

土 木 研 究 所 資 料

七ヶ宿ダムフィル材料試験報告

昭和58年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

ダム部フィルダム研究室

Copyright © 1983年 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 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承認を得ずしてこれを行ってはいらない。

七ヶ宿ダムフィル材料試験報告

建設省土木研究所フィルダム研究室

松 本 徳 久
渡 辺 和 夫
小 川 優

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 目 的	4
3. 試 験 方 法	6
3.1 試 験 概 要	6
3.2 試 験 装 置	9
4. 試 験 結 果	11
4.1 物 理 試 験	11
4.2 締 固 め 試 験	15
4.3 三軸圧縮試験	18
4.4 試験後粒子破砕	30
4.5 粒子形状および点載荷圧裂試験	37
5. 考察および設計参考値	42

1. ま え が き

東北地方建設局七ヶ宿ダム工事事務所の依頼によりフィル材料の試験を行った。昭和52年度から提体の透水性ゾーン予定材料について試験を実施して来た。昭和52・53年度には採取材料であった流紋岩および石英安山岩について設計参考値（土研資料・第1507号・フィルダム材料の性質に関する試験・七ヶ宿）を求めたが、昭和56年度には新規原石山（ありや山）のロック材料である安山岩に採取材料が変更になった。そこで本報告は、この安山岩についての物理試験および三軸試験を実施し結果を取りまとめ報告するものである。。

七ヶ宿ダムは宮城県阿武隈川の支川白石川に洪水調節・かんがい・水道用水・工業用水を目的とした多目的ダムである。阿武隈川は幹川流路延長239km、流域面積5,400km²におよびその流域は福島・宮城両県にまたがり、治水・利水上重要な役割を果している。ダムは、高さ93m、総貯水容量1億900万 m³の貯水池を持つセンターコアタイプのロックフィルダムである。

ダムサイト周辺の地質は、おもに凝灰岩地帯で岩盤は軟岩に属する地帯が多い。また、河床部から右岸の山腹にかけての一带は流紋岩質凝灰岩であり、左岸部一带にかけては石英安山岩からなっている。なおダムの流域図を図-1、ダムの平面図を図-2、ダム軸線断面図および標準断面図を図-3、ダムおよび貯水池の諸元を表-1にそれぞれ示した。

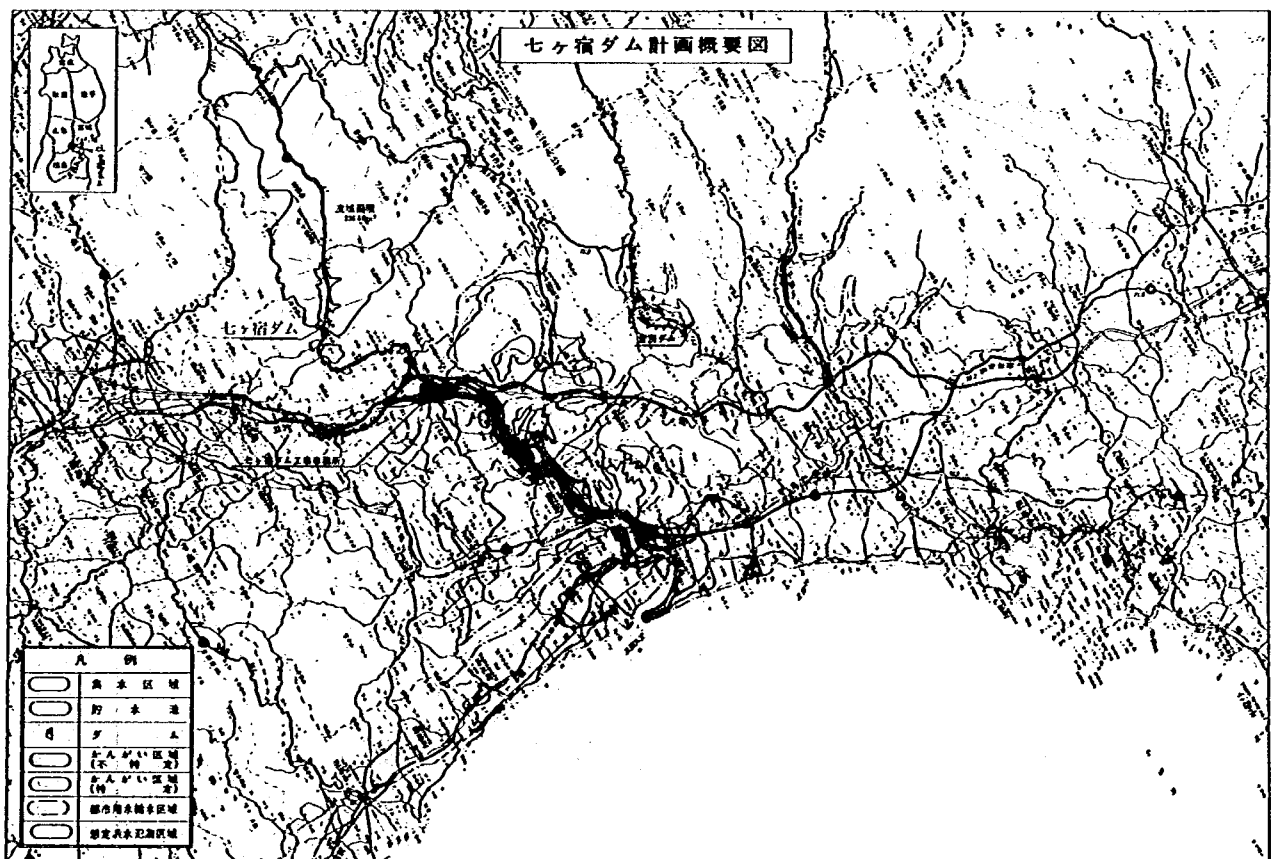


図-1 ダム流域図

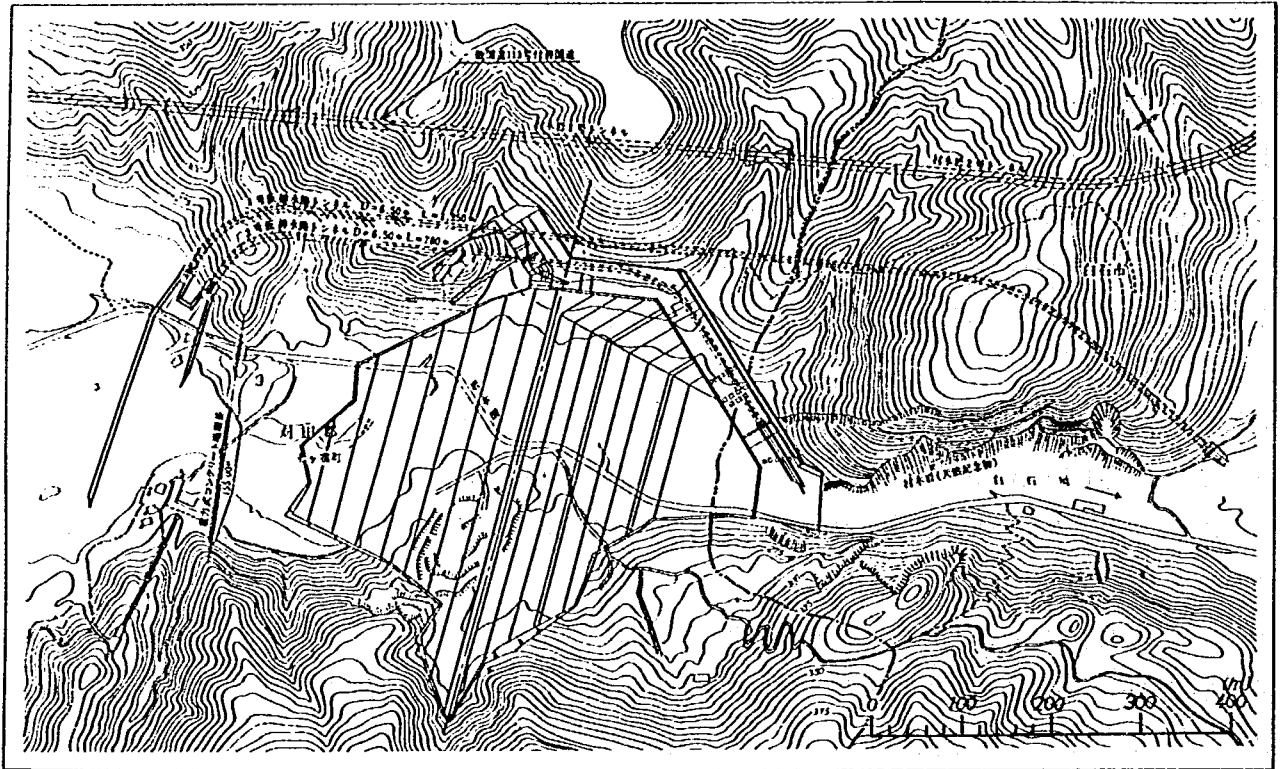


図-2 ダム平面図

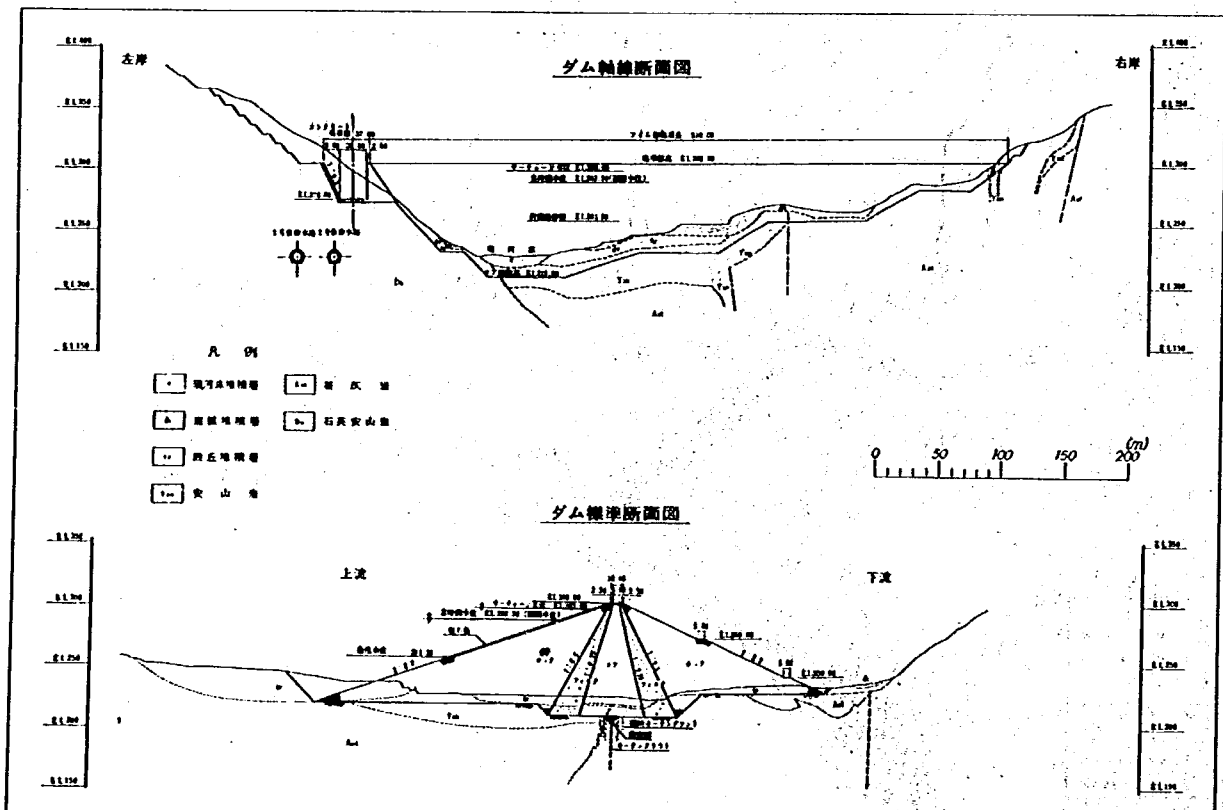


図-3 ダム軸線標準断面図

表-1 ダム及貯水池諸元

河川名	阿武隈川水系 白石川	ダム名	七ヶ宿ダム	位置	宮城県刈田郡 七ヶ宿町渡瀬
流域面積	236.6 km ²	目的	洪水調節・かんがい 水道用水・工業用水		
貯水池		ダム		利水	
洪水面積	4.1 km ²	型式	中央コア型 ロックフィルダム	かんがい	最大 3,379m ³ /S
洪水延長	6.0 km	堤頂標高	EL 308,000 m	水道用水	595,900m ³ /日
常時満水位	EL 293,500 m	堤高	93 m	工業用水	55,900m ³ /日
サーチャージ・ 水位	EL 303,000 m	堤頂長	600 m	水没補償	
制限水位	EL 293,500 m	堤頂巾	10 m	家屋	170 戸
最低水位	EL 261,500 m	堤体積	6,757,000m ³ (フィル部) 356,000m ³ (コンクリート部)	宅地	約 200,000 m ²
洪水調節水深	9.5 m	堤体勾配	上流面 1 : 2.7 下流面 1 : 2.2	田地	約 70 ha
総貯水容量	109,000,000 m ³	越流設備	クレスゲート 巾11.5m 高10.3m 4門	畑地	約 50 ha
有効貯水容量	99,500,000 m ³	放流設備	オリフィスゲート 巾5.0m, 高6.0m 1門	山林・原野	約 360 ha
堆砂容量	9,500,000 m ³	地質	凝灰岩類 石英安山岩	道路(国道)	道路 6.8km トンネル4ヶ所 1.3km 橋梁 15 橋 1.7km
洪水調節容量	35,000,000 m ³			発電所	2ヶ所
利水容量	64,500,000 m ³			事業費及工期	
計画水流量	1,750m ³ /S			ダム事業費	約 535 億円
計画放流量	250m ³ /S			工期	自昭和48年度 至昭和59年度 (予定)
調節流量	1,500m ³ /S				

2. 試 験 目 的

原石山の変更に伴い、使用ロック材料である流紋岩および石英安山岩が、安山岩に変更になったため、現在まで求めて来た物性値および強度定数との比較を行い、従来通りの設計参考値での妥当性を判断するために実施した。なお、試験対象材料および試験時期を以下の文章に示し、ロック材原石山の位置を図-4に示した。

- a) 原石山……………ありや山（北部）
- b) 原石山特性……………P波・3.65～4.52km/sec
一軸強度・503～1187kg/cm²
岩級区分（岡本・安江）・A I a～A II a
- c) 材料採取位置……………横坑名・RT-8'（EL550m）
採取深度・48m（坑口からの距離）
- d) 材料搬入時期……………昭和56年6月19日～8月31日

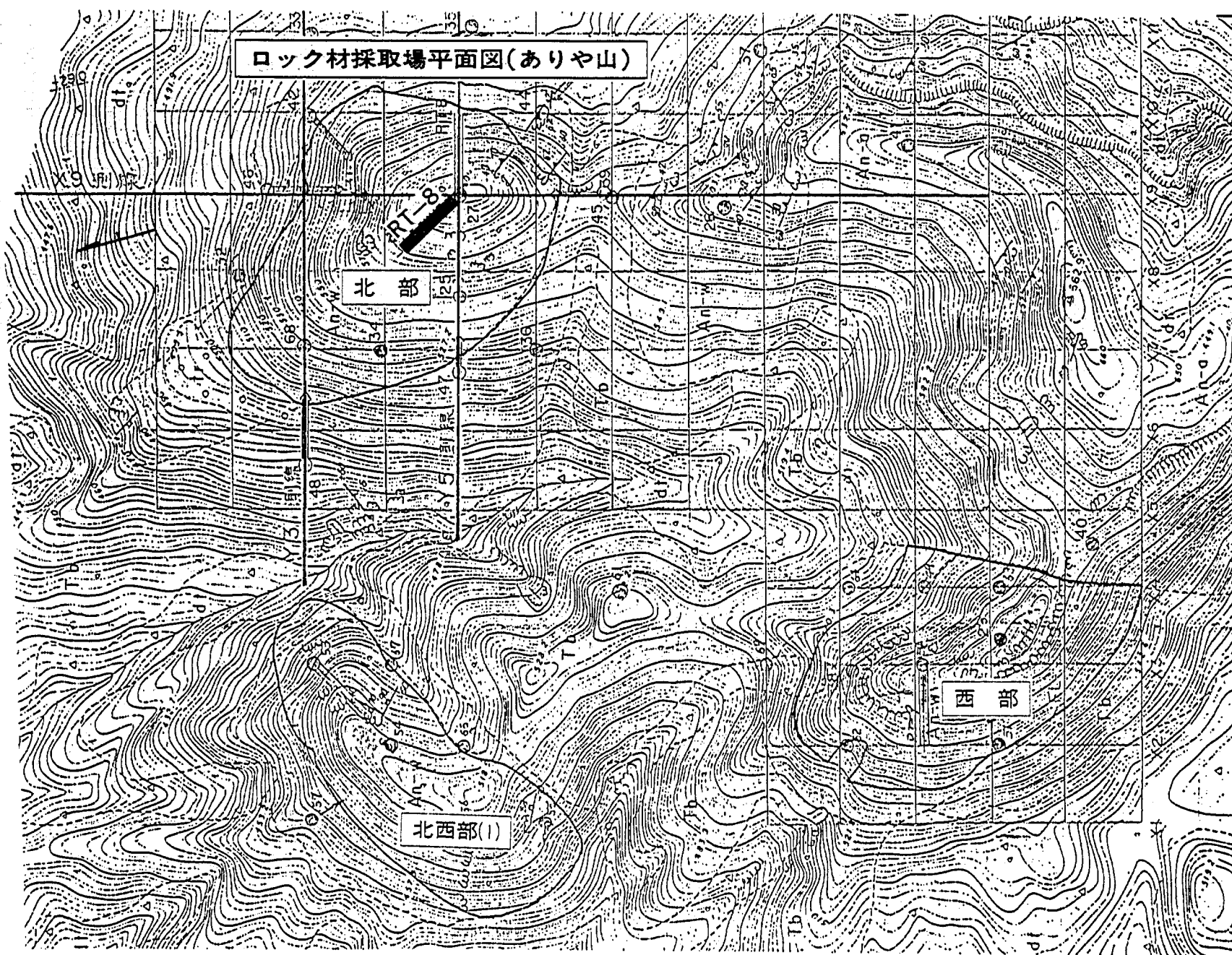
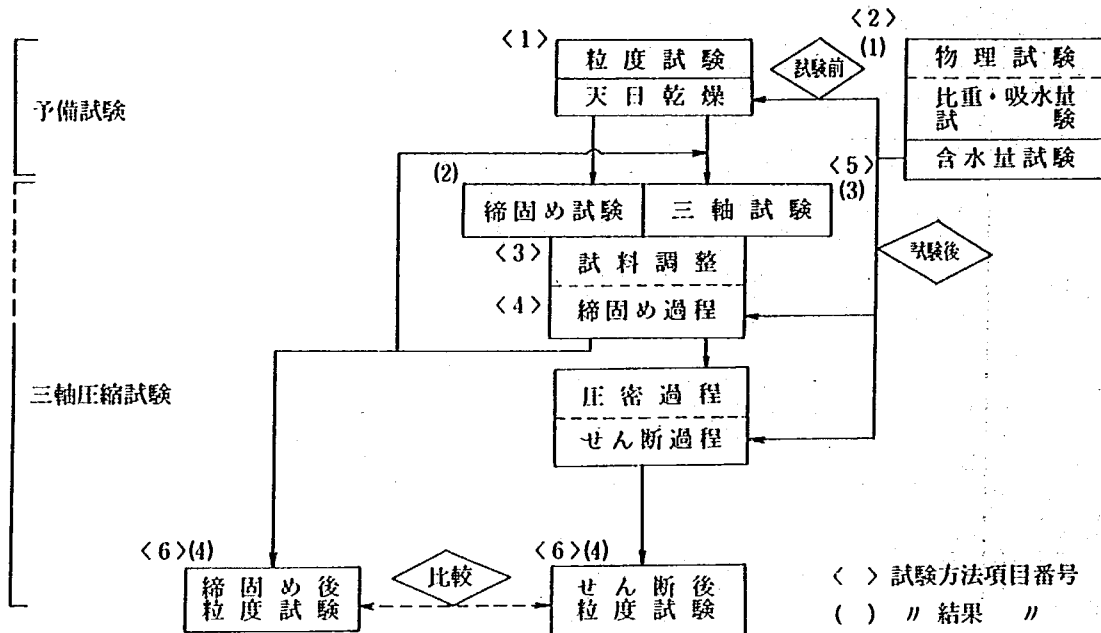


図-4 ロック材原石山図

3. 試験方法

七ヶ宿ダム工事事務所（原石山）より搬入された材料について、以下に示す試験項目および試験方法により実施した。なお、試験の順番と概要を図－5に示した。



図－5 試験概要の説明図

3.1 試験概要

1) 搬入時材料フルイ分け

試験を実験するに先立ち現場より搬入された材料を JIS・A・1204により粒径63.5～0.074mm までの10粒径階に分級し、それに並行させて天日乾燥により含水比 (w) < 1%にした。

2) 物理試験

比重・吸水量試験は、粒径4.76mm 以上については粗骨材の比重および吸水量試験 JIS・A・1110に準拠して実施し、水浸48時間以上・乾燥24時間以上とした。粒径4.76mm 以下については土粒子の比重試験 JIS・A・1202に準拠して実施した。また、含水量試験は JIS・A・1203に準拠して実施した。

3) 試験粒度の決定および試料調整

締め固め試験・三軸試験に先立ち、現場での横坑内採取試験粒度を当試験施設で試験が可能な粒度にする必要があり、そのためには試験最大粒径/供試体径が1/5以下（試験粒度の最大粒径が63.5mm）であり、横坑内採取試験粒度と相似とする必要があるが、事務所資料（昭和56年10月）による採取推定粒度曲線の相似粒度を対象とすると粒径4.76mm 以下の粒径が重量百分率で60%程度となり、試験時の排気性および細粒分の含有が多いためにロック材料としての試験対象粒度（礫分を対象）条件に問題が有る。以上の理由より試験粒度分布は横坑内採取粒度分布を基本とした粒径が63.5mm 以上を除いた剪頭粒度分布とした。なお、試験粒

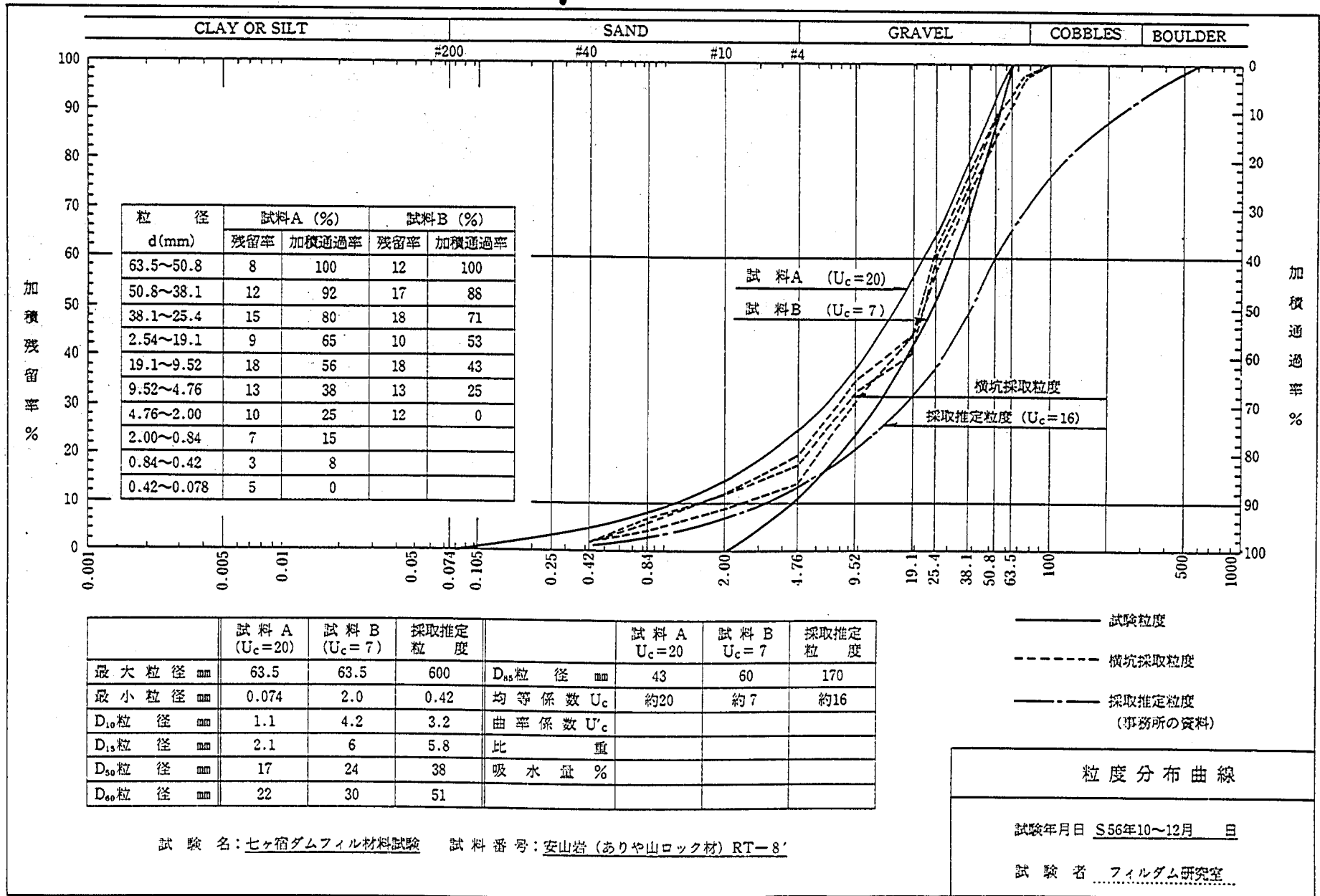


図-6 現場粒度および試験粒度分布図

度分布は採取材料の粒度変動を考慮し、均等係数の大きな粒度 ($U_c=20$) を試料 A・均等係数の小さな粒度 ($U_c=7$) を試料 B の 2 種類とした。試験粒度分布を図－6 に示した。

4) 締固め試験

三軸試験に使用する間隙比の決定および最大・小間隙比を決め相対密度の定義 (表－3) により相対密度を求める。また、締固めによる粒子破碎率を知る。以上の理由により締固め試験を実施した。

締固め試験は、振動締固め試験機を用いて絶乾重量、締固め層数、振動数および時間を一定とし加速度 (偏心重錘重量による) を 5 種類 (投入のみを含む) 変化させた。振動時には試料の表面をおさえるため $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の上載応力を作用させた。なお、締固め試験条件を表－2 に示す。試験は 3) で求めた粒度分布になるように試料 (絶乾重量 = 78kg) を粒径毎に計量して、各々 6 等分しこれを 1 層分とし混合した後、各層毎に静かに投入、試験前後の試料高さを 5 点以上測定し間隙比で整理した。また、最小間隙比 ($e_{\min}$) は重り枚数・15 枚、最大間隙比 ($e_{\max}$) は試料投入のみで求め、粒子破碎率については重り枚数が $5 \cdot 10 \cdot 15$ 枚で試験を実施している。

表－2 締固め試験条件

項 目	仕 様
絶 乾 重 量	78 kg
振 動 数	1800r・p・m
振 動 時 間	480sec/層
層 数	6 層 < 1 層 約 10cm >
供 試 体 寸 法	直径 30×高さ 60cm
締固めエネルギー (加速度)	0 (投入のみ), 1, 5, 10, 15 枚 15 枚 (0.4), (1.3), (2.1), (2.6)g 十 静荷重

表－3 相対密度表

相対密度 D_r (%)	ケ ー ス 名
0 ~ 15	Very Loose (V・L)
15 ~ 35	Loose (L)
35 ~ 65	Medium (M)
65 ~ 85	Dense (D)
85 ~ 100	Very Dense (V・D)
$e_{\max}$: 最大間隙比 $e_{\min}$: 最小間隙比 e : 目標間隙比 上述の () の記号は略語である。	
$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 \quad (\%)$	

5) 三 軸 試 験

本試験は土質工学会基準「土の三軸試験方法 (案)」に準拠して実施し供試体は締固め試験結果より得られた値より、相対密度で 80% と 50% を目標の初期間隙比とし、各供試体の間隙比差が 0.003 以内になるように統一し供体を作成した。

試験は、不飽和・気乾状態、ひずみ制御により実施し、圧密は等方圧密で目標の側圧まで上昇させ、体積変化量が一定になった所でせん断を行う。せん断は供試体高さの 1 %/min で 17% まで行い終了とする。なお、三軸試験条件を表－4 に示す。

表－4 三軸試験条件

項 目	仕 様
試 験 方 法	圧密排水 (CD), 不飽和・気乾状態
せん断方法	ひずみ制御, 6mm/min (供試体高の 1%)
試 験 側 圧	1.5, 3.0, 4.5, 6.0kg/cm ²
供 試 体 寸 法	直径 30×高さ 60cm
試 験 粒 度	A, $U_c=20 \cdot e_o=0.400$ ($D_r=50\%$), $e_o=0.286$ ($D_r=80\%$) B, $U_c=7 \cdot e_o=0.489$ ($D_r=50\%$), $e_o=0.386$ ($D_r=85\%$)

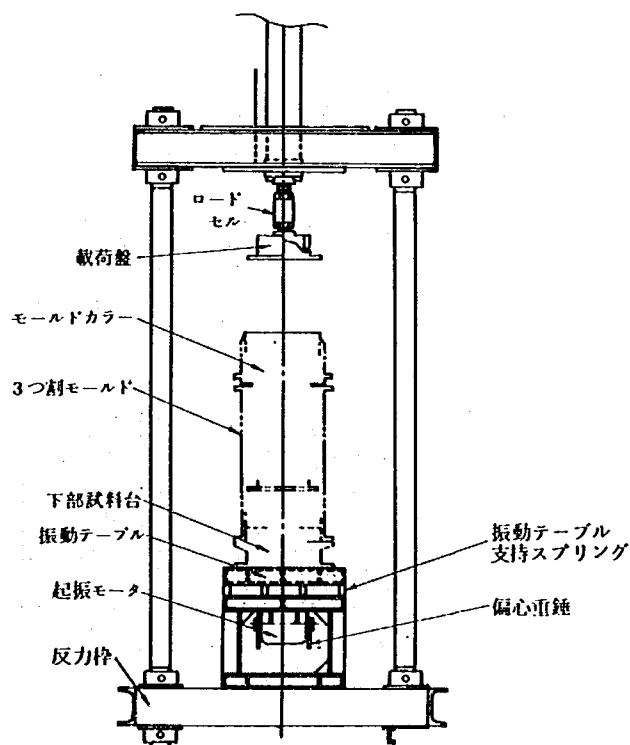
6) 試験後粒子破碎調査

粗粒材のように、砂などに比べて小さい応力状態でも粒子破碎が生じる材料においては、粒子の破碎がせん断特性（強度、変形）に与える影響は無視できない。そこで、締固め試験およびせん断による粒子破碎を調べるため、締固め試験後（重り枚数5、10、15枚）および三軸圧縮試験後（各側圧毎）に粒度試験を行なった。試験は、各試験後、気乾状態（含水比約1%）で、供試体全試料についてふるい分け（JIS・A・1204）を行なった。なお、粒子破碎は Marsal の定義により求めた。

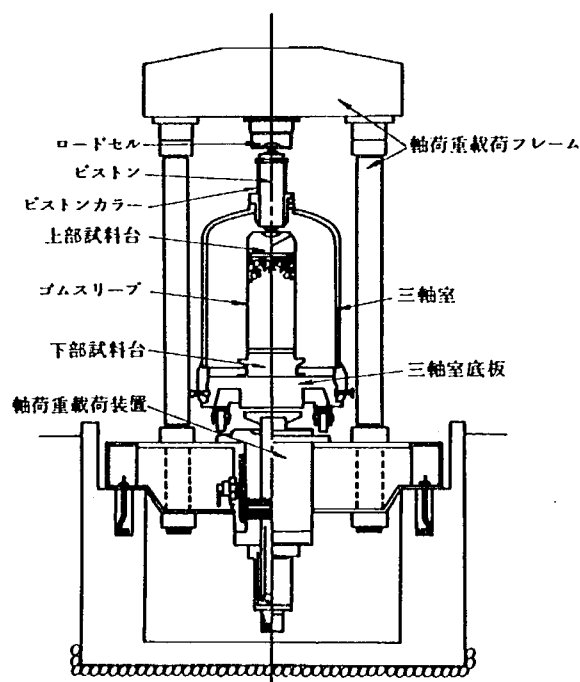
3.2 試験装置

本試験に使用した試験装置のうち振動締固め試験機および三軸試験機の概略図を図一7、図一8に示す。また、試験装置の仕様を表一5に示す。

大型三軸圧縮試験機の測定可能項目および範囲は側圧 $0 \sim 30\text{kg/cm}^2$ 、軸方向荷重 $0 \sim 150\text{ton}$ 、軸方向変位量 $0 \sim 150\text{mm}$ 、間隙水圧 $0 \sim 30\text{kg/cm}^2$ 、内体積および外体積 $0 \sim 5,000\text{cc}$ である。



図一7 締固め試験装置



図一8 三軸試験装置

表-5 試験装置仕様一覧表

試 験 装 置	項 目	仕 様
大型三軸圧縮試験機	供試体の寸法	D300×H600mm
	最 大 軸 力	150ton (≒215kg/cm ²)
	最 大 側 圧	30kg/cm ² ($\frac{\sigma_1 \max}{\sigma_3 \max} \approx 7.2$)
	ひ ず み 速 度	6mm/min (約1%)
		ひずみ及び荷重制御可
振動締固め試験機	最大静荷重	10ton (≒14kg/cm ²)
	定 荷 重	約200~400kg
	最大加速度	約4g
	振 巾	±1mm
	振動・載荷時間	1回最大200sec

表-6 試験結果一覧表

試 料	ケース名	σ_3 (kg/cm ²)	初 期 乾 燥 密 度 γ_d (kg/cm ³)	間ギキ比の変化			$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg/cm ²)	$(\frac{\sigma_1}{\sigma_3})_f$	σ_{1f} (kg/cm ²)	ϵ_f (%)	$(\frac{\Delta V}{V_c})_f$ (%)	E_{50} (kg/cm ²)	B (%)	強度定数	
				初 期	圧密後	破壊時								ϕ (°)	C (kg/cm ²)
				e_0	e_c	e_f									
試験A $U_c = 20$ $G_o = 2.629$	Dense	1.5	2.044	0.286	0.250	0.261	15.79	11.53	17.29	4.03	-0.87	929	5.0	46.96	1.56
		3.0	2.045	0.286	0.231	0.232	26.45	9.82	29.45	5.41	-0.05	1017	6.6		
		4.5	2.044	0.286	0.219	0.204	33.11	8.36	37.61	6.10	1.23	1028	8.4		
		6.0	2.045	0.286	0.212	0.196	40.65	7.78	46.65	54.3	1.35	1355	8.9		
	Medium	1.5	1.879	0.399	0.348	0.342	10.04	7.69	11.54	6.75	0.44	453	6.7	44.36	0.68
		3.0	1.879	0.399	0.326	0.303	16.78	6.59	19.78	7.47	1.71	541	3.9		
		4.5	1.878	0.400	0.318	0.290	25.50	6.67	30.00	8.83	2.09	697	6.9		
		6.0	1.878	0.400	0.312	0.278	30.22	6.04	36.22	8.85	2.60	775	4.7		
試験B $U_c = 7$ $G_b = 2.610$	Dense	1.5	1.883	0.386	0.336	0.342	13.55	10.03	15.05	5.39	-0.44	542	10.2	44.28	1.53
		3.0	1.882	0.387	0.313	0.307	22.77	8.59	25.77	6.78	0.42	910	9.5		
		4.5	1.883	0.386	0.306	0.284	28.16	7.26	32.66	8.15	1.66	880	11.6		
		6.0	1.883	0.386	0.286	0.253	34.43	6.74	40.43	9.56	2.60	891	12.1		
	Medium	1.5	1.753	0.489	0.413	0.417	11.20	8.47	12.70	8.13	-0.26	431	5.3	43.07	1.25
		3.0	1.753	0.489	0.387	0.367	20.00	7.67	23.00	8.86	1.47	500	6.8		
		4.5	1.753	0.489	0.385	0.348	25.88	6.75	30.38	10.23	2.65	539	5.8		
		6.0	1.753	0.489	0.354	0.313	30.50	6.08	36.50	12.36	3.01	571	5.7		

4. 試 験 結 果

試験概要3.1で説明した方法により試験を実施し、結果を以下の各々の項目別に記載し、試験結果一覧表とし表一6に示した。なお、1)搬入時材料フルイ分け、3)試験粒度の決定および試料調整は試験方法で記載した内容で試験を実施するため、以下に示す試験結果の項では記載しない。

4.1 物理試験値

搬入材料についての代表物性値を表一7、各粒径の比重および吸水率を表一8(1)に示す。なお、表中における比重・吸水率は以下の定義によるものであり、試験全体の物性値は表一8(1)に示した値に粒径別重量百分率による重み付きで求め、絶乾比重(Gb)とした結果を表一7に記載した。

$$\begin{aligned} \cdot \text{表乾比重} &: G_a = \frac{B}{B-C} \\ \cdot \text{絶乾比重} &: G_b = \frac{A}{B-C} \\ \cdot \text{真比重} &: G_g = \frac{A}{A-C} \\ \cdot \text{吸水率} &: Q = \frac{B-A}{A} \times 100(\%) \end{aligned}$$

A : 絶乾重量
B : 表乾重量
C : 水中重量

測定結果は、真比重(Gg)で2.73~2.80、絶乾比重(Gb)で2.56~2.60、吸水率(Q)では2.6~3.3%であり、安山岩としては一般的な値である。また、粒径別のバラツキを粒径別の物性値・図一9で見ると、粒径別のバラツキは少なく、上げて上げるならば真比重の粒径4.76mm以下で若干ではあるが小さ目の値を示すが、4.76mm以下は土粒子の比重試験で得た値であるためと考えられる。

表一7 代表物性値

	試料A	試料B
含水比w(%)	(21.3)	(1.91)
比 重	2.629	2.610
吸水率Q(%)	2.83	2.83

表一8(1) 物性値一覧表

粒 径 (mm)	重量百分率(%)		安 山 岩				
	試料A	試料B	G _a 表乾比重	G _b 絶乾比重	G _g 真 比 重	W 含 水 比	Q 吸 水 率
63.5 ~ 50.8	8	12	2.665	2.588	2.803	1.46	2.97
50.8 ~ 38.1	12	17	2.655	2.585	2.779	1.27	2.71
38.1 ~ 25.4	15	18	2.670	2.601	2.793	1.69	2.65
25.4 ~ 19.1	9	10	2.668	2.598	2.794	2.02	2.70
*19.1 ~ 9.52	18	18	2.665	2.594	2.793	2.29	2.74
9.52 ~ 4.76	13	13	2.642	2.558	2.793	2.39	3.30
4.76 ~ 2.00	10	12			2.772	2.39	
2.00 ~ 0.84	7				2.760	2.42	
0.84 ~ 0.42	3				2.729	3.32	
0.42 ~ 0.074	5				2.736	3.98	

表一 8(2) 物性値一覽表

粒 徑 (mm)	流 紋 岩 I-1, 2 (Uc = 12, 2) I-3, 4 (Uc = 2)				
	Ga 表乾比重	Gb 絶乾比重	Gg 真比重	W 含水比	Q 吸水率
63.5 ~ 50.8	2.499	2.455	2.569	0.3	1.8
50.8 ~ 38.1	2.502	2.458	2.571	0.5	1.8
*2 38.1 ~ 25.4	2.509	2.456	2.593	0.5	2.2
*12 25.4 ~ 19.1	2.501	2.446	2.601	0.9	2.2
19.1 ~ 9.52	2.505	2.446	2.599	0.6	2.4
9.52 ~ 4.76	2.504	2.430	2.623	0.1	3.0
4.76 ~ 2.00			2.654	0.2	
2.00 以下			2.662	0.4	

表一 8(3) 物性値一覽表

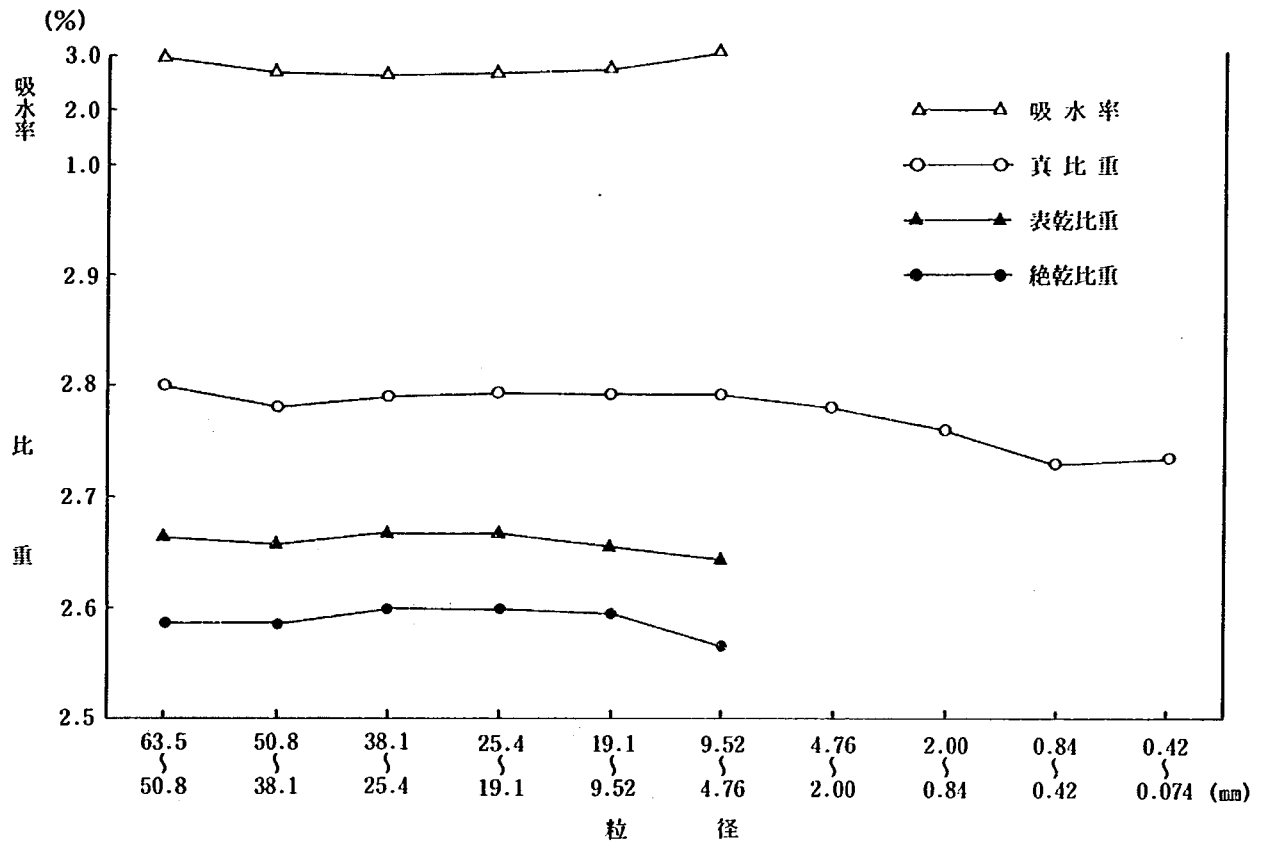
粒 徑 (mm)	流 紋 岩 (風 化) II-5, 6 (Uc = 6)				
	Ga 表乾比重	Gb 絶乾比重	Gg 真比重	W 含水比	Q 吸水率
63.5 ~ 50.8	2.493	2.420	2.611	0.88	3.0
50.8 ~ 38.1	2.492	2.413	2.618	0.76	3.3
38.1 ~ 25.4	2.498	2.420	2.623	0.62	3.2
*6 25.4 ~ 19.1	2.494	2.415	2.622	0.61	3.3
19.1 ~ 9.52	2.490	2.405	2.630	0.58	3.6
9.52 ~ 4.76	2.487	2.379	2.668	0.55	4.6
4.76 ~ 2.00			2.653	0.48	
2.00 ~ 0.84			2.675	0.54	
0.84 ~ 0.42			2.686	0.76	
0.42 以下			2.721	0.83	

表一 8(4) 物性値一覽表

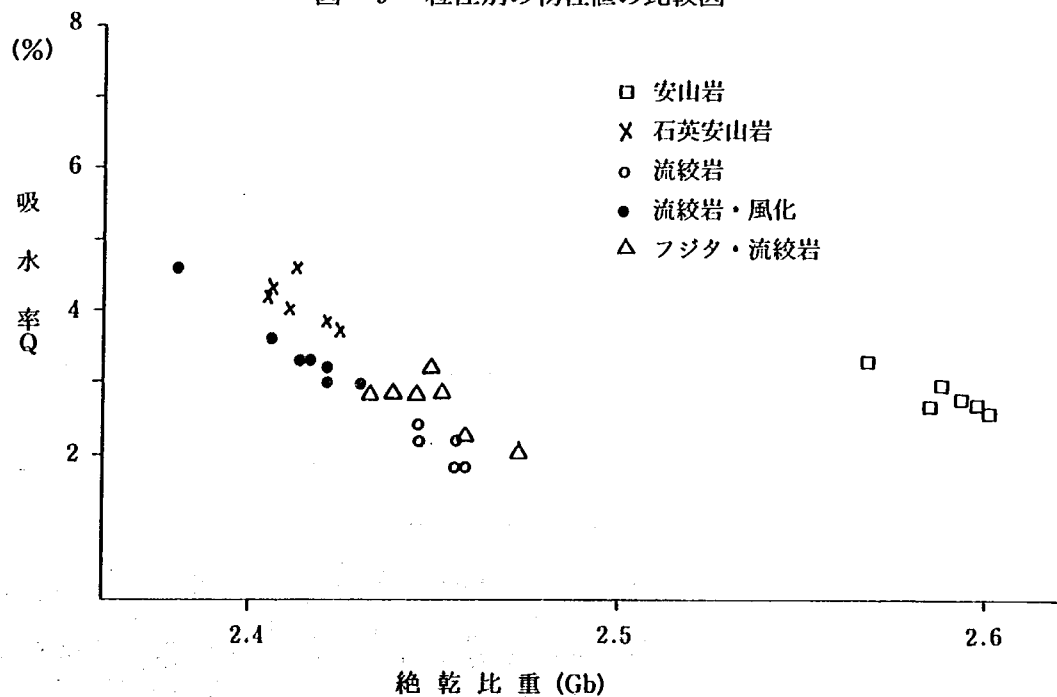
粒 徑 (mm)	石 英 安 山 岩 II-7, 8 (Uc = 20)				
	Ga 表乾比重	Gb 絶乾比重	Gg 真比重	W 含水比	Q 吸水率
63.5 ~ 50.8	2.513	2.421	2.666	1.64	3.8
50.8 ~ 38.1	2.514	2.424	2.663	1.66	3.7
38.1 ~ 25.4	2.506	2.410	2.667	1.40	4.0
25.4 ~ 19.1	2.506	2.405	2.674	1.27	4.2
*20 19.1 ~ 9.52	2.510	2.406	2.684	1.35	4.3
9.52 ~ 4.76	2.522	2.412	2.715	1.41	4.6
4.76 ~ 2.00			2.645	1.01	
2.00 ~ 0.42			2.639	0.96	
0.42 ~ 0.074			2.577	1.66	
0.074 以下			2.583	1.27	

*は平均粒徑 D 50 による比重の均等係数

また、表乾比重および絶乾比重が粒径19.1mm以下で小さな値を示し、吸水率はこの同一の粒径を境に、大きな値を示している。つまり粒径が19.1mm以下になると材料が細まくなるため表乾状態を作り出すためのふき取りが困難になるためである。なお、搬入時含水比は2～3%と多目であったが、天日乾燥により0.2%程度におさえて試験を実施している。

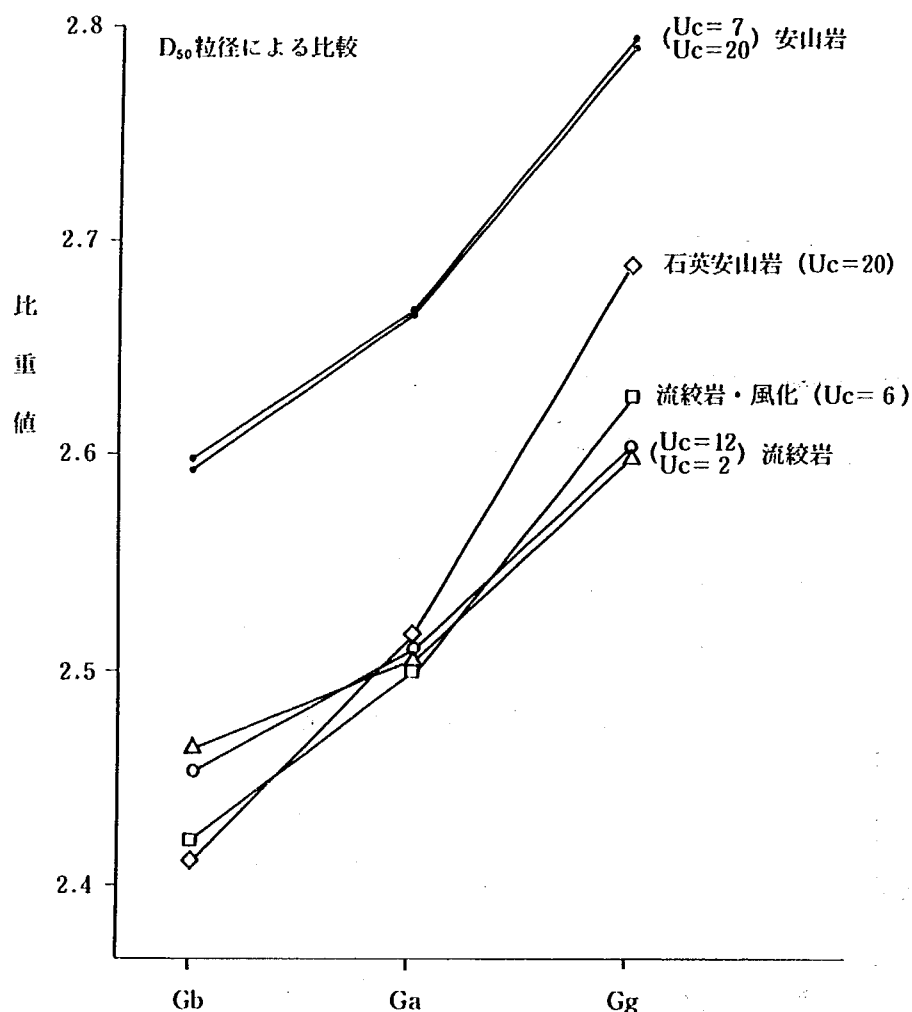


図一9 粒径別の物性値の比較図



図一10 吸水率と絶乾比重の関係

ここで先年度に実施した旧原石山の流紋岩（風化を含む）および石英安山岩の真比重（試験誤差が少ない）で比較すると流紋岩で2.57～2.72，石英安山岩で2.67～2.72であり安山岩の方が大きく、吸水率を見ても流紋岩で1.8～4.6%，石英安山岩で3.8～4.6%と安山岩が小さい、つまり物性値的には安山岩は今までの材料よりも良質な岩と言える。また絶乾比重と吸水率の関係を図一10で見ると吸水率が増すと比重値が小さくなる傾向を示す。図一11では D_{50} 粒径の代表比重を示す。



図一11 D_{50} 粒径による代表物性値の比較図

表一9 物性値比較表

	Ga 表乾比重	Gb 絶乾比重	Gg 真比重	W(%) 含水比	Q(%) 吸水率	試験年度
流紋岩 (風化流紋岩)	2.50～2.51 (2.49～2.50)	2.43～2.46 (2.38～2.42)	2.57～2.66 (2.61～2.72)	0.1～0.9 (0.5～0.9)	1.8～3.0 (3.0～4.6)	昭和52～53年
石英安山岩	2.50～2.52	2.41～2.42	2.58～2.72	1.0～1.7	3.7～4.6	昭和56～57年
安山岩	2.64～2.67	2.56～2.60	2.73～2.80	2.7～3.3	1.3～4.0	

4.2 締固め試験

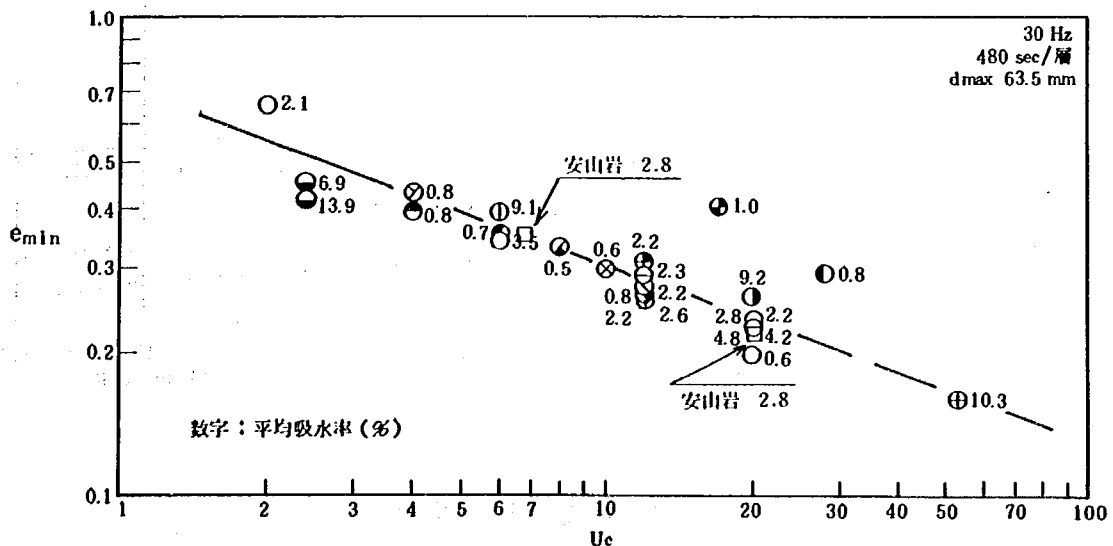
締固め試験結果を図一13(1)安山岩、図一13(2)流紋岩・石英安山岩で見ると、今回実施した安山岩の締固まりは、試料A・Bともに重り枚数に比例して間隙比が減少し、試料Aが重り枚数5枚を除いて若干ではあるが良く締まっている傾向を示す、また重り枚数が10枚程度で間隙比の減少率が少な目である。なお、最大間隙比(e_{max})・最小間隙比(e_{min})を以下で比較し、締固め試験結果一覧表を表一10、均等係数と最少間隙比の関係を図一12に示した。

安 山 岩	試料A	$U_c=20$	$G_b=2.629$	$e_{max}=0.560$	$e_{min}=0.237$
	試料B	= 7	=2.610	=0.636	=0.341
流 紋 岩	——	=12	=2.446	=0.602	=0.270
	——	= 2	=2.456	=0.871	=0.662
流紋岩(風化)	——	$U_c=6$	$G_b=2.415$	$e_{max}=0.668$	$e_{min}=0.328$
石英安山岩	——	=20	=2.406	=0.532	=0.191

また、七ヶ宿ダムより搬入された材料の e_{max} および e_{min} について整理したものを図一14、均等係数と最大・小間隙比の関係を図一15に示した。まず図一14を見ると岩種による間隙比差よりも粒度による差が大きく、粒度が悪くなる程間隙比差が大きくなる。また、図一15では良い粒度の方が若干ではあるが締まる傾向を示す。現在までに実施した七ヶ宿ダム材料の締固まり特性を図一13(1)・(2)で見ると、同程度の粒度で締固まり曲線を比較すると、同一曲線状態である。

以上のことより、締固まり特性は従来までの流紋岩・石英安山岩と同様の締固まり特性を示し、岩種差は少ないと考えられる。また粒度により間隙比は大きく左右され、均等係数が小さい程締固まり程度が少なくなってしまう。

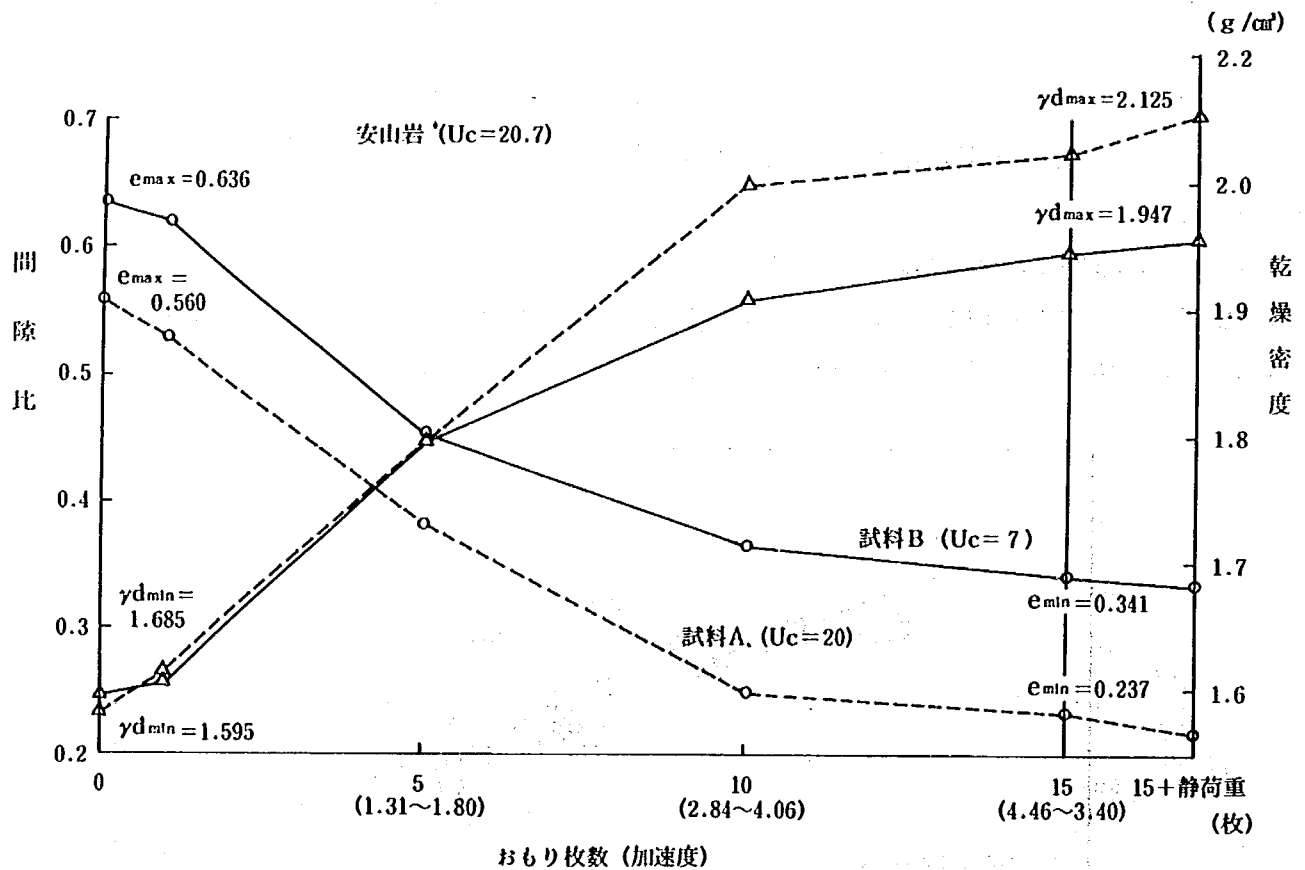
なお、締固め試験での加速度は、加速度計により計測しオシログラフに書き込ませる。また、加速度は締固め試験機で重り枚数を変化させるがこれに判い変化し、通常で重り枚数1~15枚で1.3~4.4gで、今試験では1.5~4.0gの値である。詳細は表一10の α の欄に示す。

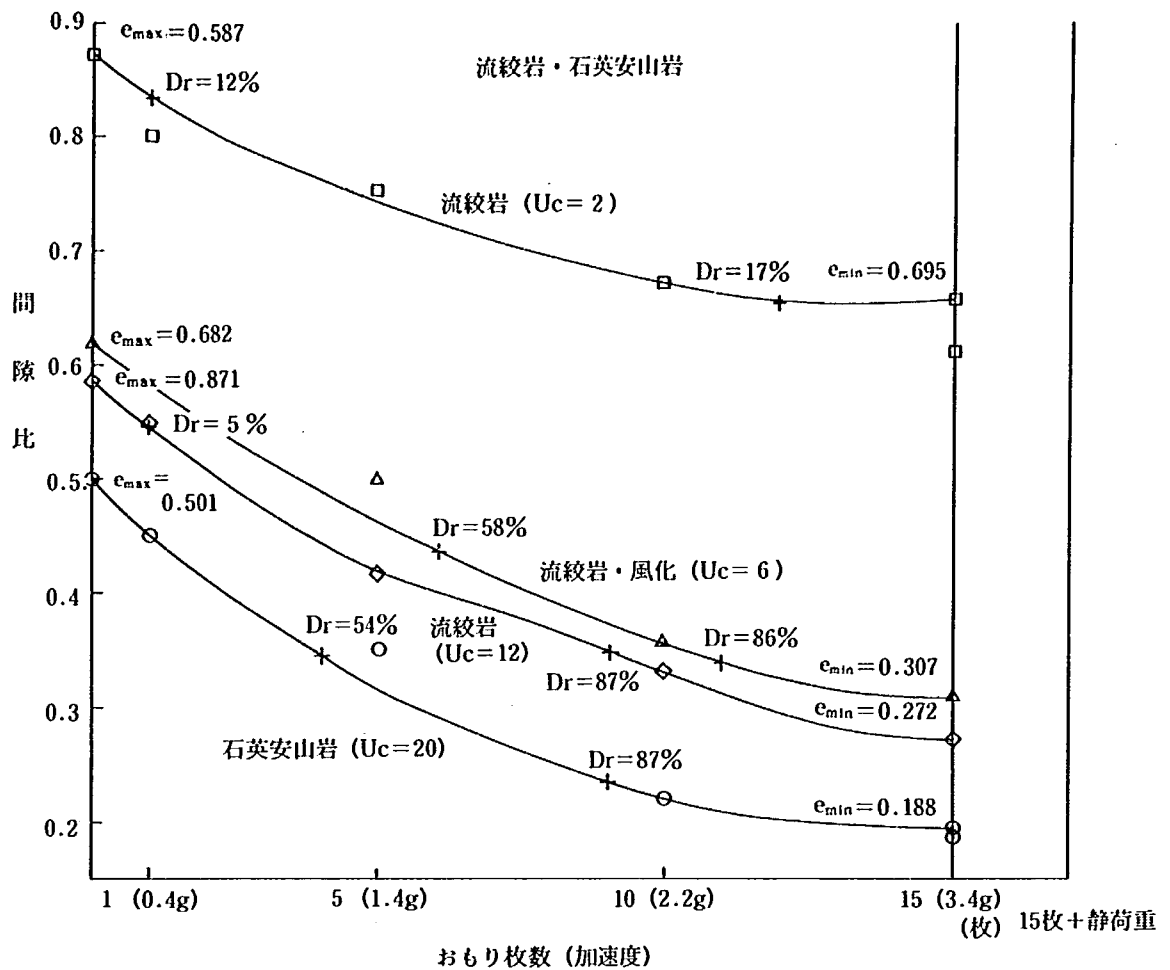


図一12 均等係数と最小間隙比

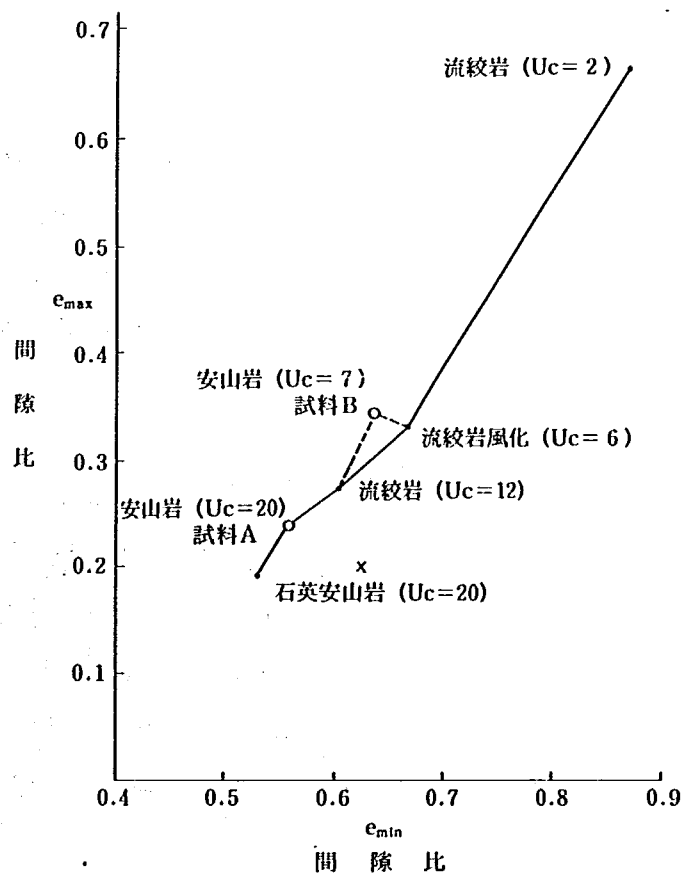
表-10 締固め試験結果一覧表

均等係数 比重	乾燥密度 間隙比 相対密度 破碎率 加速度	締固めエネルギー (偏心重錘重量)						e_{max} e_{min}
		投入のみ 0 枚	1 枚	5 枚	10 枚	15 枚	15枚 + 静(3.5t)	
試料A $U_c=20$ $G_b=2.629$	γ_d (g/cm ³)	1.685	1.715	1.902	2.104	2.145	2.157	0.560
	e	0.560	0.533	0.382	0.250	0.237	0.219	
	D (%)	0	8.4	55.1	96.0	100.0	105.6	
	B (%)	—	—	3.3	3.5	5.5	—	0.237
	α (g)	—	—	1.54	3.44	3.88	—	
試料B $U_c=7$ $G_b=2.610$	γ_d (g/cm ³)	1.595	1.609	1.796	1.910	1.947	1.955	0.636
	e	0.636	0.622	0.453	0.366	0.341	0.335	
	D_r (%)	0	4.7	62.0	91.5	100.0	102.0	
	B (%)	—	—	3.6	3.9	5.5	—	0.341
	α (g)	—	—	1.59	3.49	3.97	—	





図一13(2) 締固め試験結果図



図一14 最大・最小間隙比図

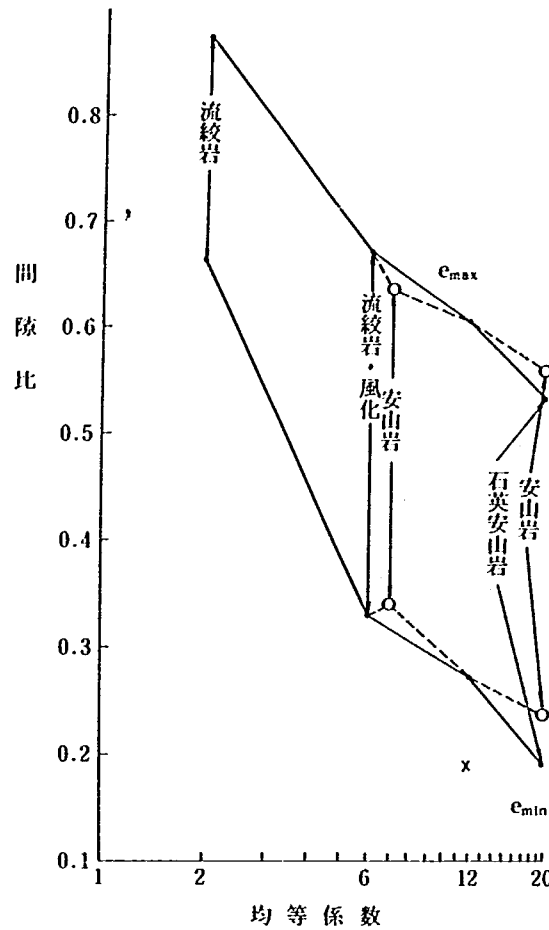


図-15 均当係数と間隙比

4.3 三軸試験

試験供試体は相対密度で $Dr=50\%$ (Medium), $Dr=85\%$ (Dense) を目標とし、Medium と Dense では初期間隙比 (e_0) で 0.1 程度の差があり、試験 A・Dense で 0.286, Medium で 0.400, 試験 B・Dense で 0.386, Medium で 0.489 とした。この間隙比を表-11 に示すが、それを見ると目標値と試験値には若干の異なりを生じているが、表-6 の初期間隙比を見ると各々のケースでの間隙比差は 0.001 程度と非常に精度良く統一されており、間隙比差が結果に与える影響はないといえる。

表-11 三軸試験時代表間隙比

*1 ()内は目標相対密度

試験名	ケース各	重り枚数	乾燥密度 t/m^3	間隙比 e	相対密度 $Dr(\%)$
試験 A $U_c=20$ $G_b=2.629$	Dense	11	2.045	0.286	84.8 (85)*1
	Medium	7	1.878	0.400	49.7 (50)
試験 B $U_c=7$ $G_b=2.610$	Dense	11	1.883	0.386	84.7 (85)
	Medium	7	1.753	0.489	49.8 (50)

なお、三軸試験における密度および間隙比の変化は表一6で見ることができ、各ケースのモールの応力円・破壊時包絡線を図一16(1)～(4)に、応力・ひずみ曲線を図一17(1)～(4)に示す。また、項目別にそれぞれに考察を加え以下に列記する。

a) せん断強度

破壊時応力を図一16(1)～(4)で見ると、試験 A・Dense, B・Dense, A・Medium, B・Medium の順に小さな値となり、内部摩擦角・粘着力を表一12で見ると似たようなことが言える。

また、破壊時包絡線は直線でモールの応力円に接していないものは、最大側圧である $\sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ が全ケース、その他の側圧では多少のずれ程度で接していない。最大側圧 6.0 kg/cm^2 で接していないのは粒子破碎の影響と考えられる。

粘着力成分は、試験 A・B の Dense では同程度、次に試験 B・Medium, A・Medium の順であり、締固め程度（密度）による差が粘着力にも影響している。

b) 変 形 性

応力・ひずみ曲線を図一17(1)～(4)で見ると、最大主応力差の最大値（ピーク）が15%以内の軸方向ひずみで全ケース現われており、高密度では4～9%、低密度で5～12%でピークが現われ、低側圧（ $\sigma_3 = 15 \cdot 3.0 \text{ kg/cm}^2$ ）でのピークが一段と明確であり土質工学の教科書で見えるようなストレス・ストレインカーブである。

表一12 三軸試験結果表

試験名	密度状態	$\gamma_d (\text{t/m}^3)$	初期平均間隙比	圧密後平均間隙比	ϕ (度)	C (kg/cm ²)
試験A $U_c = 20$	Dense	2.045	0.286	0.228	46.96	1.56
	Medium	1.878	0.400	0.326	44.36	0.68
試験B $U_c = 7$	Dense	1.883	0.386	0.310	44.28	1.53
	Medium	1.753	0.489	0.385	43.07	1.25

以上のことより明確なピーク（極端に上に凸）が現われるには、均等係数が大きく、良く締まった側圧の小さなもので、逆にピークのなめらかなものは、均等係数が小さく、締まっていないものである。

体積変化が破壊時に膨張傾向を示すものは全ケースであるが、明確でないものは低密度 (Medium) ケースのみで、試験 A の側圧 $3.0, 4.5, 6.0 \text{ kg/cm}^2$ 、試験 B では側圧 $4.5, 6.0 \text{ kg/cm}^2$ である。つまり、高密度 (Dense) では体積圧縮が膨張に早く変化し膨張の割合も大きい、また、高密度で良粒度状態の試料ほど体積膨張を起しやすい傾向にある。

割線の変形係数 E_{50} の値は、側圧 $= 1.5 \sim 6.0 \text{ kg/cm}^2$ の条件で以下に示す値であり、側圧に比例して E_{50} の値も増加する傾向にあり、密度が増加した場合、粒度組成が良い状態に割線の変形係数は大きな値を示す。

安山岩で得られた変形係数 E_{50} の値は、通常のロック材料より得られた値と比較すると、大きい値と言える。

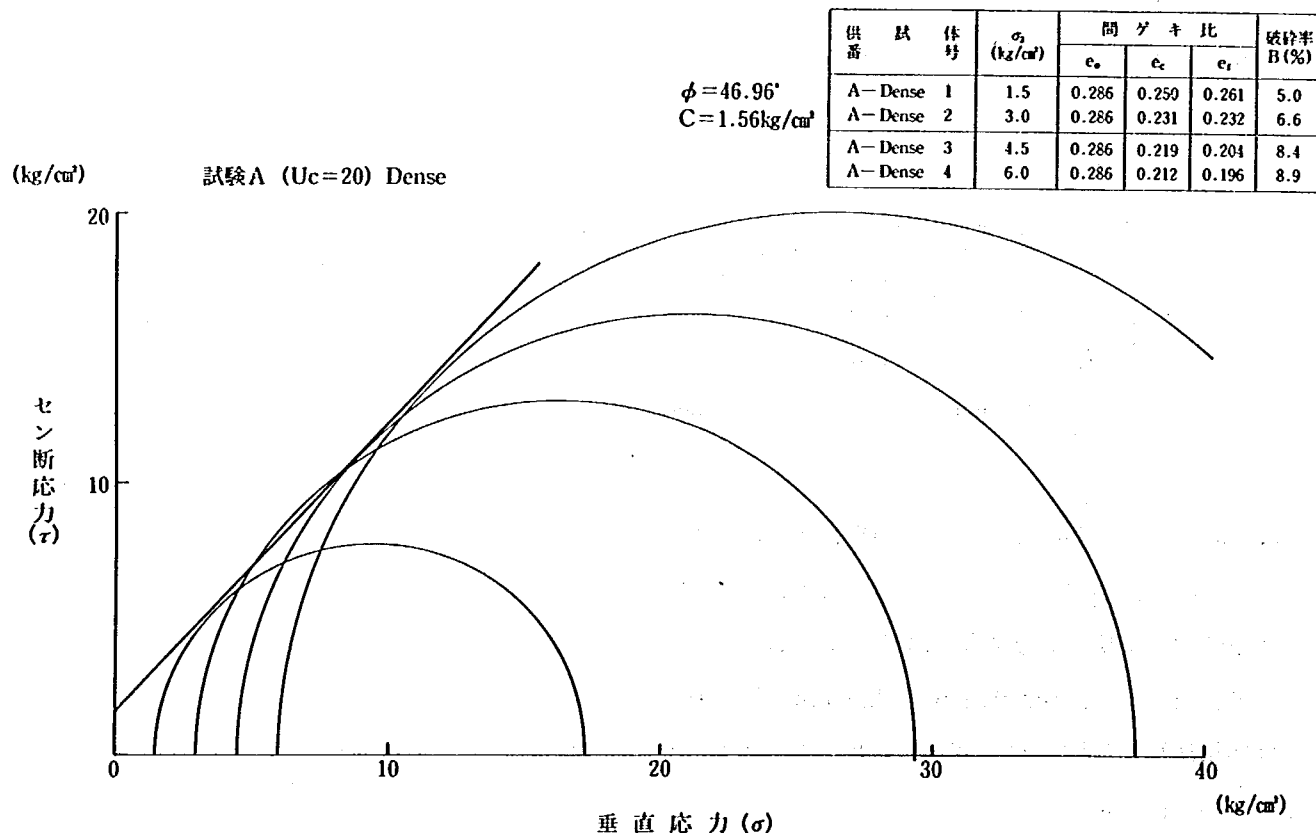
試験A	$U_c = 20$	Dense	$e = 0.286$	$E_{50} = 930 \sim 1350$	kg/cm^2
		Medium	$= 0.400$	$= 450 \sim 780$	

試験B $U_c=7$ Dense $e=0.386$ $E_{s0}=540\sim 840$ kg/cm^2
Medium $=0.489$ $=430\sim 570$

最大主応力差と側圧の関係を図一18に示したがこの線が直線になれば破壊時包路線がモールの応力円に直線で接することを示す。実際には試験ケース全体が直線ではないが、極端な値のずれもない。大きなずれを生じているのは、試験B・Mediumが極端な折れ線であり応力円でも同様の傾向を示す。初期間隙比と強度定数の関係を図一19に示した。これによると内部摩擦角は同一岩種であれば粒度の変動によっても延長線上に値を示し、また、一般的なことであるが間隙比が小さくなる程、内部摩擦角および粘着力は大きな値を示す。

最大主応力差と軸ひずみ・体積ひずみの関係を図一20で見ると、均等係数 $U_c=6$ の流紋岩・風化と $U_c=7$ の安山岩、 $U_c=20$ では石英安山岩と安山岩で似た傾向を示している。また均等係数が極端に低い ($U_c=2$) ものは、かなり他のものと傾向が異なる。

変形係数 (E_{s0}) を側圧別に図一21で見ると、良粒度・高密度で変形係数が大きく現われている。



図一16(1) モールの応力円 ($U_c=20$, Dense)

試験A (Uc=20) Medium

$\phi = 44.36^\circ$
 $C = 0.68 \text{ kg/cm}^2$

供試体 番号	σ_s (kg/cm ²)	間 隙 比			破砕率 B (%)
		e_o	e_c	e_f	
A-Medium 1	1.5	0.399	0.318	0.342	6.7
A-Medium 2	3.0	0.399	0.326	0.303	3.9
A-Medium 3	4.5	0.400	0.318	0.290	6.9
A-Medium 4	6.0	0.400	0.312	0.278	4.7

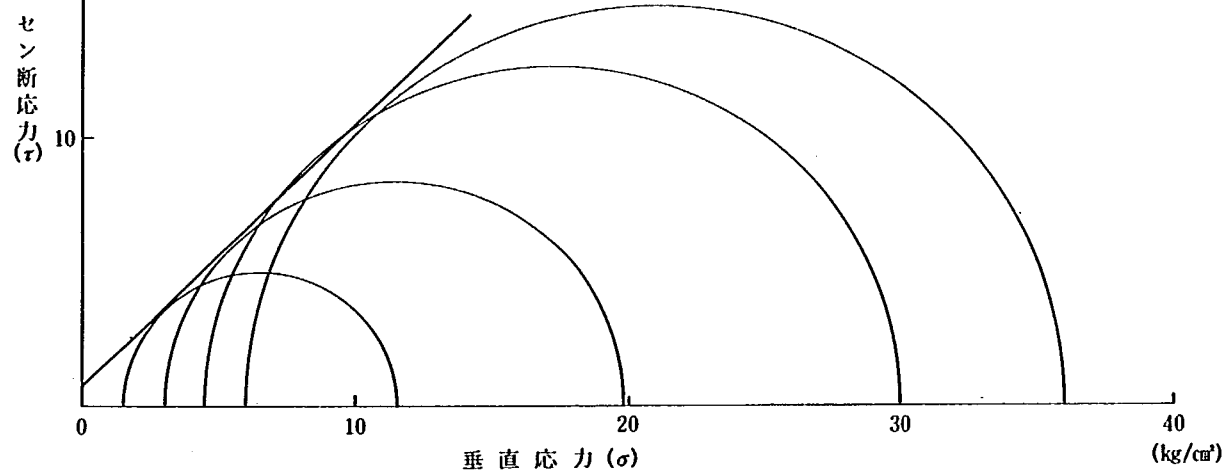


図-16(2) モールの応力円 (Uc=20, Medium)

試験B (Uc=7) Dense

$\phi = 44.28^\circ$
 $C = 1.53 \text{ kg/cm}^2$

供試体 番号	σ_s (kg/cm ²)	間 隙 比			破砕率 B (%)
		e_o	e_c	e_f	
B-Dense 1	1.5	0.386	0.336	0.342	10.2
B-Dense 2	3.0	0.387	0.313	0.307	9.5
B-Dense 3	4.5	0.386	0.306	0.284	11.6
B-Dense 4	6.0	0.386	0.286	0.253	12.1

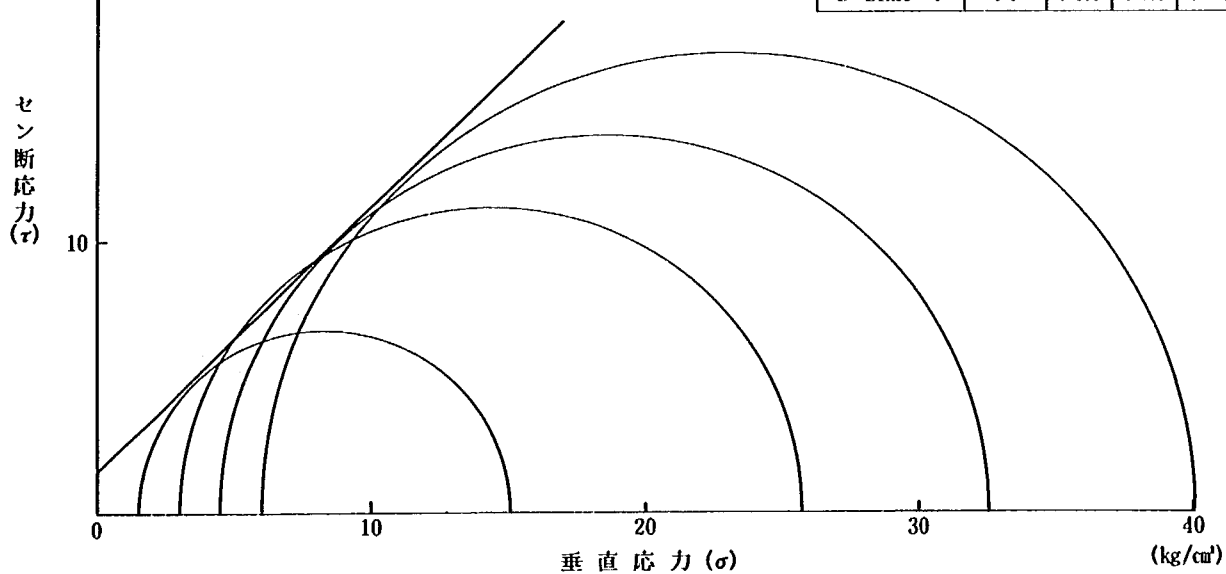


図-16(3) モールの応力円 (Uc=7, Dense)

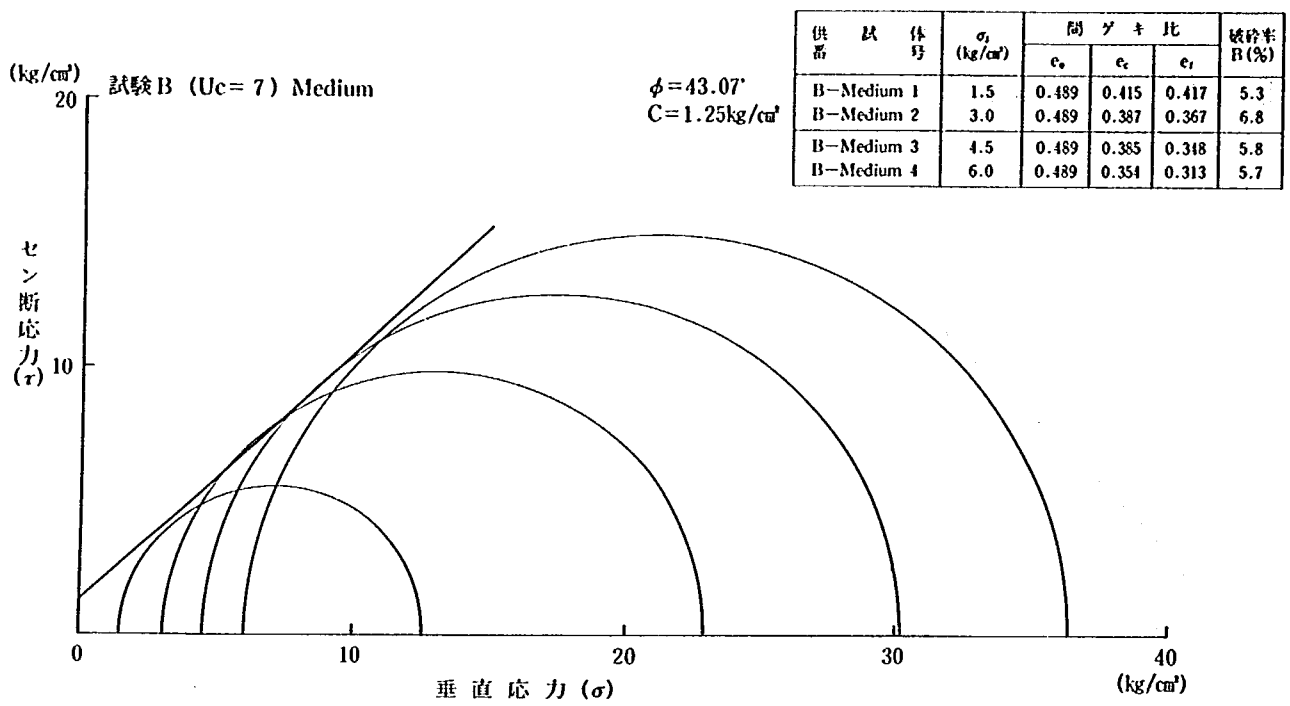


図-16(4) モールの応力円 (Uc=7, Medium)

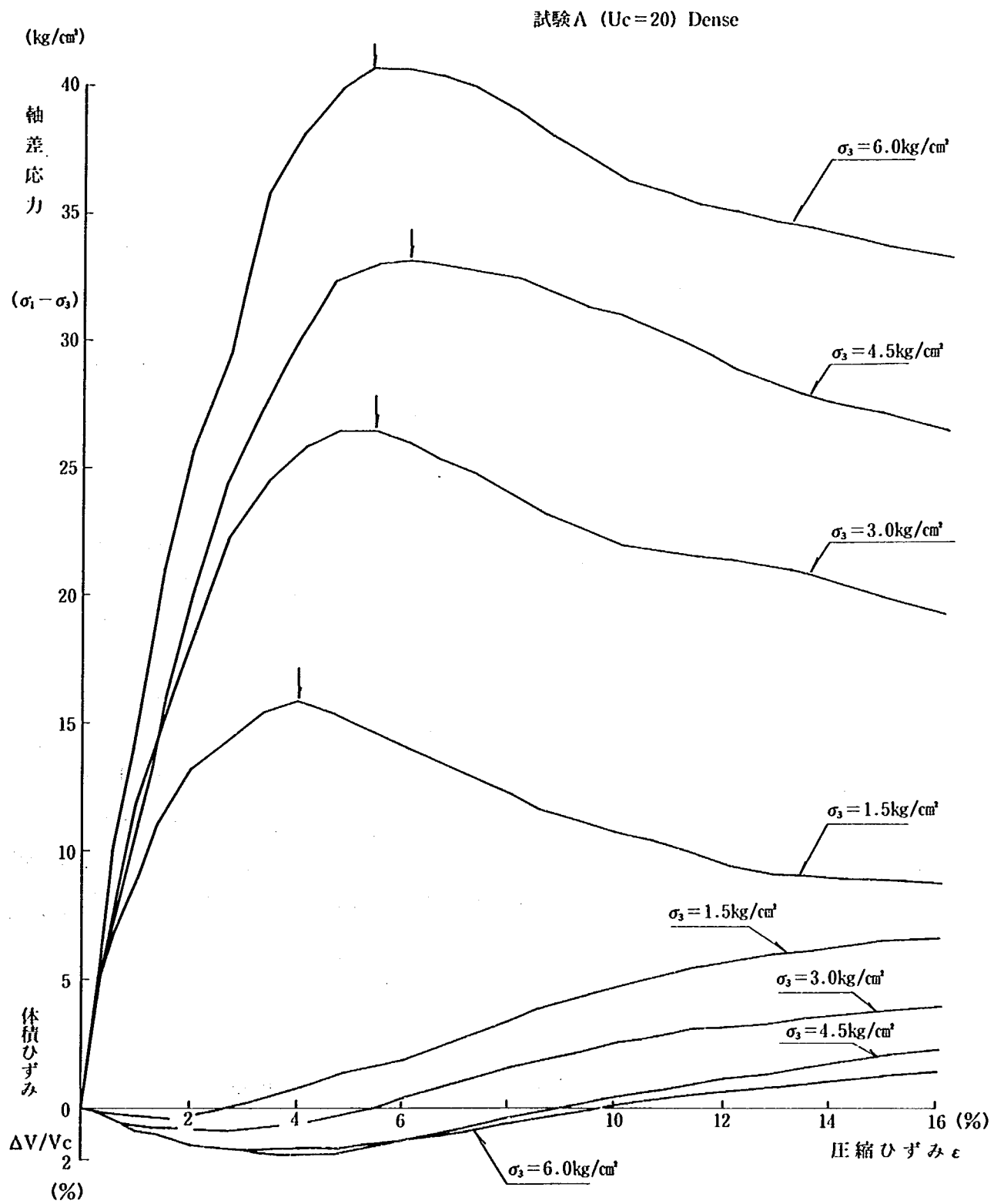


図-17(1) 応力・ひずみ曲線 ($U_c=20$, Dense)

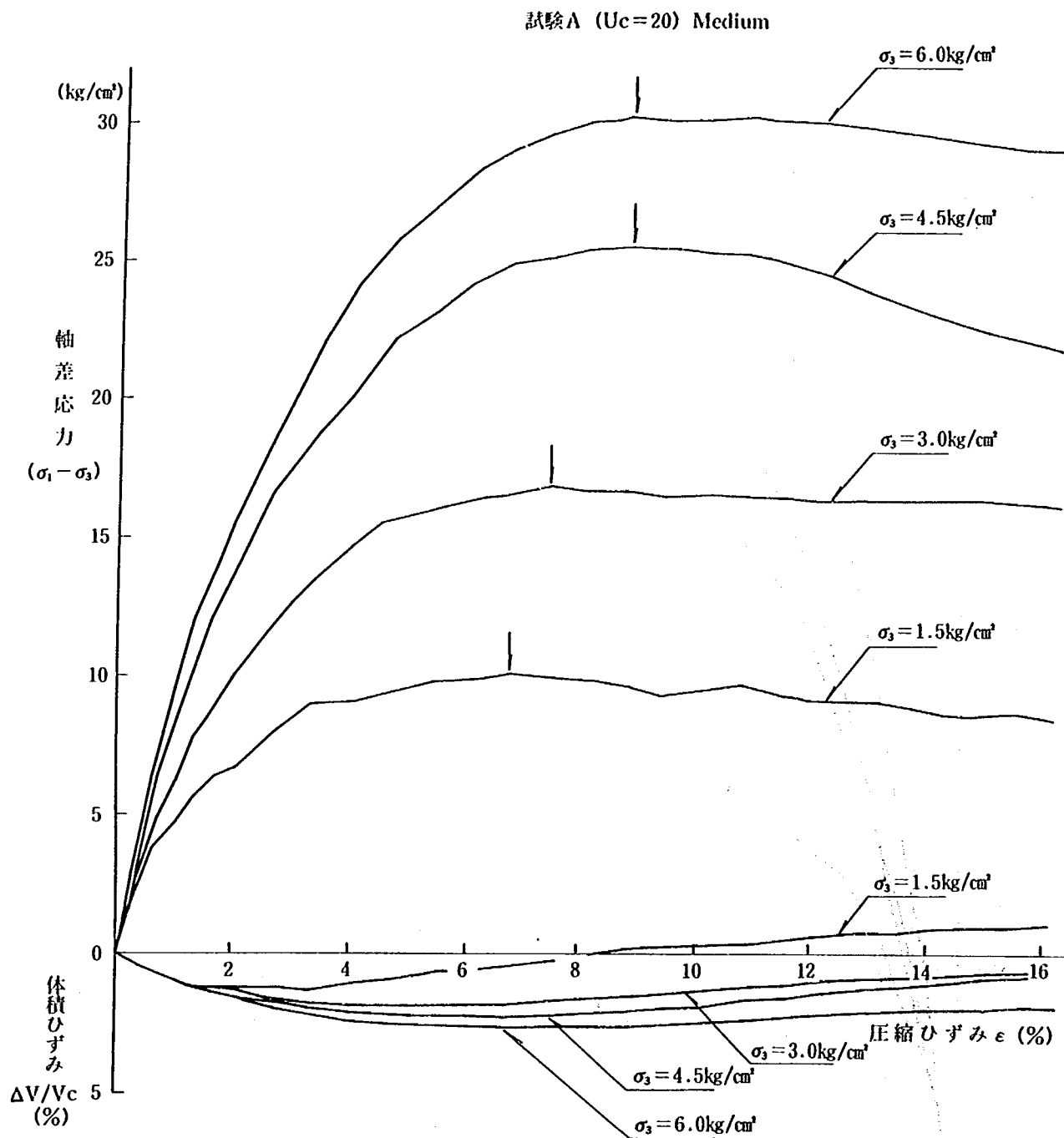


図-17(2) 応力・ひずみ曲線 ($U_c=20$, Medium)

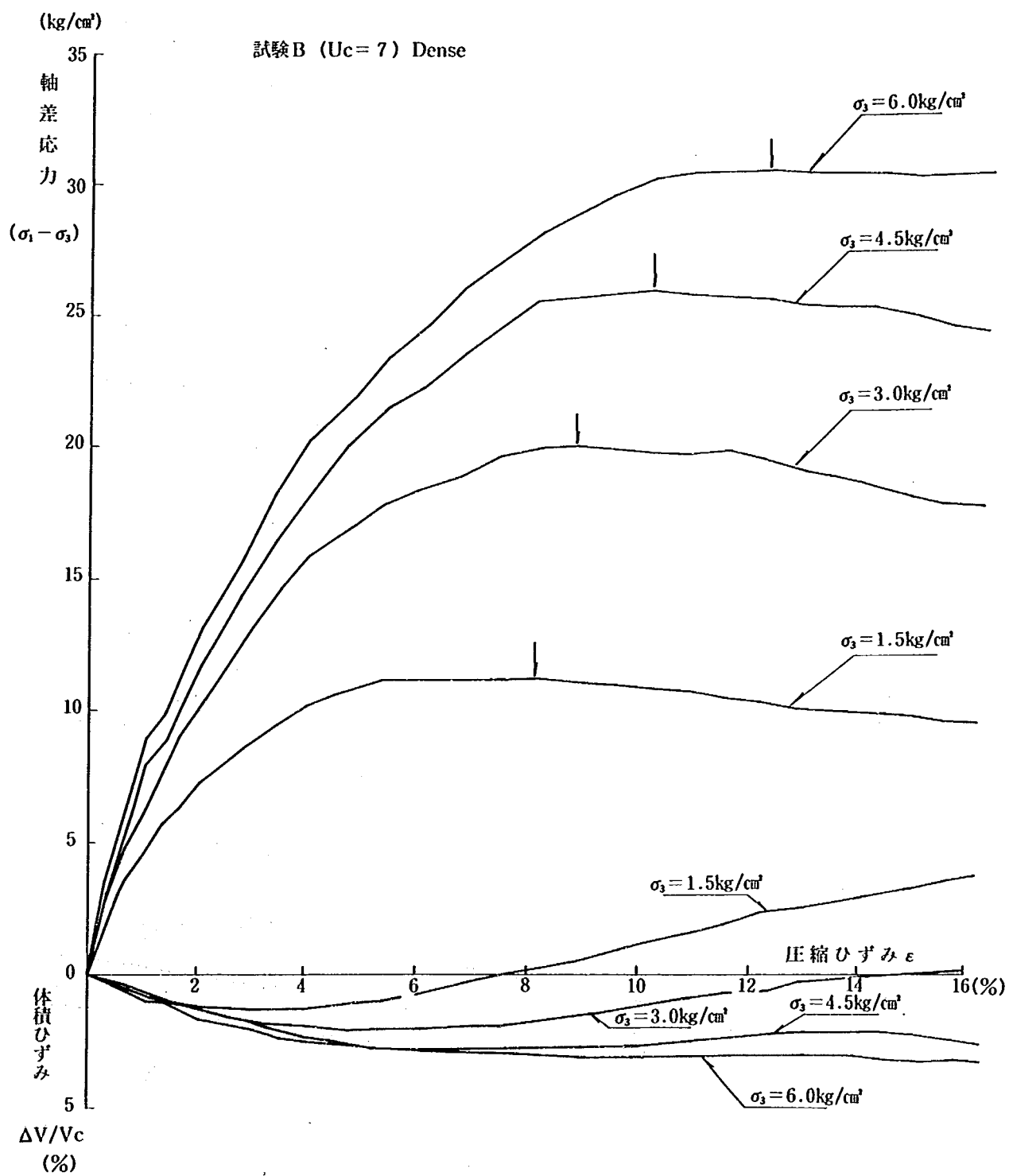


図-17(3) 応力・ひずみ曲線 ($U_c = 7$, Dense)

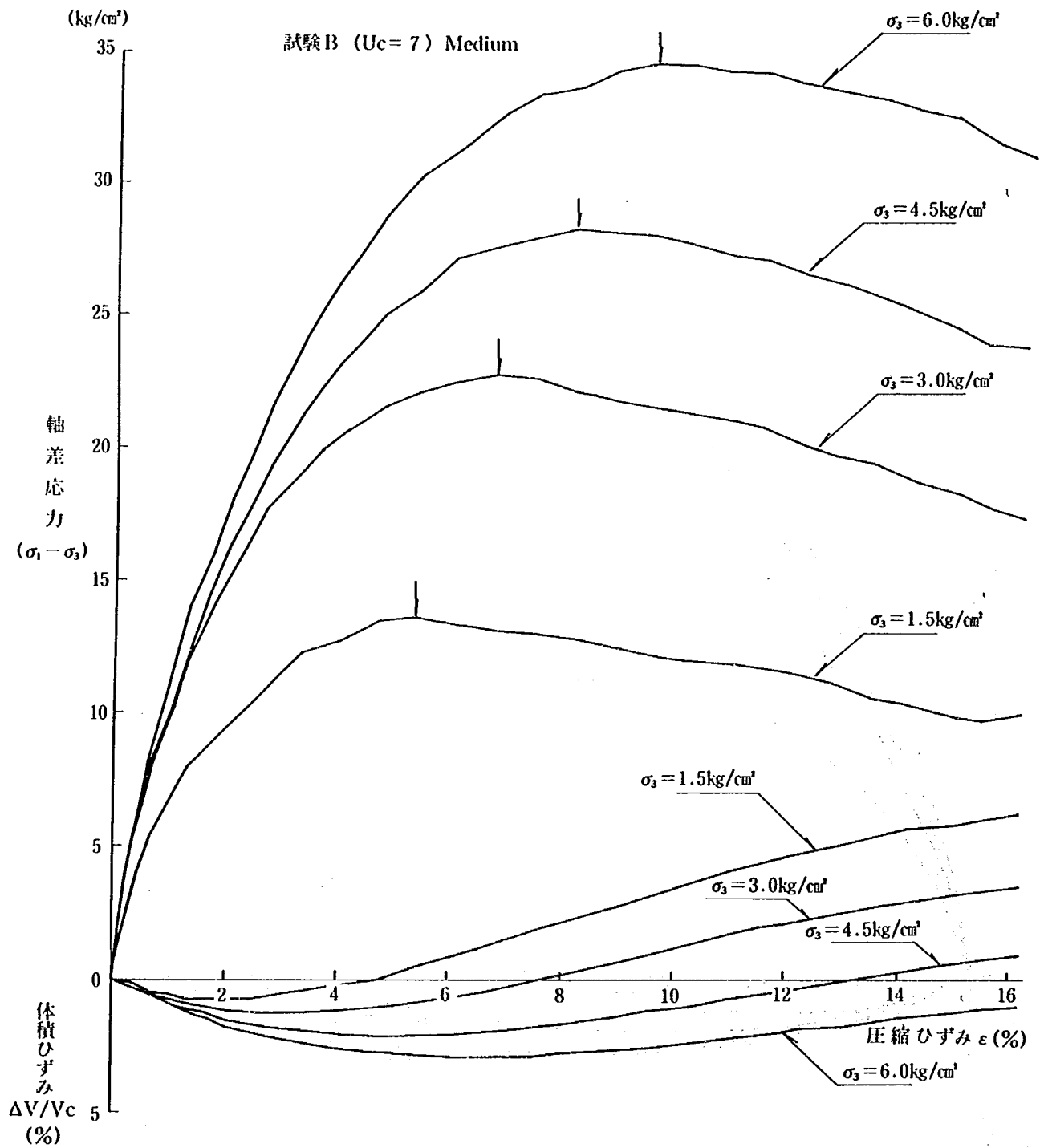
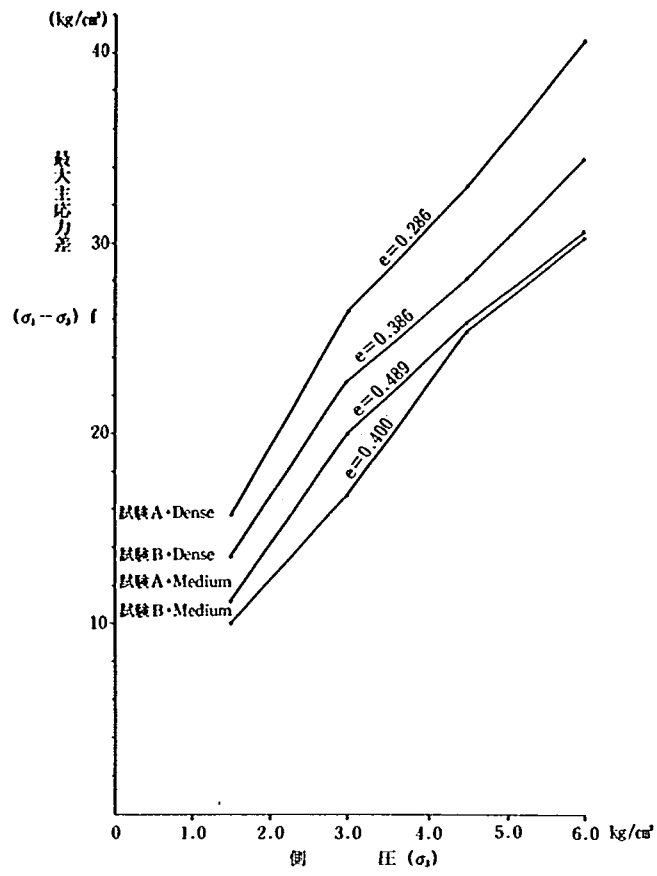
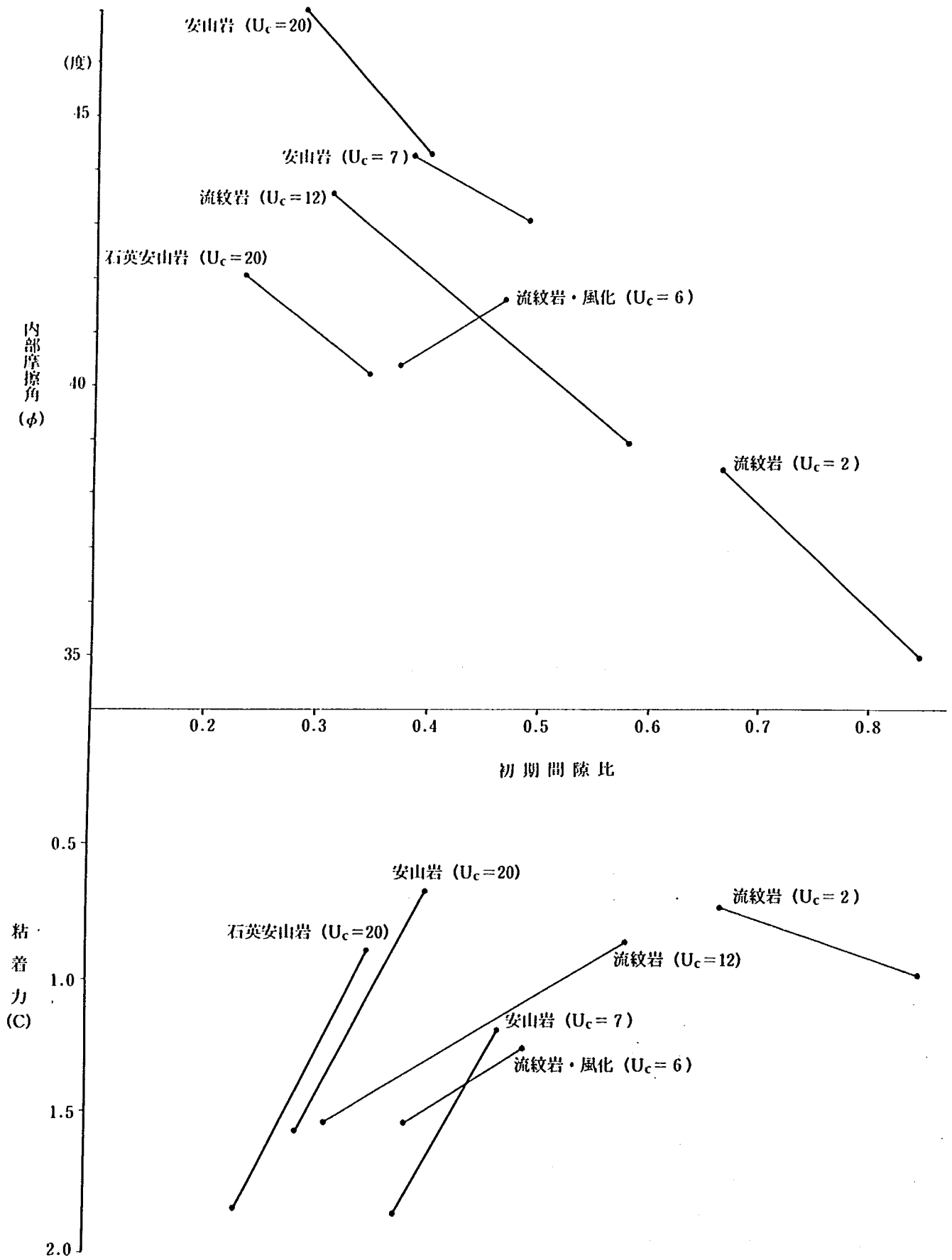


図-17(4) 応力・ひずみ曲線 ($U_c = 7$, Medium)



図一18 最大主応力差と側圧の関係図



図一19 初期間隙比と強度定数の関係図

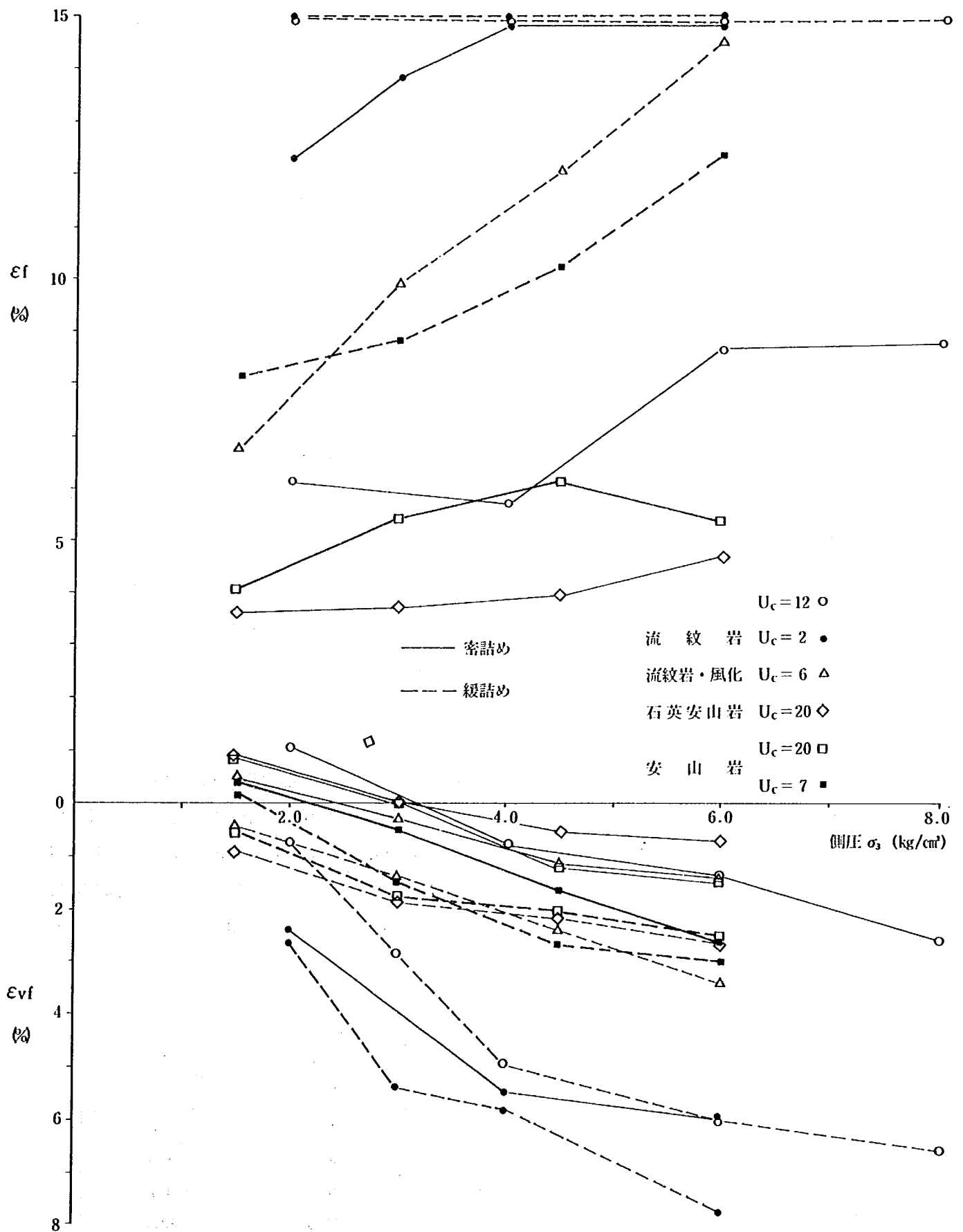
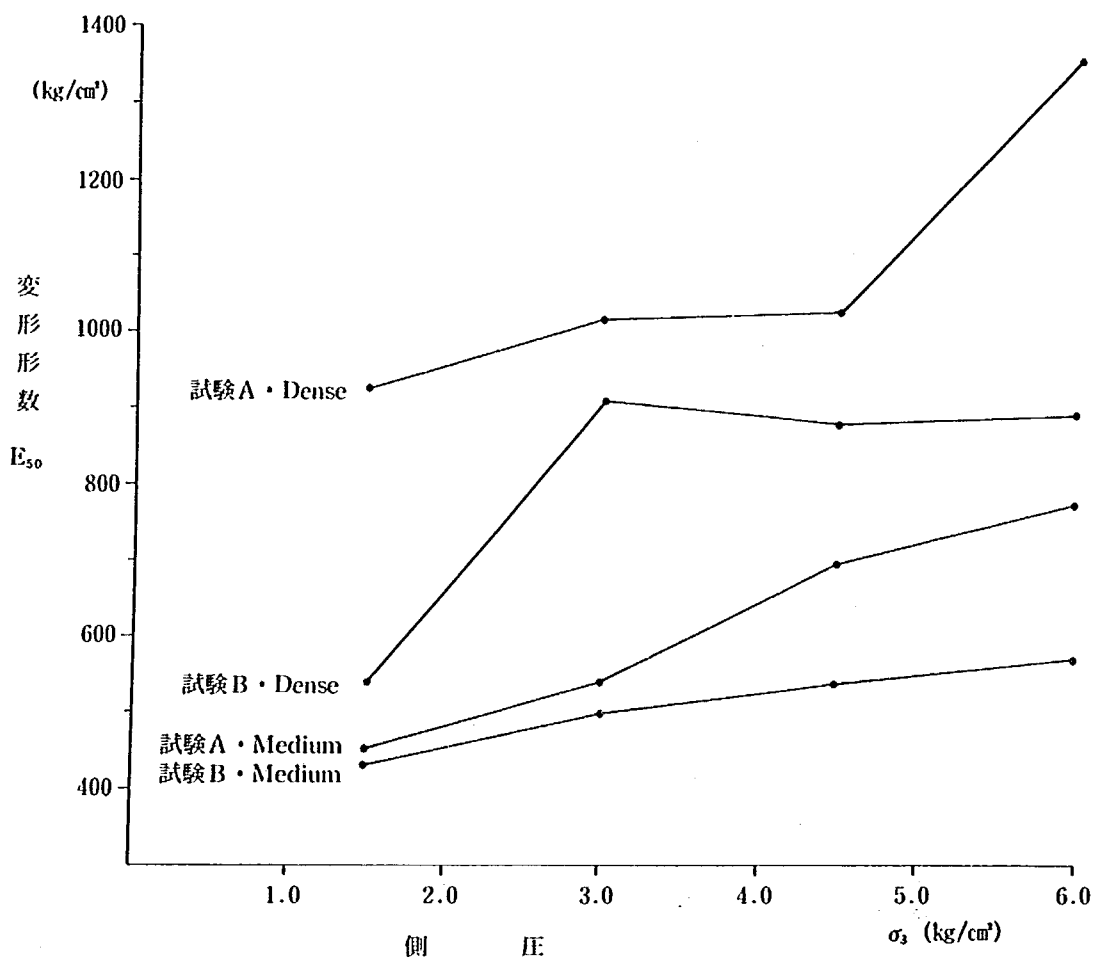


図-20 側圧別の軸・体積ひずみ (破壊時)



図一21 変形係数 (E₅₀)

4.4 試験後粒子破碎

締固め後破碎は粒度による差が少なく全体的に3～5%程度であり、石の角が破碎されている。また、三軸試験せん断後破碎率は試験Aで3.3～3.51%, Bで3.9～5.5%で側圧に比例し、三軸に使用した供試体は締固めにより作成しており、密詰め (Dense) で11枚、緩詰め (Medium) で7枚の重り枚数分の破碎が含まれており、純粋なせん断後の破碎はこの値を差し引いた値にほぼ等しいものと考えられる。なお、締固め三軸後破碎を図一22(1)～(6)破碎率一覧表を表一13, 最大主応力差と破碎率の関係を図一23に示す。

表一13 破碎率一覧表

締固め後	ケース名	重り枚数	5 (枚)	10	15	—
	試験 A		3.3 (%)	3.5	5.5	—
三軸後	試験 B		3.6	3.9	5.5	—
	ケース名	側圧	1.5 kg/cm²	3.0	4.5	6.0
	試験 A・Dense	(7枚) 5.0 (%)	6.6	8.4	8.9	
	//・Medium	(11枚) 6.7	3.9	6.9	4.7	
三軸後	試験 B・Dense	(7枚) 10.2	9.5	11.6	12.1	
	//・Medium	(11枚) 5.3	6.8	5.8	5.7	

締固め後粒度試験 (破碎率)

試験ケース各 試験A

岩 種 安山岩

パターン 締固め試験後 粒 度 $U_c=20$

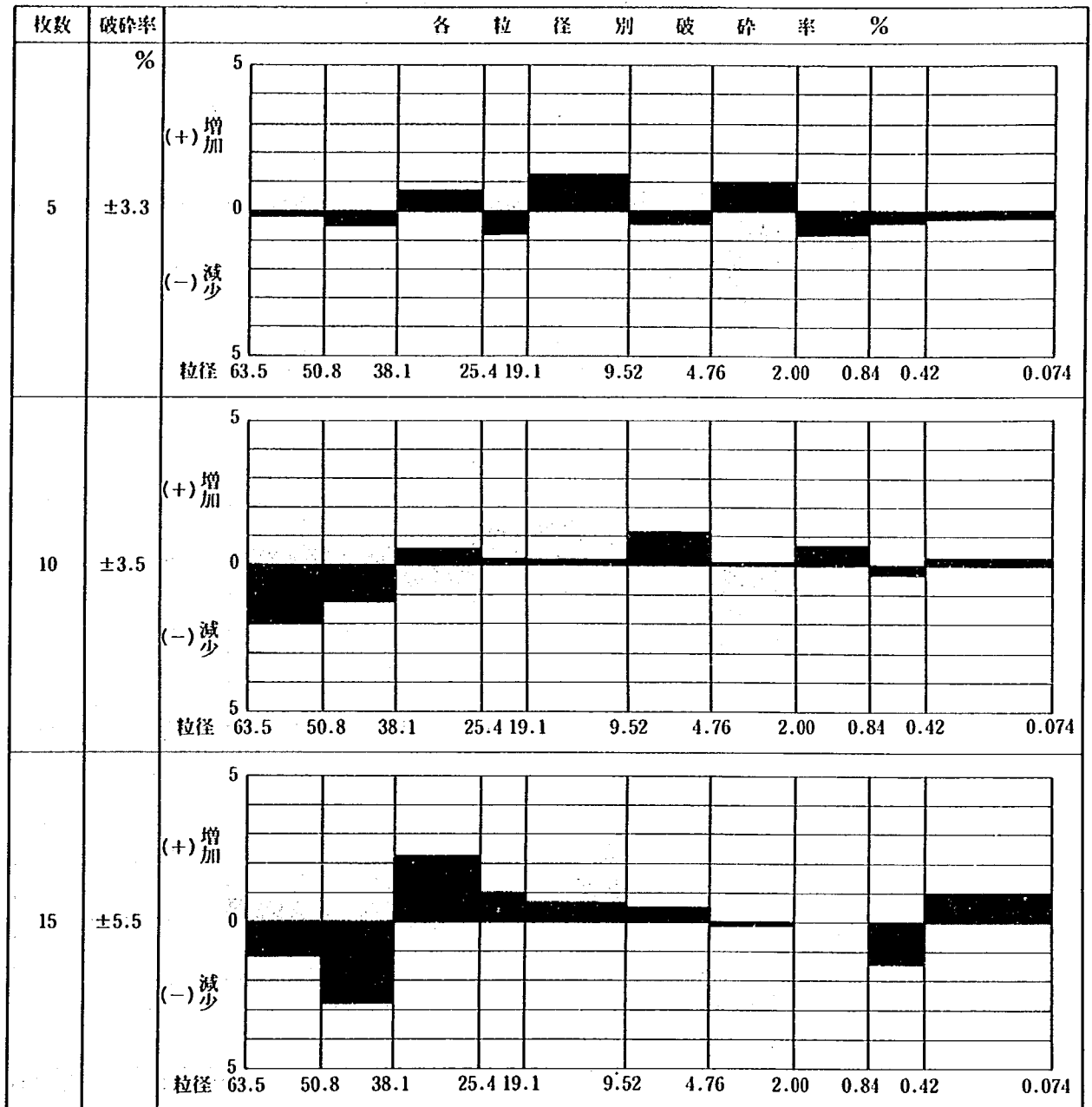


図-22(1) 破碎率図

締固め後粒度試験 (破碎率)

試験ケース名 試験B

岩 種 安山岩

パターン 締固め試験後 粒 度 $U_c = 7$

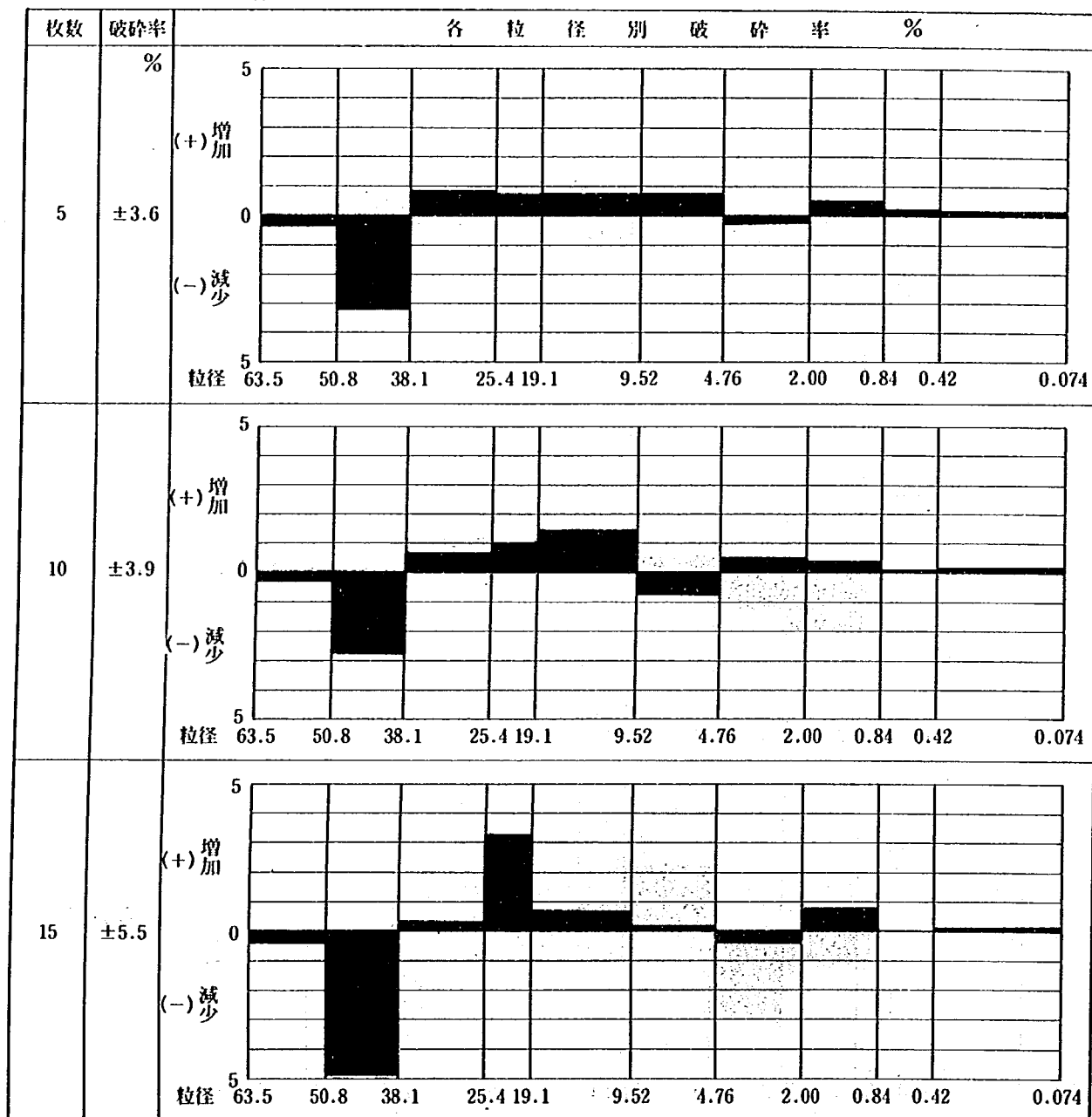


図-22(2) 破碎率図

三軸後粒度試験 (破碎率)

試験ケース名 試験A・Dense

岩 種 安山岩

パターン 三軸試験後 粒 度 $U_c=20$

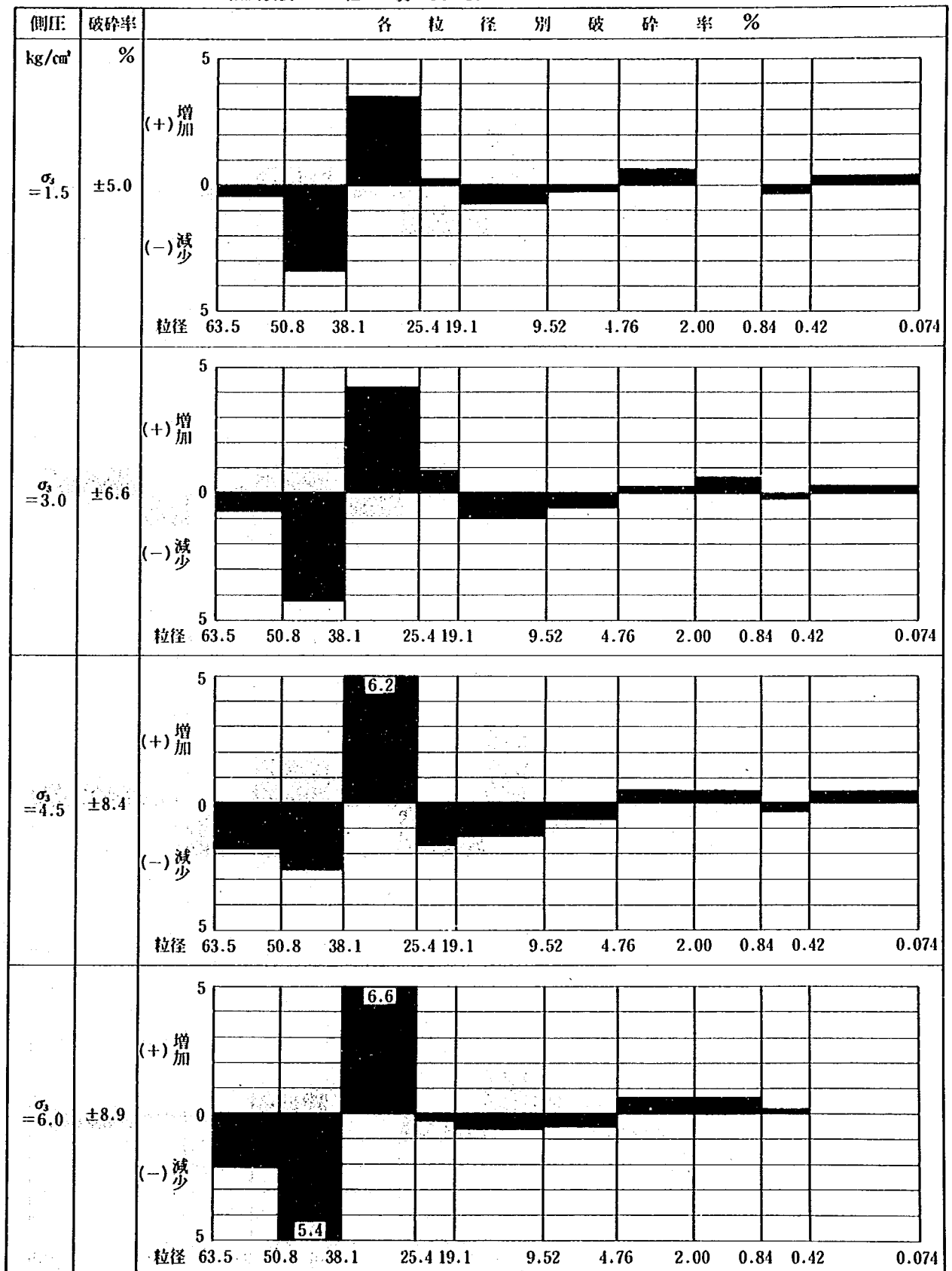


図-22(3) 破碎率図

三軸後粒度試験 (破碎率)

試験ケース名 試験A・Medium

岩 種 安山岩

パターン 三軸試験後 粒 度 $U_c=20$

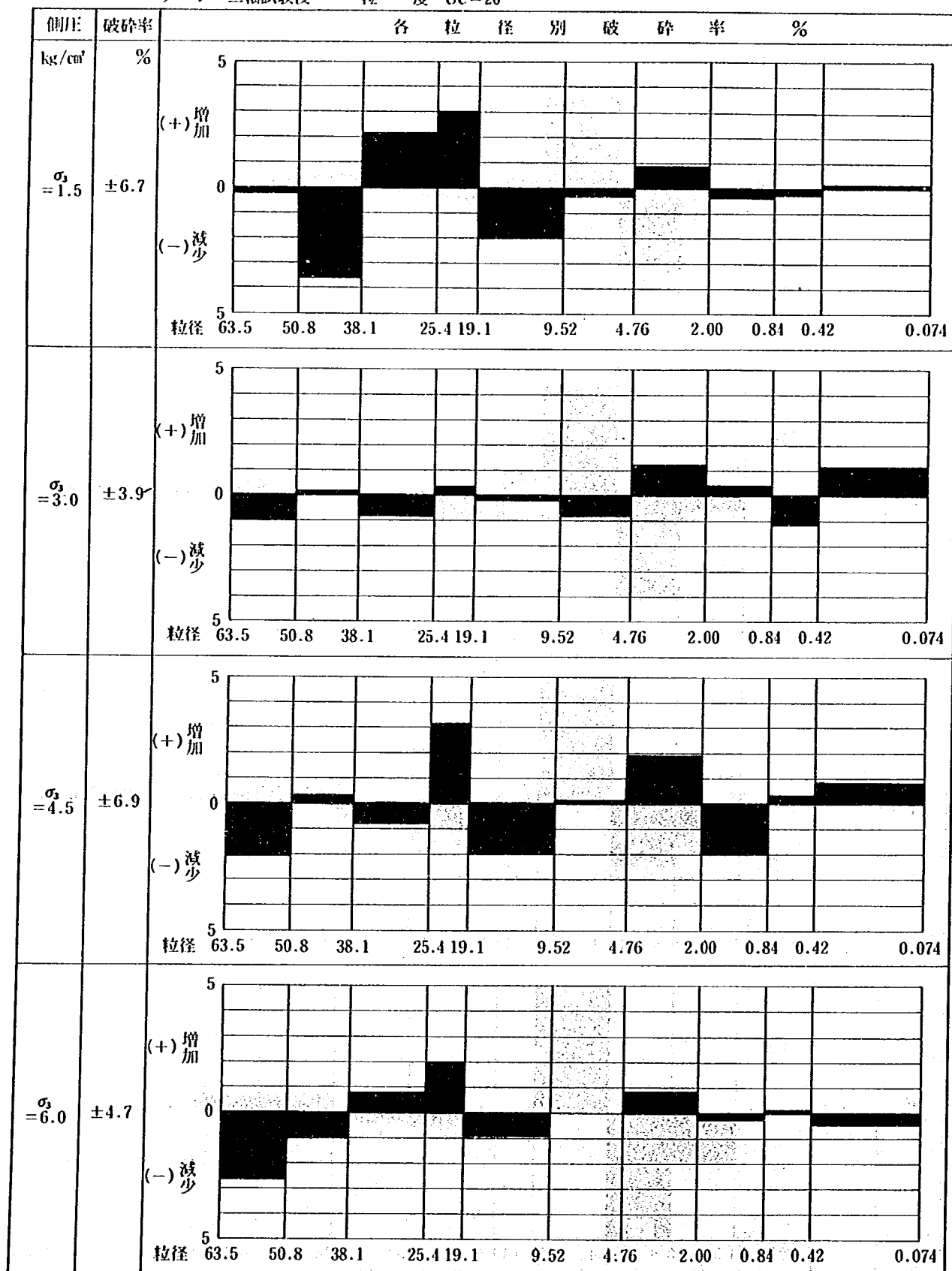


図-22(4) 破碎率図

三軸後粒度試験 (破碎率)

試験ケース名 試験B・Dense

岩 種 安山岩

パターン 三軸試験後 粒 度 $U_c = 7$

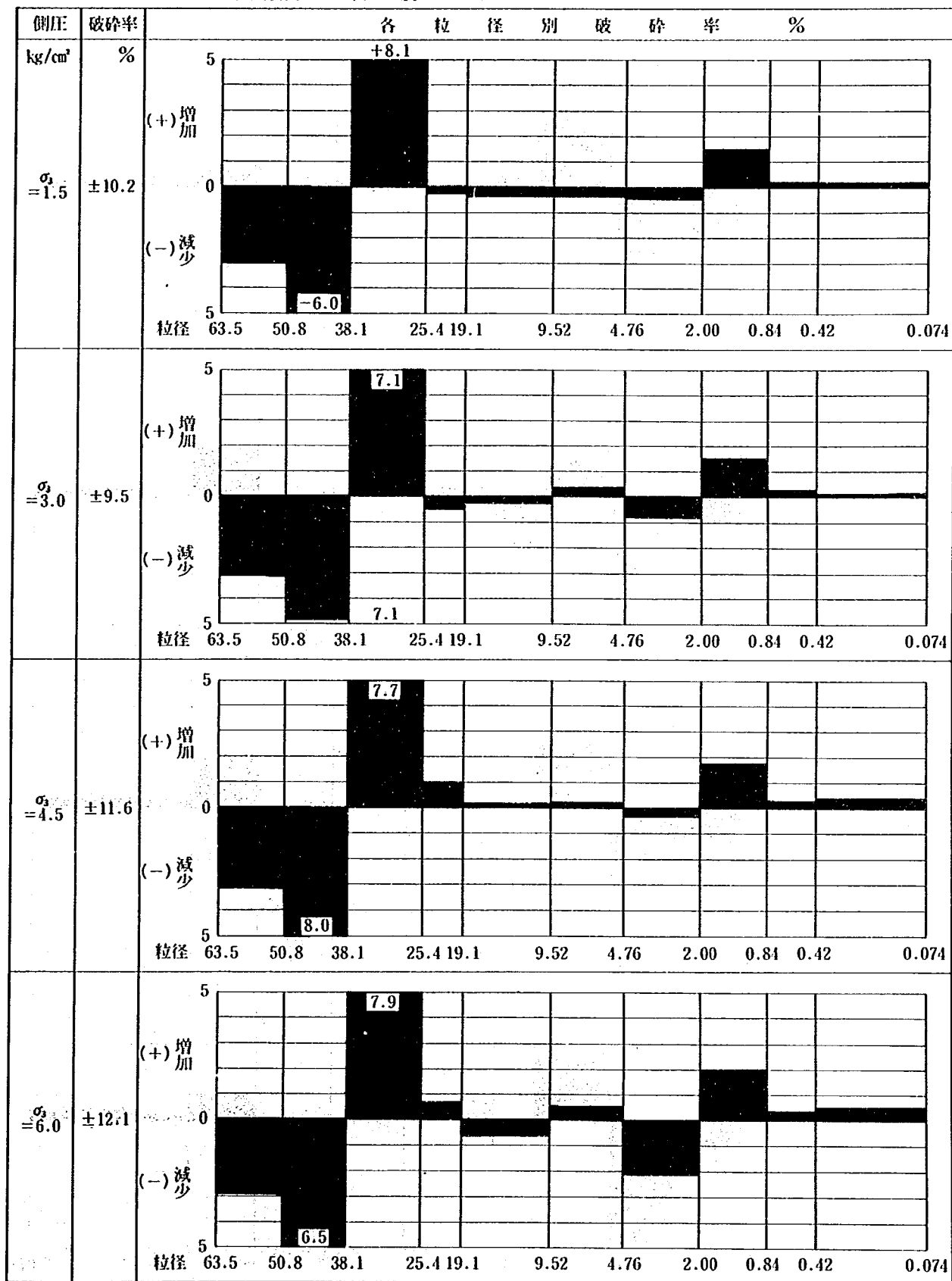


図-22(5) 破碎率図

三軸後粒度試験 (破碎率)

試験ケース名 試験B・Medium

岩 種 安山岩

パターン 三軸試験後 粒 度 $U_c = 7$

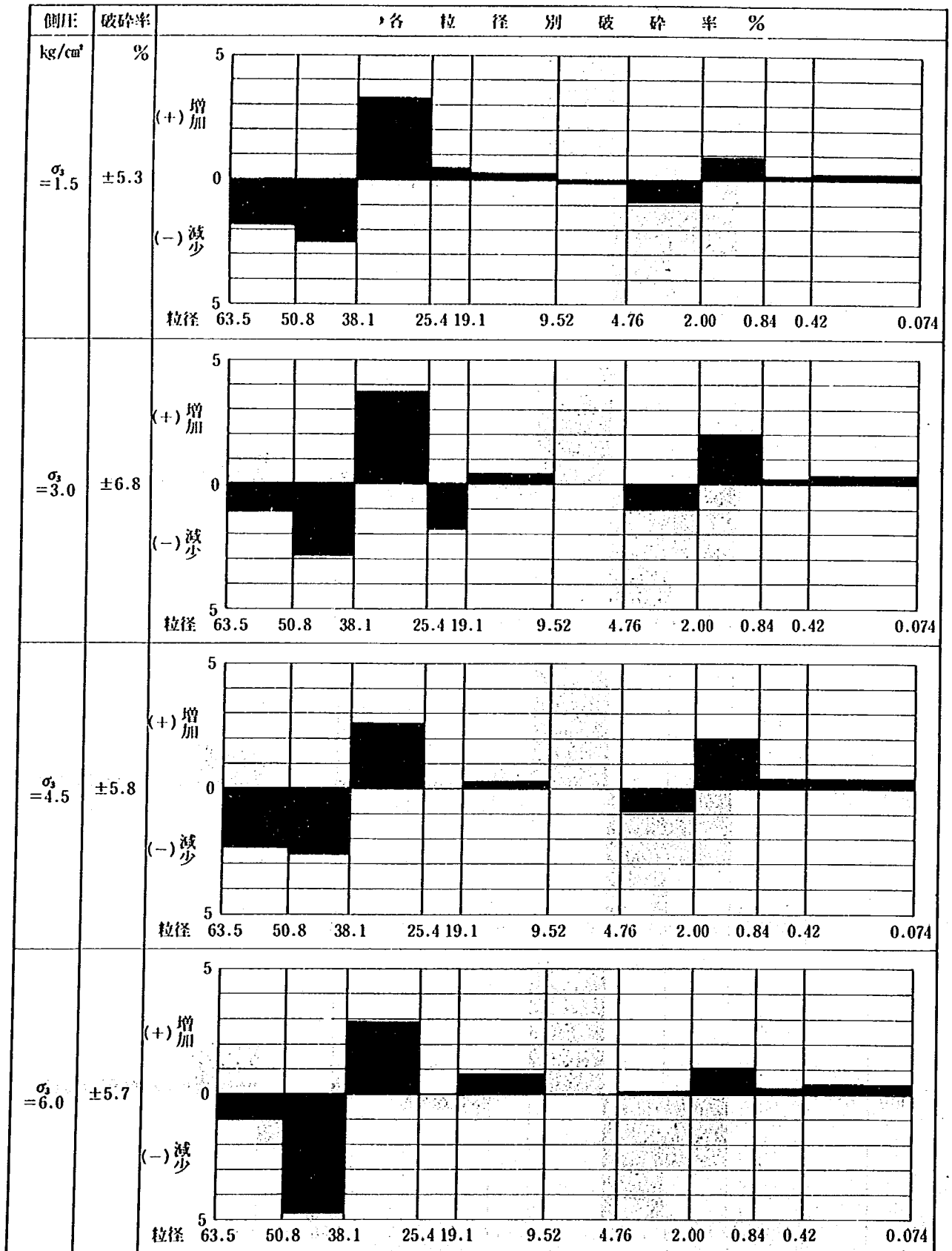
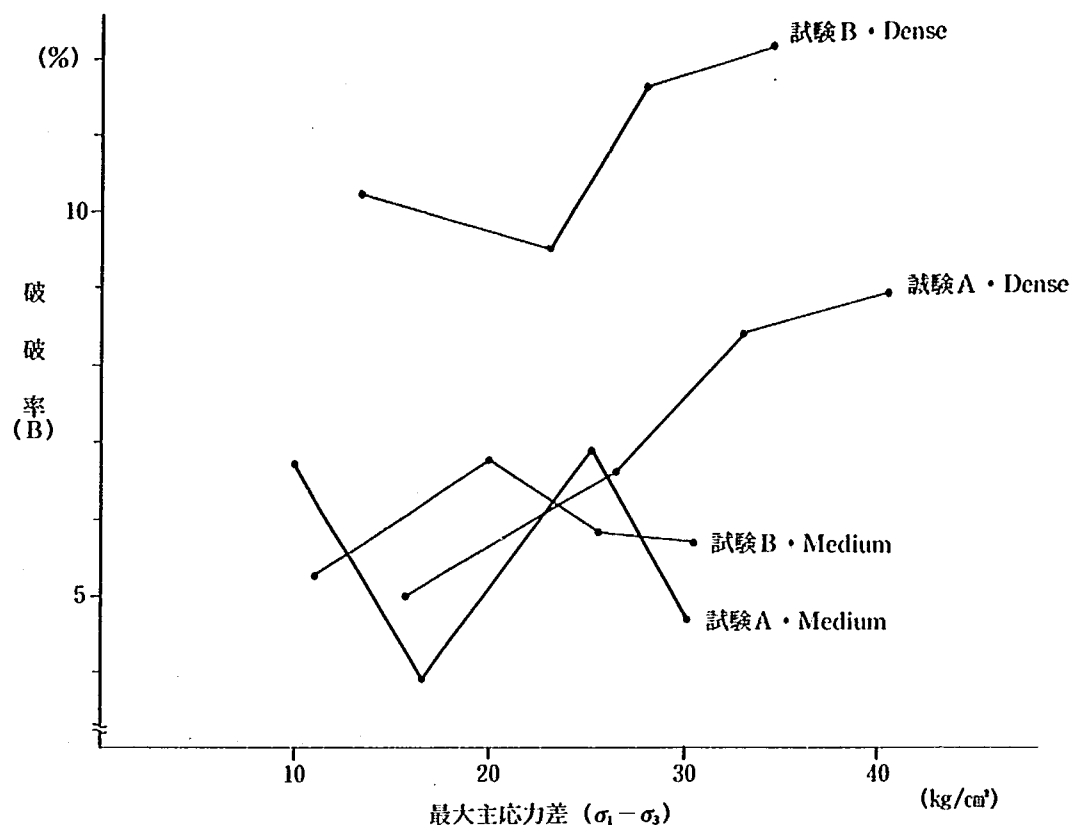


図-22(6) 破碎率図



図一23 最大主応力差と破砕率の関係図

4.5 粒子形状および点載荷圧裂試験

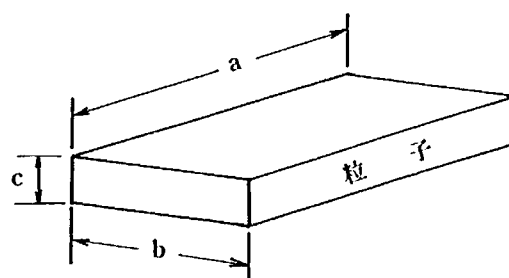
a) 粒子形状

ロック材料の粒子形状を分類するために粒子の最大長(a), 中間長(b), 最短長(c)を測定した。測定値を基に次式(1)による比を求めて Zingg の提案している形状比によって粒子の形状を分類した。

調査した粒子の大きさは点載荷圧裂試験と同様に粒径63.5~9.52mmの粒径範囲の中から各粒径別に無作為に30個抽出したものを対象とした。

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{b}{a} \\ p &= \frac{c}{b} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

q: elongation ratio p: flatness ratio



図一24 粒子形状測定方法

粒子形状の分布状態を図-25(1)~(5)で見ると、全体的には板状・棒状・塊状から成り立っており、これを粒径別の割合（表-14）で見ると、粒径63.5~50.8, 38.1~25.4, 25.4~19.1mmで板状を示し、粒径50.8~38.1, 19.1~9.52mmで棒状を示している。岩そのものの形状は、板状と棒状で全体の70%以上を占めるため、板・棒状と言える。

表-14 粒子形状分布表

形状	63.5~50.8	50.8~38.1	38.1~25.4	25.4~19.1	19.1~9.52	63.5~9.52
板状	44 (%)	33 (%)	30 (%)	37 (%)	23 (%)	33 (%)
葉状	3	10	20	16	10	12
塊状	33	13	23	20	20	22
棒状	20	44	27	27	47	33
判別	板状	棒状	板状	板状	棒状	板・棒状

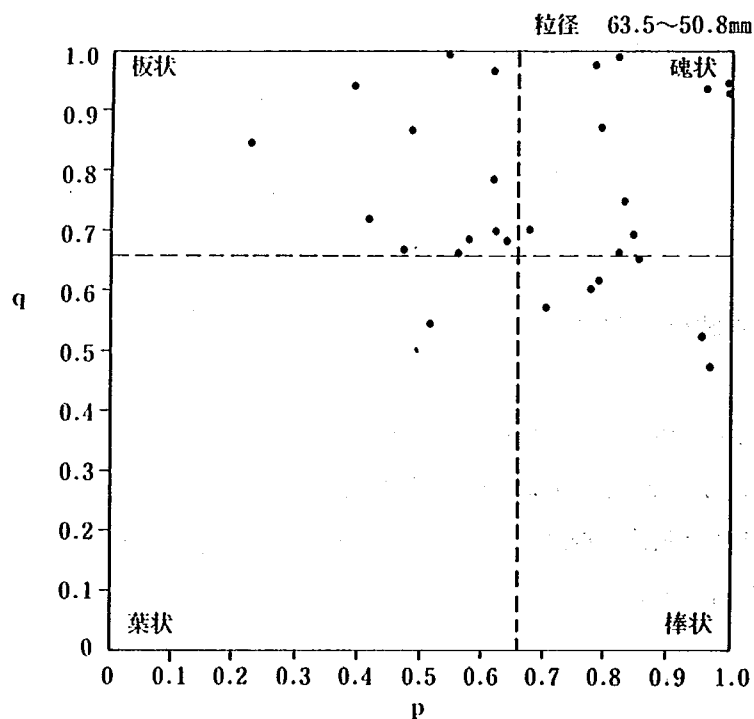
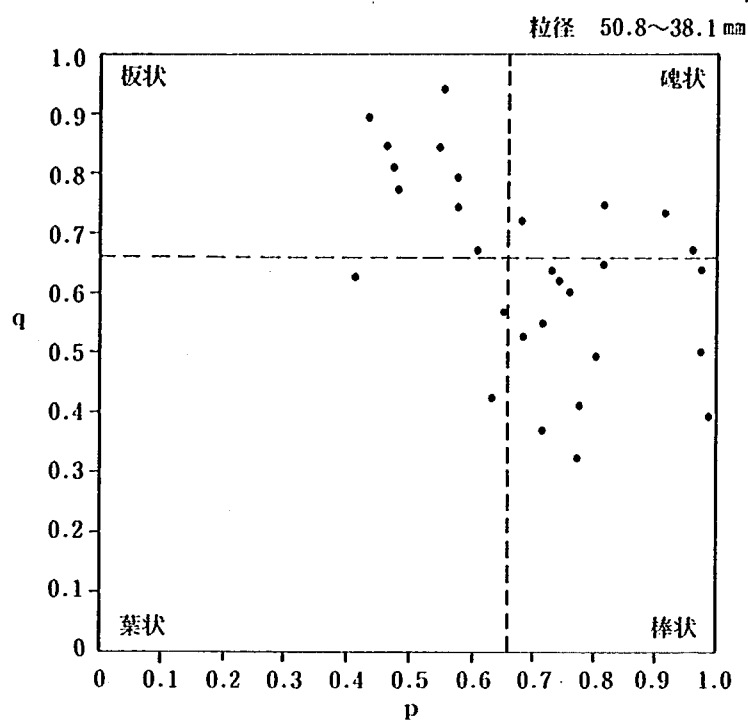
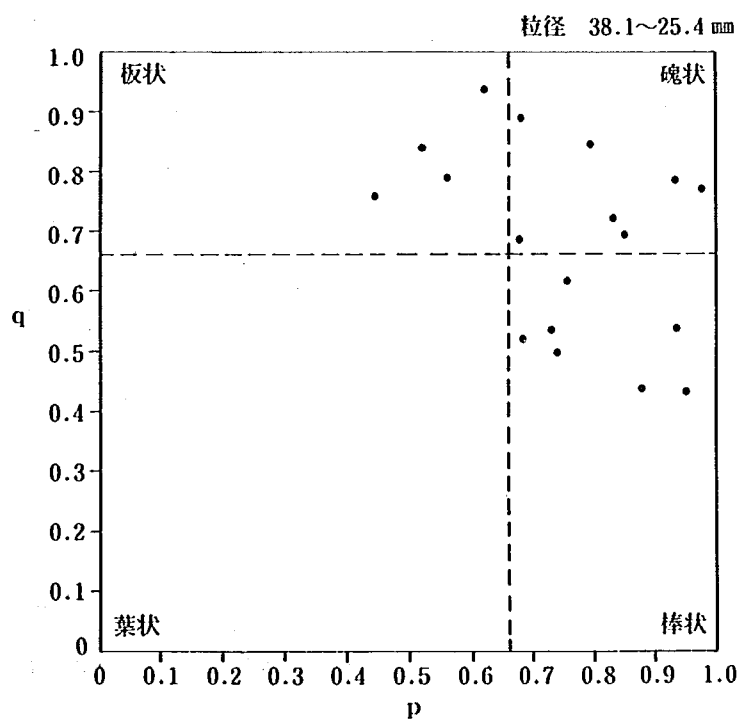


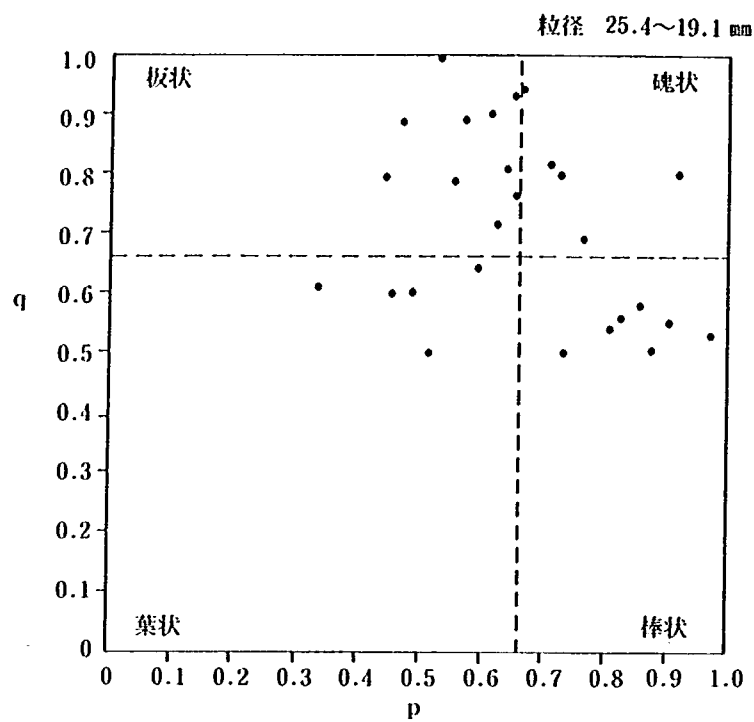
図-25(1) 粒子形状図



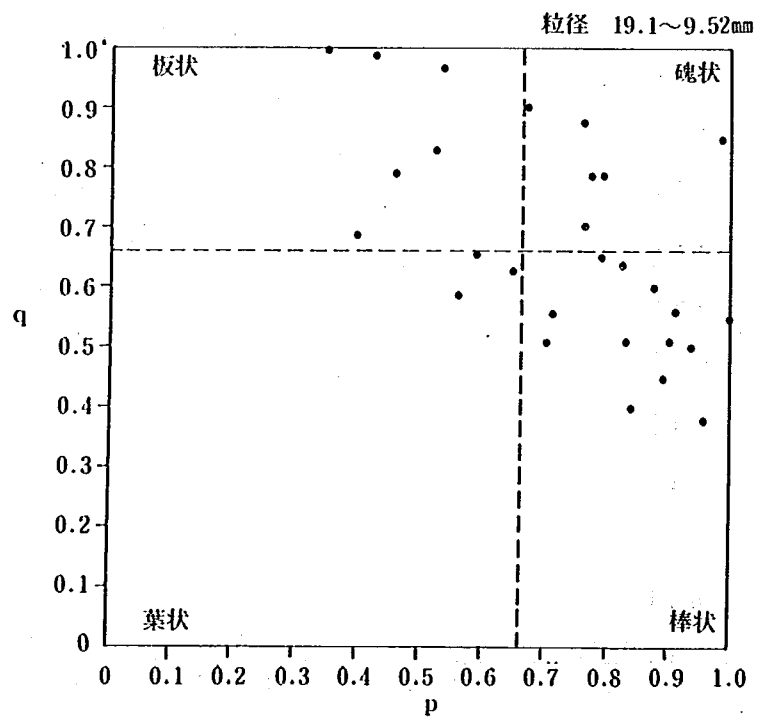
圖—25(2) 粒子形状図



圖—25(3) 粒子形状図



圖—25(4) 粒子形状図



圖—25(5) 粒子形状図

b) 点载荷圧裂試験

ロック材料の粒子強度を引張強度によって評価しようとするための簡易試験方法である。

試験は非整形の岩石に点载荷を与えて破壊時の極限荷重 F_0 から引張強度 S_t を求めるものである。 S_t の値は近似的に次式(2)で与えられている。

$$S_t \approx 0.9 \frac{F_0}{d^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

d : 载荷点間隔

試験は粒径63.5~9.52mmの粒径範囲の中を5種類に分類した中より粒子形状では30個抽出したが、さらにその中より無作為に10個抽出して行い、実施不可能な岩は補充して行なった。

試験結果を図-26で見ると以下に列記した値を示し、粒径が小さくなるとバラツキが多く最大値と最小値の差が極端で、平均的にはこれらの値は考慮しない方がよい。また、平均値を見ると粒径が小さくなると大きな値を示して行くが、これは岩質によるものではなく試験値の整理式によるものである。

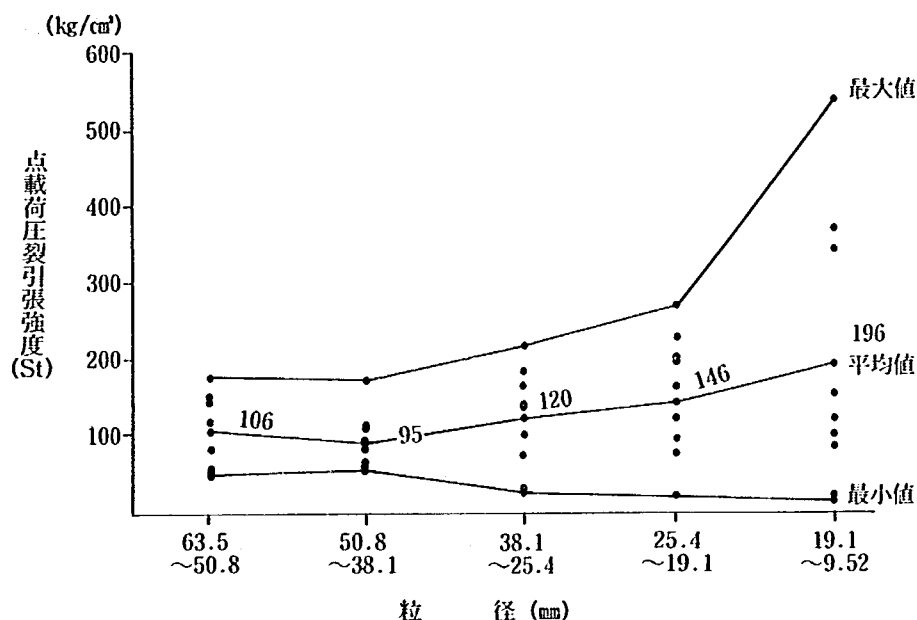


図-26 点载荷圧裂強度分布図

今試験材料である安山岩の点载荷圧引張強度は100~150kg/cm²程度であり、一般的な値であるといえる。

粒 径	平 均 値	最 大 値	最 小 値
mm	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
63.5~50.8	106	176	56
50.8~38.1	95	174	60
38.1~25.4	120	182	25
25.4~19.1	146	272	21
19.1~ 9.52	196	538	14

5. 考察および設計参考値

a) ロック材料の物性値を比重値で見ると、安山岩では真比重 (G_g) で2.73~2.80, 絶乾比重 (G_b) で2.56~2.60, 吸水率では2.6~3.3%の範囲にある。石英安山岩・流紋岩では絶乾比重で2.415~2.456、吸水率が2.2~3.3%で安山岩の方が比重は大きく吸水率は同程度であり、岩質的には今までの材料よりも良くロック材料としては問題はないといえる。

b) 締固め特性は現在まで実施して来たものと安山岩では同様の傾向を示し、粒度の差が締固まりに大きく影響する。このため現場粒度の変動が大きい場合、同じ締固めエネルギーでも締らなくなることが考えられるので、現場での巻き出し厚・転圧機種・転圧回数などによる締固まり特性をしっかりと把握しておくことが望ましい。

c) 内部摩擦角値を図-27で見ると、流紋岩で39~43.5°, 石英安山岩で40~42°の値であり、安山岩では43~47°の値を示し、同一の初期間隙比で見ても同様に安山岩は流紋岩・石英安山岩よりも大きな値を示している。なお、内部摩擦角は最小二乗法により求めている。

d) 変形性について見ると変形係数は通常のロック材料よりも若干大きな値であり、高密度で締固め場合の変形量は少ないと考えられる。

e) 粒子破碎は締固め後および三軸後で粒度による影響は少なく、全体的に粒径が大きいものの角が破碎される傾向にある。

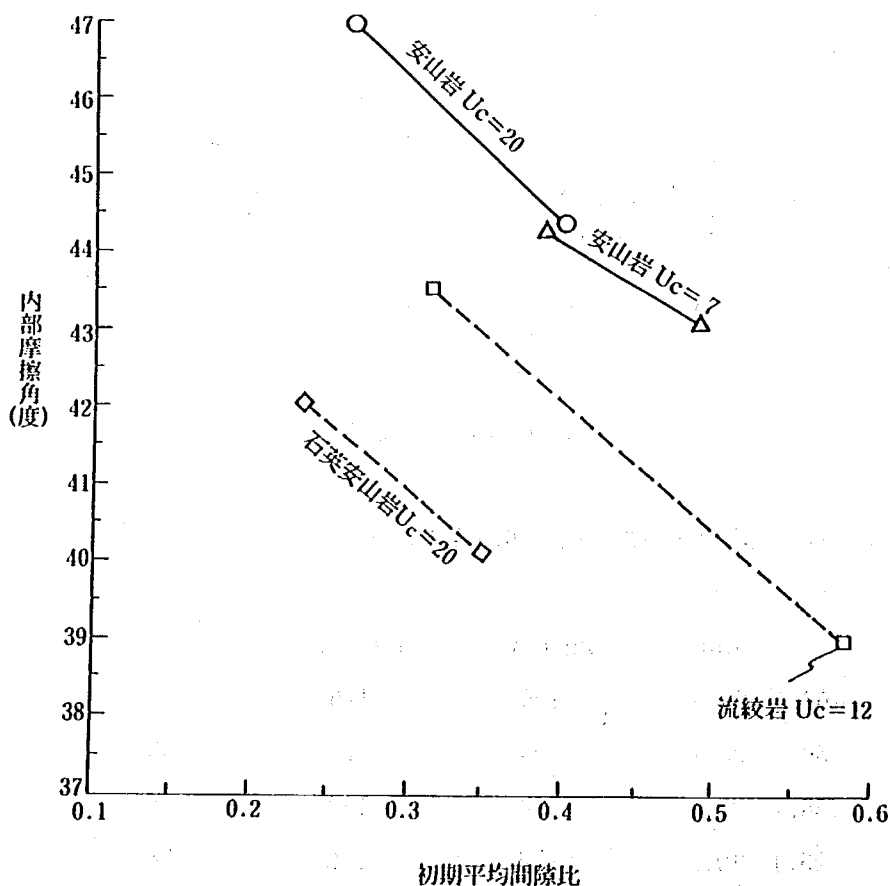


図-27 試験値の関係図 (流紋岩・石英安山岩・安山岩)

f) 設計参考値については土研資料1507号・フィル材料の性質に関する試験・七ヶ宿（昭和56年）で流紋岩・石英安山岩について表一15に示す値を求めている。

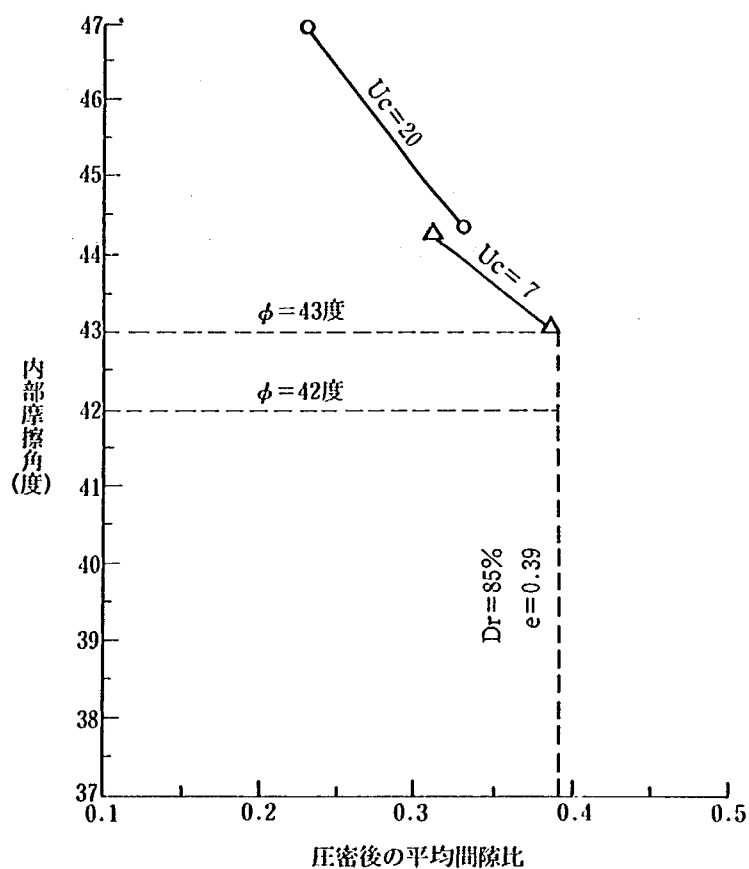
新規原石山（ありや山）の安山岩について、表一16に示す試験結果より設計参考値を求めると以下のとおりである。

表一15 流紋岩・石英安山岩設計参考値

岩 種	施工管理値 γ_d (t/m ³)	設 計 値		
		γ_d (t/m ³)	e	ϕ (度)
流 紋 岩	$\gamma_d \geq 1.85$	1.85	0.34	41
石英安山岩	$\gamma_d \geq 1.93$	1.85	0.29	41

表一16 安山岩の試験結果

均等係数	最大・最小間隙比	圧密後間隙比(e_c)	内部摩擦角(度)
20	$e_{max}=0.560$	0.326	44.36
	$e_{min}=0.237$	0.228	46.96
7	$e_{max}=0.636$	0.385	43.07
	$e_{min}=0.341$	0.310	44.28



図一28 設計参考値の関係（ありや山・安山岩）

表-17 安山岩の設計参考値

ソ ー ン	ロ ッ ク
岩 種	安山岩
粒 度 (U_c)	7
間 隙 比 (e)	0.39
絶 乾 比 重 (G_b)	2.62
真 比 重 (G_g)	2.78
乾 燥 密 度 (t/m^3)	1.88
飽 和 重 量 (t/m^3)	2.20
水 中 重 量 (t/m^3)	1.20
内部摩擦角値 (度)	42
粘 着 力 成 分 (t/m^2)	0.0

① 試験条件は、均等係数の大ききものよりも安全性を考えて $U_c = 7$ とし、平均比重は絶乾比重の $G_b = 2.62$ の値を用いた。

② 設計密度は相対密度(D_r) = 85%時の圧密後の間隙比で統一した。計算に用いた最大・最小間隙比は0.636と0.341である。 $e = e_{max} - \frac{D_r}{100}(e_{max} - e_{min})$ の式に値を代入すると $e=0.39$ が求まる。

③ ①・②より間隙比(e_c) = 0.39の値が得られ、これに対応した内部摩擦角値を図-28より外挿して求めると43.0度の値を求めることができる。

④ ③より得られた推定値に、盛立て施工時において粒度の変動・密度のバラツキ・材料の変化等が考えられるため、せん断強度の低下を考慮し1.0度の余裕を見込み表-17に示す設計参考値を求めた。

I S S N 0386-5878
土木研究所資料第 1974 号
昭和58年 3 月 (1983)
松本徳久, 渡辺和夫, 小川優

キーワード ロック材料, 大型三軸圧縮試験

要 旨 セツ宿ダムで使用予定であるロック材料 (安山岩) について物理試験および大型三軸圧縮試験を行った結果とロックゾーンの設計値について検討を加えて報告したものである。



郵便はがき

40円切手
をはいて
下を

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
フィルダム研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1974号

部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印