

土木研究所資料

寒河江ダムフィル材料試験報告・その2

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 ©1982 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なってはならない。

寒河江ダムフィル材料試験報告・その2

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	1
3. 試験概要	1
3.1 試験項目	1
3.2 試験方法	1
3.2.1 物理試験	1
3.2.2 粒度試験	1
3.2.3 締固め試験	2
3.2.4 三軸圧縮試験	3
3.3 試験材料	4
4. 試験結果	8
4.1 昭和56年度の試験	8
4.1.1 粒度分布	8
4.1.2 物理試験	9
4.1.3 締固め試験	10
4.1.4 三軸圧縮試験	11
4.2 昭和57年度の試験	22
4.2.1 粒度分布	22
4.2.2 物理試験	23
4.2.3 締固め試験	25
4.2.4 三軸圧縮試験	26
5. 考 察	37
付 録 試験装置の概要	43

1. まえがき

寒河江ダムは最上川水系寒河江川（山形県西村山郡西川町地内）に多目的ダムとして建設中のダム高115m、総貯水容量約1.1億トンの大規模なロックフィルダムである。

本報告は、東北地方建設局寒河江ダム工事事務所の依頼により昭和56年度および昭和57年度の2ケ年において寒河江ダム堤体材料として使用予定であるロック材料（ベグマタイト）について物理試験および力学試験を実施した結果を報告するものである。

2. 試験目的

- (1) 昭和56年度に実施した試験は、原石山での採取粒度分布範囲を考慮したロック材料の締固め試験および大型三軸圧縮試験を行いその結果から密度およびせん断抵抗角の設計値について検討することを目的としたものである。
- (2) 昭和57年度に実施した試験は、ロック材料のせん断抵抗角を三軸圧縮試験で精度良く求める上での諸課題のうち粒径の大小がせん断抵抗角に与える影響を知ることを目的としたものである。

3. 試験概要

3.1 試験項目

主な試験項目は物理試験・粒度試験・締固め試験および大型三軸圧縮試験より成る。

3.2 試験方法

3.2.1 物理試験

表-1に試験方法を示す。

表-1 試験方法

試 験	規 格	対 象 粒 径
含 水 量 試 験	JIS A 1203-1978	全 粒 径
粗粒材の比重及び吸水量試験	JIS A 1110- 51	4.76 mm以上
土 粒 子 の 比 重 試 験	JIS A 1202-1978	4.76 mm以下

3.2.2 粒度試験

土の粒度試験方法（JIS A 1204 T-1979）に準拠して締固め試験後および三軸圧縮試験後の各々の試験後試料の全量について粒度試験を行い、試験前後の粒径別残留率の増減を算出して

Marsal の定義⁹⁾ による粒子破碎率を求める。

3.2.3 締固め試験

試験材料条件でのロック材料の締固まり特性を求めることを主目的として締固め試験を実施した。

昭和56年度および昭和57年度に行った締固め試験方法および締固め用装置は各々異なるものであり、以下に示すとおりである。

1) 昭和56年度の締固め方法

締固め試験に用いた振動締固め試験機は振動テーブル上に固定したモールド内の試料に鉛直方向に振動を与える方式であり、振動加速度の大きさは起振モーターの重錘枚数によって調節するものである。

直径30cm、高さ60cmの大型三軸圧縮試験供試体作成用モールド（以下D 30と言う。）を用いて試験したものであり、以下にその手順を示す。

振動締固め試験機を用いて絶乾重量、締固め層数、振動数および振動時間を一定として加速度を変化させることにより締固めエネルギーと締固まり密度（または間隙比）の関係を求める。振動時には試料上面の乱れを防ぐために上面に0.5 ㎏程度の上載応力を与える。

試験の手順は、

- ①締固め条件（加速度値）の設定。
- ②試料（重量＝7.8 kg）を試験粒度分布に従い粒径毎に必要量を計量する。
- ③②によって計量されたものを各粒径毎に6等分した後、等分された試料を混合して試験粒度分布状態の試料を6個作成する。
- ④③で準備された試料を各層毎にハンスコップで静かにモールド（内径30 cm）内に投入した後に初期高さを測定する。また振動後においても高さを測定する。以上を繰返して6層まで締固めて試料の締固まり密度を求める。高さ測定は4点測定とした。

締固め条件および方法を表-2に示す。

表-2 締 固 め 条 件

項 目	条 件 お よ び 方 法
絶 乾 重 量	7.8 kg
振 動 数	30 Hz
振 動 時 間	480 sec/層
層 数	6 層（1層約 10 cm）
締固めエネルギー	振動時の加速度は起振モーターの偏心重錘重量（枚数）を変化することにより調整する。 試験加速度 0～4 g
最 大 粒 径	試験試料の最大粒径は 63.5 ㎖ とする。
モ ー ル ド	三軸供試体作成用の三割モールド

2) 昭和57年度の締固め方法

直径30cm, 高さ60cmの大型三軸圧縮試験供試体作成用モールドと直径120cm, 高さ240cmの超大型三軸圧縮試験供試体作成用モールド(以下D120と言う。)を用いて行ったものであり以下にその方法および手順を示す。

D30の手順は, 昭和56年度の締固め方法(②~④)と同じであるが締固め用装置としては表-3に示す電動ランマーを用いて試料表面より締固め時間を変化させて行った。試料高さの測定は5点測定とした。

表-3 電動ランマー仕様

全負荷打撃数	950 打撃/分
本体重量	33 kgf
加圧盤直径	20 cm

D120の方法および手順は以下のとおりである。

- ①試料(重量=770kgf)を試験粒度分布に従い粒径毎に必要量計量する。
- ②①で計量して攪拌した試料を3層分用意する。
- ③②で用意した1層分の試料をモールドの中に静かに撒き出した後で表面を静かに均す。
- ④試料表面より振動締固め機で締固める。締固め所要時間は最大64分間とした。試料高さの測定は17点測定とした。
- ⑤以上③④を繰返して3層まで締固めて試料の締固まり密度を求める。

表-4に振動締固め機の仕様を示す。

表-4 振動締固め機仕様

重 量	533 kg
振 動 板	1140 mm ϕ
振動モーター型式	KM40-4P 2個
遠 心 力	モータ1個あたり800kg重
振 動 数	1450 R·P·M
振 動 振 幅	平均 3.20 mm

3.2.4 三軸圧縮試験

昭和56年度試験では径30cm, 高さ60cm供試体の試験機を昭和57年度試験では径30cm, 高さ60cmおよび径120cm, 高さ240cm供試体の三軸圧縮試験機を使用した。径30cmと径120cm試験機は次の機関の所有である。

① 径30cm, 高さ60cmの三軸圧縮試験機 (D 30)

建設省土木研究所フィルダム研究室。以下D 30 供試体, D 30 試験とは, それぞれこの試験機による供試体, 試験を指す。

② 径 120 cm, 高さ 240 cmの三軸圧縮試験機 (D 120)

フジタ工業株式会社技術研究所。以下D 120 供試体, D 120 試験とは, それぞれこの試験機による供試体, 試験を指す。

三軸圧縮試験は土質工学会基準「土の三軸圧縮試験法 (案)」⁹⁾に準拠した方法であり, 試験方法の概要を表- 5 に示す。

表- 5 試 験 方 法

試 験 年 度	S. 56	S. 57	
試 験 機	D 3 0	D 3 0	D 1 2 0
方 法	C D 試験 (不飽和)	左に同じ	左に同じ
制 御	軸方向変位 6 mm/min	軸方向変位 3.3 mm/min	左に同じ
試 験 密 度	締固め試験結果より決定する。	左に同じ	左に同じ
供 試 体 作 成	締固め試験方法に準拠した方法。	左に同じ	左に同じ
試 験 側 圧	2, 4, 6 kgf/cm ²	1.5, 3.0, 4.5, 6.0 kgf/cm ²	左に同じ
密 度 規 定	供試体の初期間隙比を一定とする。	供試体の圧密後間隙比を一定とする。	左に同じ

3.3 試験材料

工事事務所の調査によればダムサイトの地質は, 閃緑岩および花崗岩が主体をなし貫入岩脈である珉岩が分布している。

試験材料であるペグマタイトはダムサイトの上流約 2 km 右岸部原岩山 (小砂子関原石山) より採取したものである。原石山の地質は工事事務所の調査によれば第 3 紀の活動と考えられる粗粒玄武岩を主体としており, ペグマタイト (巨晶部) が一部分に含まれており全体に風化が認められている。

昭和55年度までは主として粗粒玄武岩について実験を行ってきたが⁹⁾ 昭和56・57年度はペグマタイトについて実験を行った。試料採取位置を図- 1 および図- 2 に試料採取方法の概略を図- 3 に示す。

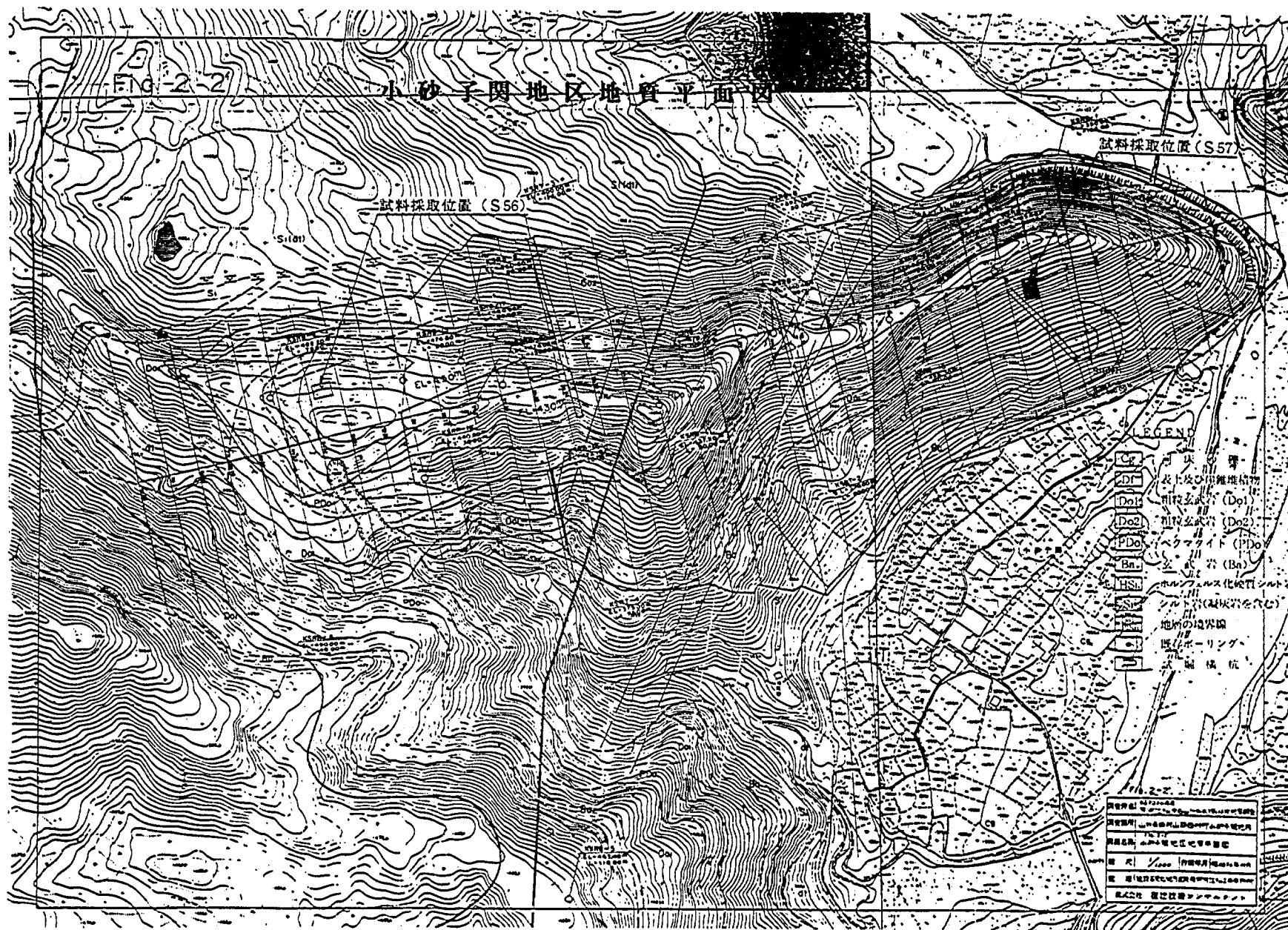
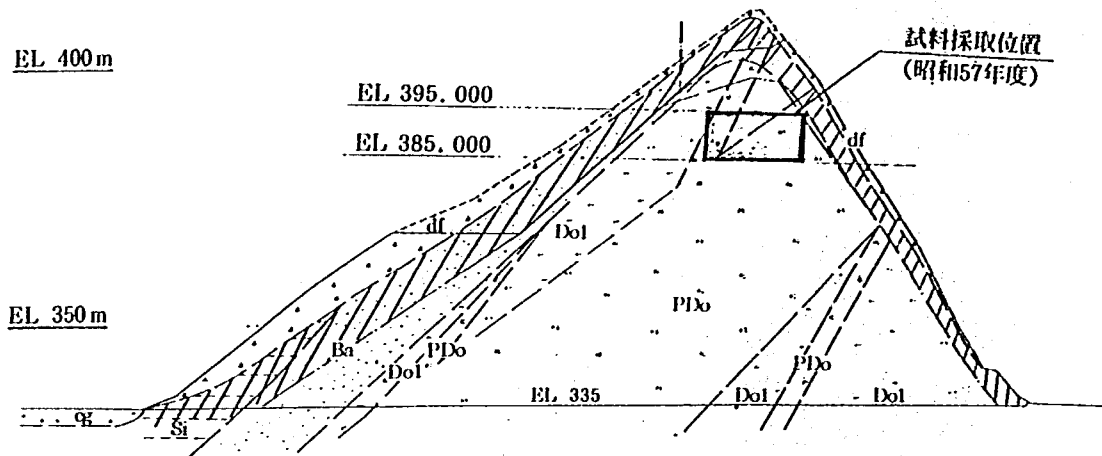


圖-1 試料採取平面位置

NO.8 測線



NO.32 測線

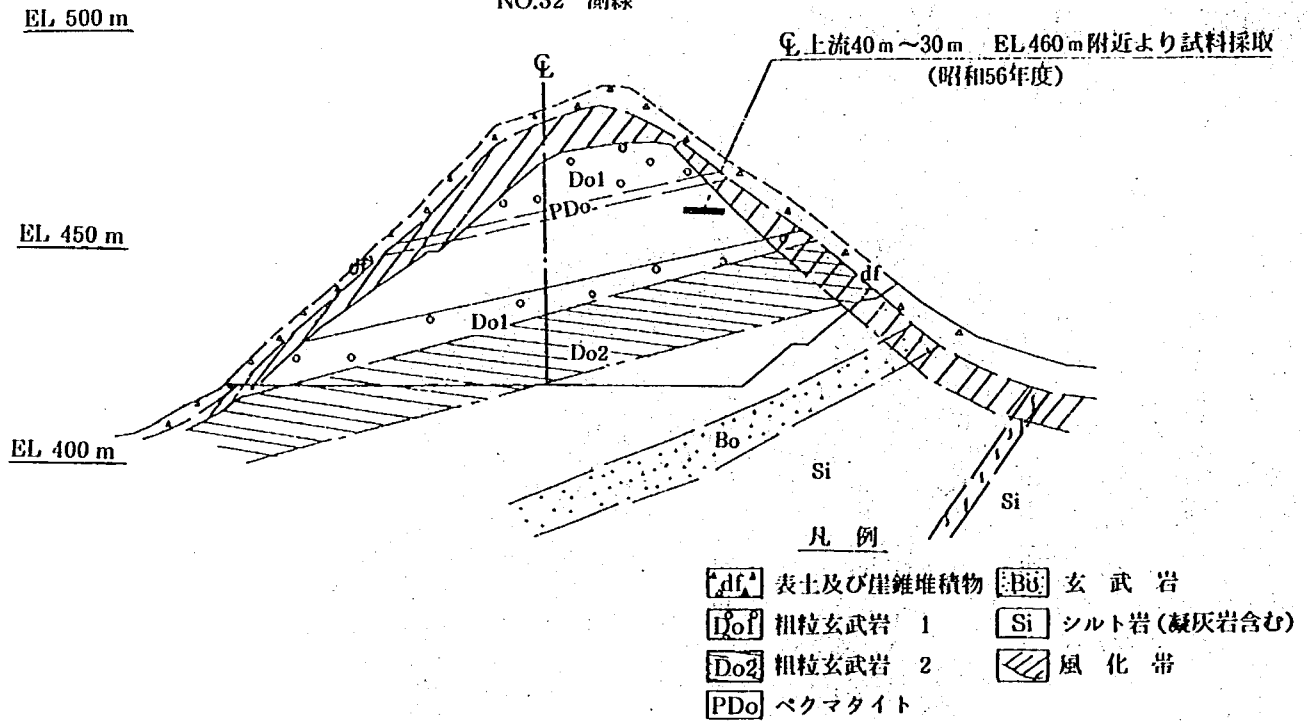
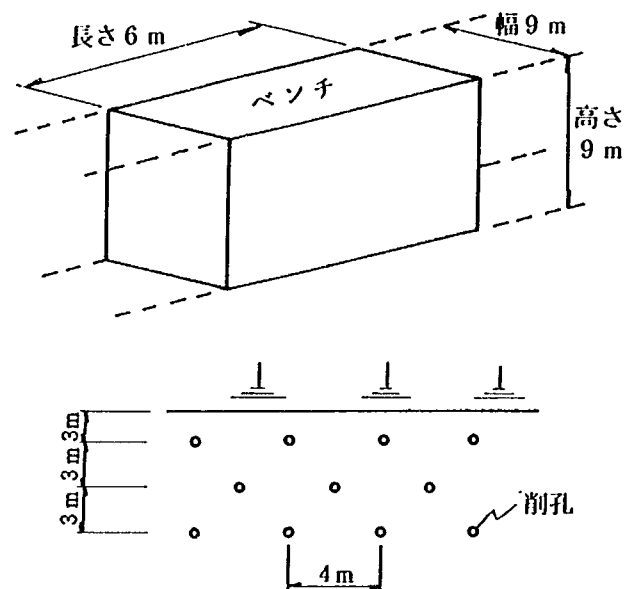


図-2 試料採取ヶ所の断面位置

a. 昭和56年度の採取方法

削 孔	クローラドリル (φ66mm)
削 孔 長	6 m
火 薬 量	7.5 kg/孔
火 薬 量	2.65 kg/m
削 孔 数	47孔
発破係数	C = 0.304



b. 昭和57年度の採取方法

- 孔長は全て 11.5 m
- ●印は ANFO 47kg/孔 + あかつき 0.75 kg/孔
○印は ANFO 46kg/孔 + あかつき 0.75 kg/孔
の薬量・雷管は全て 1 段電気雷管
- 孔径は 90%
- 押落し } は D355A (48 t) ブルドーザー
集土 }
- 992B (7.6 m²) ホイルローダーで
積込み, 769B (32 t) 重ダンプ
で運搬

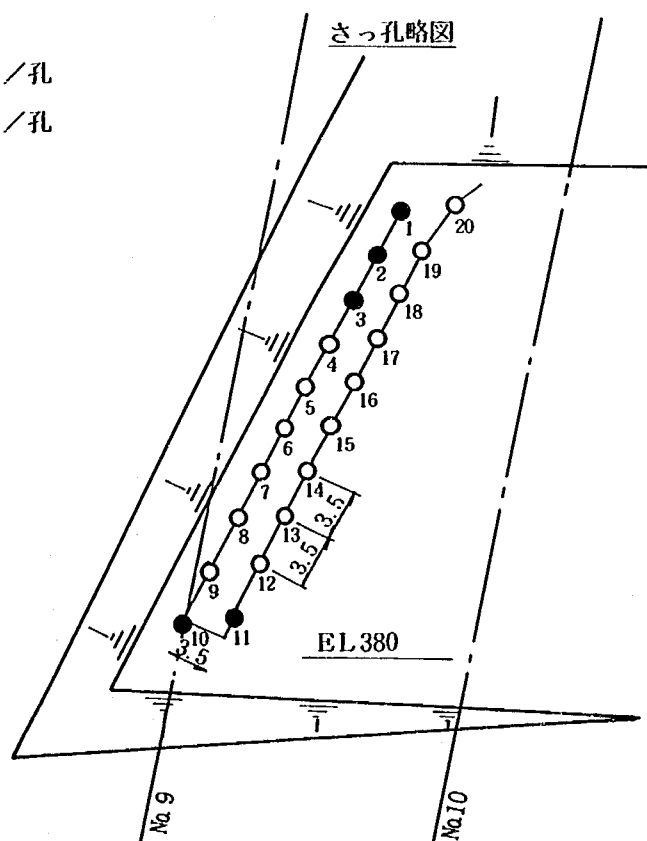


図-3 試料採取方法の概略

4. 試験結果

4.1 昭和56年度の試験

4.1.1 粒度分布

現場採取材料について行ったフルイ分け試験結果より得られた粒度分布（採取粒度）を参考にして以下の二種類の粒度分布について締固め試験および三軸圧縮試験を実施した。試験粒度分布は次のとおりである。

- ① 最大粒径を 63.5 mm とした採取粒度分布と相似な粒度分布（ $U_c = 23$ ）とする。
- ② 原石山での材料に風化が認められるために採取および現場施工転圧時に材料全体が細粒化の傾向を示すことが考えられるため細粒分の増加を考えた採取粒度分布の剪頭粒度分布（- 63.5 mm 粒径範囲， $U_c = 9$ ）とした。表-6 に粒径別重量百分率を図-4 に粒度分布曲線を示す。

試験材料から粒径が 9.52 ~ 19.1 ・ 19.1 ~ 25.4 ・ 25.4 ~ 38.1 ・ 38.1 ~ 50.8 ・ 50.8 ~ 63.5 mm の各々について 10 個ずつサンプリングした粒子について点載荷圧裂試験（引張強度を求めるための簡易試験方法⁵⁾）を行った結果では 40 ~ 90 kgf/cm² と幅があり通常のロック材料と比較してやや強度が小さい。

表-6 粒径別重量百分率

均等係数 U_c		9		23	
曲率係数 U_c'		1.04		1.41	
粒 径 別 重 量 百 分 率 (%)	D_{60} (mm)	32.0		19.1	
	D_{10} (mm)	3.5		0.84	
	粒径 (mm)	残留率	加積通過率	残留率	加積通過率
	63.5 ~ 50.8	7	100	7	100
	50.8 ~ 38.1	23	93	11	93
	38.1 ~ 25.4	23	70	14	82
	25.4 ~ 19.1	10	47	8	68
	19.1 ~ 9.52	16	37	17	60
	9.52 ~ 4.76	9	21	13	43
	4.76 ~ 2.00	5	12	10	30
	2.00 ~ 0.84	4	7	10	20
	0.84 ~ 0.42	3	3	4	10
	0.42 ~ 0.074	0	0	6	6

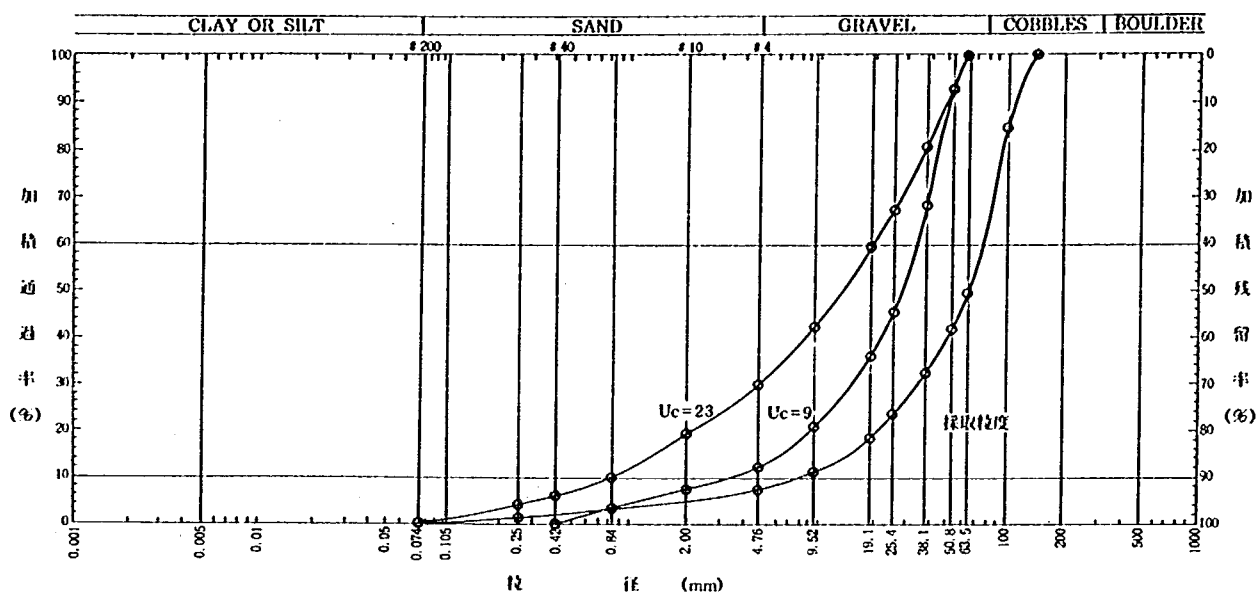


図-4 粒度分布曲線

4.1.2 物理試験

表-7 に粒径別の測定値を表-8 に粒径別重量百分率を考慮した重み付き平均値を示す。

絶乾比重は $G_b = 2.431 \sim 2.497$ ，吸水率は $Q = 4.4 \sim 6.3$ %であり粒径別にはバラッキが小さいが通常のロック材料と比較すると絶乾比重が小さく吸水率のやや大きい材料である。

表-7 比重及び吸水量

粒 径 (mm)	比 重			吸 水 量 Q (%)
	真 比 重 G_g	絶乾比重 G_b	表乾比重 G_a	
63.5~50.8	2.804	2.497	2.607	4.391
50.8~38.1	2.803	2.492	2.603	4.449
38.1~25.4	2.809	2.484	2.600	4.663
25.4~19.1	2.819	2.483	2.602	4.748
19.1~9.52	2.843	2.481	2.609	5.131
9.52~4.76	2.873	2.431	2.584	6.340
4.76~2.00	2.858	—	—	—
2.00~0.84	2.874	—	—	—
0.84~0.42	2.896	—	—	—
0.42~0.074	2.887	—	—	—

表-8 平均比重及び平均吸水量

均等係数	平均比重	平均吸水量(%)
9	2.528	4.851
23	2.595	5.038

4.1.3 締固め試験

締固め方法は3.2.3に述べた方法のうち振動締固めで表-2に示す条件で実施した。

図-5に重錘枚数および振動加速度の大きさと乾燥密度および間隙比の関係を示す

$U_c = 9$ および $U_c = 23$ の試料は振動加速度が大きくなると乾燥密度が大きくなり間隙比が小さくなる傾向が現われており重錘枚数が15枚(振動加速度が約4.3~4.5g)ではほぼ一定した間隙比となり締まらなくなる傾向が認められる。これはロック材料の一般的な締固まり傾向と同じである。

次に試料をモールド内に静かに入れて締固めを行わないで得られた間隙比を最大間隙比(e_{max})、重錘枚数が15枚で加振して得られた時の間隙比を最小間隙比(e_{min})と定義して e_{max} および e_{min} を粒度別に整理すると表-9のとおりである。

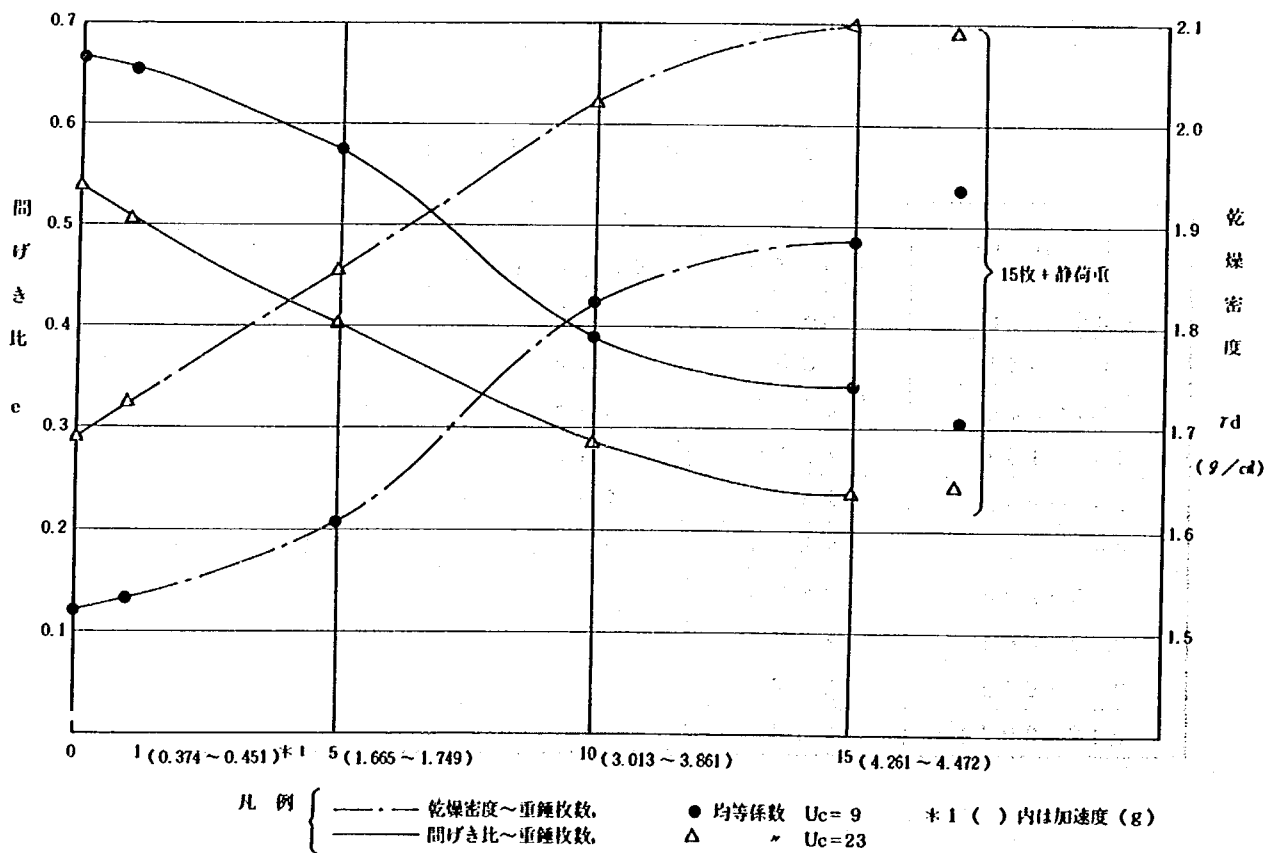


図-5 締固め試験結果(重錘枚数, 加速度と間隙比, 乾燥密度の関係)

表-9 e_{max} および e_{min}

U_c	e_{max}	e_{min}
9	0.659	0.342
23	0.536	0.238

締固め試験より得られた e_{min} の値は同様な締固め方法で主に火成岩類（14岩種）について試験して得られた実験式⁶⁾である式(1)より求めた $U_c = 9$ で 0.315, $U_c = 23$ で 0.224 の値とはほぼ同じでありロック材料として平均的な締固まり程度を示している。尚, 締固めによって生じた粒子破碎率は $U_c = 9$ で 3.70%, $U_c = 23$ で 2.65%であった。

$$e_{min} = 0.694 \cdot U_c^{-0.36} \dots\dots\dots (1)$$

4.1.4 三軸圧縮試験

(1) 供試体密度

供試体の密度は側圧 (σ_3) が 2, 4, 6 kgf/cm² 条件で初期間隙比 (e_0) を同じにしてせん断したものである。供試体の初期間隙比は締固め試験で定義した e_{max} と e_{min} の値を用いて Terzaghi の定義による相対密度で 50%と 85%を目標として振動締固めの重錘量を決定した。締固め試験ではモールドに直接試料を入れて締固めているが、三軸用供試体作成時にはゴムスリーブを用いているため締固め条件は若干異り、このため表-10に示すように相対密度は目標とは若干異なるものとなった。

表-10にせん断試験を行った時の供試体平均初期間隙比を示す。表中の間隙比は平均絶対乾比重 G_b

表-10 平均初期間隙比

均等係数 U_c	密度状態	平均間隙比 $\bar{e}_0$	相対密度 D_r (%)
9	Very Dense	0.375	90
	Medium	0.457	64
23	Very Dense	0.252	95
	Medium	0.356	60

により算出した値である。

供試体の作成は「3.2.3 締固め試験」と同じ方法手順で行った。

(2) 応力とひずみの関係

応力とひずみの関係を図-6から図-9に示す。

$U_c = 9$ の粒度組成では, $D_r = 64, 90\%$ の両者とも軸方向ひずみ (ϵ_a) が 15%以内で主

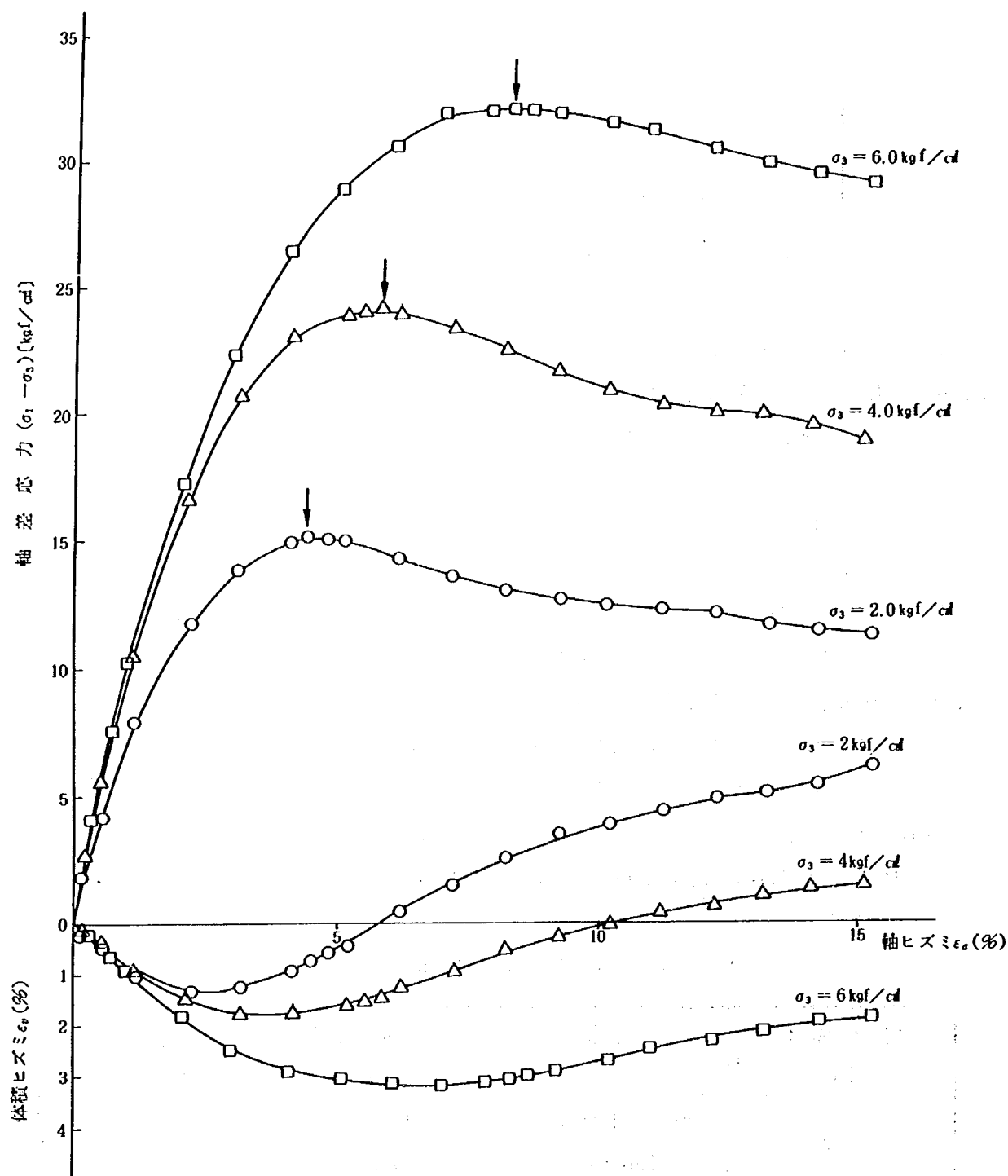


図-6 D30の応力～ヒズミ曲線 $U_c=23$ VERY DENSE

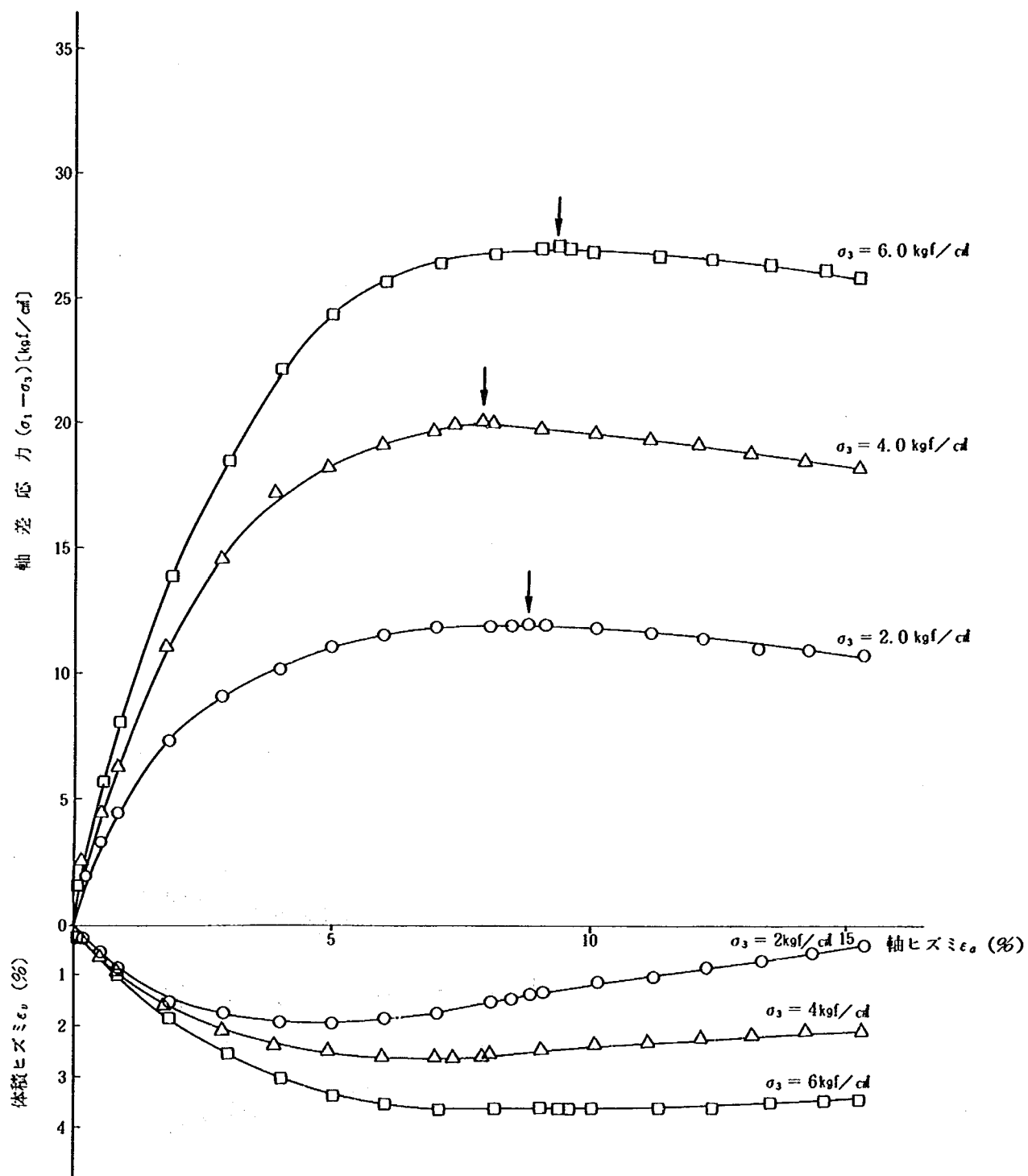


図-7 D30の応力～ヒズミ曲線 $U_c=23$ MEDIUM

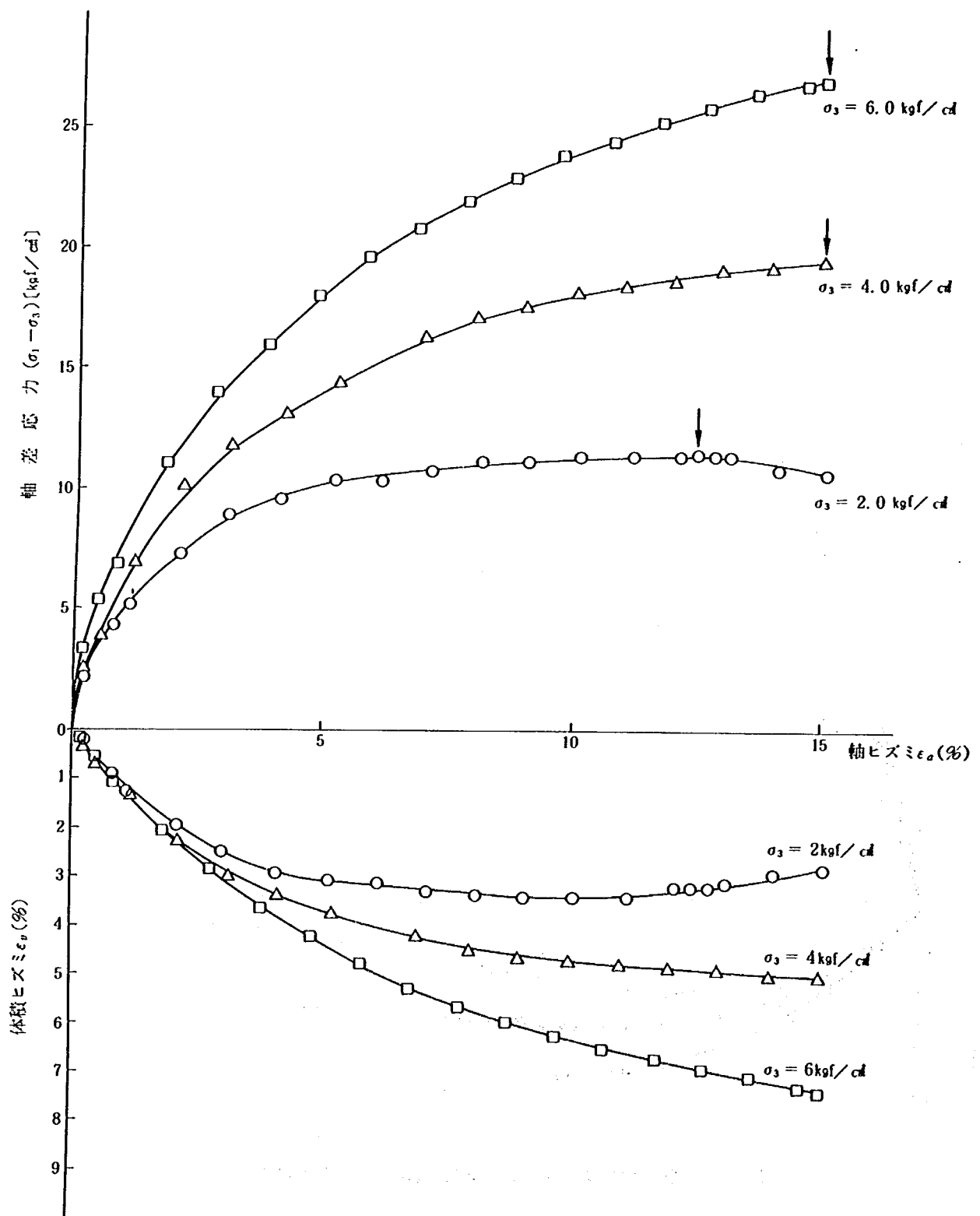


図-8 D30の応力～ヒズミ曲線 $U_c=9$ VERY DENSE

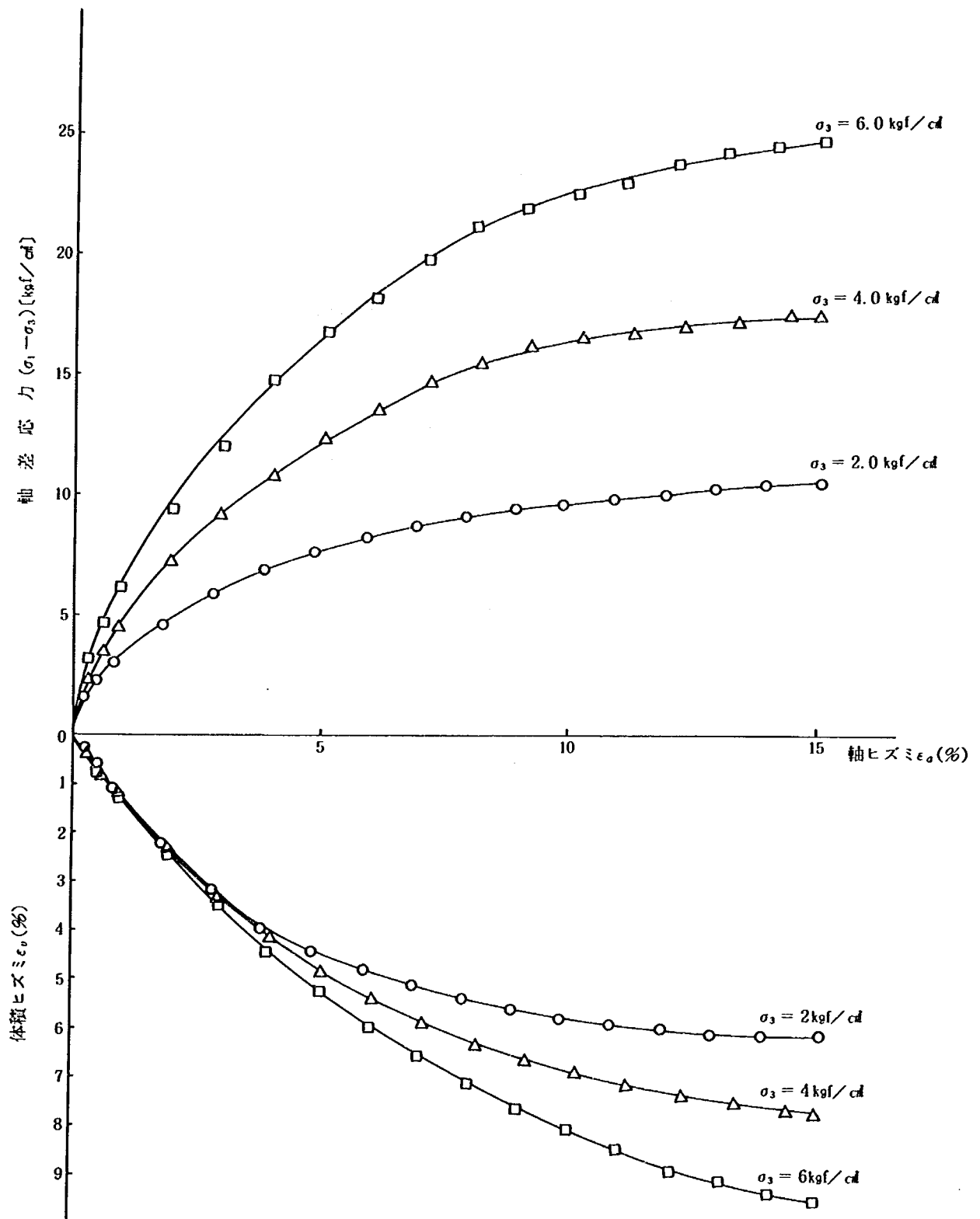


図-9 D30の応力～ヒズミ曲線 $U_c=9$ MEDIUM

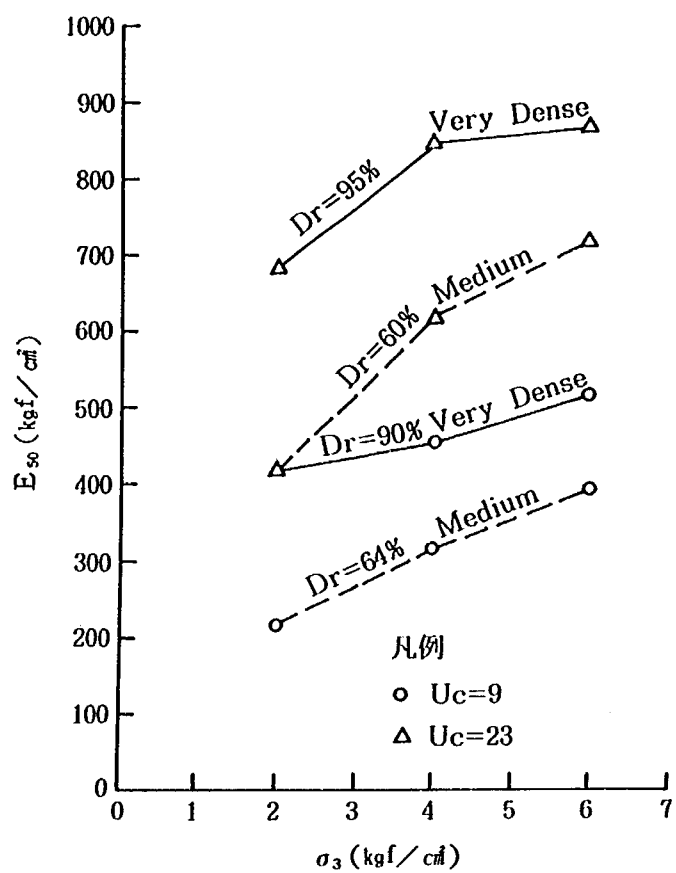


図-10 σ_3 と E_{50} の関係

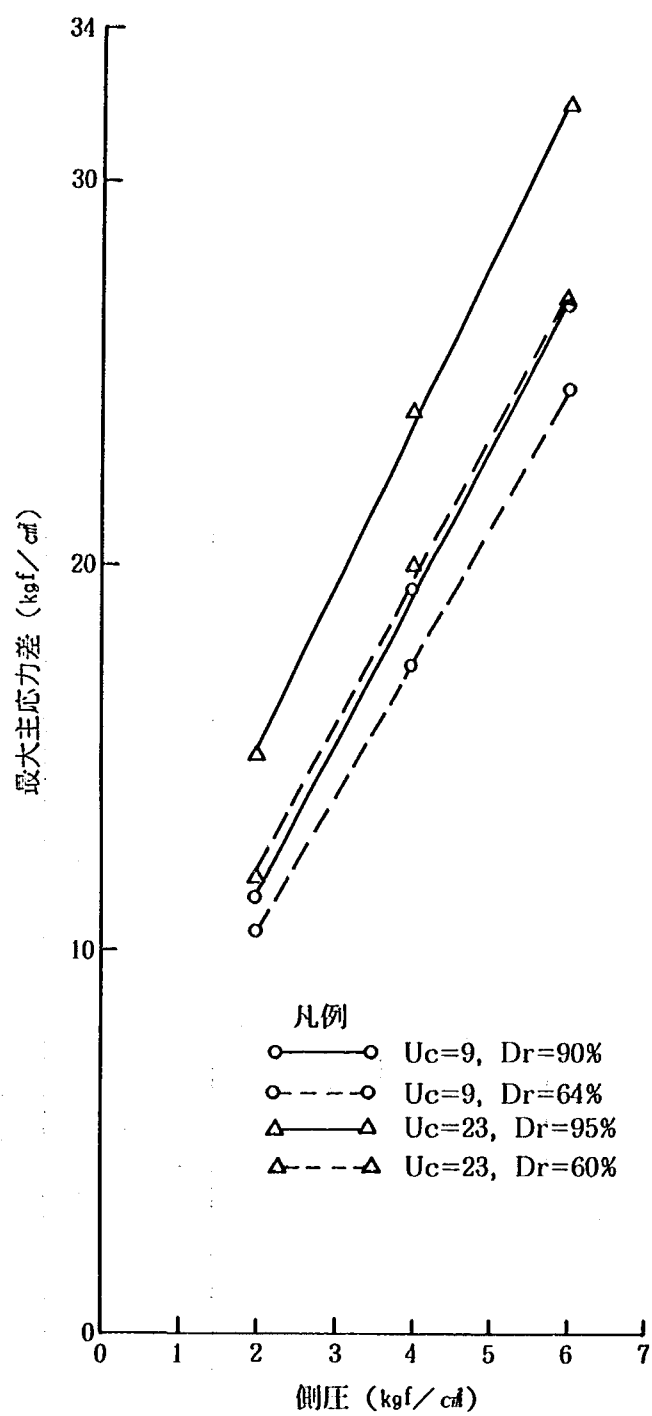


図-11 側圧と最大主応力差

表-11 大型三軸圧縮試験結果一覧

岩 種: バグマタイト

均等係数 ケース名 (締固め重錘枚数)	比重	吸水率 含水比 (%)	初期間げき比 乾燥密度 相対密度 (平均)	側圧 (kgf/cm ²)	初期 乾燥 密度 (kgf/cm ³)	間 げ き 比				$(\sigma_1 - \sigma_3)f$ (kgf/cm ²)	e_{af} (%)	$(\Delta V/V_c)f$ (%)	破 壊 時			試験 後率 (%)	強 度 定 数	
						初 期 e_o	圧密後 e_c	最 小 e_{min}	破壊時 e_f				変形係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	主応力比 σ_1/σ_3		マサツ角 ϕ (°)	粘着力 C (kgf/cm ²)
U _c = 23 VERY DENSE (11枚)	2.595	Q = 5.038 W = 1.81	$e_o = 0.252$	2.0	2.063	0.258	0.227	0.210	0.218	15.12	4.49	0.746	337	0.417	8.560	4.88	42° 46' (42° 47')	1.49 (1.49)
			$\rho_d = 2.110 \text{ gf/cm}^3$	4.0	2.068	0.255	0.221	0.199	0.204	24.07	5.91	1.345	407	0.386	7.018	7.06		
			$D_r = 95.2\%$	6.0	2.086	0.244	0.171	0.134	0.135	32.04	8.31	3.046	386	0.317	6.340	8.38		
U _c = 23 MEDIUM (6枚)	2.595	Q = 5.038 W = 1.81	$e_o = 0.356$	2.0	1.918	0.353	0.308	0.282	0.290	11.94	8.86	1.395	135	0.421	6.970	4.14	40° 44' (40° 45')	1.05 (1.05)
			$\rho_d = 1.913 \text{ gf/cm}^3$	4.0	1.912	0.357	0.293	0.259	0.259	19.91	7.96	2.636	250	0.334	5.978	5.82		
			$D_r = 60.3\%$	6.0	1.909	0.359	0.290	0.243	0.243	26.97	9.41	3.681	287	0.304	5.495	6.29		
U _c = 9 VERY DENSE (10枚)	2.528	Q = 4.851 W = 1.80	$e_o = 0.375$	2.0	1.843	0.372	0.301	0.257	0.259	11.41	12.44	3.268	92	0.369	6.705	9.78	41° 9' (41° 10')	0.87 (0.87)
			$\rho_d = 1.839 \text{ gf/cm}^3$	4.0	1.835	0.378	0.306	0.240	0.240	19.45	15.00	5.109	130	0.330	5.863	13.26		
			$D_r = 89.7\%$	6.0	1.840	0.374	0.286	0.190	0.190	26.81	15.00	7.445	179	0.252	5.468	12.45		
U _c = 9 MEDIUM (7枚)	2.528	Q = 4.851 W = 1.80	$e_o = 0.457$	2.0	1.724	0.466	0.367	0.283	0.283	10.53	15.00	6.185	70	0.294	6.265	9.98	39° 40' (39° 40')	0.80 (0.80)
			$\rho_d = 1.735 \text{ gf/cm}^3$	4.0	1.741	0.452	0.324	0.221	0.221	17.43	15.00	7.775	116	0.241	5.358	10.97		
			$D_r = 63.8\%$	6.0	1.741	0.452	0.342	0.214	0.214	24.65	15.00	9.555	164	0.182	5.108	13.29		

*1) 粒径4.76mm以上は絶対比重, 4.76mm以下は真比重を用いたおもみ付き平均値

*2) 吸水率は、4.76mm以上について、おもみ付き平均値

*3) 初期間げき比は、供試体作成時、圧密後は圧密終了時、最小間げき比は、外体積変化最大時、最小、破壊時ともピークがでない場合は軸ヒズミ15%のとき

*4) 体積ヒズミより $\epsilon_r = (\epsilon_v - \epsilon_a) / 2$, $\nu = -(\epsilon_r / \epsilon_a)$ で求める

*5) 上段はモール・クーロンの包絡線より求めた、下段は土質試験法第二法にて求めた値

応力差の最大値が明確に現われず ϵ_a の増加とともに体積ひずみ (ϵ_v) が増加 (圧縮方向) の傾向を示している。Uc = 23 の粒度組成では、Dr = 60, 95 % の両者とも $\epsilon_a < 15\%$ で主応力差の最大値が現われており特に Dr = 95 % では明確な主応力差の最大値が現われているとともに ϵ_a が増加して行くと ϵ_a が小さな範囲では圧縮の傾向にあるがその後においては膨張の傾向を示している。せん断後の粒子破碎率についてみると Uc = 9 の粒度組成では Dr = 64, 90 % とともに 10~13 % と同程度の粒子破碎が生じている。また Uc = 23 の粒度組成では Dr = 60, 95 % とともに 4~8 % と同程度の粒子破碎が生じており Uc = 9 の方が Uc = 23 の 1.6~2.5 倍の粒子破碎率となっている。以上のことから粒度組成および密度と粒子破碎がせん断によって生じる応力ひずみ曲線に影響を与えているものと考えられる。

側圧と割線変形係数の関係を図-10に示す。割線変形係数は $(\sigma_1 - \sigma_3) / \epsilon_a$ によって求めた値である。

E_{50} は $(\sigma_1 - \sigma_3) f / 2$ に対応した ϵ_a によって求めたものである。 E_{50} は同程度の相対密度では均等係数の大きな粒度組成の方が大きな値となっており、材料の細粒化に伴い均等係数が小さな粒度組成となると変形係数が低下することが考えられる。

(3) 強度定数

試験結果をまとめたものを表-11に示す。

せん断抵抗角 (ϕ_d) と粘着力成分 (Cd) は図-11に示す側圧と最大主応力差の関係から最小自乗法により求めた値である。⁷⁾ 図-11より供試体の初期相対密度が同程度の場合では、均等係数の小さいものより大きい方が最大主応力差が大きく現われている。

供試体の初期平均間隙比および圧密後平均間隙比と強度定数を表-12および図-12, 図-13に示す。

表-12 平均間隙比と強度定数

均等係数 Uc	初期平均間隙比 $\bar{e}_o$	圧密後平均間隙比 $\bar{e}_c$	Cd kgf/cm ²	ϕ_d 度
9	0.375	0.298	0.87	41.2
	0.457	0.344	0.80	39.7
23	0.252	0.206	1.49	42.8
	0.356	0.297	1.05	40.7

図-12および図-13よりせん断前の供試体間隙比が大きなものより小さな方がせん断抵抗角および粘着力成分が大きくなる傾向が現われている。また図-13より試験は供試体を等方圧密してからせん断したことからせん断強さは圧密後 (せん断直前) の供試体密度の大きさに支配されるものと考えられ図-12に比較して材料の粒度組成の相違による影響よりも間隙比の大きさとせん断抵抗角の相関が強く現われている。

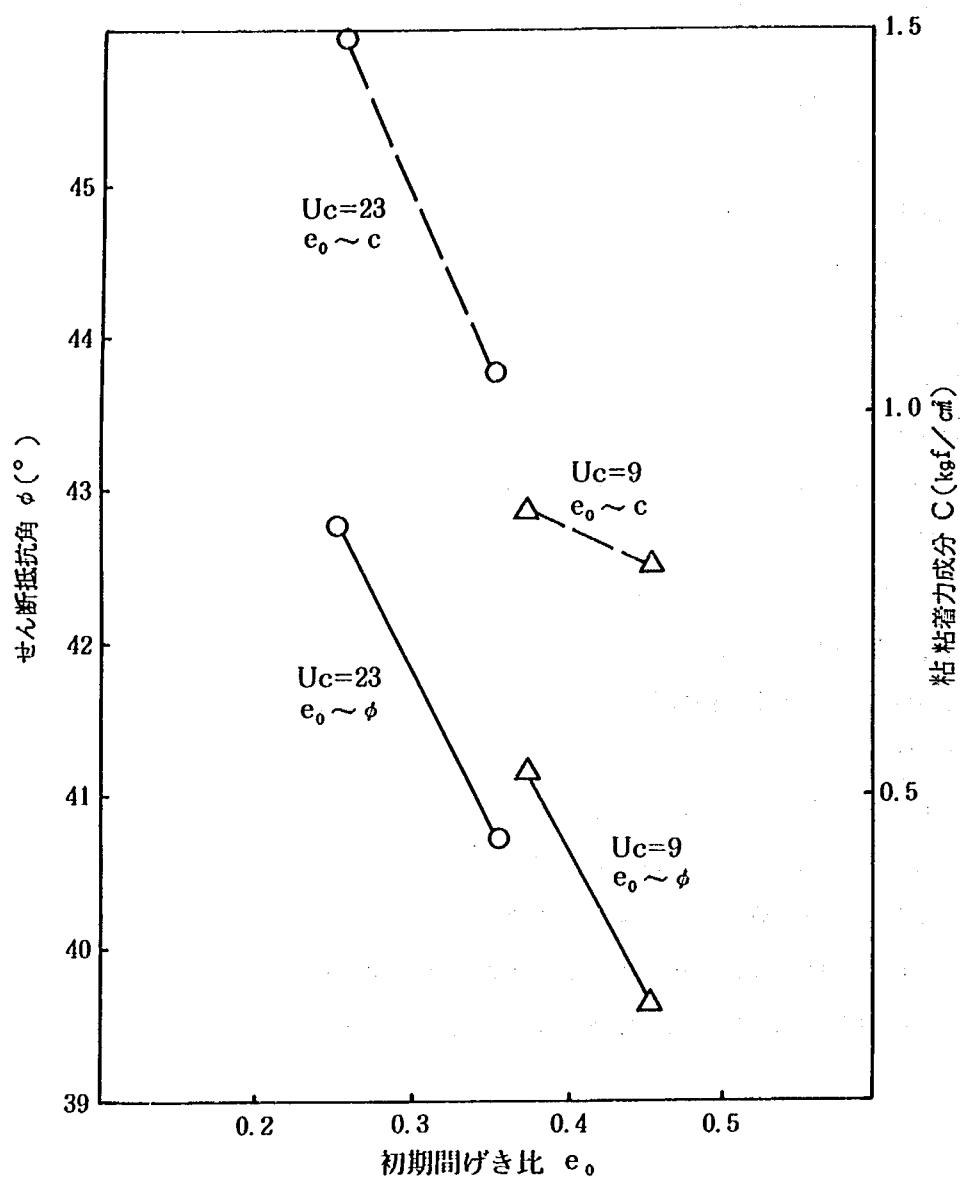


図-12 初期間げき比とせん断抵抗角，粘着力成分の関係

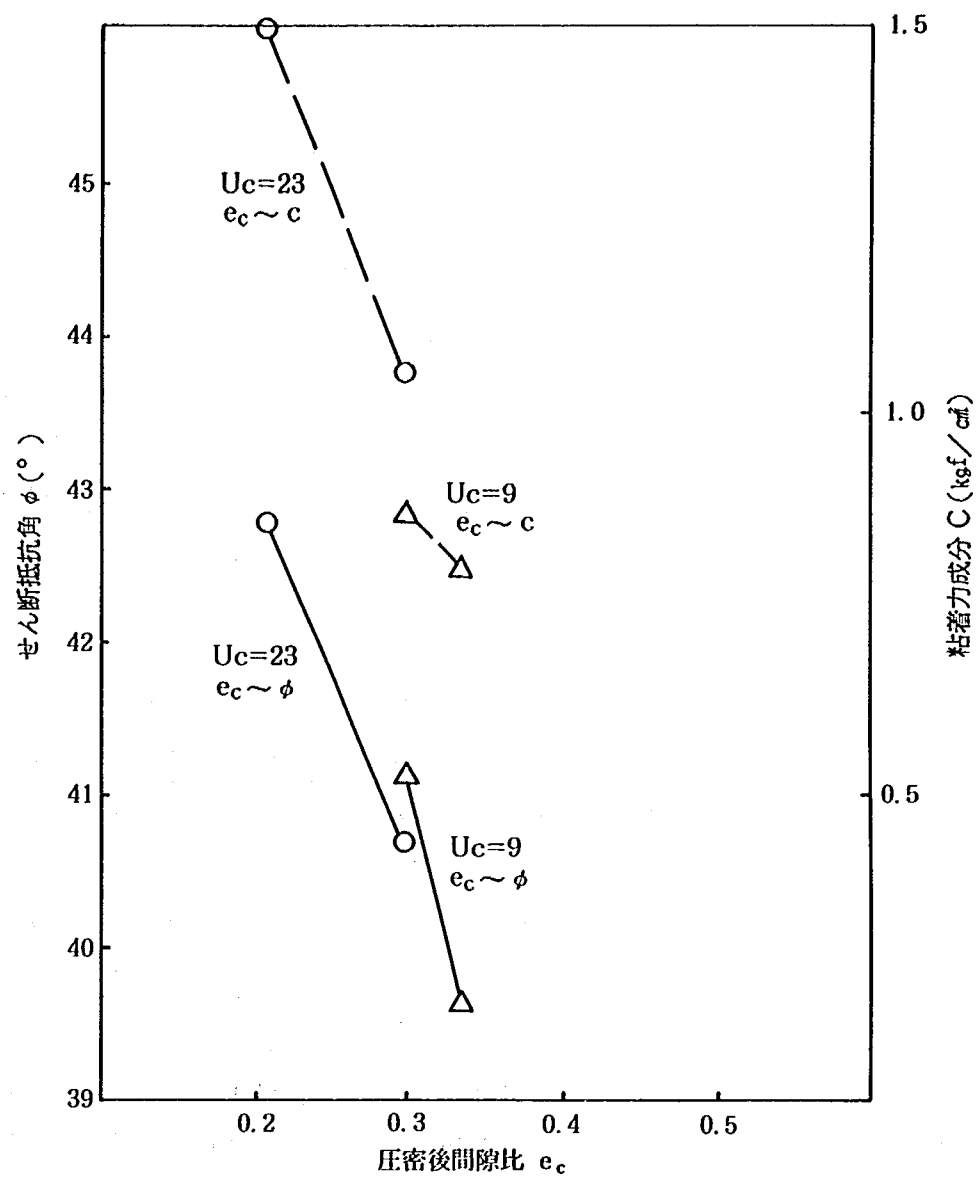


図-13 圧密後間隙比とせん断抵抗角, 粘着力成分の関係

4.2 昭和57年度の試験

4.2.1 粒度分布

試験粒度分布は表-13に示す最大粒径および均等関係の相似粒度分布について試験した。均等係

表-13の1 試験 粒 度

項 目		粒 度 A		粒 度 B		粒 度 C		粒 度 D	
		加積通過率 (%)	残留率 (%)	加積通過率 (%)	残留率 (%)	加積通過率 (%)	残留率 (%)	加積通過率 (%)	残留率 (%)
フル イ 目 (mm)	250	—	—	—	—	—	—	100	0
	200	—	—	—	—	—	—	83	17
	101.6	—	—	—	—	100	0	45	38
	63.5	—	—	100	0	65	35	30	15
	50.8	—	—	82	18	56	9	25	5
	38.1	100	0	63	19	44	12	18	7
	25.4	70	30	46	17	30	14	10	8
	19.1	56	14	36	10	23	7	5	5
	9.52	31	25	18	18	10	13	0	5
	4.76	15	16	5	13	0	10	—	—
	2.00	0	15	0	5	—	—	—	—
最大粒径 (mm)		38.1		63.5		101.6		250	
D ₁₀ 粒径 (mm)		3.57		6.21		9.52		25.4	
D ₆₀ 粒径 (mm)		20.7		35.5		57.5		150	
均等係数 U _c		6		6		6		6	

数が6という粒径範囲が比較的狭い粒度組成を選定した理由は、最大粒径を変化させた場合それに伴う試験粒径範囲の相違を明瞭に与えてその影響の有無を求めようとしたためである。表-13に対応した粒径加積曲線を図-14に示す。

表-13の2 供試体寸法と試験粒度 (U_c = 6)

供試体寸法	粒度曲線	最大粒径	D/d _{max}
D 30	A	38.1 mm	7.9
D 30	B	63.5 mm	4.7
D 30	C	101.6 mm	2.9
D 120	D	250 mm	4.8

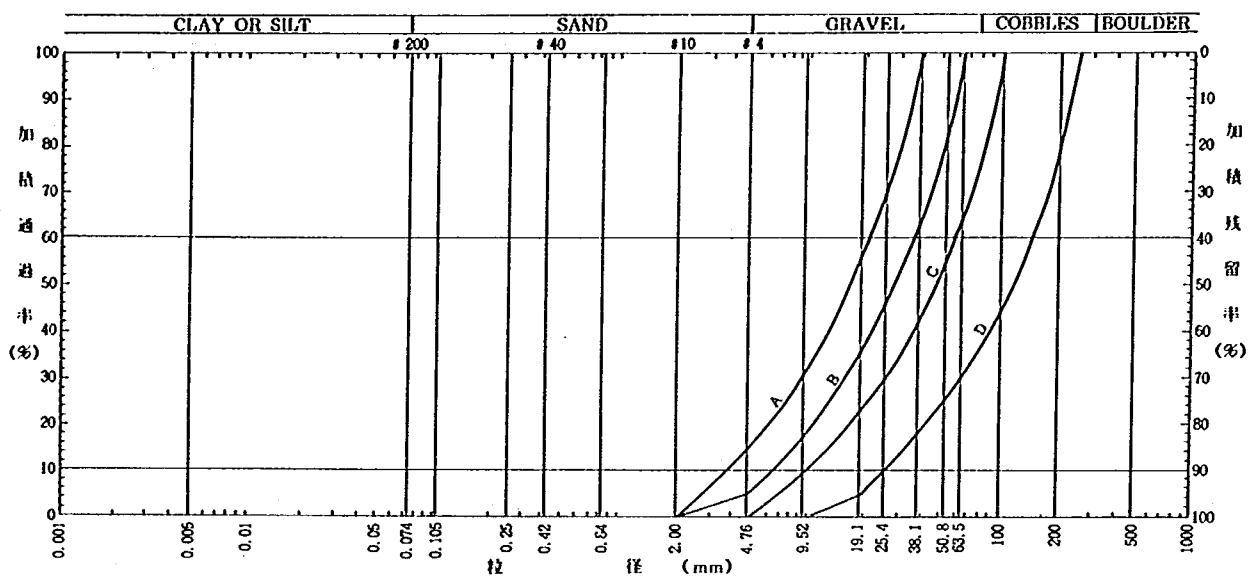


図-14 試験粒径加積曲線

4.2.2 物理試験

D 30 および D 120 の試験に使用した材料の比重および吸水率の測定結果を表-14 および表-15 に示す。D 30 での試験材料の比重および吸水率の値は全粒径の算術平均値で絶対比重 (Gb) が 2.49,

表-14 比重および吸水量試験結果一覧表 (D 30)

粒 径 (mm)	比 重			吸 水 量 Q (%)
	真比重 Gg	絶対比重 Gb	表乾比重 Ga	
101.6 ~ 63.5	2.722	2.487	2.573	3.48
63.5 ~ 50.8	2.720	2.477	2.567	3.61
50.8 ~ 38.1	2.730	2.506	2.588	3.27
38.1 ~ 25.4	2.760	2.503	2.596	3.72
25.4 ~ 19.1	2.738	2.490	2.581	3.63
19.1 ~ 9.52	2.778	2.483	2.590	4.27
9.52 ~ 4.76	2.798	2.488	2.599	4.44
4.76 ~ 2.00	2.864	—	—	—
2.00 ~ 0.84	2.851	—	—	—
0.84 ~ 0.42	2.846	—	—	—
0.42 ~ 0.074	2.849	—	—	—

表-15 比重および吸水量試験結果一覧表 (D120)

粒 径 (mm)	比 重			吸 水 量 Q (%)
	真比重 Gg	絶乾比重 Gb	表乾比重 Ga	
250 ~ 200	2.690	2.556	2.606	1.94
200 ~ 101.6	2.688	2.536	2.593	2.22
101.6 ~ 63.5	2.695	2.498	2.557	2.93
63.5 ~ 50.8	2.732	2.535	2.607	2.85
50.8 ~ 38.1	2.710	2.520	2.590	2.77
38.1 ~ 25.4	2.708	2.511	2.583	2.91
25.4 ~ 19.1	2.738	2.518	2.598	3.36
19.1 ~ 9.52	2.721	2.505	2.595	3.72
9.52 ~ 4.76	2.801	2.516	2.609	4.04

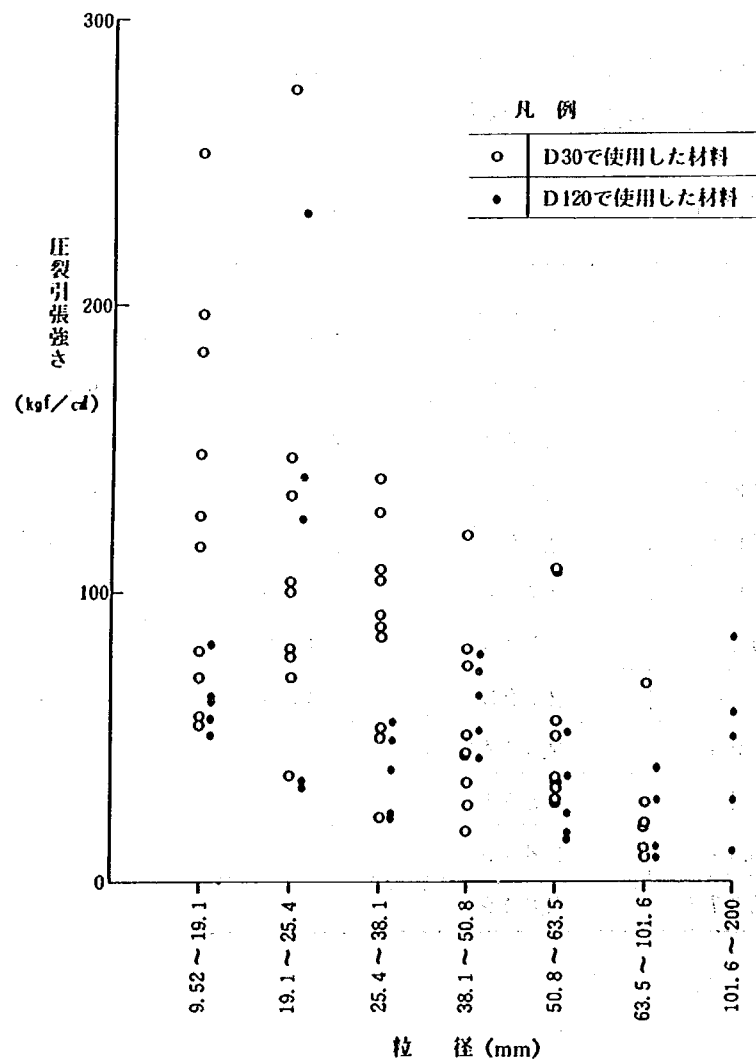


図-15 粒径別の圧裂引張強さ

吸水率 (Q) が 3.8 % である。同様に D 120 試験材料では絶乾比重が 2.52, 吸水率が 3.0 % である。D 30 および D 120 で使用した材料は絶乾比重および吸水率とも大差がなく同質の岩質であると判断することができる。

D 30 および D 120 で使用した粒子強度を把握するために点載荷圧裂試験を行った。D 30 材料では粒径が 9.52 ~ 101.6 mm の 6 粒径の各々について 10 個ずつ, D 120 材料では粒径が 9.52 ~ 200 mm の 7 粒径の各々について 5 個ずつサンプリングした粒子について試験した。D 30 材料の圧裂強度は 8 ~ 275 kgf/cm², D 120 材料では 8 ~ 140 kgf/cm² の値を示しており強度にバラッキがあるが平均的には D 30 材料で 80 kgf/cm², D 120 材料で 50 kgf/cm² 程度であった。図-15 に粒径別の圧裂引張強さを示す。図より粒子の大きなものより小さな方が圧裂引張強さが大きくなる傾向が認められる。

4.2.3 締固め試験

昭和57年度は3.2.3に示す締固め方法のうちD30は電動ランマーを用い表-3に示す仕様で締固めた。

D 30 の締固め試験結果を図-16~18に示す。締固め時間と乾燥密度の関係は締固め時間が4秒程度まではA, B およびC 粒度とも密度の増加率が大きく現われておりその後締固め時間の増加とともに一定の密度に締固まる傾向が認められる。

またD30の締固め方法および締固め時間範囲では最大粒径が締固まり程度に与える影響が顕著に現われていない。

D 120 は表-4に示す仕様の振動締固め機により締固めたものである。D 120 の締固め試験結果を図-19に示す。締固め時間と乾燥密度の関係曲線の形状はD30の場合と類似しているが密度増加率の変曲点が締固め時間2分程度で現われている。

モールド内に試料を静かに投入して締固めを行わないで得られた間隙比を最大間隙比 (e_{max}) と定義すると e_{max} は表-16に示すとおりである。

表-16 e_{max} の 値

モールド寸法	d _{max} (mm)	e _{max}
D 30	38.1	0.70
D 30	63.5	0.63
D 30	101.6	0.64
D 120	250	0.72

4.2.4 三軸圧縮試験

(1) 供試体密度

ロック材料のせん断抵抗角の大きさは供試体密度に影響されることから密度を統一することとした。

密度設定を行う場合の考え方には、Terzaghi の定義による相対密度による方法および単に密度を合せる方法の二通りがある。本試験では粗粒材料の相対密度試験方法が基準化されていないことと同一密度であればせん断抵抗角が等しいという仮定の有効性を確かめるために密度を統一して実施することとした。供試体初期密度を統一した場合には側圧の大小によって圧密量が異なりせん断直前における供試体密度に差を生じることになる。この差は供試体の作成方法・大きさなどにより大きく異なることがあるのでこれを避けるため圧密後の供試体密度を統一する方法を採用して行った。その際の統一した密度とは以下の定義による間隙比で 0.40 とした。

$$\text{圧密後間隙比 (} e_c \text{)} = \frac{\gamma_w \cdot G_b}{\gamma_d} - 1.0 = 0.40$$

γ_w : 水の単位体積重量

G_b : 材料の平均絶対乾比重

γ_d : 供試体の圧密後乾燥密度

供試体圧密後間隙比を統一するためには、供試体の初期間隙比および圧密応力 (σ_3) と圧密量の関係を求めておく必要があるため圧密曲線を試験により求め、その結果から $e_c = 0.40$ となる側圧別の初期間隙比状態の供試体を作成して試験を行った。圧密は、供試体作成後に供試体の自立を助けるために D 30 では 0.1 kgf/cm^2 、D 120 では 0.5 kgf/cm^2 程度の負圧を与えた状態で開始した。

供試体の作成は「3.2.3 締固め試験」と同じ方法手順で D 30、D 120 とともに 6 層締固めとした。

(2) 応力とひずみの関係

D 30 試験より得られた応力とひずみの関係を図-20 から図-22 に D 120 の結果を図-23 に示す。

D 30 および D 120 とともに軸方向ひずみ (ϵ_a) が 15 % 以内で主応力差と体積ひずみ (ϵ_v) の明確な最大値が現われずに ϵ_a が増加すると ($\sigma_1 - \sigma_3$) と ϵ_v が増加しつづける場合と増加してから一定となる傾向が現われている。

図-24 に最大主応力差の 2 分の 1 における割線変形係数 (E_{50}) と側圧 (σ_3) の関係を示す。通常のロック材料では一般に側圧が大きくなると E_{50} が大きくなる傾向を示すが本試験材料では、D 30、D 120 とともに側圧が大きくなると E_{50} が小さくなる傾向が現われている。D 30 の $d_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ 条件では E_{50} は他の試験値に比較して各側圧で 200 ~ 300 kgf/cm^2 程度大きな値を示している。

図-25 に最大主応力差の 2 分の 1 に対応した体積ひずみ (ϵ_{v50}) と側圧の関係を示す。D 30、D 120 も側圧が大きくなると ϵ_{v50} が大きくなる傾向が現われている。D 30 の $d_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ 条件を除いて他の試験結果では σ_3 と ϵ_{v50} の関係はほとんど同じである。

以上のことから E_{50} の大きさはせん断途中において生じる体積ひずみ量の大きさに影響されているものと考えられる。

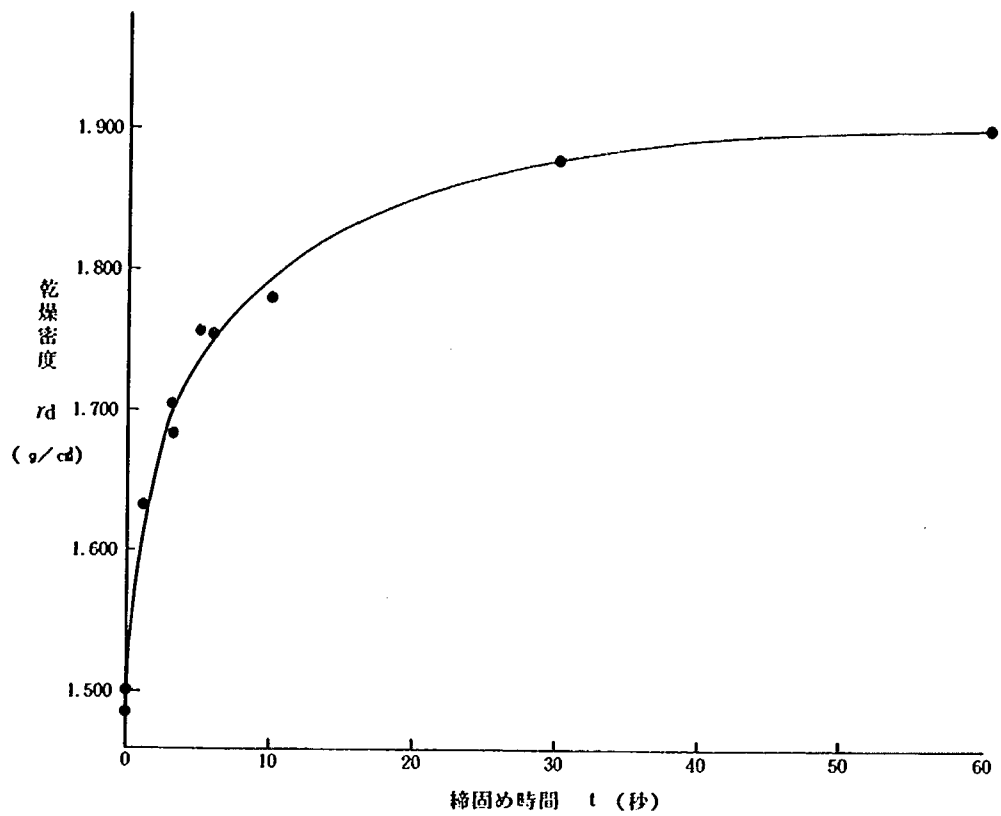


図-16 締固め試験結果 (粒度A)

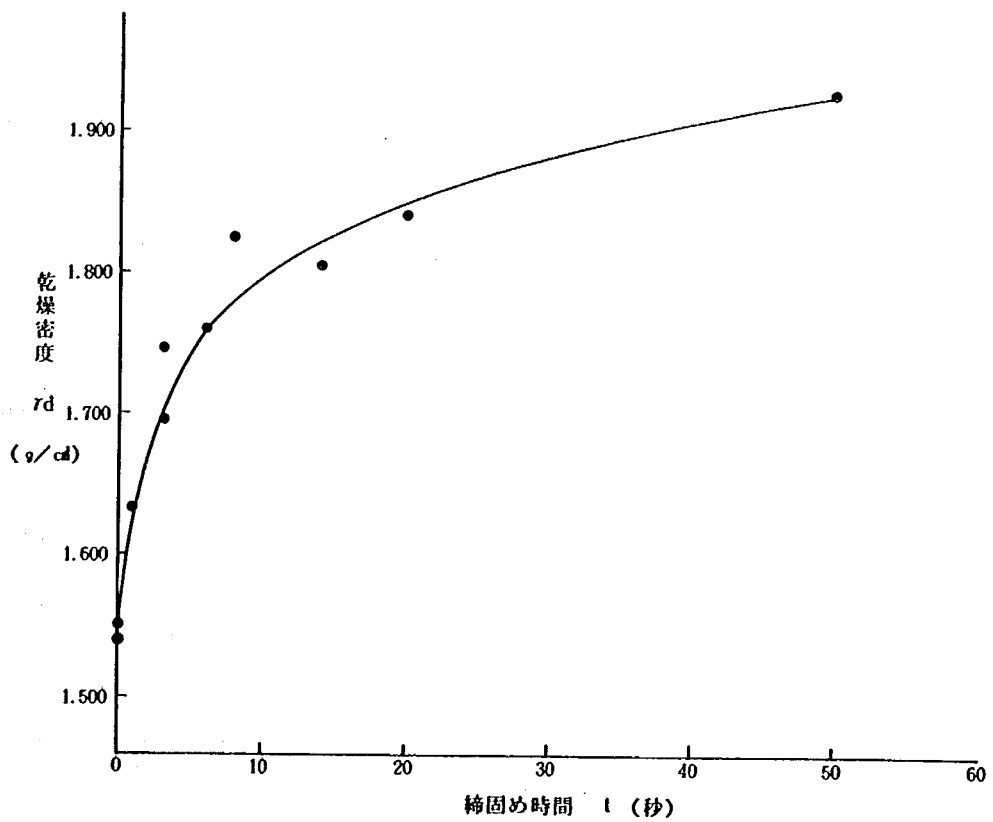


図-17 締固め試験結果 (粒度B)

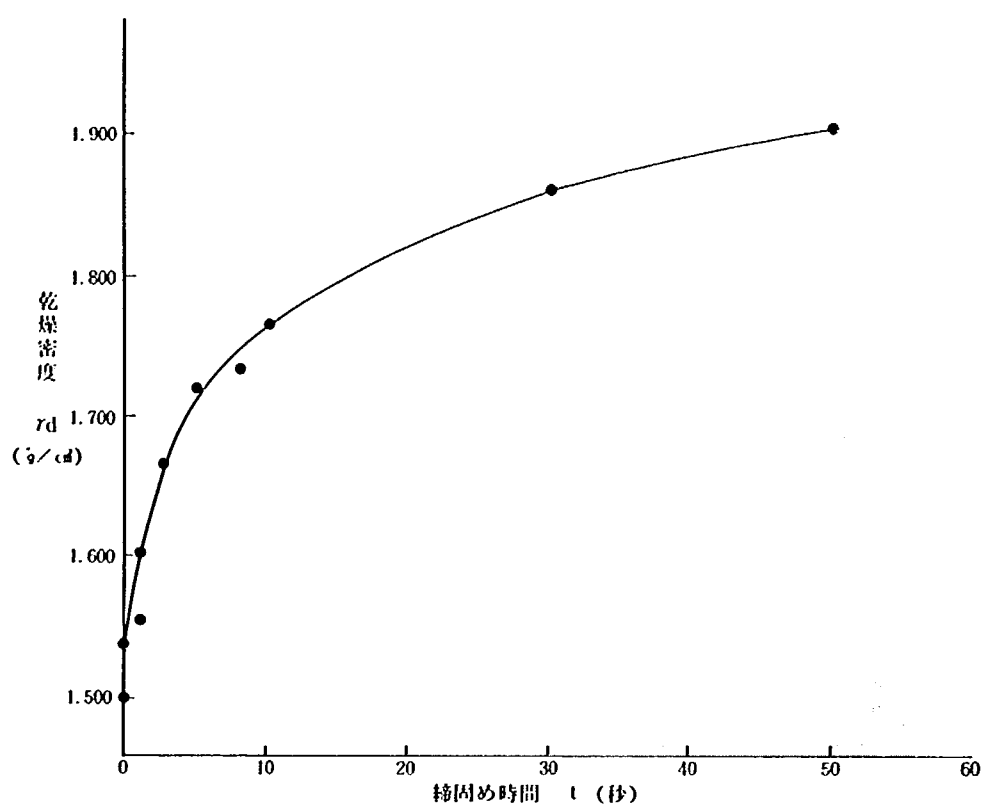


図-18 締固め試験結果 (粒度C)

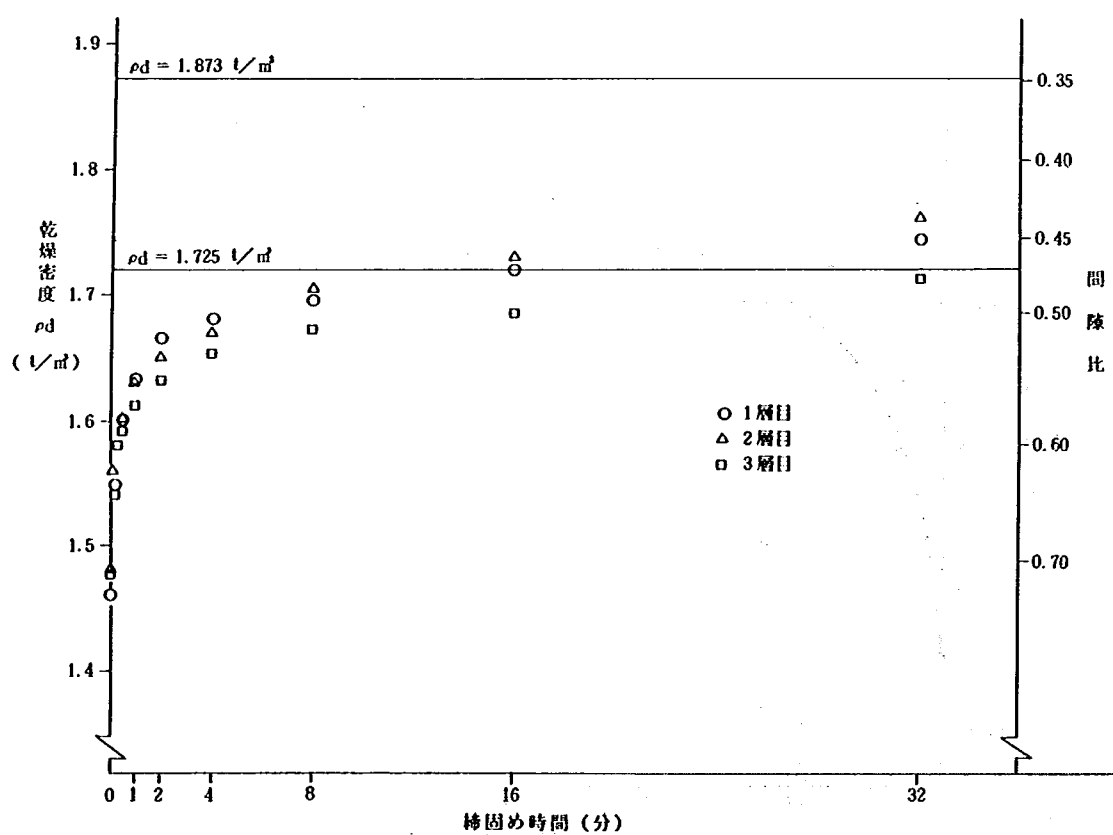


図-19 締固め試験結果 (粒度D)

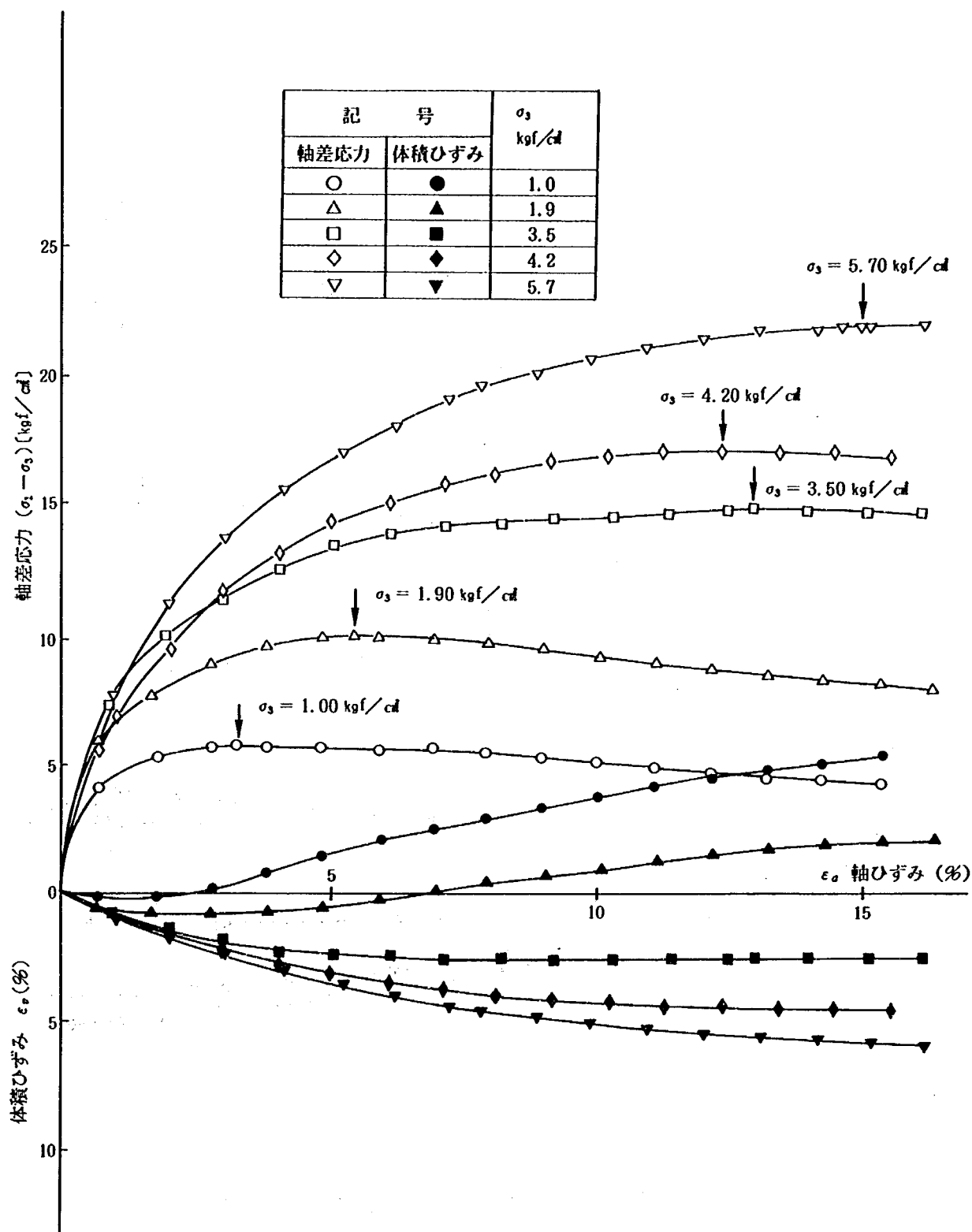


図-20 D30の応力～ヒズミ曲線 (粒度A) 38.1 mm

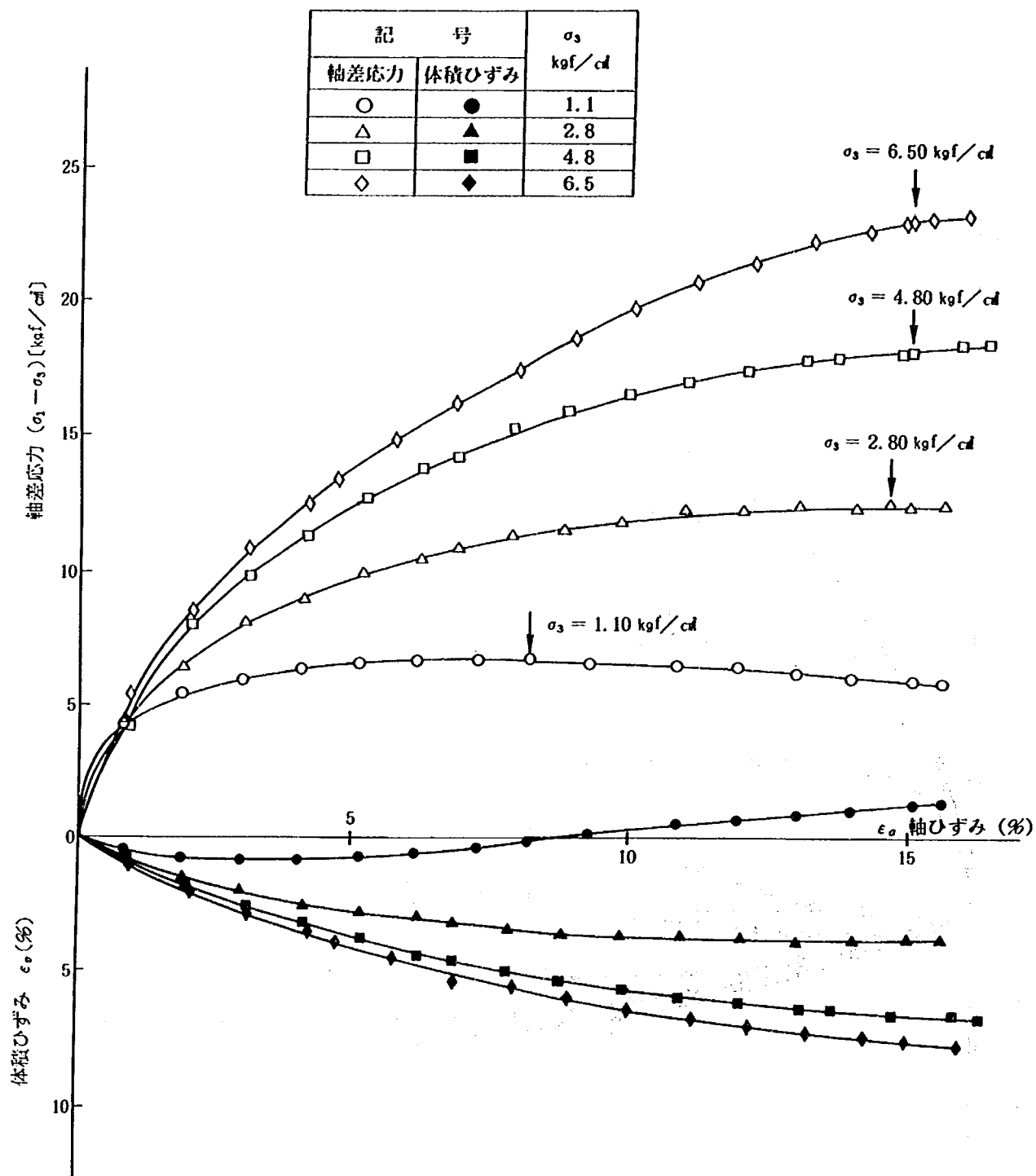


図-21 D30の応力～ひずみ曲線(粒度B) 6 3.5mm

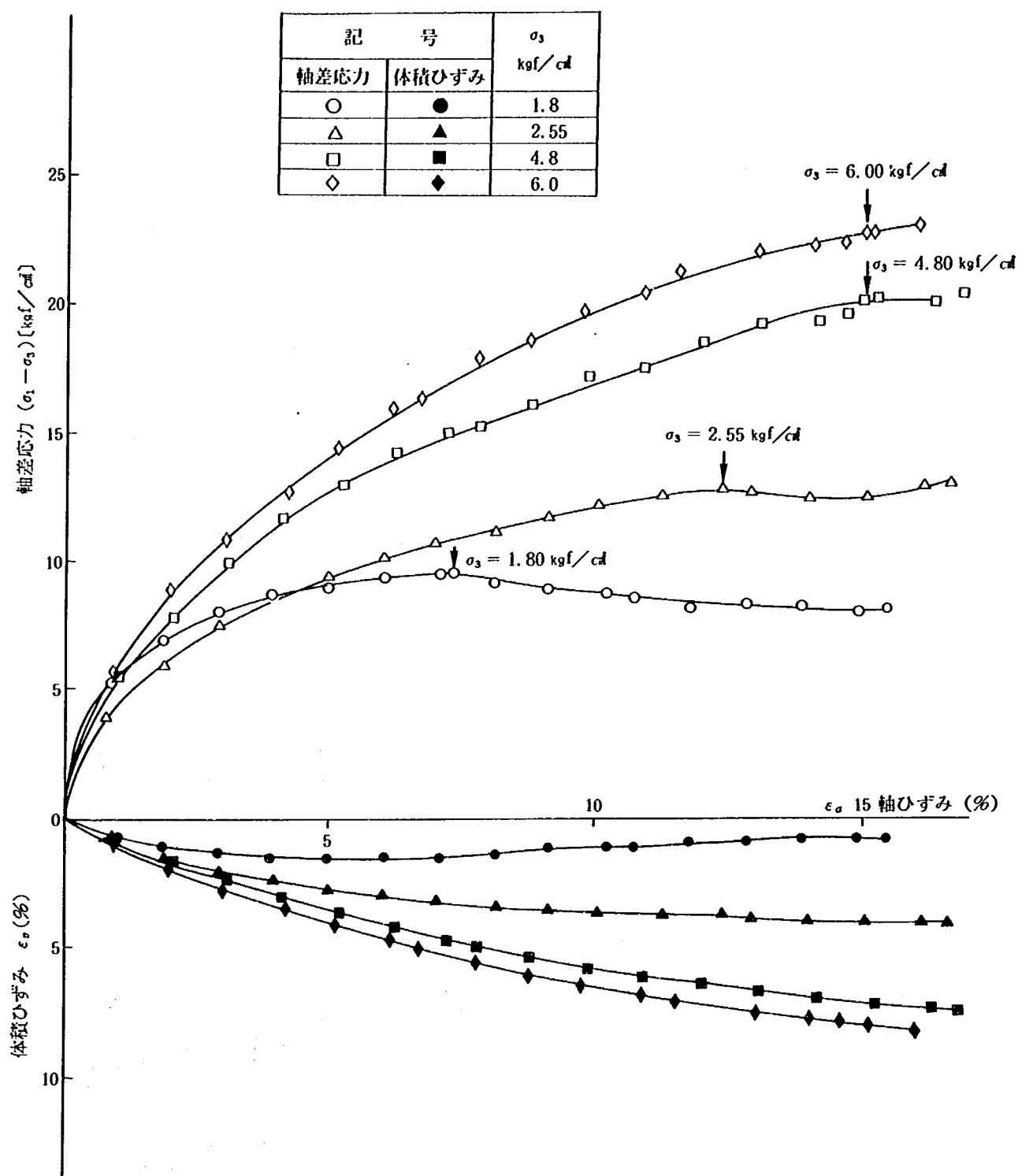


図-22 D30の応力～ヒズミ曲線 (粒度C) 10 1.6mm

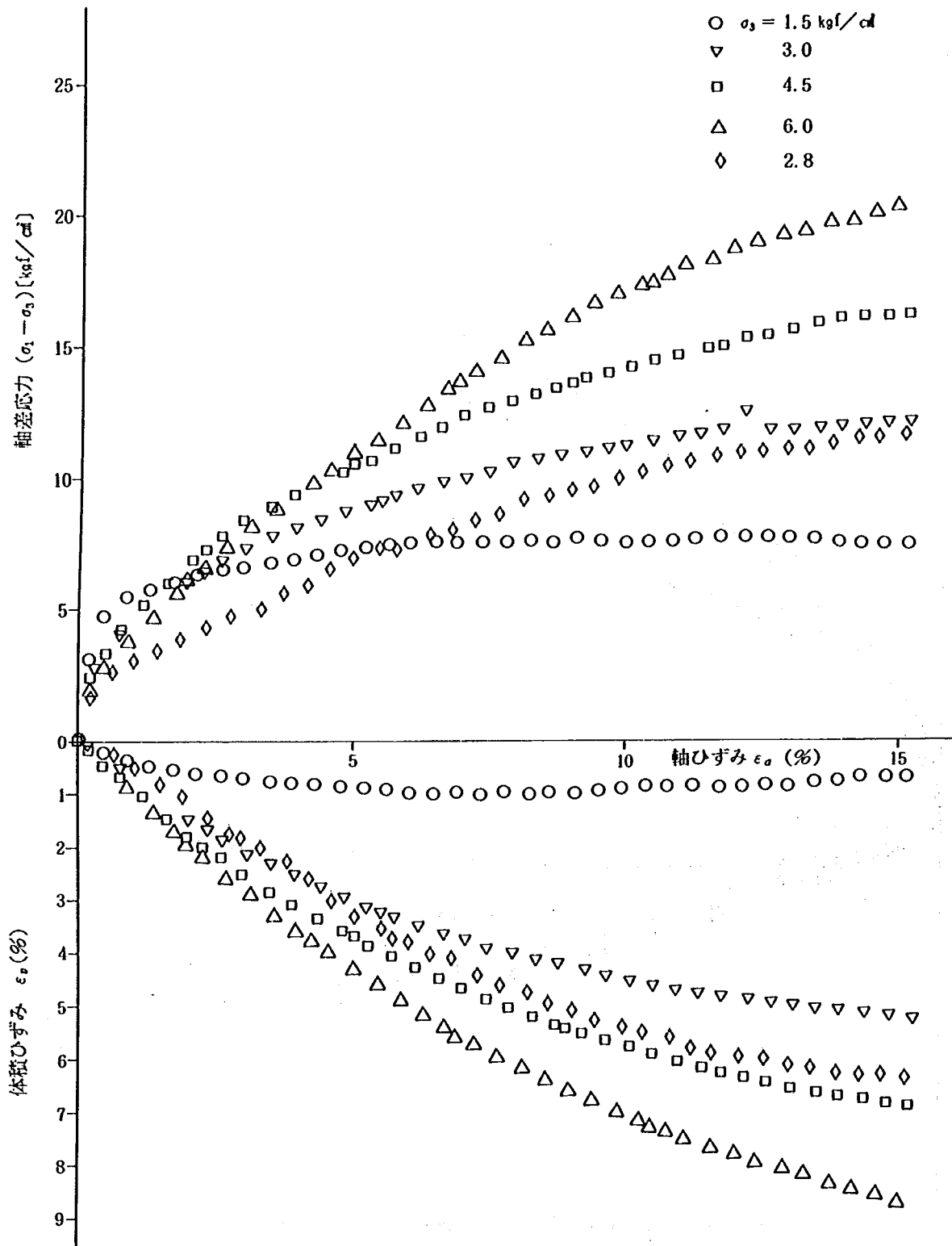


図-23 D 120 の応力ひずみ曲線 (粒度D) 250 μ m

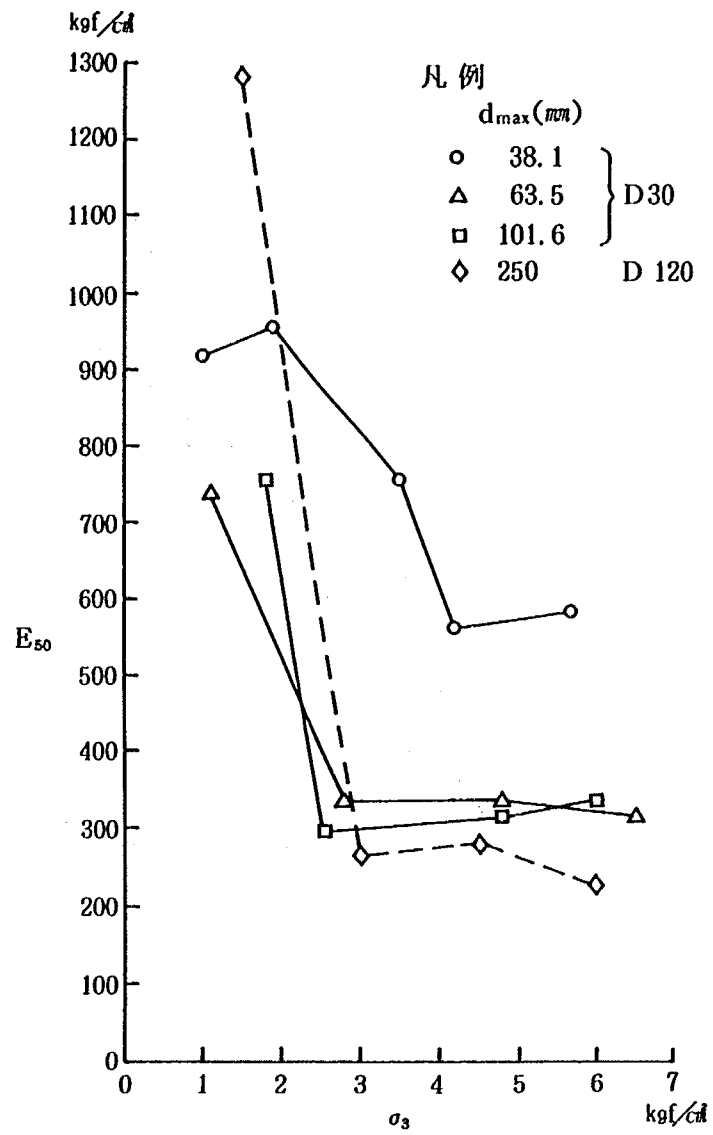


図-24 σ_3 と E_{50} の関係

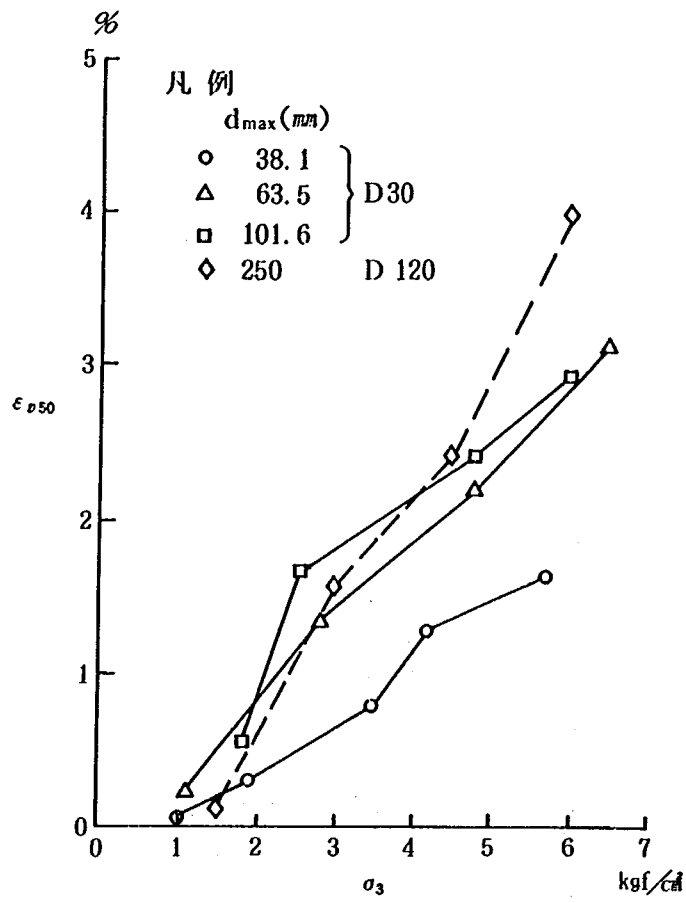


図-25 σ_3 と ε_{v50} の関係

表 17 大型三軸圧縮試験結果一覧表

ケース名	岩 粒 子 形 状	均 比 等 係 数 重	吸 水 率 比 (%)	試 験 密 度	側 圧 σ_3 (kg/cm ²)	初 期 密 乾 度 γ_d (g/cm ³)	間 隙 比 の 変 化				$(\sigma_1 - \sigma_3)f$ kg/cm ²	$\epsilon_a f$ %	$(\Delta V/V_c)f$ %	破 壊 時			三 後 軸 破 砕 率 (%)	強 度 定 数	
							初 期 e_0	圧 密 後 e_c	最 小 e_{min}	破 壊 時 e_f				変 形 係 数 kg cm ²	ポ ア ソ ン 比	主 力 応 力 比 σ_1/σ_3		ϕ (度)	C(kg/cm ²)
粒 度 A ($d_{max}=38.1$) その-1		Uc - 6 G-2548	Q- W-0.96	1.823 (圧密後)	1.00	1.760	0.447	0.395	0.393	0.402	5.74	3.28	-0.52	175	0.58	6.74	5.39	38.88	0.704
					1.90	1.752	0.454	0.399	0.389	0.395	9.98	5.46	0.35	183	0.47	6.24	7.07		
					3.50	1.739	0.465	0.399	0.363	0.363	14.86	12.93	2.58	115	0.40	5.25	10.47		
					4.20	1.726	0.476	0.400	0.338	0.339	17.14	12.37	4.32	139	0.33	5.08			
					5.70	1.709	0.491	0.396	0.315	0.315	21.95	15.00	5.77	146	0.31	4.85			
粒 度 A ($d_{max}=38.1$) その-2		Uc - 6 G-2548	Q- W-0.96	1.823 (圧密後)	1.90	1.752	0.454	0.399	0.389	0.394	9.98	5.46	0.35	183	0.47	6.24	9.07	37.73	0.962
					3.50	1.739	0.465	0.399	0.363	0.363	14.86	12.93	2.58	115	0.40	5.25	10.47		
					4.20	1.726	0.476	0.400	0.338	0.339	17.14	12.37	4.32	139	0.33	5.08			
					5.70	1.709	0.491	0.396	0.315	0.315	21.95	15.00	5.77	146	0.31	4.85			
粒 度 B ($d_{max}=63.5$)		Uc - 6 G-2510	Q- W-0.93	1.792 (圧密後)	1.10	1.730	0.451	0.398	0.387	0.397	6.74	8.20	0.03	82	0.50	7.13	8.79	37.02	0.920
					2.80	1.700	0.476	0.402	0.350	0.350	12.53	14.62	3.69	86	0.37	5.48	10.36		
					4.80	1.664	0.509	0.402	0.311	0.311	18.32	15.00	6.50	122	0.28	4.32	12.39		
					6.50	1.637	0.533	0.401	0.295	0.295	23.18	15.00	7.53	155	0.25	4.57	12.95		
粒 度 C ($d_{max}=101.6$)		Uc - 6 G-2490	Q-3.71 W-0.93	1.781 (圧密後)	1.80	1.689	0.474	0.401	0.380	0.381	9.47	7.35	1.44	129	0.40	6.26	8.61	37.63	1.059
					2.55	1.674	0.488	0.397	0.342	0.345	12.70	12.38	3.77	103	0.35	5.98	7.45		
					4.80	1.639	0.520	0.399	0.301	0.301	19.91	15.00	7.05	133	0.27	5.15	12.44		
					6.00	1.614	0.543	0.397	0.286	0.286	22.65	15.00	7.93	151	0.21	4.78	11.14		
粒 度 D ($d_{max}=250$)		Uc - 6 G-2528		1.803 (圧密後)	1.50	1.785	0.416	0.402	0.388	0.389	7.68	9.11	0.96	84	0.45	6.12	10.41	35.78	0.909
					3.00	1.768	0.430	0.402	0.328	0.328	12.04	15.00	5.27	81	0.32	5.04	12.76		
					4.50	1.754	0.441	0.403	0.306	0.306	16.10	15.00	6.94	107	0.27	4.58	14.56		
					6.00	1.738	0.455	0.403	0.280	0.280	20.38	15.00	8.72	136	0.21	4.40	15.51		
					2.80	1.704	0.484	0.451	0.357	0.357	11.28	15.00	6.43	75	0.29	5.03	9.11		

(3) 強度定数

試験結果をまとめたものを表-17に示す。

せん断抵抗角 (ϕ_d) と粘着力成分 (C_d) は図-26に示す側圧と最大主応力差の関係から最小自乗法により求めた値である。D30の最大粒径が38.1mm ($\sigma_3 = 1 \text{ kgf/cm}^2$)の結果は直線からはず

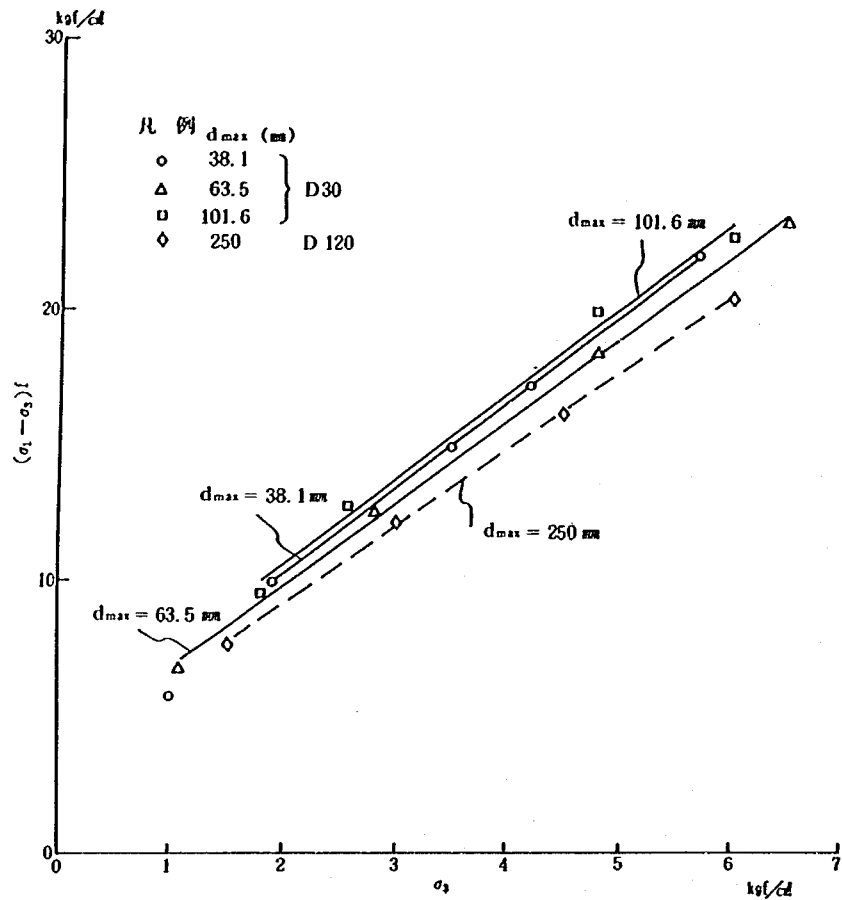


図-26 側圧と最大主応力差の関係

れているため除く)と63.5mmおよびD120の最大粒径が250mmの応力円の破壊包絡線は直線であると判断できるがD30の最大の粒径が101.6mmの包絡線は上に凸の曲線形状を示している。試験側圧範囲での最大主応力差の大きさを比較するとD30の結果はD120に比較して1~2kgf/cm²程度大きな値が現われている。

図-27に最大粒径とせん断抵抗角および粘着力成分の関係を示す。粘着力成分については最大粒径によらず1kgf/cm²程度の一定した値が現われている。せん断抵抗角についてはD30の供試体寸法を一定とした条件では最大粒径の影響が少なく37.0~37.7度の一定した値が現われているがD120の結果と比較するとD30の方が1.2~1.9度大きな値となっている。差を生じた主な要因は、図-15にみられるようにD30で用いた試料に比較してD120の試料の圧裂強さが若干小さいことによるものと考えられる。

供試体径と最大粒径の比が同程度であるD30とD120の強度定数を比較すると表-18のとおりでありD/d_{max}≒5とした場合には最大粒径および供試体寸法の相違による影響が少なく一定したせん断強度定数を求めることができるものと考えられる。

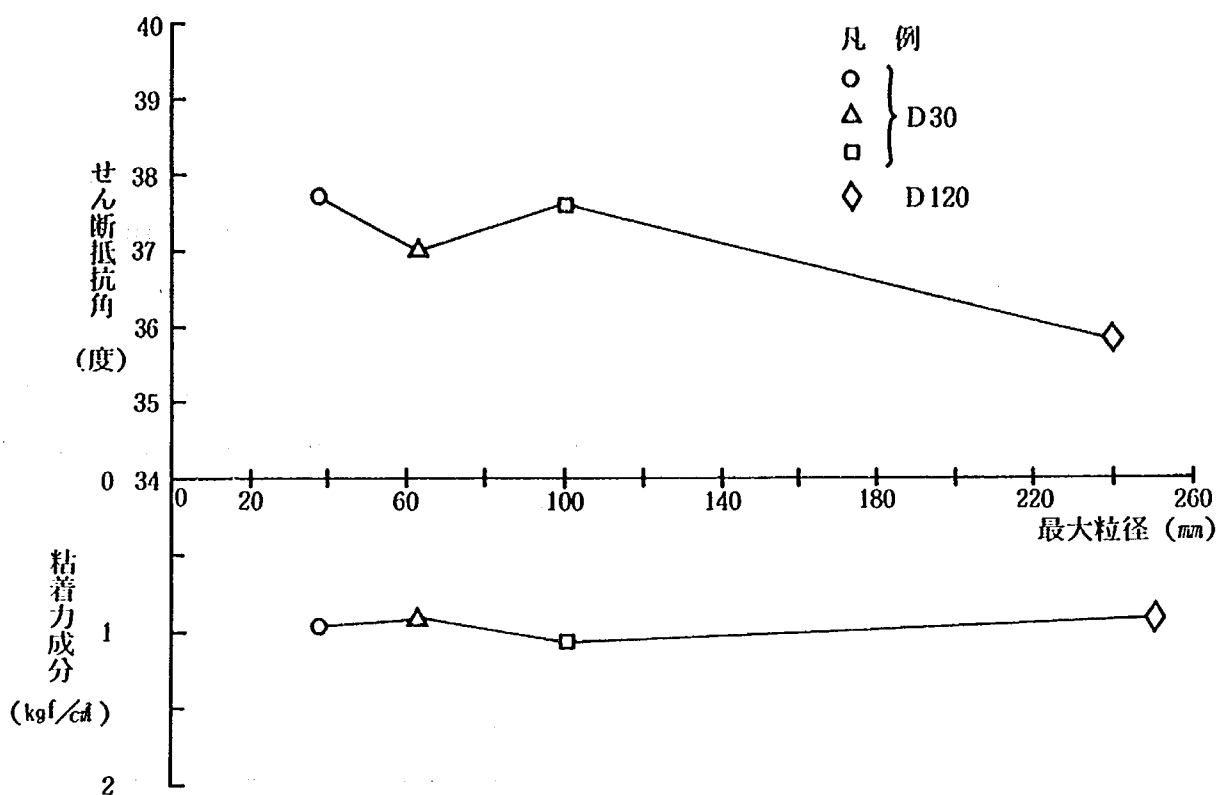


図-27 最大粒径とせん断抵抗角および粘着力成分の関係

表-18 $D/d_{max} \div 5$ での強度定数比較

供試体の大きさ	最大粒径 mm	D/d_{max}	C_d kgf/cm ²	ϕ_d 度
D30	63.5	4.7	0.92	37.0
D120	250	4.8	0.91	35.8

せん断後の粒子破碎調査結果では、試験側圧の小さなものより大きい方が破碎率が大きく現われており D30、D120とも5～12%程度の粒子破碎率であり主に平均粒径(d_{50})よりも大きな粒子が破碎している。

5. 考 察

昭和56・57年度に試験したペグマタイトについてとりまとめ考察を加える。

- (1) 試験材料の比重は、真比重(G_g)で2.69～2.90、絶乾比重(G_b)で2.43～2.56の範囲にある。また、吸水率(Q)は3.3～6.3%の範囲にある。点載荷圧裂強さは平均的には50～80 kgf/cm²程度である。通常のロック材料と比較して絶乾比重が小さく吸水率が大きく粒子強度がや

や小さいため堤体材料として使用する場合にはゾーニング等の設計上の配慮が必要であると考えられる。

- (2) 材料の締固まり特性および最小間隙比の値は通常のロック材料 ($U_c = 9$ および $U_c = 23$) でみられる値と大きな相違が認められない。しかし、粒子強度が通常のロック材料に比較してやや小さいことから転圧施工時に粒子が破砕されることによって粒度組成が細粒化の傾向となりロックゾーンとしての排水性が低下することが考えられるので転圧試験によって粒度組成の変化と排水性を求めておくことが望ましい。
- (3) 粒度組成および密度の変化がせん断抵抗角に与える影響については、通常のロック材料にみられる傾向と一致しているが変形係数 (E_{s0}) が小さな材料である。変形係数が小さく現われた主な要因は粒子強度が小さなことによるものと考えられる。
- (4) 試験値と設計値についての考察は以下のとおりである。工事事務所で設定している表-19の設計値と今回の試験値の対応で検討を加えることにする。

表-19 工事事務所の設定設計値

ゾ ー ン	間隙比 (eb)	乾 燥 密 度	せん断抵抗角	備 考
ロ ッ ク (1)	0.35 (0.33)	1.96 tf/m ³ (")	40度 (")	玄武岩 (閃緑岩)
ロ ッ ク (2)	0.25	2.07 tf/m ³	38度	粗粒玄武岩

- a. ベグマタイトをロック(1)またはロック(2)に使用した場合に工事事務所で設定している設計値を満足するかどうかについて検討する。
- b. ベグマタイトの設計乾燥密度を締固め試験より得られた最大間隙比と最小間隙比を用いて相対密度が85%の密度とする。
- c. 最大間隙比と最小間隙比は、一般に材料の均等係数が大きなものより小さな方が締固まり密度が小さいことから施工可能密度を考慮して $U_c = 9$ で得られた値とする。
- d. $e_{max} = 0.659$, $e_{min} = 0.342$ より相対密度85%の設計間隙比を求めると $e = 0.39$ となる。乾燥密度は平均絶対乾比重 $G_b = 2.53$ と $e = 0.39$ の関係より 1.82 tf/m^3 となる。
- e. 図-28に示す圧密後間隙比とせん断抵抗角の関係より $e = 0.39$ に対応するせん断抵抗角の大きさを $U_c = 9$ の結果より外挿して求めると 38.2 度となる。
- f. a～e の検討結果より試験したベグマタイトはロック(1)の設計せん断抵抗角 40 度を満足することはできないが、ロック(2)の設計せん断抵抗角 38 度を満足することができる。表-20にベグマタイトの設計参考値を示す。

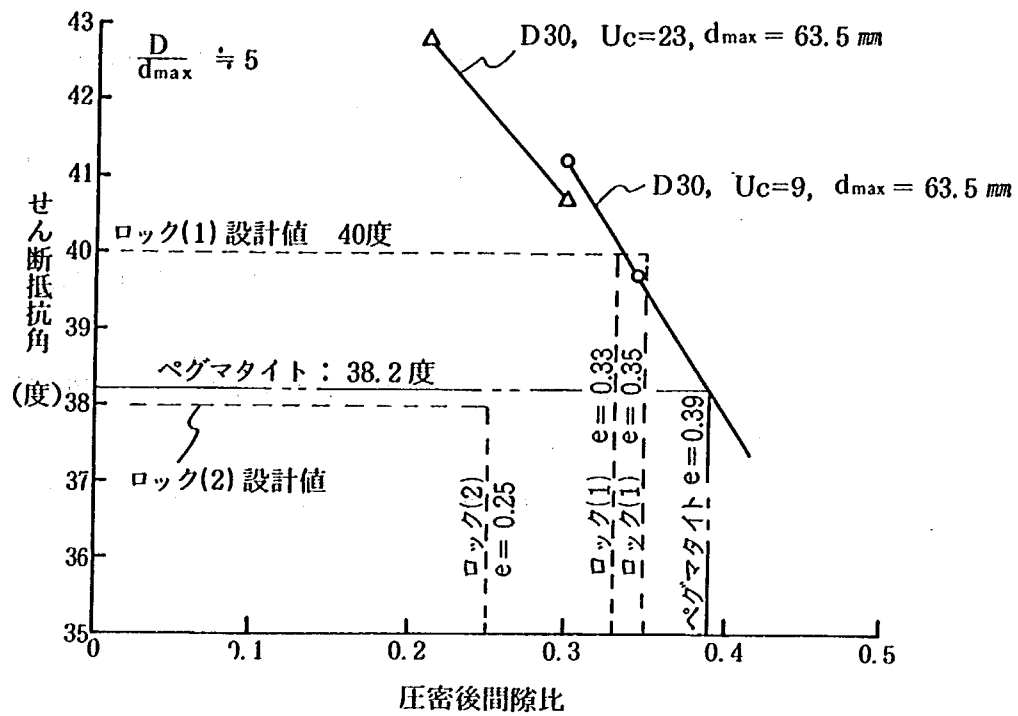


図-28 圧密後間隙比とせん断抵抗角の関係

表-20 ペグマタイトの設計参考値

ゾーン	間隙比 (e _b)	乾燥密度	せん断抵抗角	粘着力成分
ロック (2)	0.39	1.82 t/m ³	38 度	0 kgf/cm ²

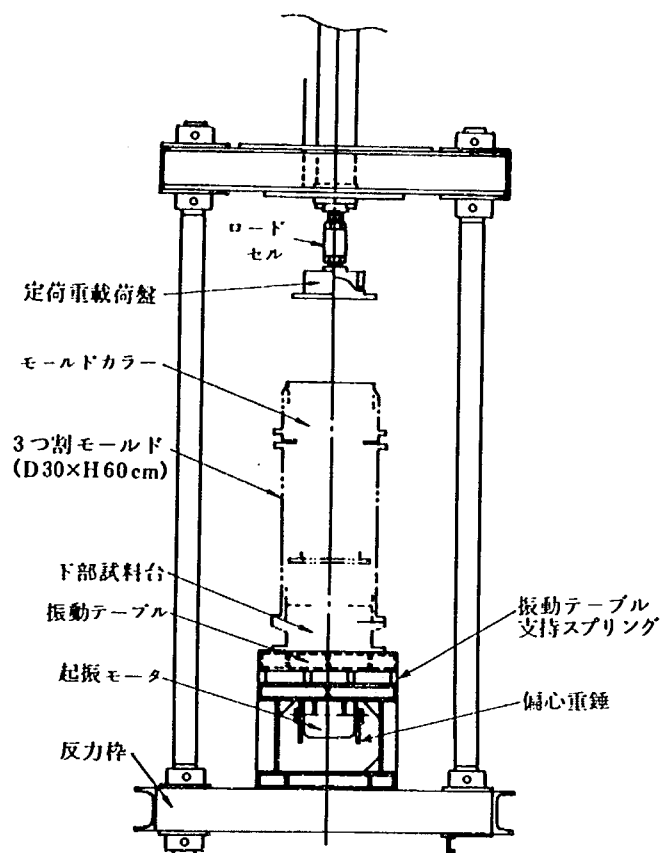
- (5) 粒径の大小がせん断抵抗角に与える影響を求める試験結果より、①相似粒度分布。②圧密後の間隙比が同じ。③最大粒径が供試体直径の 1/5 以下。である条件を満たすれば最大粒径の影響が少ない。ただし、本試験に用いたペグマタイトは粒径の大きなものの方が小さなものより圧裂引張強さが小さいためせん断抵抗角も大粒径の方が約1度程度小さい。

参 考 文 献

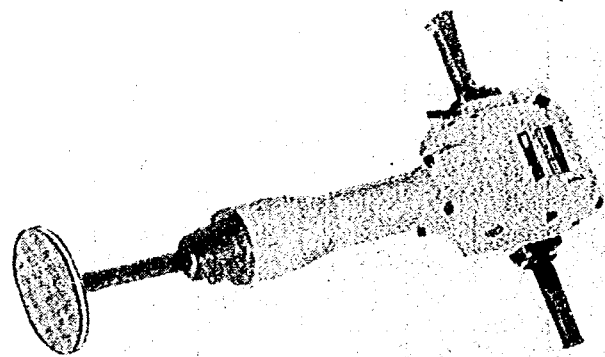
- 1) R. J. Marsal : Mechanical Properties of Rockfill. Enbankment - Dam Engineering, Casagrande Volume, PP. 130~132, 1972
- 2) 北条紘次, 播田一雄, 北村康雄: フィル材料の性質に関する試験(寒河江ダム), 土木研究所資料第1455号, 1979. 3
- 3) 渡辺和夫, 小川 優: 寒河江ダムフィル材料試験報告, 土木研究所資料第1665号, 1981. 3
- 4) 土質工学会: 土質試験法, PP. 495~522, 1979
- 5) 平松良雄, 岡 行俊, 木山英郎: 非整形試験片による岩石の引張り強さの迅速試験, 日本鉱業会誌, Vol. 81, No 932, PP. 1024~1030, 1965
- 6) 松本徳久, 渡辺和夫, 吉野内真二: ロック材料の室内締固め試験と現場盛立密度, 土木技術資料, Vol. 24, No 12, PP. 27~33, 1982
- 7) 前掲4) PP. 520

付 録：試 験 装 置 の 概 要

付 録：試験装置の概要



D30の振動締固め試験機

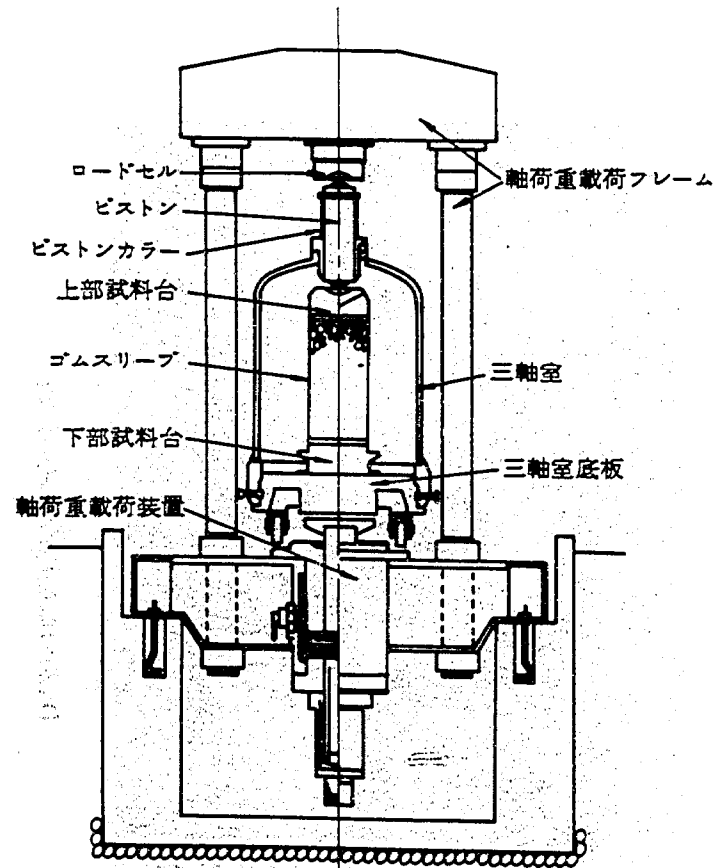


D30の振動ランマー外観



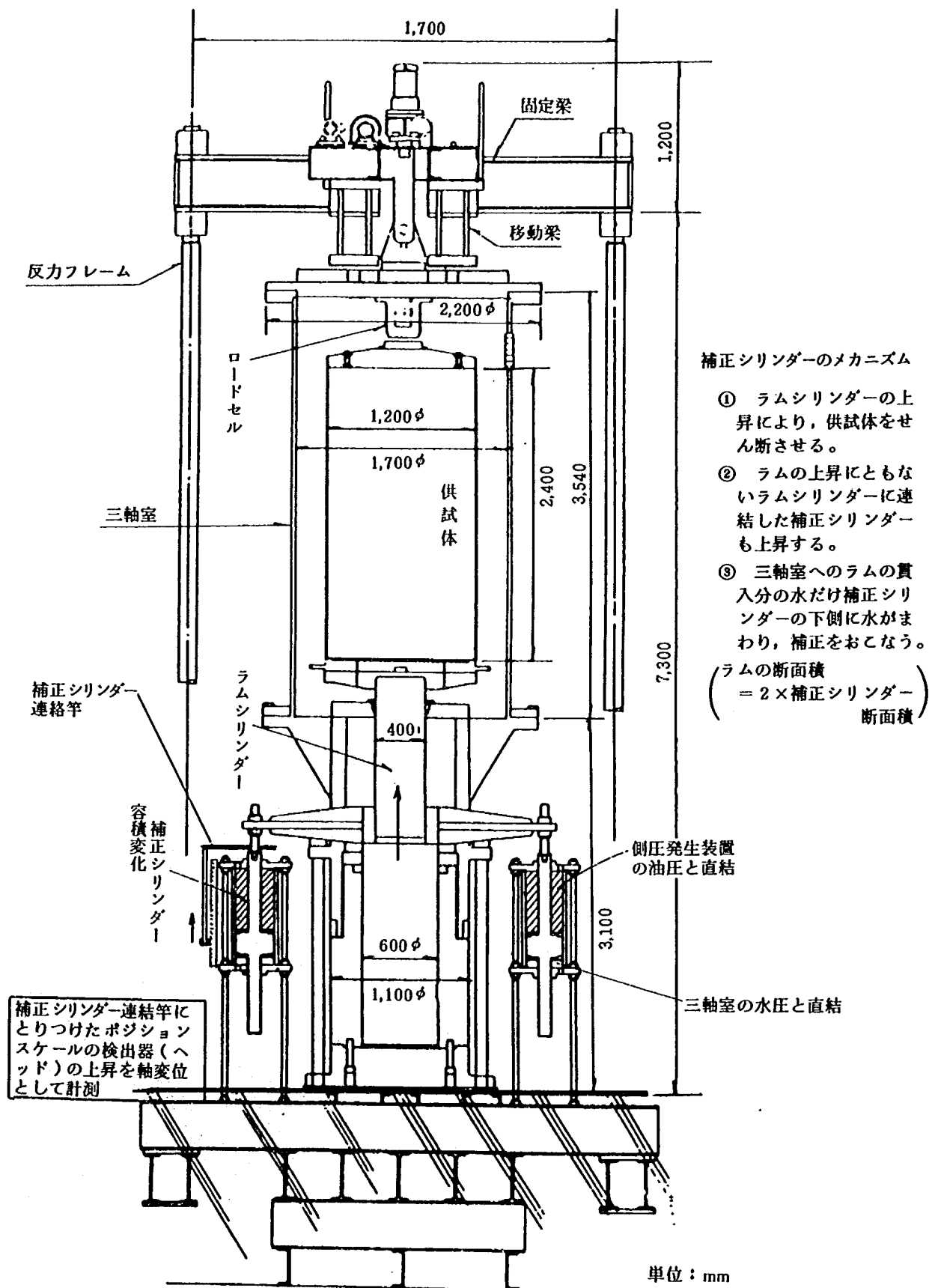
D120の振動締固め機の外観

三軸圧縮試験機の概要



D30の三軸圧縮試験機

試験機 項目	D 3 0	D 1 2 0
三 軸 容 器	1 室 式	1 室 式
軸 載 荷 方 法	供試体下部より上方に 載荷	供試体下部より上方に 載荷
上下加圧盤の形状	供試体直径と同寸法 の円形	供試体直径と同寸法 の円形
上 部 加 圧 盤 の 回 転 の 有 無	回 転 可 能	回 転 可 能
上部加圧盤とプッ シュロッドまたは 反力受け部の関係	分離型（球面） 	分離型（平面）
上下加圧盤の排水 方法	ポーラスメタル	有孔盤（φ5mm、2cm 千鳥）
ゴムスリーブ	1.5 mm/枚×2枚	10mm/枚×1枚 （布入り）
軸方向荷重の測定	供試体上部反力を三軸 室の外部で測定	供試体上部反力を三軸 室の内部で測定
側圧の加圧方法	油圧を水圧に変換 （油圧サーボ方式）	油圧を水圧に変換 （ノルウェー型恒圧装置）



補正シリンダーのメカニズム

- ① ラムシリンダーの上昇により、供試体をせん断させる。
- ② ラムの上昇にともないラムシリンダーに連結した補正シリンダーも上昇する。
- ③ 三軸室へのラムの貫入分の水だけ補正シリンダーの下側に水がまわり、補正をおこなう。

$$\left(\begin{array}{l} \text{ラムの断面積} \\ = 2 \times \text{補正シリンダー} \\ \text{断面積} \end{array} \right)$$

D120の三軸圧縮試験機

寒河江ダムフィル材料
試験報告・その 2

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第1976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

寒河江ダムのロック材料であるペグマタイトについて物理試験および D 30・D 120 の大型三軸試験を行った結果を報告し, ロックゾーンの設計値を考察したものである。



郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

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1976号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印