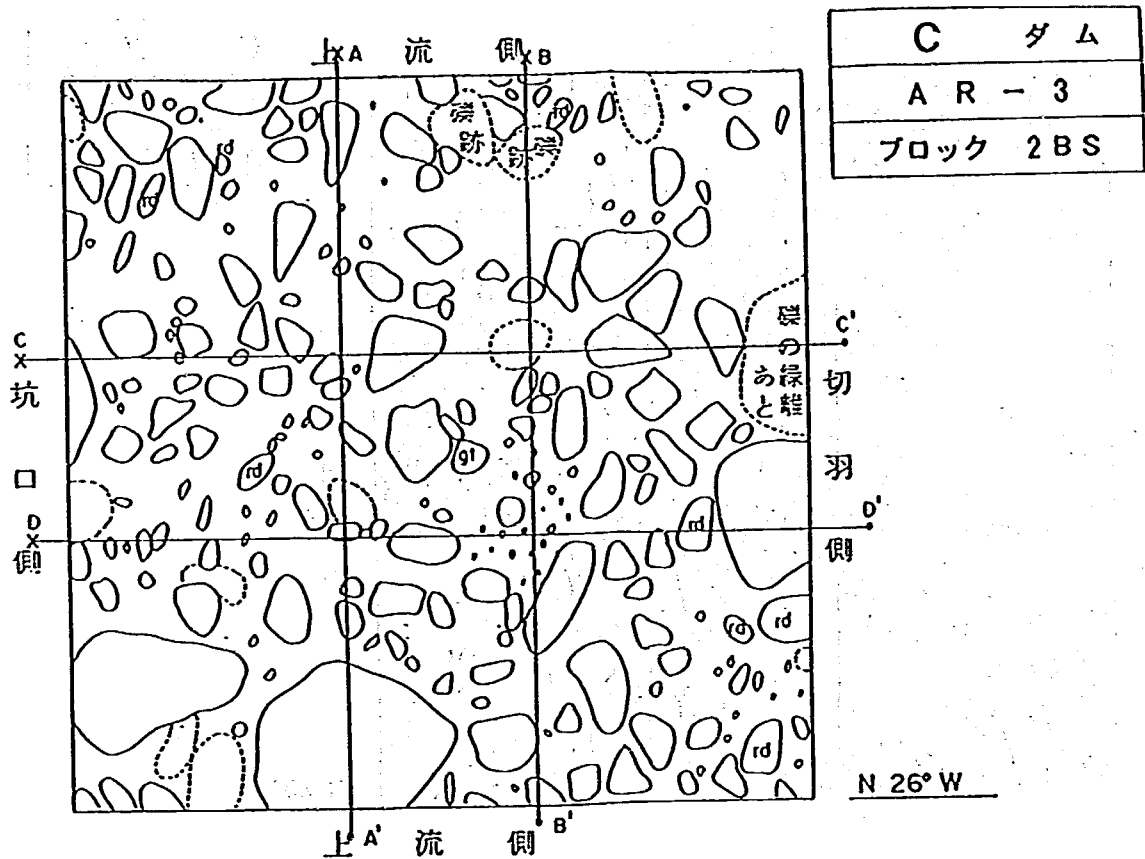
- (1) 地質 : 火山円礫岩〔赤色～茶色安山岩の礫が多く混入。マトリックスは黄色凝灰質泥岩からなり、比較的硬く膠結している。安山岩礫は亜円礫～円礫を主体とする。〕
- (2) 割れ目 : 認められない。
- (3) 基質の硬さ : 良く固結しており、レキの剥離はハンマーの強打でないとむずかしい。ハンマーの中打で基質は凹む。
- (4) 面の整形 : 硬い黒色の安山岩礫は少なく、赤～茶色のやや軟質の安山岩礫が多いため、整形はツルハシ～電動ピックで行い、手のみ、ダイヤモンドカッターなどで仕上げる。
- (5) 面の状況 : 礫のため面は多少凹凸している。



rd — 赤色軟質安山岩礫 ○ — 礫のぬけたところ

gt — 緑色軟質凝灰岩礫

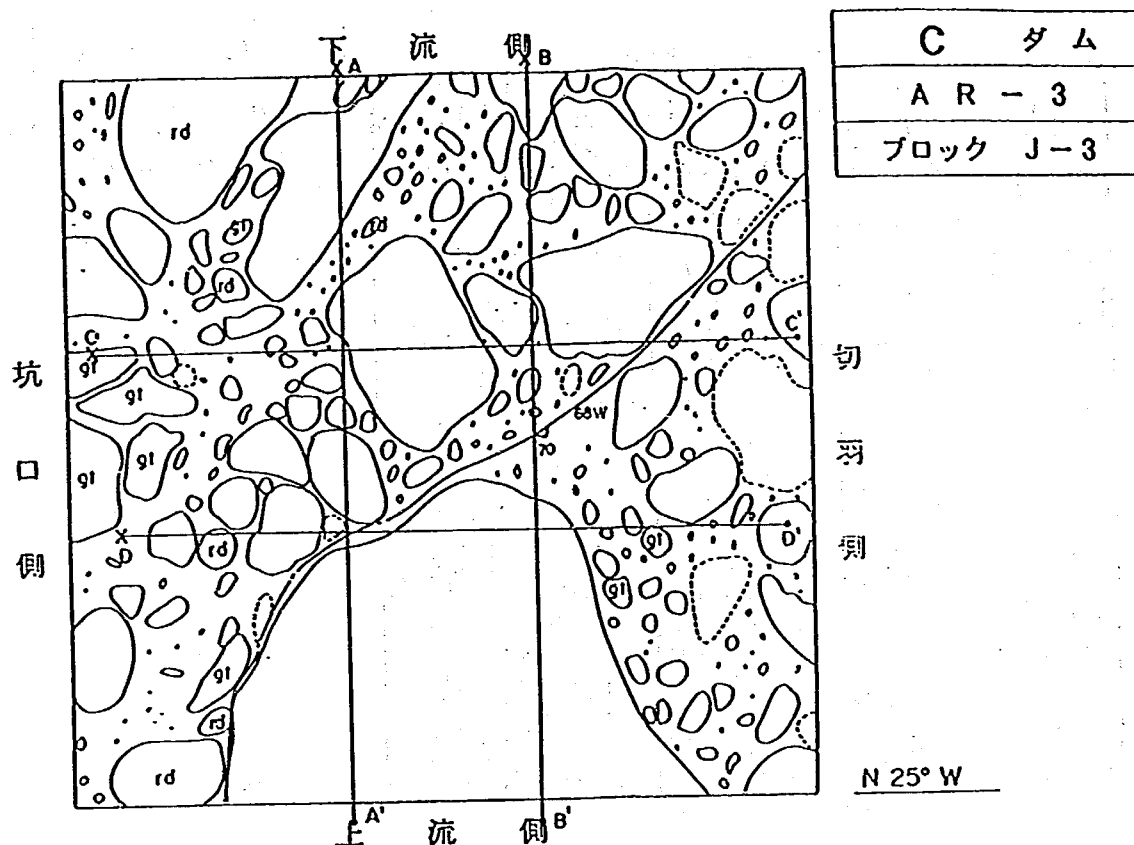
- (1) 地 質 : 火山円礫岩 [No. 1~2ブロックに比べると礫が小さく丸味を帯びている。マトリックスは黄色で軟化してハンマーの中打~軽打で破碎する。]
- (2) 割 れ 目 : 認められない。
- (3) 基質の硬さ : 全体的に良く固結している。ハンマーの中打でやや凹むが、中打では礫は剝脱しにくい。
- (4) 面 の 整 形 : 面内には黒色の硬い安山岩の大きな礫は少なく、大部分は直径10cm以下のため小電動ピックとツルハシで整形、手のみとダイヤモンドカッターで仕上げる。
- (5) 面 の 状 況 : 礫の剝脱と付着のために多少凹凸している。



rd — 赤色軟質安山岩礫（他は黒色堅硬安山岩礫）

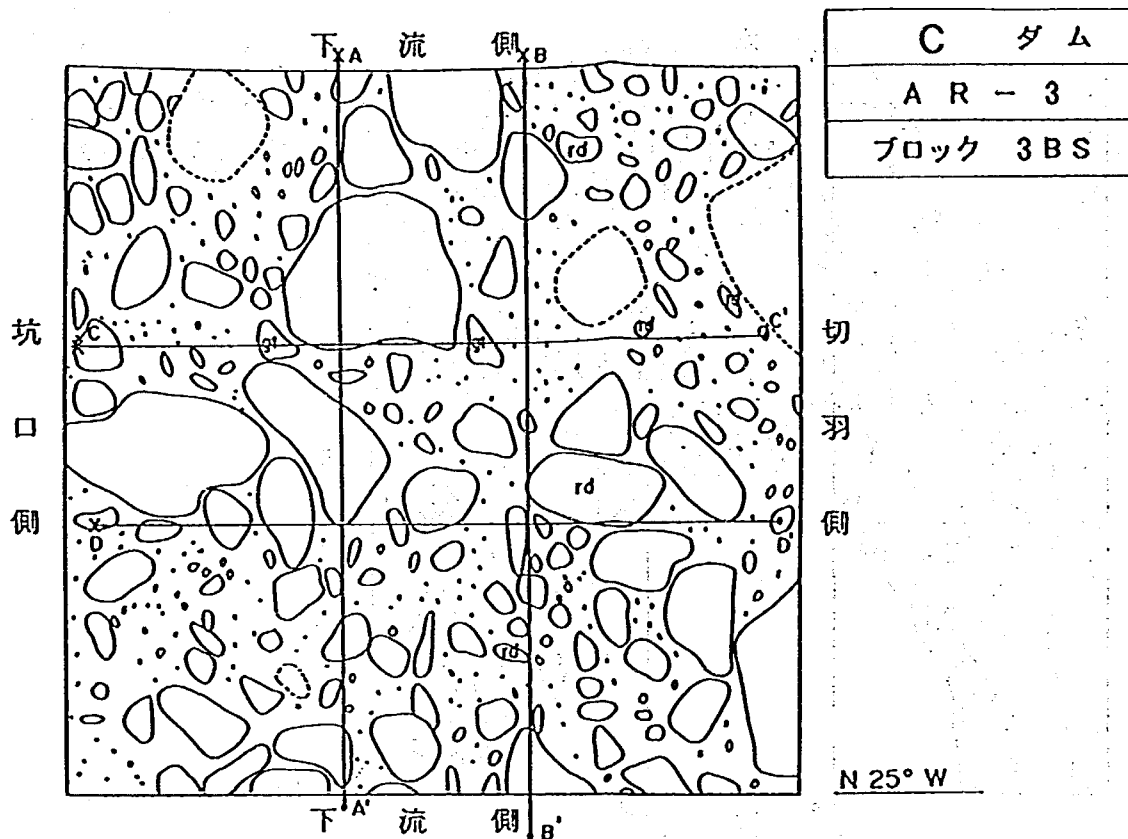
○ — 礫のぬけたところ

- (1) 地 質 : 火山円礫岩〔 ϕ 5~20cmの垂円礫を多量に岩む。マトリックスは凝灰質砂質泥岩からなっている。〕
- (2) 割 れ 目 : 認められない。
- (3) 基質の硬さ : 他ブロックに比べ、やや風化し、茶~黄色状を呈する。ハンマーの中打で凹み、他ブロックに比べ大きく差はないが、やや軟質である。
- (4) 面 の 整 形 : 小電動ピックとツルハシではつり、手のみ、ダイヤモンドカッターで仕上げる。他ブロックより礫の剝脱が多く、礫のぬけたところが凹地となる。
- (5) 面 の 状 況 : 他ブロックに比べ、礫のぬけたところが多いので、凹地が多い。



rd — 赤色軟質安山岩礫 ——— 割れ目 ○ — 礫のぬけたところ
 gt — 緑色軟質安山岩礫 —▲— 割れ目の走向傾斜
 (他は黒色堅硬安山岩礫)

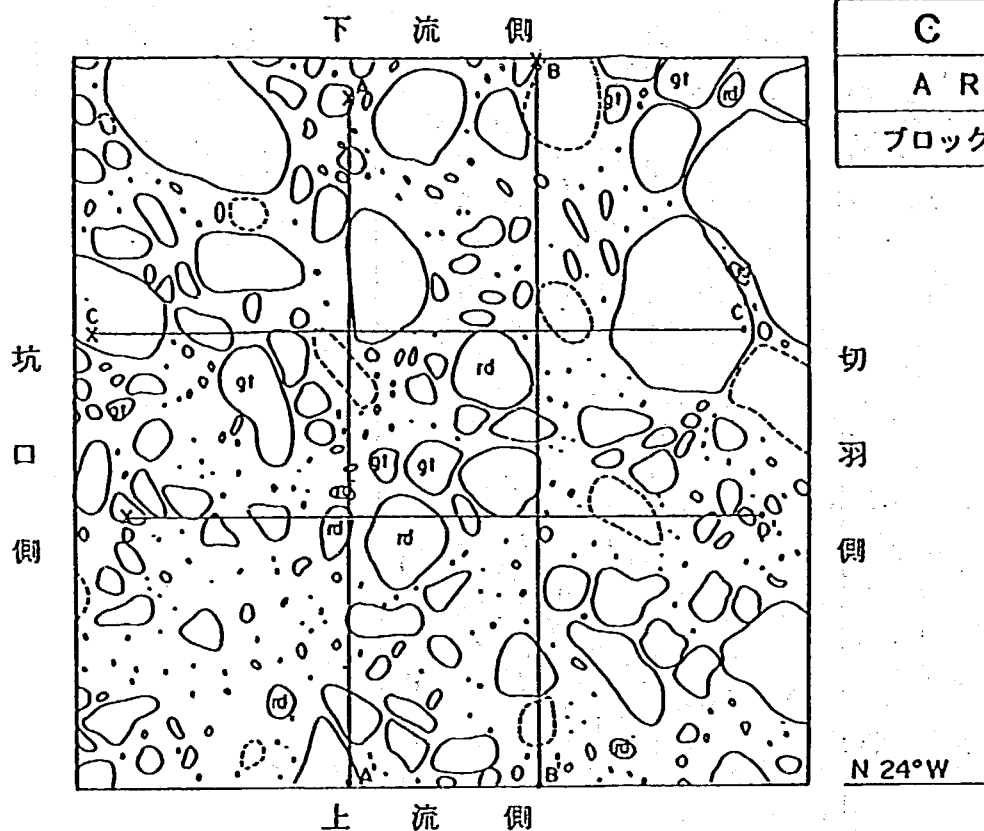
- (1) 地 質 : 火山円礫岩〔黒色堅硬安山岩、赤色硬質安山岩、緑色中硬質凝灰岩の巨礫を多く含む。礫の大部分は亜円礫～円礫である。〕
- (2) 割 れ 目 : 1本あり (N68° 70° S) 割れ目の面は不明瞭、挟在物なし、風化もしておらず密着状態。
- (3) 基質の硬さ : 全体にやや泥質である。一部礫がハンマーの強打で剥脱するものよく固結する。ハンマーの中打で凹む。
- (4) 面 の 整 形 : 小電動ピックとツルハシではつり、手のみ、カッターなどで仕上げる。上流側に分布する巨礫には亀裂 (N75° W90°) があるので、これに沿って割れる。
- (5) 面 の 状 況 : 礫の混在のため凹凸している。



rd — 赤色軟質安山岩磔 ○ — 磔のぬけたところ

gt — 緑色軟質安山岩磔

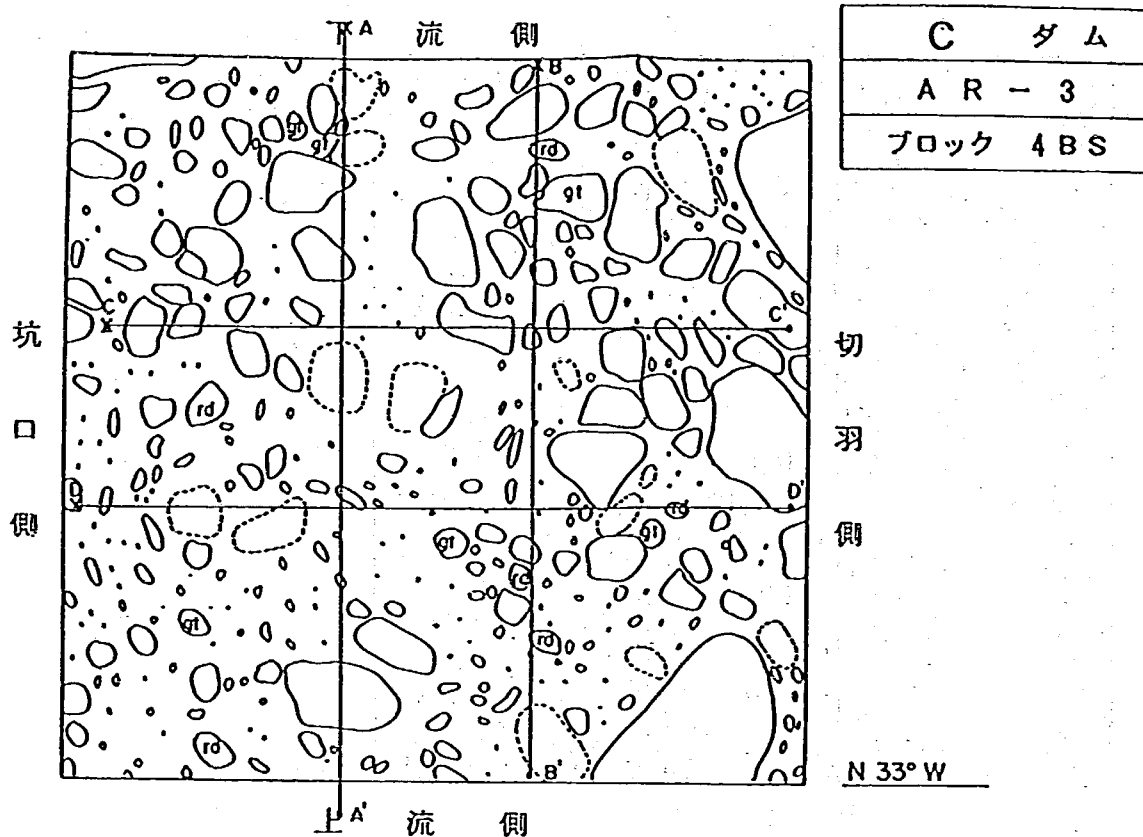
- (1) 地質 : 火山円礫岩〔黒色硬質安山岩、茶灰色硬質安山岩、緑色中硬質凝灰岩、赤色硬質安山岩等の亜円礫～円礫を含む。〕
- (2) 割れ目 : 認められない。
- (3) 基質の硬さ : 全体にやや泥質の基質部からなり、やや茶色化した。やや軟質（礫が遊離しやすい部分）を含むが、全体にはよく固結している。ハンマー中打で凹む。
- (4) 面の整形 : 電動ピック、ツルハシ、ハンマー等によりはつり、手のみ、手動カッターなどで仕上げる。
- (5) 面の状況 : 礫の混在のため凹凸している。マトリックスはやや泥っぽい。礫のぬけたところをみると、多少茶色化し、剝離しやすい部分もある。



rd — 赤色～茶色軟質安山岩礫 ○ — 礫のぬけたところ

gt — 灰色～緑色軟質凝灰岩礫

- (1) 地 質 : 火山円礫岩〔マトリックスは砂質凝灰岩で、円礫が多い黒色堅硬安山岩礫、赤色～茶色硬質安山岩礫、灰色～緑色中硬質凝灰岩礫の円礫を含む。〕
- (2) 割 れ 目 : 認められない。
- (3) 基質の硬さ : 全体によく固結しているが、ハンマーの強打で礫が剝脱する部分を含む。
- (4) 面 の 整 形 : 小電動ピック、ツルハシ、ハンマー等によりはつり、手のみ、カッターなどで仕上げる。
- (5) 面 の 状 況 : φ10cm以上の礫はハンマーで砕き凸部をはつるが、礫による数cmの凹凸が残っている。



rd — 赤色～茶色軟質安山岩礫 ○ — 礫のぬけたところ

gt — 灰色～緑色軟質凝灰岩礫
 (他は黒色堅硬安山岩礫)

- (1) 地 質 : 火山円礫岩〔マトリックスは砂質凝灰岩で、円礫が多い黒色堅硬安山岩礫、赤色～茶色軟質安山岩礫、灰色～緑色軟質凝灰岩礫の円礫を含む。〕
- (2) 割 れ 目 : 認められない。
- (3) 基質の硬さ : 他のブロックに比べてやや軟質であるが、大差はない。ハンマーのピックの部分の軽打で凹む。
- (4) 面 の 整 形 : 小電動ピック、ツルハシ、ハンマー等によりはつる。その後手のみ、カッターにより平面状に仕上げる。他ブロックよりマトリックスの膠結力がやや弱く礫がハンマーの強打で剝脱するものがある。
- (5) 面 の 状 況 : 円礫の含有により凹凸し、全体的にも数cmの凹凸が残る。

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4
新第三系中新統の堆積性軟岩における例

ISSN 0286-5878
土研資料第2727号
平成元年2月(1989)
室 長 中 村 康 夫
主任研究員 平 野 勇
研 究 員 佐々木 靖 人

要 旨

新第三系中新統の堆積性軟岩からなる三ヶ所のダム基礎岩盤について、各々肉眼観察、シュミットハンマー試験、針貫入試験、簡易弾性波速度測定、点载荷試験、岩石物理試験を実施し、岩盤の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、岩盤分類

郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

地質研究室 御中

No. 003

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2727号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印