

00095

土研資料
第 1507 号

土木研究所資料

フィルダム材料の性質に関する試験(七ヶ宿ダム)

昭和 54 年 6 月

建設省土木研究所
ダム部 フィルダム研究室

フィルダム材料の性質に関する試験（七ヶ宿ダム）

建設省土木研究所フィルダム研究室

北 条 紘 次

播 田 一 雄

小 川 優

目 次

1. まえがき	1
2. 目 的	5
3. 試験方法	6
3.1 試験項目	7
3.2 試験装置	7
3.3 ロック材料	8
4. 試験結果	12
4.1 物理試験	12
4.2 締固め試験	22
4.3 大型三軸圧縮試験	35
5. 考察および今後の課題	50
5.1 流紋岩と石英安山岩	50
5.2 設計値の検討	50

1. ま え が き

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、都市用水を目的として計画中のダムである。ダムは高さ93m総貯水容量1億900万 m^3 の貯水池を持ちセンターコアタイプのロックフィルダムである。ダムサイトの流域図、ダム平面図、ダム断面図を図-1.1、1.2、1.3にダムと貯水池の諸元を表-1.1に示す。

この報告書は、東北地方建設局七ヶ宿ダム工事事務所の依頼により、七ヶ宿ダム堤体の透水性ゾーン予定材料のロック材料について、昭和52年度、53年度と2年度にわたって材料試験を行った試験結果について報告するものである。

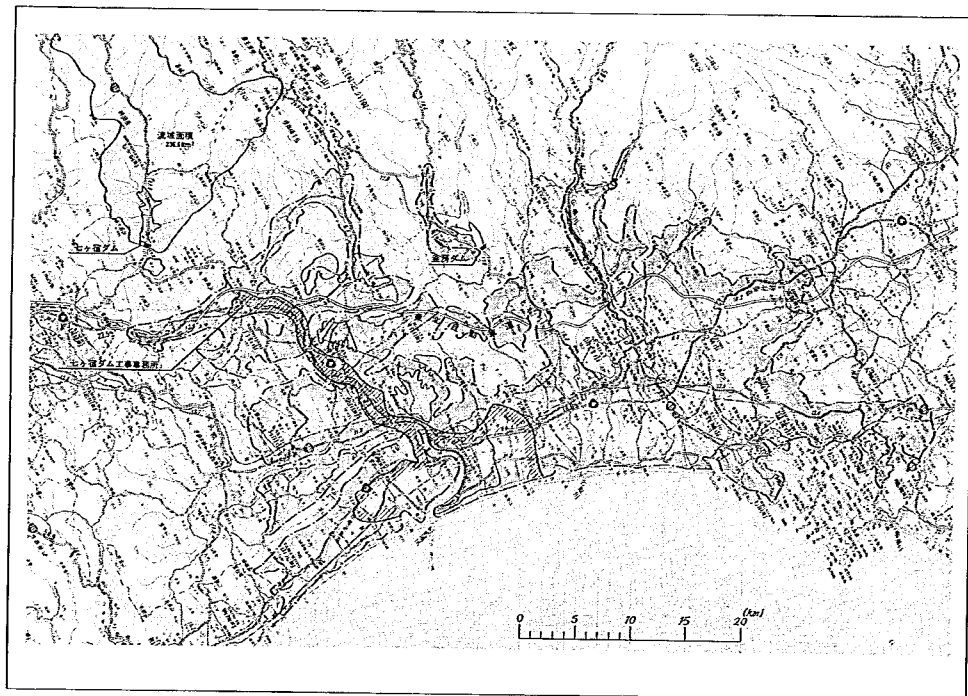


図-1.1 ダム流域図

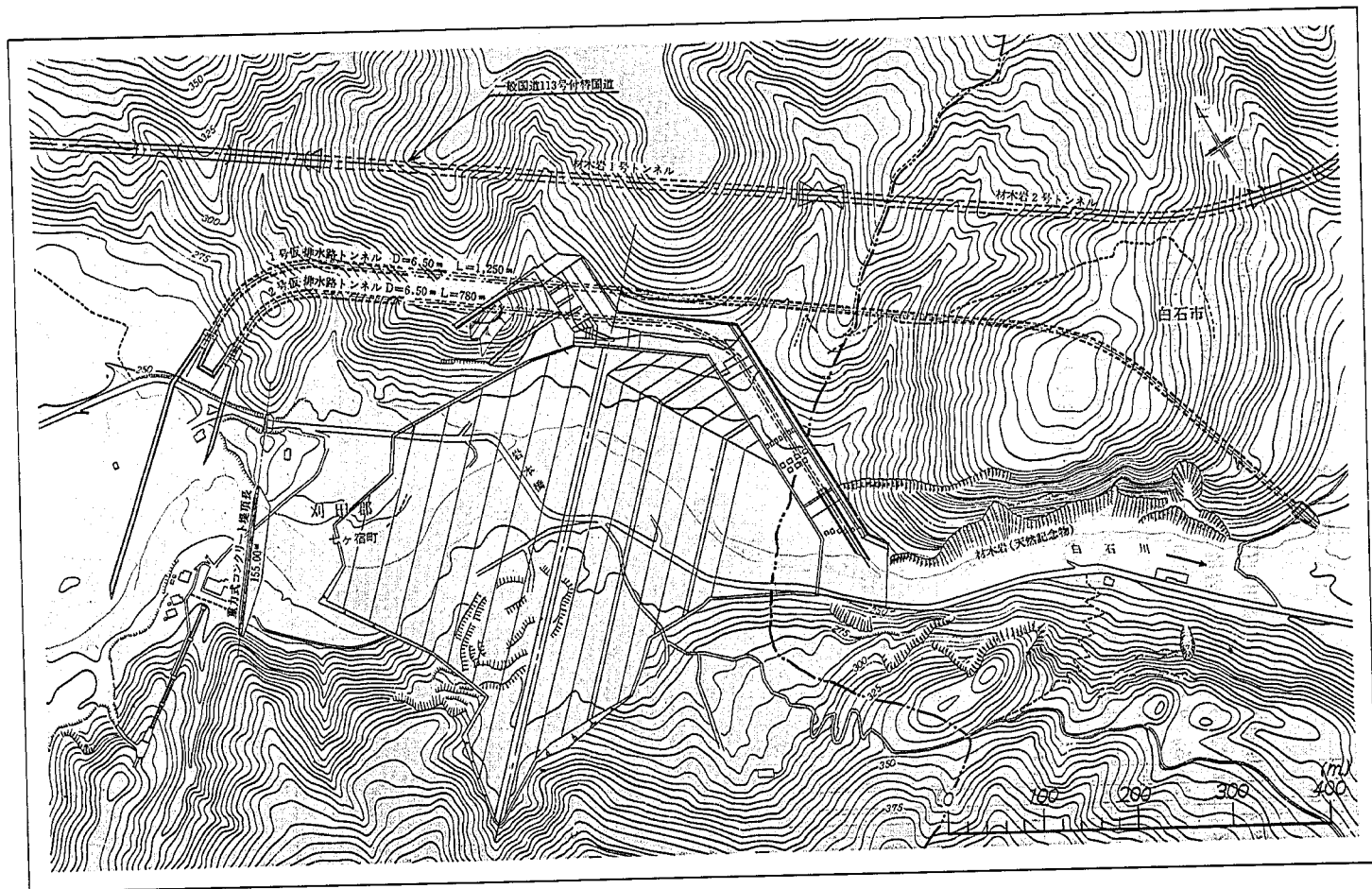


図-1.2 ダム平面図

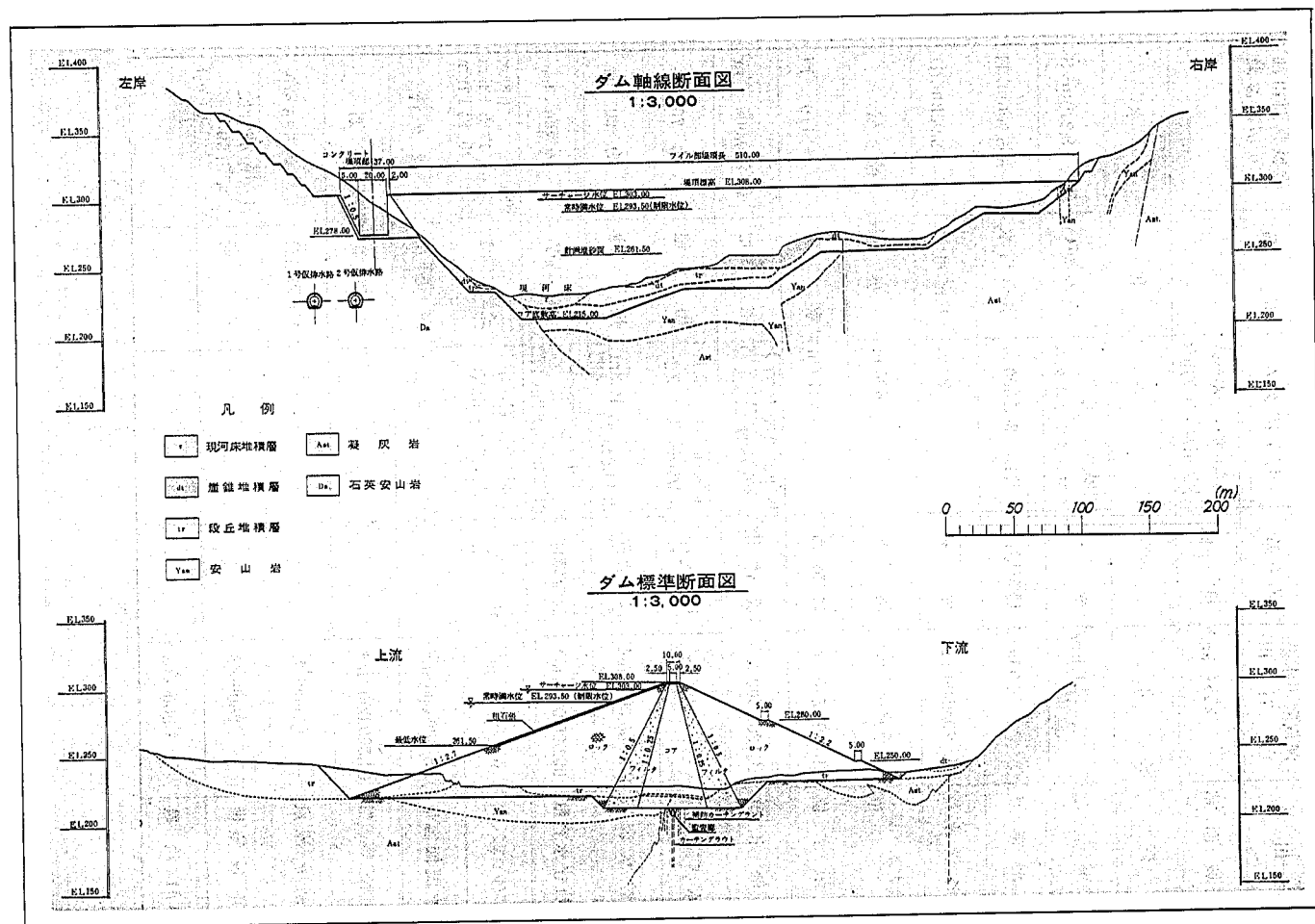


図-1.3 ダム軸線標準断面図

表-1.1 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	
湛水面積	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
湛水延長	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	目 昭和 48 年度 至 昭和 59 年度 (予定)
調節流量	1,500m ³ /S				

2. 目 的

本試験の目的は、透水性ゾーン予定材料の提体材料としての適否、使用可能な材料については設計値および施工管理目標値を決定するための有力な資料を供することである。このために、原石山（野沢倉山）の流紋岩と洪水吐掘削ズリの石英安山岩について物理試験、力学試験を行い考察を加え、設計値等について検討を加えた。

3. 試 験 方 法

下記の材料について、以下に述べる項目と方法により試験を行った。採取置点を図-3.1に示す。

1. 流紋岩 (I - 1, 2, 3, 4)

材料採取地 野沢倉山 横抗RT-1 (L=70m)

試験時期 S 52. 11. 20 ~ 53. 2. 16

2. 風化流紋岩 (II - 5, 6)

材料採取地 野沢倉山 横抗RT-3 (L=50m)

試験時期 S 53. 8. 25 ~ 53. 11. 8

3. 石英安山岩 (II - 7, 8)

材料採取地 ダムサイト左岸 横抗T-7 (L=120m)

試験時期 S 53. 8. 25 ~ 53. 11. 8

なお、粒子形状、ポイントロードの試験はS 53. 11. 8 ~ 53. 12. 20に行った。

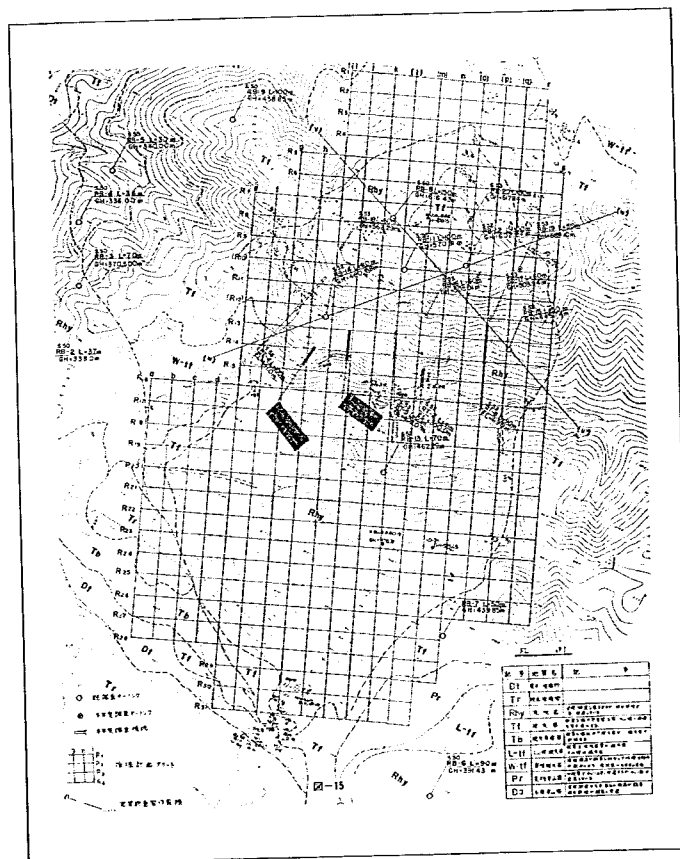


図-3.1 ロック材原石山図

3・1 試験項目

各材料について表－3.1に示す試験を行なった。

表－3.1 試験項目

	試 験	備 考
流紋岩 $U_c = 12$ $= 2$	物理試験 含水量 比重及び吸水量 粒度試験 締固め試験 大型三軸圧縮試験	各粒径毎 粒径 4.76mm で分級 締固め試験後及び各側圧ごと 振動締固め試験機による $U_c = 12 \cdots \cdots D_r = 5,87\%$ $= 2 \cdots \cdots = 13,98\%$
((流紋岩)) $U_c = 6$	物理試験 含水量 比重及び吸水量 粒度試験 締固め試験 大型三軸圧縮試験	$U_c = 6 \cdots \cdots D_r = 59,86\%$
石英安山岩 $U_c = 20$	物理試験 含水量 比重及び吸水量 粒度試験 締固め試験 大型三軸圧縮試験	$U_c = 20 \cdots \cdots D_r = 54,87\%$

(())内は風化流紋岩

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大型三軸圧縮試験機の概略図を図－3.2, 図－3.3に示す。また, 試験装置の仕様を表－3.2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測圧 0 ～ 30 kg/cm², 軸方向荷重 0 ～ 150 ton, 軸方向ヒズミ 0 ～ 150 mm, 間ゲキ水圧 0 ～ 30 kg/cm², 内体積および外体積 0 ～ 1500 cc である。

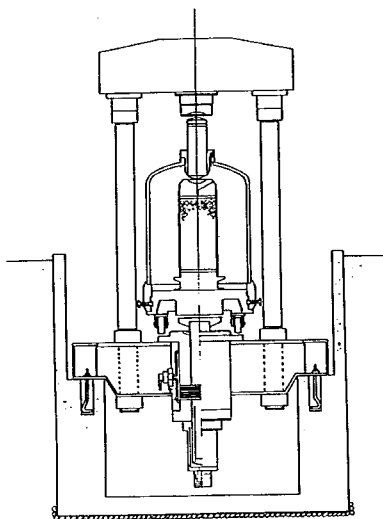


図- 3.2 大型三軸圧縮試験機

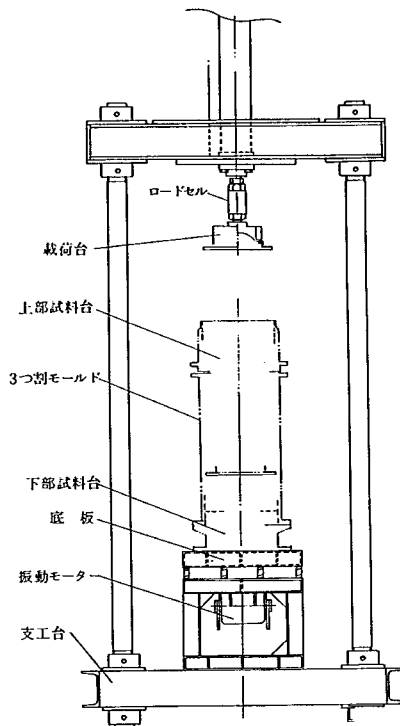


図- 3.3 振動締め試験機

3・3 ロック材料

1) 物理試験

含水量試験は、JIS・A・1203にて各粒径毎に行なった。比重および吸水量試験は粒径 4.76mm で分級し、4.76 mm 以上は、各粒径毎に粗粒材の比重および吸水量試験 (JIS・A・1100) により、4.76 mm 以下は土粒子の比重試験 (JIS・A・1202) により行なった。

表- 3.2 主要試験装置の仕様

試 験 装 置	項 目	仕 様
大型三軸圧縮試験機	供 試 体 の 寸 法	D 300×H600mm
	最 大 軸 力	150 ton ($\div 215 \text{ kg/cm}^2$)
	最 大 側 圧	30 kg/cm^2 ($\frac{\sigma_1 \text{ max}}{\sigma_3 \text{ max}} \div 7.2$)
	ひ ず み 速 度	6 mm/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	10 ton ($\div 14 \text{ kg/cm}^2$)
	定 荷 重	約 200 ~ 400 kg
	最 大 加 速 度	約 4 g
	振 動 巾	± 1 mm
	振 動 ・ 載 荷 時 間	1 回最大 200sec

表-3.3 試験粒度

	流紋岩						石英安山岩	
	U _c = 12		U _c = 2		((U _c = 6))		U _c = 20	
	殘留率 ^(%)	加積殘留率 ^(%)	殘留率 ^(%)	加積殘留率 ^(%)	殘留率 ^(%)	加積殘留率 ^(%)	殘留率 ^(%)	加積殘留率 ^(%)
63.5 以上	0	0	0	0	0	0	0	0
63.5~50.8	6	6	10	10	9	9	6	6
50.8~38.1	10	16	18	28	11	20	8	14
38.1~25.4	18	34	32	60	23	43	14	28
25.4~19.1	16	50	24	84	15	58	12	40
19.1~9.52	20	70	19.1 以下		21	79	20	60
9.52~4.76	12	82			11	90	12	72
4.76~2.00	8	90			6	96	11	83
2.00~0.42 (2.00~0.84))	2.00 以下				3	99	13	96
0.42~0.074 (0.84~0.42))	10	100	16	100	1	100	4	100

(())内は風化流紋岩

2) 試料調整および試験粒度の決定

搬入材料は気乾状態（含水比1%程度）にし、各粒径毎にふるい分け（JIS・A・1204）、供試体作成のための試料調整を行なった。なお三軸圧縮試験結果は、最大粒径に左右されるが、最大粒径と供試体直径の比が1：6以下になれば影響は、ほとんどないと考えられるので最大粒径を63.5mmとした。粒度については、横抗の掘削ブリの粒度分布と既設ダムの現場の粒度分布を参考にして、表-3.3図-3.4に示す試験粒度を決定した。

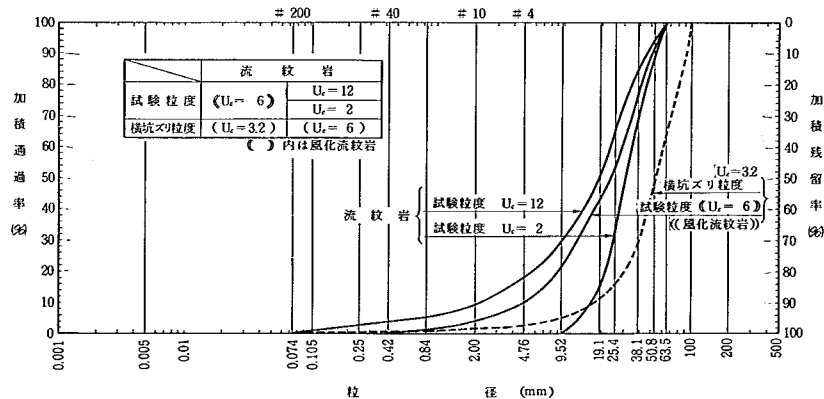


図 3.4 試験粒度(1)

3) 締固め試験

三軸圧縮試験に先立ち供試体の締固め条件（密度）を決定するために、加速度と密度の関係を検討した。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（偏心重錘重量により決定される）を4種類変化させた。振動時には試料の表面をおさえる

ために 0.5 kg/cm^2 程度の上載応力を作用させた。なお流紋岩 ($U_c = 2$)，石英安山岩 ($U_c = 20$) については，振動後各層毎に静荷重 (約 10 kg/cm^2)，を加えた試験も行なった。締固め条件を表-3.4に示す。

試験の手順は，締固め方法，締固めエネルギーを設定し，供試体が所定の粒度分布になるように試験料 (絶乾重量 = 78 kg) を粒径毎に計量し，粒径毎に各々 6 等分するこれを一層分毎にした量に混合した後，各層毎に静かに投入して，振動後高さを測定し，6 層分まで締固めて，最後に密度を求めた。

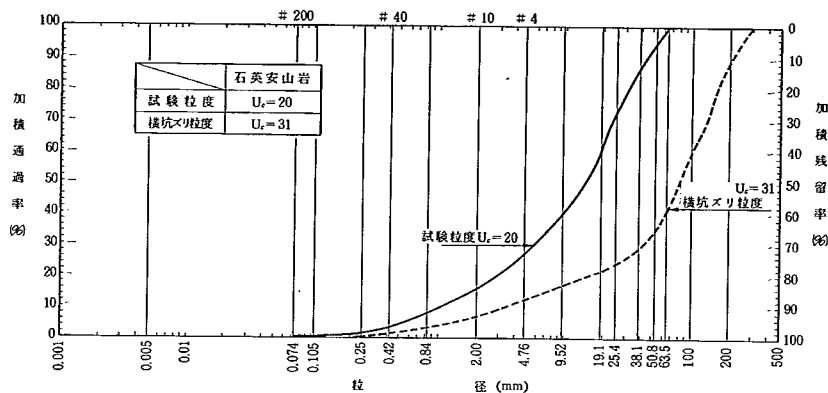


図-3.4 試験粒度(2)

表-3.4 締固め条件

項 目	仕 様
絶 乾 重 量	78 kg
振 動 数	1800 r.p.m
振 動 時 間	200 sec/層, ((480 sec/層))
層 数	6層<1層 約10cm>
締固めエネルギー	[*] 0, 1, 5, 10, 15 枚 (0.4), (1.3), (2.1), (2.6) 15枚 + 静荷重

※ 試験料投入のみ

() 加速度 g

(()) 風化流紋岩のみ

4) 大型三軸圧縮試験

試験供試体は，締固め試験結果より目標間ゲキ比・締固め条件を決定し，供試体を作成した。三軸圧縮試験のせん断方法はCD試験ひずみ制御法とし，せん断速度は約 $1 \text{ \%}/\text{min}$ とした。試験方法等を表-3.5に示す。

5) 粒子破碎の調査のための粒度試験

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。

表－3.5 大型三軸圧縮試験方法

試 験 方 法	CD 試験，気乾状態，ひずみ制御
せん断速度	6 mm/min（約1％）
(kg/cm ²)	流紋岩 ($U_c = 2$) 2, 3, 4, 6
	($U_c = 12$) 2, 4, 6, 8
側 圧	$\left. \begin{array}{l} (U_c = 6) \\ \text{石英安山岩 } (U_c = 20) \end{array} \right\} 1.5, 3.0, 4.5, 6.0$

《 》は風化流紋岩

4. 試 験 結 果

試験結果一覧表を表-4.1(1)~(2), (I)~(II)に示す。

4.1 物理試験

比重および吸水量試験結果を表-4.2に示した。平均粒径 (D_{50}) の絶乾, 表乾, 真比重の関係を図-4.1に示した。粒子と粒子の空隙を問題にすることと, 図-4.1に示すように岩質を比較的良くあらわすことから絶乾比重により間隙比重を求めた。吸水率と絶乾比重の関係は図-4.2に示す。なお東北技術事務所で行った岩石試験結果を表-4.3に示す。流紋岩と石英安山岩は第3紀中新統の火山活動によって貫入した火山岩で岩質としては比較的似ている。野沢倉山の流紋岩は絶乾比重で, 1.957 ~ 2.620 吸水率で 0.31 ~ 12.91% とロック材として良質なものと不適当なものまで広範囲に存在する。これは風化変質によるものであり, ロック山のかなり深部まで比重の軽いものがある。三軸圧縮試験を行ったのは平均比重 (D_{50}) で 2.415 のものと 2.446 ~ 2.456 のものである。石英安山岩は比重 2.406 と流紋岩と比較してやや劣る材料で試験した。図-4.3は七ヶ宿ダム工務所の Gb と Q のデータの関係を示したものである。今回行った試験材料が比較的良い岩質であることを示している。試験ケース I-1, 2, 3, 4, では一軸圧縮強度 1,200 ~ 1,800 kg/cm², II-5, 6 で 800 ~ 1,500 kg/cm², II-7, 8 で 1,200 kg/cm² 程度と推定される。比較的比重, 吸水率の結果と一致している。耐久性の問題として凍結融解試験の一部を図-4.3に示す。凍結融解試験による崩壊はこれらの岩種の場合, 生成時のヘヤークラックに起因する。図-4.3はこのヘヤークラックがほぼ比重に比例して少なくなるが比重の大きいものでも耐久性に劣るものもたまにあることを示している。重量比で 10% 崩壊回数が 100 回程度以上を基準にして見ると, 比重が 2.4 以上であれば良いことになる。また凍結融解試験による崩壊後の粒度は 1 mm 以上の砂分が大半を占め, それ以下の細粒分はきわめて少い。以上のことからロック材料としては比重が 2.4 以上あれば十分と考えられる。リップラップ材としては比重の大きい方が耐久性もあるので好ましい。大壊になると比重は大きくなるし, 多少崩壊しても問題は少いので, できるだけ大壊を選別すれば良いと考えられよう。

粒子形状は Zingg の分類によると, 流紋岩は大きい粒径では板状, 塊状そして棒状が多く, 小さい粒径になると棒状, 葉状そして板状が多くなる傾向にある。石英安山岩については大きい粒径では板状, 棒状そして葉状が多く, 小さい粒径では塊状, 板状そして棒状が多い。

Lees の Total degree of angularity を図-4.4に示す。

風化流紋岩は粒径にあまり関係なく平均値で 2,711 であり, 石英安山岩は粒径が小さくなると小さく傾向を示し平均値で 3,623 とかなり角張った岩といえよう。

表-4.1(1) 大型三軸圧縮試験結果一覧表

試験 ケース	*1 岩粒 子形 状	*2 均等 係数 重	*3 吸含 水率 比	試験 密度	側 圧 σ_3 (kg/cm^2)	初 期 乾 密 度 (g/cm^3) r_d	間ゲキ比の変化				$(\sigma_1 - \sigma_3) f$ (kg/cm^2)	ϵ_f (%)	$(\Delta V/V_c)$ (%)	破 壊 時			三 軸 試 験 後 (%)	破 砕 率 (%)	強 度 定 数 *6	
							初 期 e_o	圧密後 e_c	最 小 e_{min}	破壊時 e_f				変形係数 (kg/cm^2) $E_{50} \times 10^2$	ポアソン比 μ	主応力比 (σ_1/σ_3)			ϕ (度)	C (kg/cm^2)
I - 1	板 状	Uc = 12.0 Ga = 2.505 Gb = 2.446 Gg = 2.599	Q = 2.4 W = 0.6	$r_d = 18.62$ $e_o = 0.314$ Dr = 87	2.0	1.861	0.314	0.274	0.266	0.288	14.84	6.26	-1.10	9.21	0.590	8.42	5.5	46°20' (43°31')	0.88 (1.52)	
					4.0	1.860	0.315	0.267	0.252	0.257	26.03	5.79	0.81	11.06	0.428	7.51	7.6			
					6.0	1.857	0.317	0.255	0.233	0.239	34.95	8.70	1.34	11.59	0.423	6.83	8.6			
					8.0	1.871	0.307	0.240	0.206	0.207	41.01	8.78	2.59	12.01	0.352	6.13	11.1			
I - 2	板 状	Uc = 12.0 Ga = 2.505 Gb = 2.446 Gg = 2.599	Q = 2.4 W = 0.6	$r_d = 1.545$ $e_o = 0.610$ Dr = 5	2.0	1.554	0.574	0.524	0.489	0.489	10.04	15	2.37	2.16	0.420	6.02	2.7	40°30' (38°55')	0.70 (0.86)	
					4.0	1.528	0.601	0.519	0.437	0.437	17.13	15	5.50	2.27	0.317	5.26	5.7			
					6.0	1.554	0.574	0.492	0.404	0.404	24.89	15	5.85	3.69	0.305	5.15	8.0			
					8.0	1.543	0.585	0.498	0.401	0.401	29.87	15	6.55	3.10	0.281	4.73	9.2			
I - 3	板 状	Uc = 2.0 Ga = 2.509 Gb = 2.459 Gg = 2.593	Q = 2.2 W = 0.5	$r_d = 1.473$ $e_o = 0.667$ Dr = 98	2.0	1.471	0.670	0.609	0.583	0.597	9.50	12.31	0.77	4.14	0.474	5.63	8.6	39°35' (38°24')	0.80 (0.74)	
					3.0	1.472	0.668	0.573	0.527	0.527	12.81	13.89	2.84	4.51	0.405	5.23	9.9			
					4.0	1.484	0.655	0.523	0.456	0.456	16.55	15	4.95	3.92	0.336	5.14	12.7			
					6.0	1.466	0.675	0.543	0.451	0.451	22.56	15	5.89	4.52	0.303	4.76	17.3			
I - 4	板 状	Uc = 2.0 Ga = 2.509 Gb = 2.456 Gg = 2.593	Q = 2.2 W = 0.5	$r_d = 1.330$ $e_o = 0.847$ Dr = 13	2.0	1.336	0.838	0.735	0.690	0.690	8.29	15	2.61	2.26	0.413	5.15	6.6	38°10' (34°55')	0.70 (0.98)	
					3.0	1.322	0.858	0.754	0.660	0.660	12.59	15	5.38	2.84	0.321	5.20	10.8			
					4.0	1.350	0.819	0.679	0.583	0.583	15.14	15	5.78	2.66	0.311	4.79	12.2			
					6.0	1.313	0.871	0.700	0.568	0.568	19.16	15	7.75	3.04	0.242	4.19	17.3			
II - 5	板 状	Uc = 6.0 Ga = 2.494 Gb = 2.415 Gg = 2.622	Q = 3.3 W = 0.6	$r_d = 1.755$ $e_o = 0.376$ Dr = 86	1.5	1.744	0.385	0.341	0.333	0.348	13.05	5.15	-0.492	7.25	0.548	9.70	5.4	41°45' (40°21')	1.6 (1.84)	
					3.0	1.756	0.376	0.322	0.309	0.348	19.39	6.84	0.280	10.21	0.480	7.46	7.8			
					4.5	1.752	0.379	0.315	0.305	0.300	25.10	8.75	1.163	10.46	0.434	6.58	9.7			
					6.0	1.767	0.367	0.303	0.275	0.280	29.43	10.07	1.754	8.92	0.413	5.91	11.9			
II - 6	板 状	Uc = 6.0 Ga = 2.494 Gb = 2.415 Gg = 2.622	Q = 4.3 W = 0.6	$r_d = 1.645$ $e_o = 0.468$ Dr = 59	1.5	1.643	0.470	0.421	0.404	0.412	10.69	6.65	0.432	4.25	0.468	8.13	4.3	42°30' (41°36')	1.1 (1.19)	
					3.0	1.650	0.464	0.397	0.370	0.379	18.39	9.98	1.347	5.93	0.433	7.13	6.4			
					4.5	1.643	0.470	0.388	0.352	0.354	22.54	12.09	2.431	7.04	0.399	6.01	8.7			
					6.0	1.644	0.473	0.373	0.323	0.323	28.91	14.55	3.634	11.34	0.375	5.82	10.0			
II - 7	板 状	Uc = 20.0 Ga = 2.510 Gb = 2.406 Gg = 2.684	Q = 4.3 W = 1.35	$r_d = 1.949$ $e_o = 0.234$ Dr = 87	1.5	1.956	0.230	0.210	0.179	0.221	13.88	3.52	-0.959	6.61	0.636	10.25	5.4	43°25' (42°03')	1.6 (1.84)	
					3.0	1.945	0.237	0.197	0.191	0.197	21.14	3.71	0.048	12.44	0.494	8.05	9.9			
					4.5	1.954	0.232	0.176	0.167	0.171	26.81	3.94	0.468	12.19	0.441	6.96	12.1			
					6.0	1.940	0.240	0.185	0.172	0.177	32.20	4.72	0.660	14.64	0.430	6.37	12.1			
II - 8	板 状	Uc = 20.0 Ga = 2.510 Gb = 2.406 Gg = 2.484	Q = 4.3 W = 1.35	$r_d = 1.784$ $e_o = 0.349$ Dr = 54	1.5	1.804	0.334	0.296	0.287	0.296	9.15	4.95	0.087	4.79	0.496	7.10	6.0	43°10' (40°11')	1.2 (0.9)	
					3.0	1.770	0.359	0.308	0.284	0.284	14.60	7.89	1.871	4.29	0.381	5.87	8.5			
					4.5	1.777	0.354	0.288	0.260	0.260	21.64	7.74	2.167	6.19	0.360	5.82	10.3			
					6.0	1.783	0.349	0.280	0.245	0.245	24.75	10.30	2.658	6.51	0.371	5.13	11.7			

表-4.1(2) 大型三軸圧縮試験結果一覧表

試験 ケース	*1 岩粒 子形 状	*2 均等 係数 重	*3 含水 率比	試験 密度	側 圧 σ_3 (kg/cm ²)	初 期 密 度 乾 度 γ_d (g/cm ³)	間 ゲ キ 比 の 変 化				$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg/cm ²)	ϵ_f (%)	$(\Delta V/V_c)$ (%)	破 壊 時			三 軸 試 験 後 破 碎 率 (%)	強度定数 *6	
							初 期	圧密後	最 小	破壊時				変形係数 (kg/cm ²) $E_{50} \times 10^2$	ポアソン比 *5 y	主応力比 (σ_1/σ_3)		ϕ (度)	C (kg/cm ²)
F-9	-	Uc=120	Q=2.51 W= Dr=7	$\gamma_d=1.532$	2.0	1.542					9.04	15.16	3.53			5.52	4.1	38°50' (35°42')	0.84 (0.89)
		Ga=		$e_o=0.595$	4.0	1.529					14.74	15.19	5.97			4.69	7.6		
		Gb=2.443			6.0	1.524					20.25	15.23	6.88			4.38	9.8		
		Gg=																	
F-10	-	Uc=12.0	Q=2.51 W= Dr=7.5	$\gamma_d=1.874$	2.0	1.874					16.77	3.74	-0.84			9.39	7.9	43°30' (41°26')	1.52 (2.02)
		Ga=		$e_o=0.304$	4.0	1.870					24.66	4.58	-0.04			7.17	9.3		
		Gb=2.443			6.0	1.879					32.42	5.83	0.43			6.40	12.5		
		Gg=																	
F-11	-	Uc=120	Q=2.51 W= Dr=56	$\gamma_d=1.759$	4.0	1.759					19.79	8.31	1.00			5.95	7.8		
		Ga=		$e_o=0.389$															
		Gb=2.443																	
		Gg=																	

*1 Zinggの分類による。

*2 粒径4.76mmで分級し、4.76mm以上は絶対比重(Gb)、以下は真比重(Gs)により、平均粒径D₅₀で代表させた比重値を用いた。

*3 粒径4.76mm以上について求め、4.76mm以上を100%とした時の各粒径別おもみ付き平均値

*4 セン断時に最も圧縮した時の間ゲキ比

*5 体積比ズミより $\epsilon_r = \epsilon_y - \epsilon/2$, $y = -\epsilon_r/\epsilon$ で求めた値

*6 カッコ内は土質試験法の整理方法(第2法 $\sigma_1 + \sigma_3/2$, $\sigma_1 - \sigma_3/2$)より最小二乗法で求めた値

表-4.1(I) 大型三軸圧縮試験結果一覧表

試験ケース	(kg/cm ²) σ_3	(kg/cm ²) ($\sigma_1 - \sigma_3$)f	(kg/cm ²) σ_1 f	初期 e_0	破壊時 e_f	$e_0 - e_f$	(%) B	(%) $\frac{B}{1+e_0}$	(°) ϕ	($\frac{dev}{d\epsilon_a f}$)	(kg/cm ²) E_{50}
I-1	2.0	14.84	16.84	0.314	0.288	0.026	5.5	4.19	51.970	-0.531	927
	4.0	26.03	30.03	0.315	0.257	0.058	7.6	5.78	49.900	-0.260	1075
	6.0	34.95	40.95	0.317	0.239	0.078	8.6	6.53	48.108	-0.208	1165
	8.0	41.01	49.01	0.307	0.207	0.100	11.1	8.49	46.037	-0.122	1228
I-2	2.0	10.04	12.04	0.574	0.489	0.085	2.7	1.72	45.651	-0.099	210
	4.0	7.13	21.13	0.601	0.437	0.164	5.7	3.56	42.973	+0.051	263
	6.0	24.89	30.89	0.574	0.404	0.170	8.0	5.08	42.432	+0.050	357
	8.0	29.87	37.87	0.585	0.401	0.184	9.2	5.80	40.631	+0.071	363
I-3	2.0	9.50	11.50	0.670	0.597	0.073	8.6	5.15	44.725	-0.101	469
	3.0	12.81	15.81	0.668	0.527	0.141	9.9	5.94	42.923	-0.030	433
	4.0	16.55	20.55	0.655	0.456	0.199	12.7	7.67	42.387	+0.158	349
	6.0	22.56	28.56	0.675	0.451	0.224	17.3	10.33	40.751	+0.162	453
I-4	2.0	8.29	10.29	0.838	0.690	0.148	6.6	3.59	42.418	-0.049	222
	3.0	12.59	15.59	0.858	0.660	0.198	10.8	5.81	42.629	+0.051	346
	4.0	15.14	19.14	0.819	0.583	0.236	12.2	6.72	40.865	+0.098	271
	6.0	19.16	25.16	0.871	0.568	0.303	17.3	9.25	37.944	+0.260	291
II-5	1.5	13.05	14.55	0.385	0.348	0.037	5.4	3.90	54.398	-0.618	8.12
	3.0	19.39	22.39	0.376	0.348	0.028	7.8	5.67	49.790	-0.314	10.72
	4.5	25.10	29.60	0.379	0.300	0.079	9.7	7.03	47.398	-0.176	19.23
	6.0	29.43	35.43	0.367	0.280	0.087	11.9	8.71	45.264	-0.168	19.28
II-6	1.5	10.69	12.19	0.470	0.412	0.058	4.3	2.93	51.340	-0.284	4.46
	3.0	18.39	21.39	0.464	0.379	0.085	6.4	4.37	48.938	-0.232	6.13
	4.5	22.54	27.04	0.470	0.354	0.116	8.7	5.92	45.614	-0.084	7.00
	6.0	28.91	34.91	0.473	0.323	0.150	10.0	6.79	44.965	-0.012	9.29
II-7	1.5	13.88	15.38	0.230	0.221	0.009	5.4	4.39	55.313	-0.838	8.63
	3.0	21.14	24.14	0.237	0.197	0.040	9.9	8.00	51.162	-0.497	13.19
	4.5	26.81	31.31	0.232	0.171	0.061	12.1	9.82	48.476	-0.398	12.19
	6.0	32.20	38.20	0.240	0.171	0.069	12.1	9.76	46.761	-0.343	14.64
II-8	1.5	9.15	10.65	0.334	0.296	0.038	6.0	4.50	48.858	-0.237	4.33
	3.0	14.60	17.60	0.359	0.284	0.075	8.5	6.25	45.132	-0.069	4.06
	4.5	21.67	26.17	0.354	0.260	0.094	10.3	7.61	44.955	-0.084	7.05
	6.0	24.75	30.75	0.349	0.245	0.104	11.7	8.67	42.335	-0.078	5.86

表-4.1(Ⅱ) 大型三軸圧縮試験結果一覧表

試験ケース	(kg/cm ²) σ_3	(kg/cm ²) $(\sigma_1 - \sigma_3) f$	(kg/cm ²) $\sigma_1 f$	初 期 e_0	破 壊 時 e_f	$e_0 - e_f$	(%) B	B (%) $\frac{B}{1 + e_0}$	(°) ϕ	($\frac{dev}{d\epsilon_a}$) _f	(kg/cm ²) E_{50}
F - 9	2.0	9.04	11.04				4.1		47.226	+ 0.027	
	4.0	14.78	18.74				7.6		44.493	+ 0.109	
	6.0	20.25	26.25				9.8		43.336	+ 0.163	
F - 10	2.0	16.77	18.77				7.6		55.521	- 0.639	
	4.0	24.66	28.66				9.3		51.424	- 0.373	
	6.0	32.42	38.42				12.5		49.641	+ 0.235	
F - 11	4.0	19.79	23.79				7.8		48.448	+ 0.173	

表-4.2 比重・吸水率・含水比一覧表

(1)

粒 径 (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	

(2)

粒 径 (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	

(3)

粒 径 (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	

*は平均粒径 D 50 による比重の均等係数

表-4.3 岩石試験結果

番 号	採 取 地 点	Gb 絶乾比重	Q 吸 水 率 (%)	一軸圧縮 強度 (kg/cm ²)	凍結融解試験 (重量変化)	
					10%崩壊回数	150サイクル 変化率 (%)
(Dacite)						
53 12	江 志 前 II	2.456	2.87	1,305	300回以上	100
4	入 山 沢	2.298	5.43	1,195	150	23.7
8	高 館 山	2.164	6.15	806	200	97
9	大 沼 北 部	2.154	9.47	650	150	84.7
(Rhyolite)						
54 7	RT-5 60m	2.551	1.27	1,135	300 以上	100
4	RT-5 15m	2.502	2.03	1,334	"	99.8
6	RT-5 45m	2.501	2.01	1,966	"	98.5
53 22	野 沢 大 滝 露 頭	2.474	2.41	2,027	248	97.8
54 1	RT-3 15m	2.467	2.49	1,388	300 以上	100
3	RT-3 51m	2.463	3.00	1,252	100	81.2
53 15	RT-1 65m	2.454	2.71	-	150	86.2
54 11	RT-6 90m	2.442	2.80	1,785	200	91
5	RT-5 30m	2.440	2.94	1,184	200	90.2
53 13	RT-1 10m	2.440	3.21	1,208	248	98.8
14	RT-1 30m	2.426	3.22	1,493	150	79.6
19	RT-2 31m	2.420	3.33	1,496	248	96.9
54 8	RT-6 30m	2.411	3.85	2,038	50	25.5
53 20	RT-2 41m	2.403	3.24	1,349	248	100
(Rhyolite)						
16	RT-1 70m	2.397	3.50	1,412	150	76.5
54 9	RT-6 60m	2.386	4.22	876	100	51.2
53 17	RT-2 10m	2.377	3.85	-	150	63.6
54 10	RT-6 65m	2.369	4.71	587	50	26.1
53 18	RT-2 20m	2.364	4.27	1,005	48	41.6
54 2	RT-3 30m	2.341	3.11	1,781	300 以上	100
53 21	RT-3 ずり	2.320	4.49	2,051	200	99.4

絶乾比重, 吸水率は, 7.4 cm 角程度の試料 2 個の平均値

一軸圧縮強度は $\phi 32 \text{ mm} \times 64 \text{ mm}$ の試料 3 個の平均値

凍結融解試験は 5 cm 角の試料 2 ~ 3 個の平均値

試験は東北技術事務所でおこなったものである。

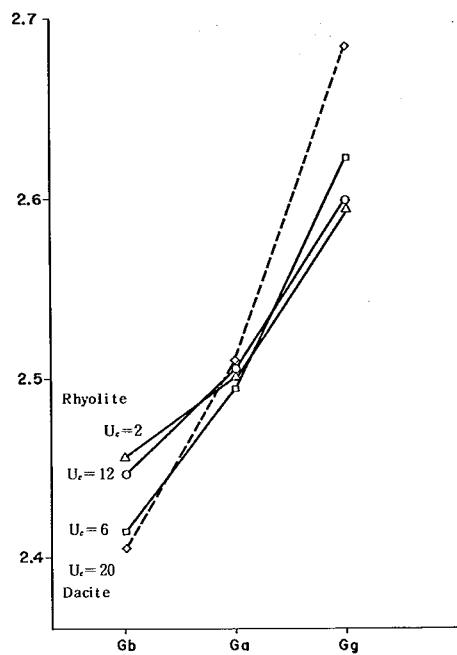


図 - 4.1 $G_a \cdot G_b \cdot G_g$ の関係図

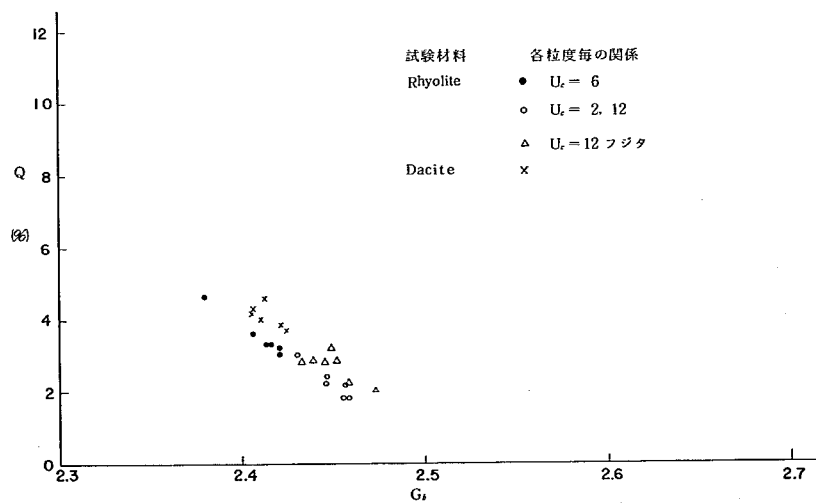


図 - 4.2 吸水率と絶対乾比重の関係

表 4.4 (1) Zingg の分類による平均的粒形 (七ヶ宿ダム) 30 個の平均値

岩質	粒 径 粒 形	mm 63.5 ~ 50.8	50.8 ~ 38.1	38.1 ~ 25.4	25.4 ~ 19.1	19.1 ~ 9.52	9.52 ~ 4.76
		%	%	%	%	%	%
風 化 流 紋 岩 (II-5, 6)	塊 状	38	38	27	35	15	15
	板 状	43	40	38	25	25	25
	棒 状	12	17	20	23	22	30
	葉 状	7	5	15	17	38	30
	塊 状	30	22	26	22	23	13
流 紋 岩 (I-1, 2 3, 4)	板 状	47	47	30	42	27	39
	棒 状	20	28	26	17	18	23
	葉 状	3	3	18	19	32	25
	塊 状	12	20	17	2	30	50
石 英 安 山 岩 (II-7, 8)	板 状	43	40	43	45	33	28
	棒 状	28	15	15	23	32	17
	葉 状	17	25	25	30	5	5
	塊 状	12	20	17	2	30	50

(2) Zingg の分類による平均的粒形 (七ヶ宿ダム) フジタ 126 個の平均値

岩質	粒 径 粒 形	mm 150 ~ 100	mm 100 ~ 63.5	
流 紋 岩 F9 10 11	塊 状	52	50	
	板 状	32	22	
	棒 状	11	26	
	葉 状	5	2	

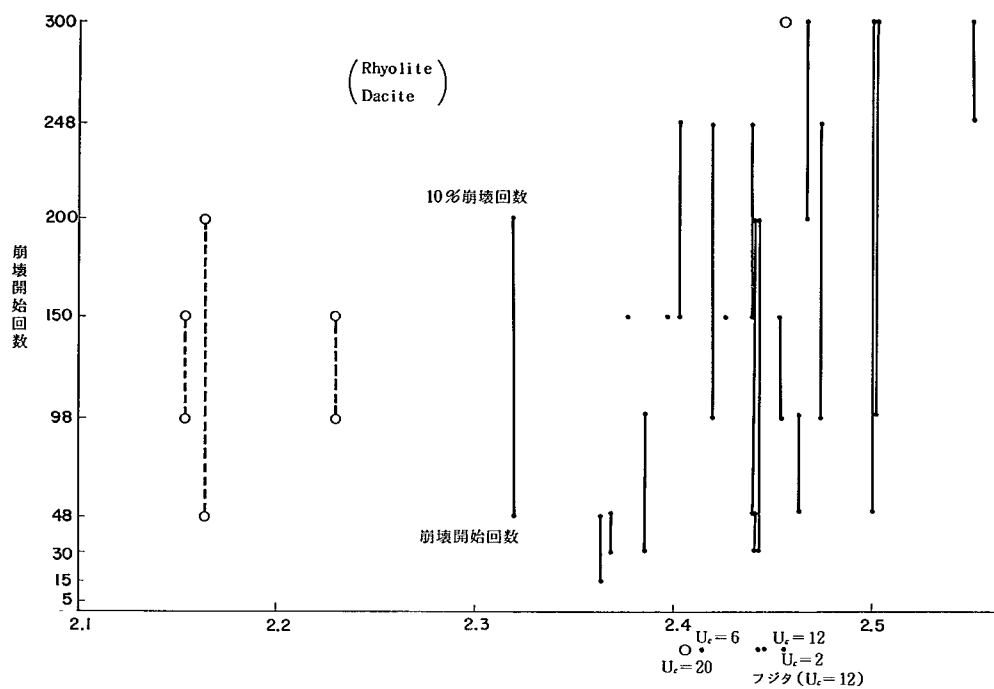


図-4.3 崩壊開始回数と絶対比重

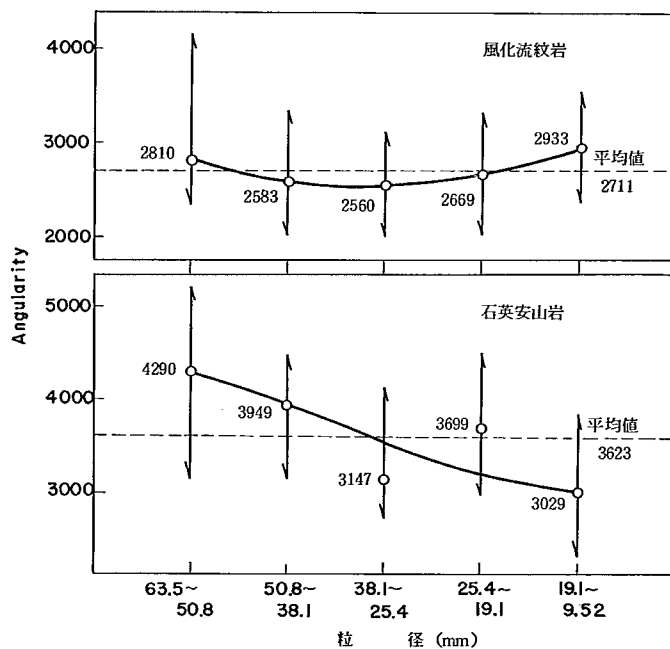


図-4.4 Total degree of angularity

4・2 締固め試験

締固め試験結果を図-4.5（加速度と間ゲキ比の関係）に示す。試料投入のみの間隙比を最大間隙比、加速度約3.4g、振動数1800rpmの時の間隙比を最小間隙比として求めた。 e_{max} と e_{min} の関係は図-4.6に示すように粒度がたってくると比較的 e_{min} が大き目の値つまりあまり締らない傾向を示す。とくに $U_c=2$ の場合顕著である。石英安山岩と流紋岩は大体同じ傾向を示す。 e_{max} 、 e_{min} と均等係数の対数の関係を図-4.7に示す。 U_c が大きくなるにつれて e_{max} 、 e_{min} は小さくなる。 $U_c=2$ の場合は図-4.6と同様に e_{min} が大きくなり締らないことを示している。

なお相対密度は前述した e_{max} と e_{min} の定義とTeryaghiの相対密度の定義から求めた。また e_{max}
 e_{min} の測定法は前述した通りであるがほぼASTMの基準と同一の方法である。

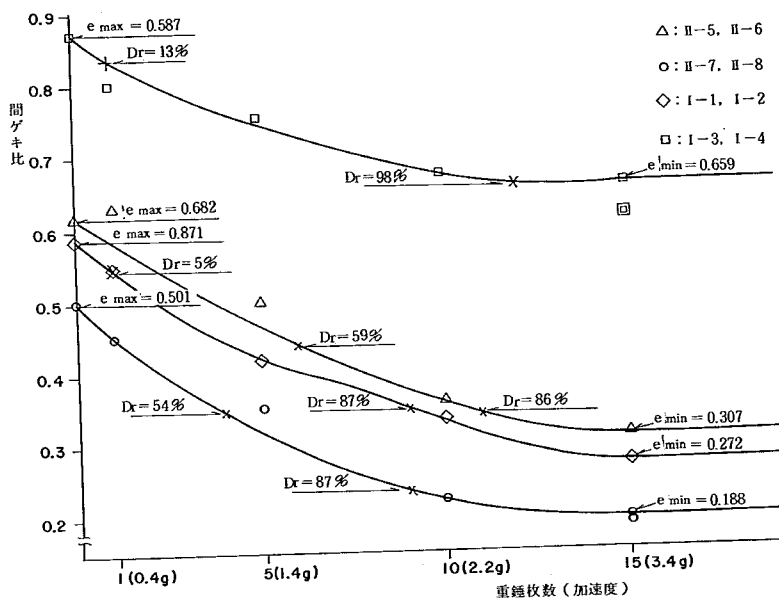


図-4.5 締固め試験結果

表-4.5 e_{max} e_{min} 表

ケース名	Gb	Q %	e_{max}		e_{min}		
			r_{dmin}	e_{max}	r_{dmax}	e_{min}	t/m^3 + 静荷重
(Rhyolite) I-12 $U_c=12$	2.446	2.4	1.527	0.602	1,926	0.270	
I-3, 4 $U_c=2$	2.456	2.2	1.313	0.871	1,478	0.662	1,524
II-5, 6 $U_c=6$	2.415	3.3	1.448	0.668	1,819	0.328	
*** フジタ F-9, 10, 11 $U_c=12$	2.443	2.8	1.502	0.626	2,038	0.199	
(Dacite) II-7, 8 $U_c=20$	2.406	4.3	1.570	0.532	2,020	0.191	2,034

* 振動のみによる締固め

*** 振動+静荷重による締固め

*** バイブレーションによる締固め

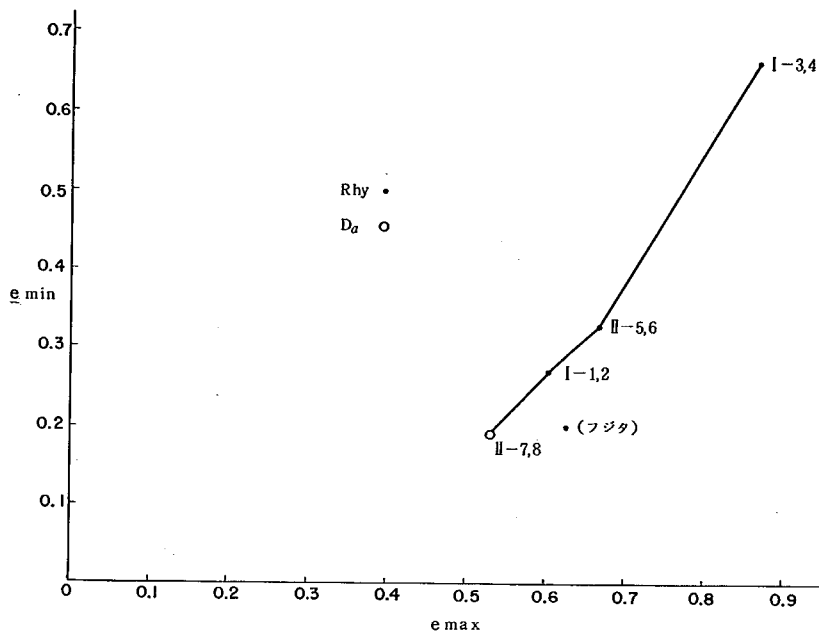


図-4.6 $e_{\max}$ と $e_{\min}$ 図

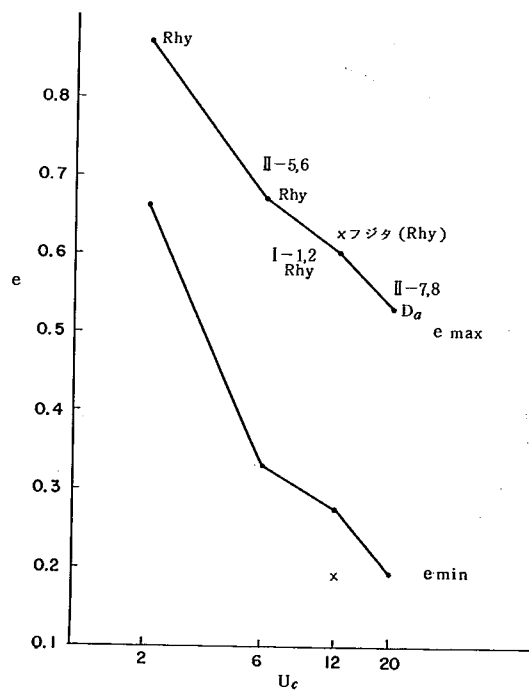


図-4.7 $e_{\max}$ と $e_{\min}$ と U_c の関係

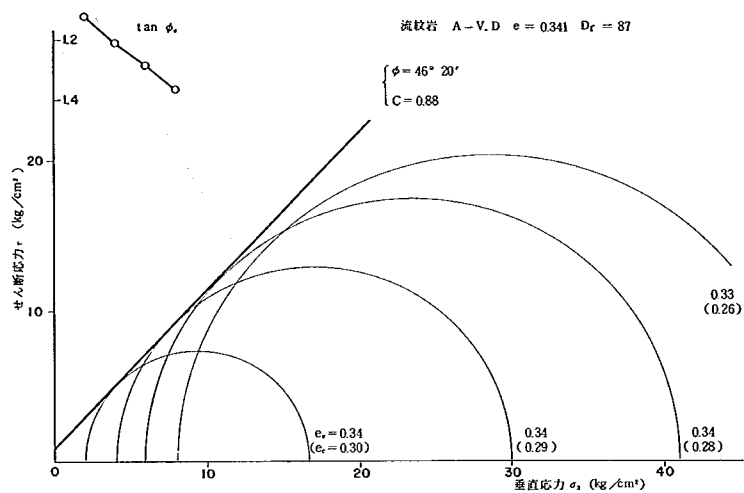


図-4.8(1) I-1

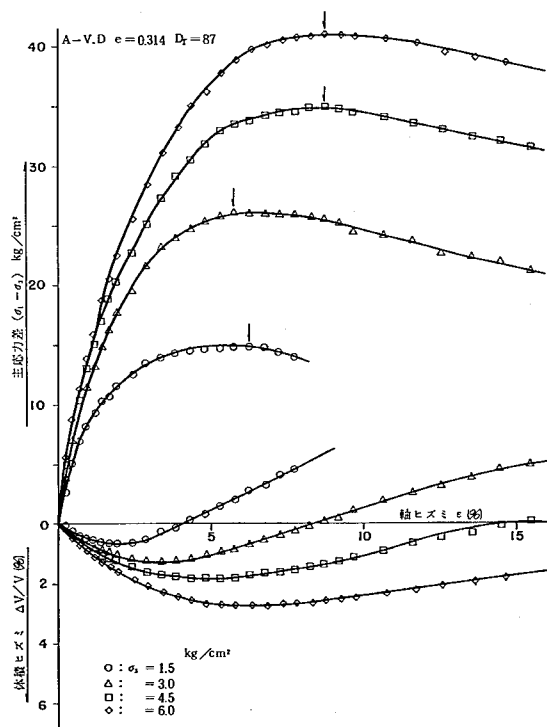


図-4.8(2) I-1

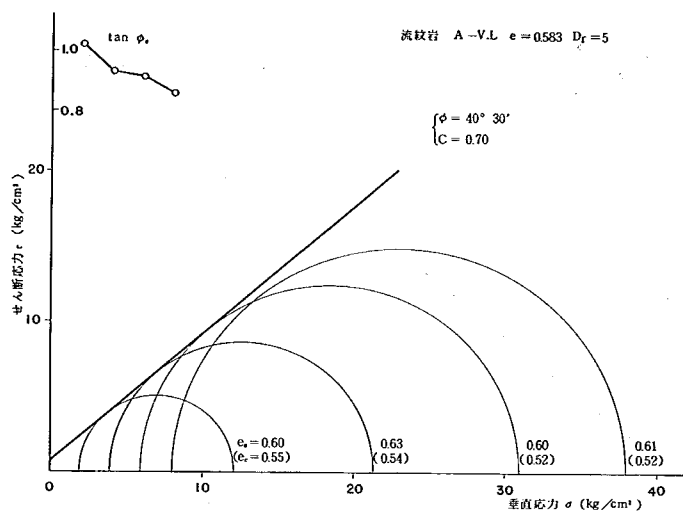


図-4.9 (1) I-2

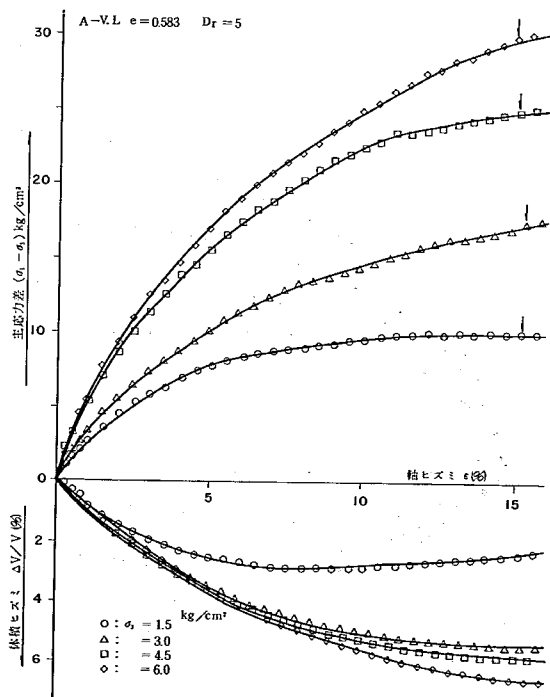


図-4.9 (2) I-2

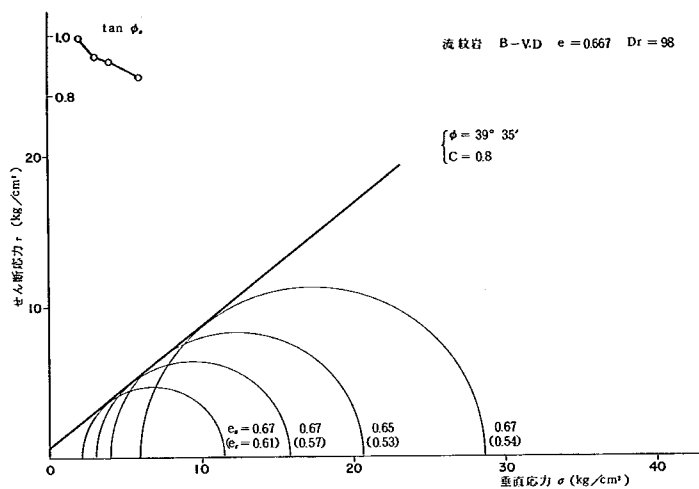


図-4.10(1) I-3

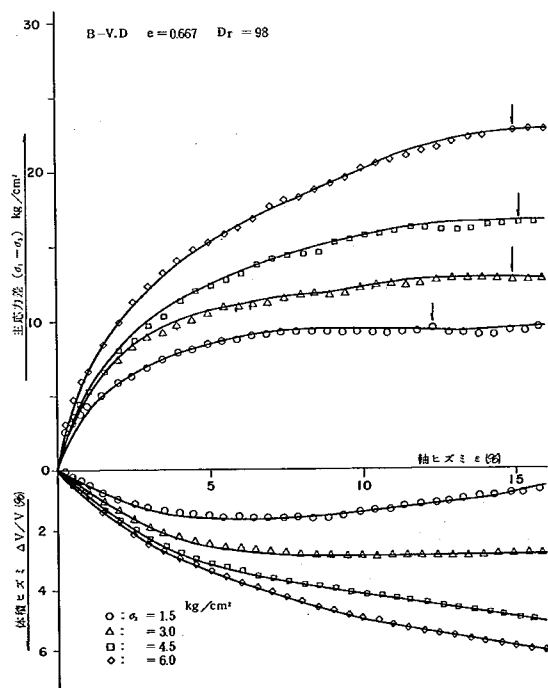


図-4.10(2) I-3

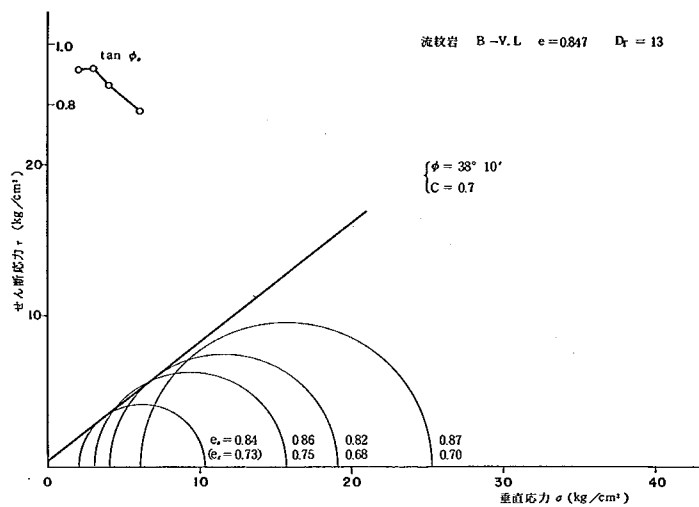


図-4.11(1) I-4

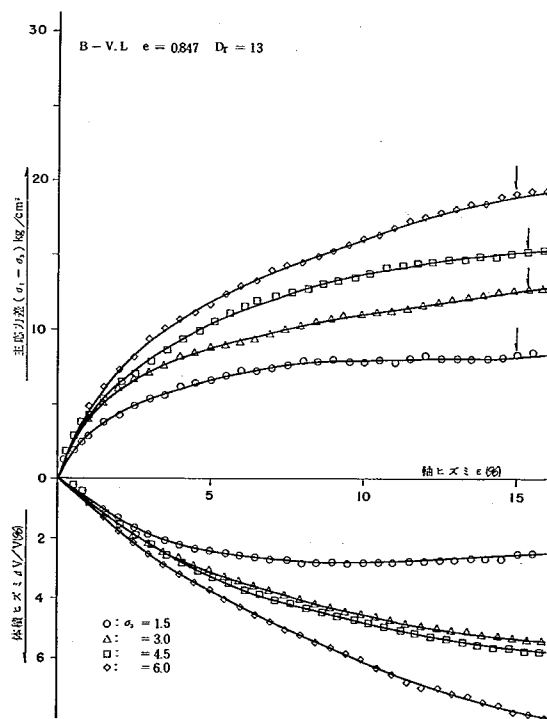


図-4.11(2) I-4

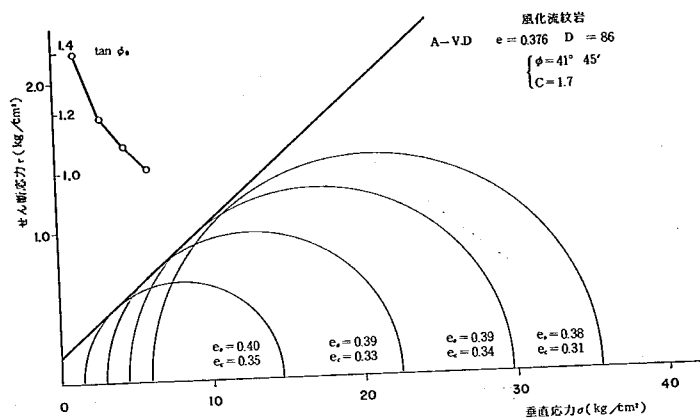


図-4.12(1) II-5

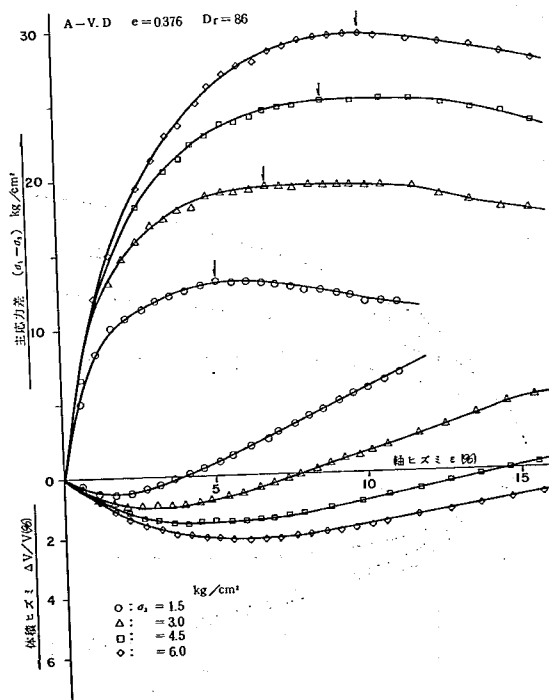


図-4.12(2) II-5

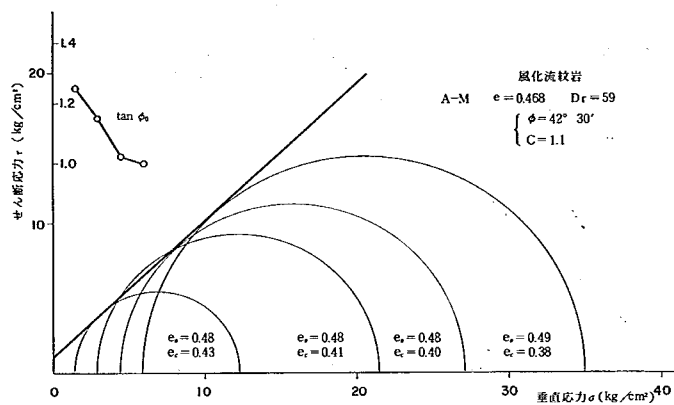


図-4.13(1) II-6

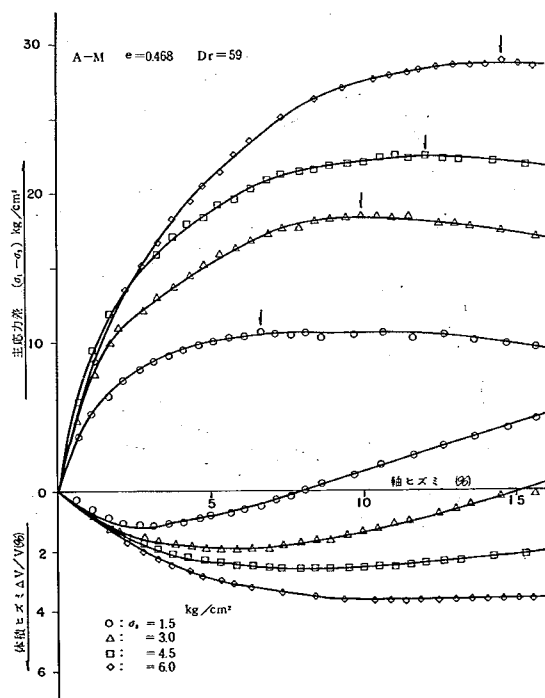


図-4.13(2) II-6

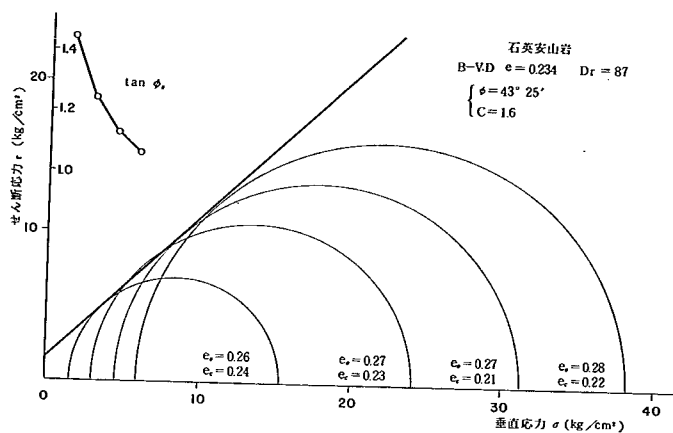


図-4.14(1) II-7

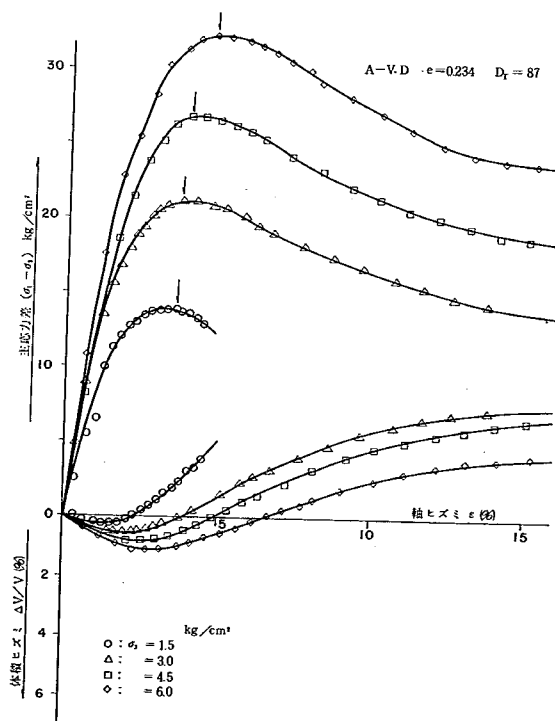


図-4.14(2) II-7

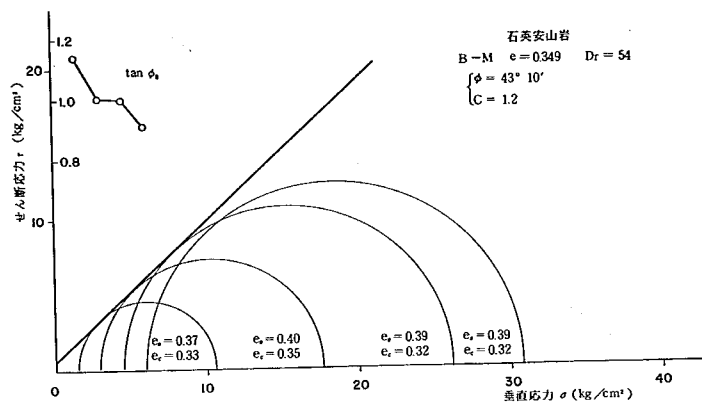


図-4.15(1) II-8

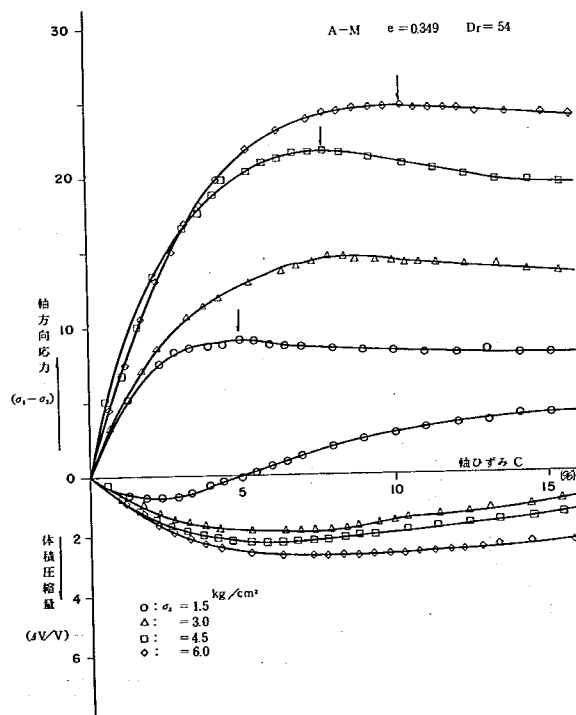


図-4.15(2) II-8

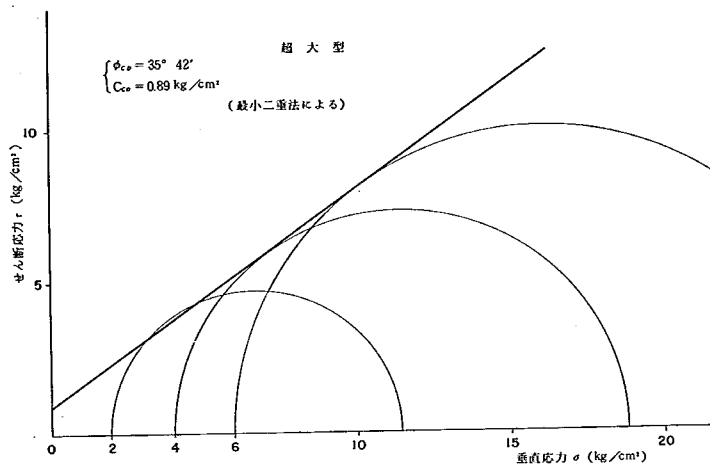


図-4.16(1) F-9

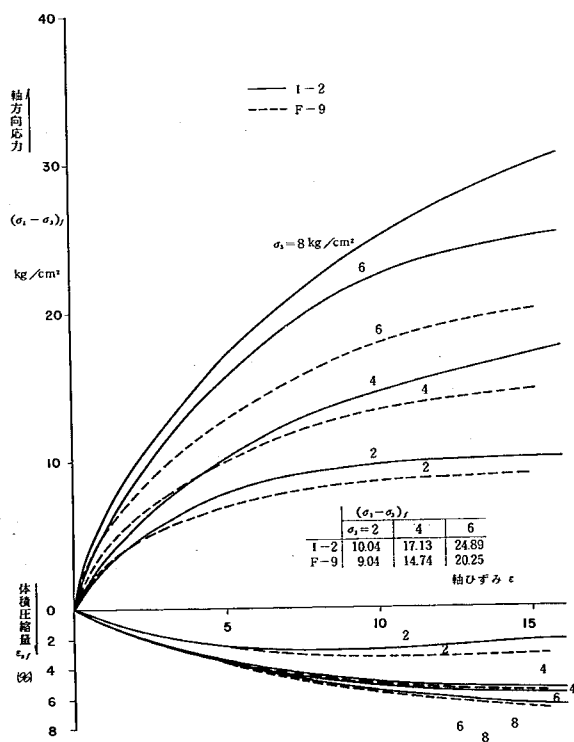


図-4.16(2) F-9

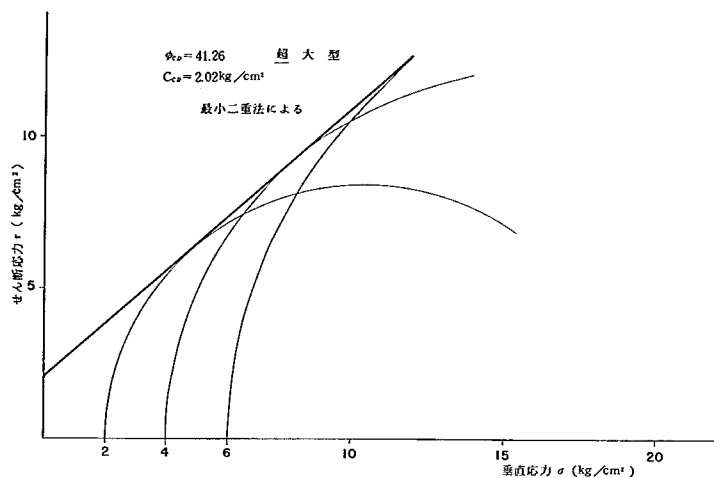


図-4.17(1) F-10

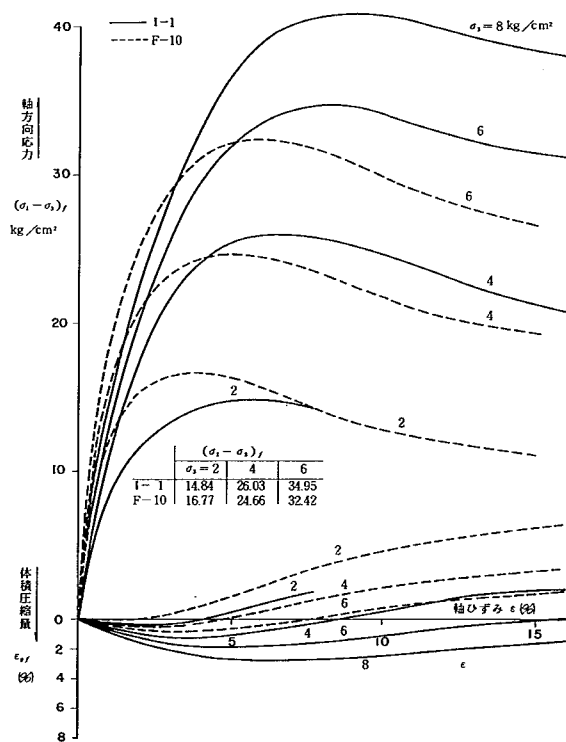


図-4.17(2) F-10

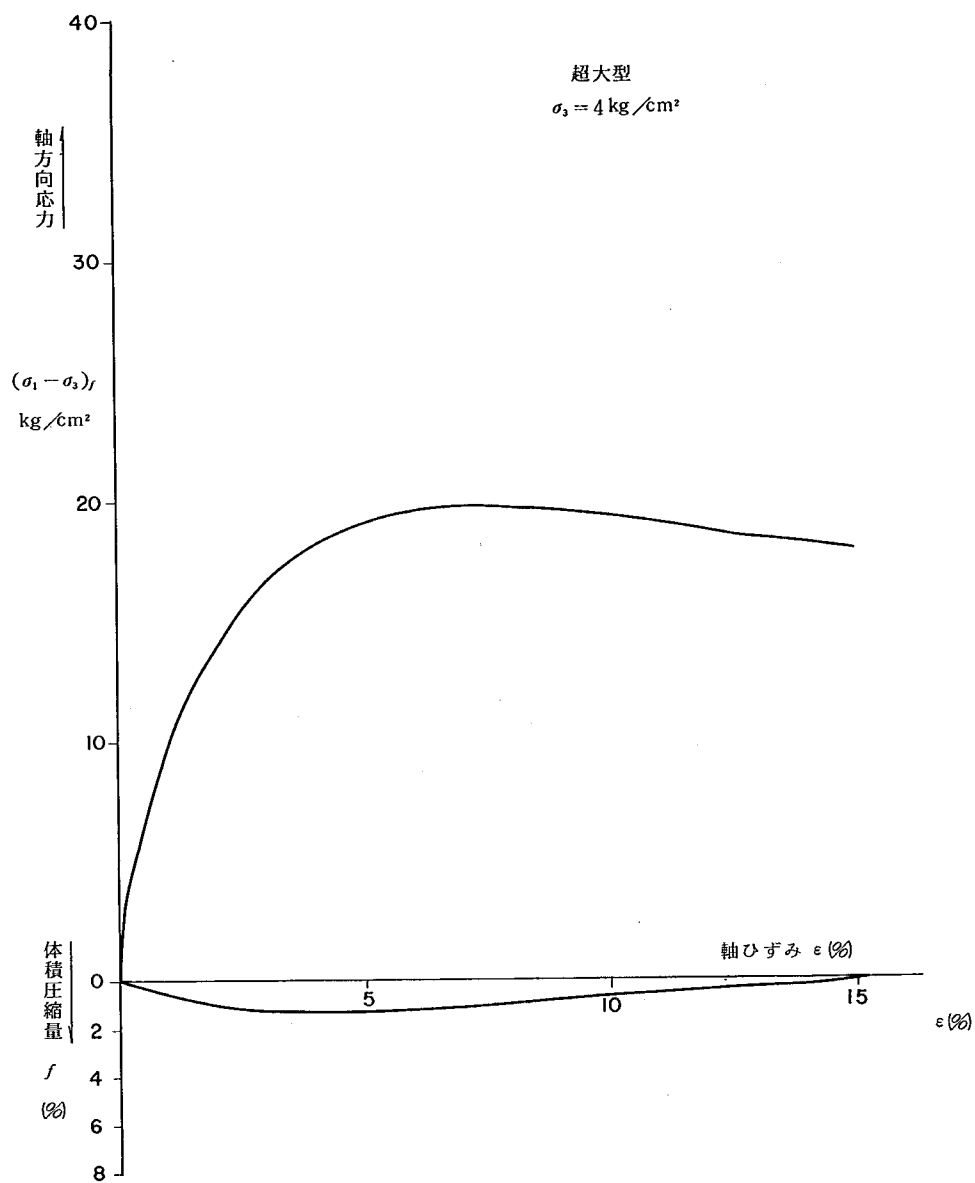


図-4.18 F-11

* Fはフジタのデータ

4.3 大型三軸圧縮試験

試験結果一覧表を表-4.1に示す。また、各ケースのモールの応力円と破壊包絡線と、応力～ひずみ曲線を図-4.8～図-4.18に示す。特徴は次の通りである。

1) モールの応力円の破壊包絡線は、I-3とII-6を除いて、 σ_3 が最も大きい値で若干($\sigma_1 - \sigma_3$) Peakが小さく曲線となる。また、I-4、II-6、II-7では $\sigma_3 = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ の($\sigma_1 - \sigma_3$) Peakが大きい。初期密度の差には有意な相違は認められない。あえて言及すれば、 $\sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ ではI-4とI-7が若干小さく、 $\sigma_3 = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ ではII-6が若干大きい。

2) ($\sigma_1 - \sigma_3$)のPeakが $\epsilon_a = 15\%$ を越えても現れないのは

I-2 $\sigma_3 = 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, \text{ kg/cm}^2$ $e_o = 0.583$, $Dr = 6\%$

I-3 $\sigma_3 = 4.0, 6.0, \text{ kg/cm}^2$ $e_o = 0.667$, $Dr = 98\%$

I-4 $\sigma_3 = 2.0, 3.0, 3.0, 8.0, \text{ kg/cm}^2$ $e_o = 0.847$, $Dr = 13\%$

の各ケースであり間隙化が0.5以上の場合である。締固めの度合としては $Dr = 98\%$ でも土質工学の教科書のようなstress-strain curveがPeakを持たない。但し $\sigma_3 = 2.0, 3.0 \text{ kg/cm}^2$ の時には、Peakがでている。これらのPeakを持たない場合は破壊の定義が($\sigma_1 - \sigma_3$)のPeak時というのがあてはまらず、15%での($\sigma_1 - \sigma_3$)の値を一応破壊したと考えてmohrの応力円から $\phi \cdot C$ の値を求めるのが慣例である。フィルダムの変形を考える場合15%というのは極めて大きい値であるこれらについて同一軸歪での各応力レベル毎の $\sigma_1 - \sigma_3$ からモールの応力円の接線から最小二乗法で求めた ϕ とCを図-4.19に示す。この図から15%近くになると ϕ の増加は減り一定値に近づく。このことからダムの安定計算の設計強度を求めるためには15%で安全側にあれば良いと言えよう。またこれらのケースでは15%の時のダイレタンスは σ_3 が大きい時では0に近いが正であり完全な塑性状態にはない。変形という意味ではかなり当初の供試体と異なり同一の土の要素とは考えられない点は問題といえる。

3) stress-strain curveで明瞭にPeakがでているのは $e_o < 0.4$ のvery Dense ($100\% \geq Dr > 85\%$)である。緩やかに増大していくのは前項で示したケースだけであり、その他のケースが大半である。これらを定量的に見るために、破壊時

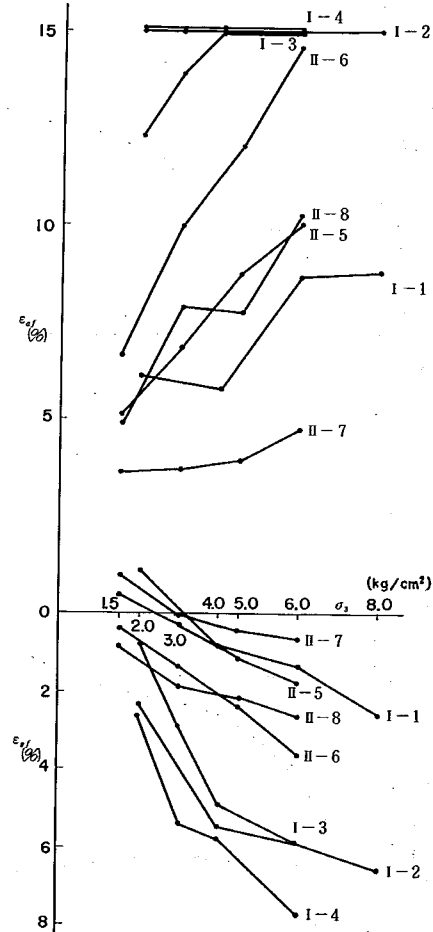


図-4.20 破壊時の軸歪と体積歪

の軸歪と体積歪に注目して見ると、図-4.20に示すように間隙比が大きくなると e_{af} , e_{vf} は大きくなる。Dr=54%のII-8は $e_o = 0.349$ と間隙比が小さいためII-SのDr=86%の場合と e_{af} はあまり変化ない。ただ相対密度が小さい方が各応力レベル毎の e_{af} を結んだ線が折れ線となり乱れた結果となっている。

4) 破壊時の体積変化が増加にあるか減少にあるかは表-4.1のダイレタンシー $(\frac{d\varepsilon_v}{da})_f$ で示されている。大半のケースが破壊時に体積膨脹にある。減少にあるのは

I-2 $\sigma_3 = 4.0, 6.0, 8.0 \text{ kg/cm}^2$ $e_o = 0.583$ Dr = 6 %

I-3 $\sigma_3 = 4.0, 6.0, \text{ kg/cm}^2$ $e_o = 0.607$ Dr = 98%

I-4 $\sigma_3 = 3.0, 4.0, 6.0 \text{ kg/cm}^2$ $e_o = 0.847$ Dr = 13%

でありI-2の $\sigma_3 = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ を除いて一致している。

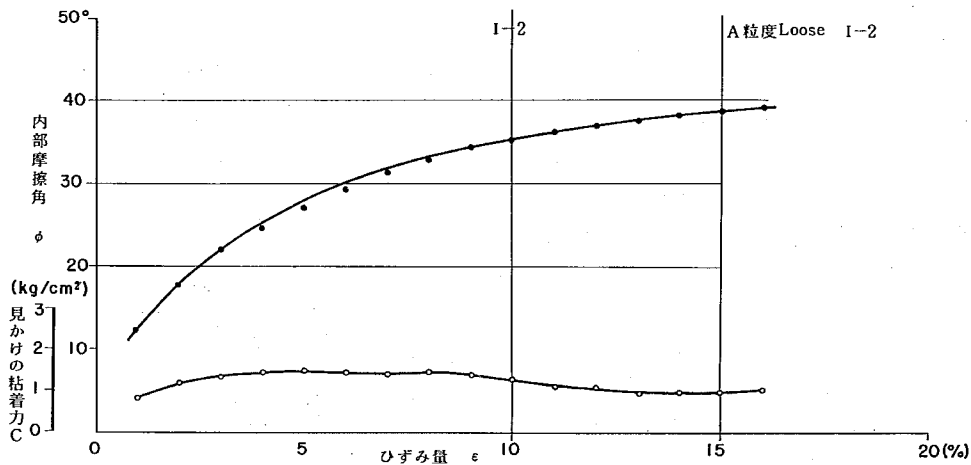


図-4.19(1) 各ひずみ毎の内部摩擦角

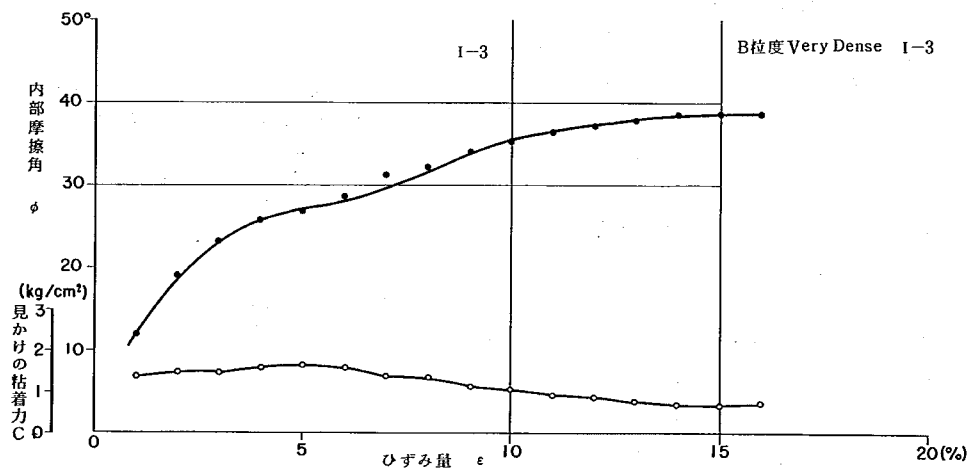


図-4.19(2) 各ひずみ毎の内部摩擦角

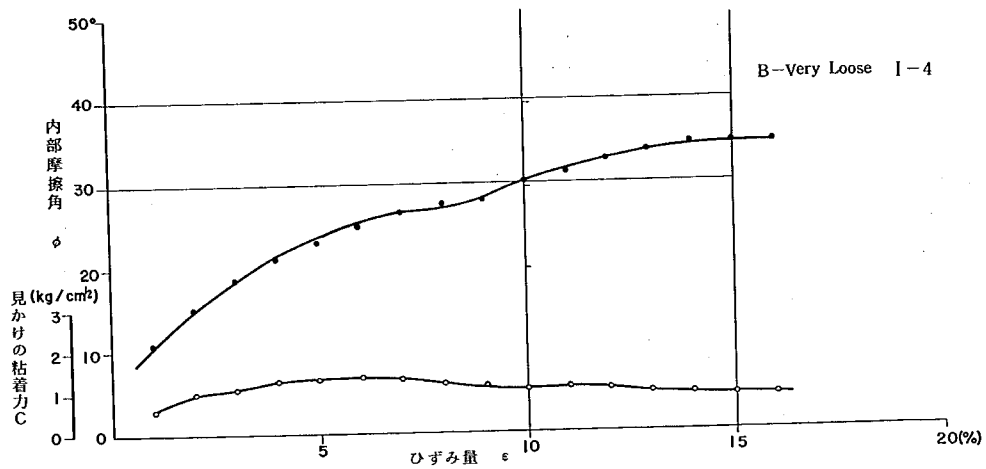


図-4.19(3) 各ひずみ毎の内部摩擦角

表-4.6 締固め加速度と破砕率

ケ ル ス	Uc	Dr (%)	e _o	Gb (Q) (%)	締 固 め 加 速 度 (g) 度	各締固め加速度の B ^{***} (%)			
						* 0.5 g	* 1.5 g	* 3.1 g	3.0 g ^{**} + 静荷重
(Rhy)									
I-1	12	87	0.314	2.446	2.8	4.6	-	7.5	-
2		6	0.583	(2.4)	0				
3	2	98	0.667	2.456	2.8	6.5	-	4.4	3.7
4		13	0.847	(2.2)	0				
II-5	6	86	0.376	2.415	3.1	-	2.8	3.7	-
6		59	0.468	(3.3)	1.9				
(Dac)									
7	20	87	0.234	2.443	3.1	-	1.9	2.7	3.0
8		54	0.349	(2.8)	1.7				

* 上載荷重 0.215 kg/cm² , 1800 rpm 480 sec

** 静圧 9.9 kg/cm²

*** B , Marsalの破砕率

F-10 (フジタ) の $r_d = 1.874$, $e_o = 0.304$, の破砕率 B = 3.0 %

5) 破碎率をMarsalのBで表示して締固め時のBを見ると、表-4.6に示すようにI-1,2の加速度3.1gで締固めた場合が極めて大きい値を示す。I-3,4の0.5gでも6.5gでも6.5%と大きい。I-1,2,3,4,は同質の岩であるがII-5,6のやや風化したものよりかなり大きい。三軸圧縮試験時の破碎率Bは表-4.1に示す通りである。(この値には締固め時のBも含む)。粘着力を無視した内部摩擦角 ϕ とBの関係を図-4.21に示す。 ϕ が小さくなると大体Bは大きくなる。 $\sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ であり ϕ との関係が明確でないのはII-7だけであり、Dolomite か Diorite の場合と異なるところである。I-3,4は均等係数が2であり、 ϕ の減少量が小さいにもかかわらず極めてBの増加量は大きいことが特徴といえよう。

破壊時の軸力 σ_{1f} とBの関係は図-4.22に示す。これから次のことがわかる。

- 均等係数が大きい方が破碎率は小さい。
- 同粒度同質の岩の場合 σ_{1f} とBの関係は比較的良く以てている。締固め程度との関係は明確でない。
- 岩質が劣る(Qが大きくGbが小さいもの)程破碎率は小さく締固め時と同様の傾向を示す。
- 一般に σ_{1f} が大きくなるとBは増加する。Ucが小さい程Bが大きくなる割に σ_{1f} は大きくならない。
- ϕ とBとの関係と同じく破碎率が増加すると破壊時の応力は減少すると言えよう。
- ϕ とBの関係と同様にII-7だけは $\sigma_3 = 4.5 \text{ kg/cm}^2$ と 6.0 kg/cm^2 のBの差がなくなっている。

初期間隙比と破壊時間隙比の差 $e_o - e_f$ とBの関係を図-4.23に示す。次の特徴があろう。

- e_o が大きいか $e_o - e_f$ は大きく、Drが小さい程 $e_o - e_f$ は大きい。
- $e_o - e_f$ が大きくなるとBは大きくなる。II-7だけは $\sigma_3 = 4.5 \text{ kg/cm}^2$ と $\sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ で $e_o - e_f$ とBともに σ_{1f} が変化しても変化しない。
- e_o が大きい程、Bの増加に対して $e_o - e_f$ の増分が大きい。逆に言うともよく締まっている程 $e_o - e_f$ の増分が小さいのにBの増分は大きい。

破壊時のダイレタンスとBの関係は図-4.24に示す特徴は次の通りである。

- ダイレタンスが大きくなると破碎率は増加する(これは σ_3 , $(\sigma_1 - \sigma_3)$ Peak が大きくなるからであろう)
- Bが増加しないのにダイレタンスが増加するのはII-7だけである。
- 図-4.21 ϕ とBの関係と同じになるのは当然であるが、同一粒度では e_o が小さく、相対密度の大きい方がBは大きい。

なお $(\sigma_1 - \sigma_3)$ Peak が 6 kg/cm^2 、または 8 kg/cm^2 で小さくなることとBの関係はII-7を除いてダイレタンスが増加しないのにBが増加していることと合致している。このように $(\sigma_1 - \sigma_3)$ Peak が $\sigma_3 = 6 \text{ kg/cm}^2$ で低下する事と関係が深い。

しかし、破碎をBで表示することについて検討すべき点もあろう。

- 内部摩擦角 ϕ と初期間隙比 e_o の関係を図-4.25に示す。ここに示す ϕ はモールの応力円の接線を最小二乗法により求めたものである。
- e_o が小さいと ϕ は小さい。
- Dacite は Rhyolite と比較して岩質も悪いので ϕ は小さい。

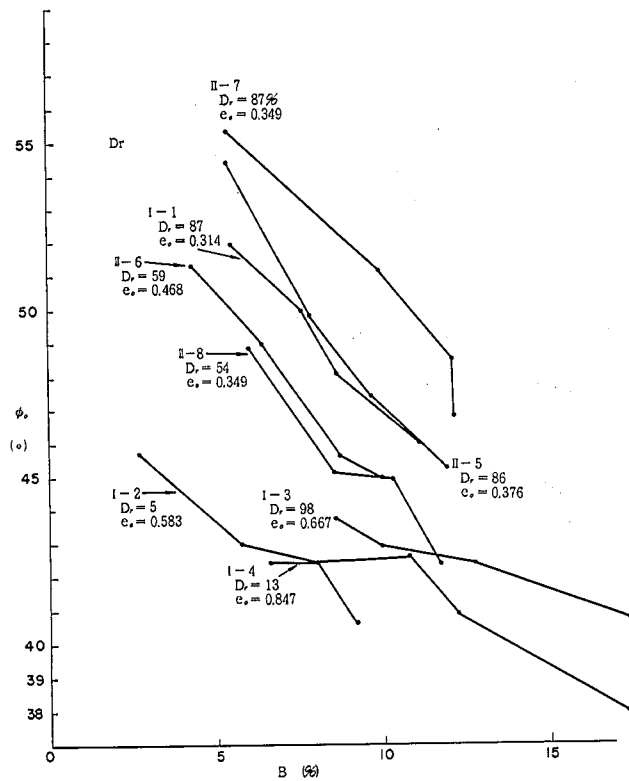


图-4.21 $\phi_0 - B$

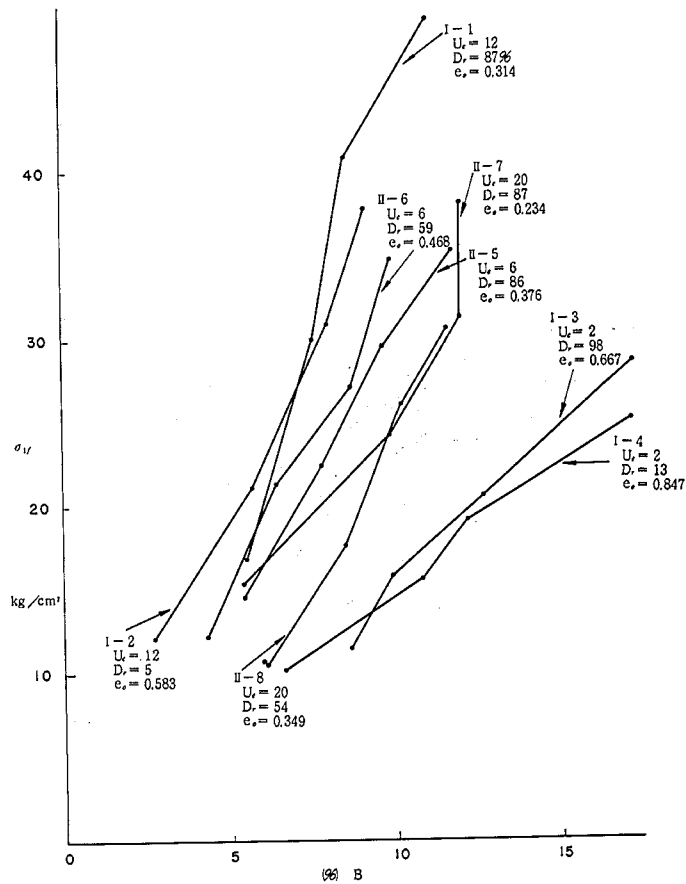


图-4.22 $\sigma_{1i} - B$

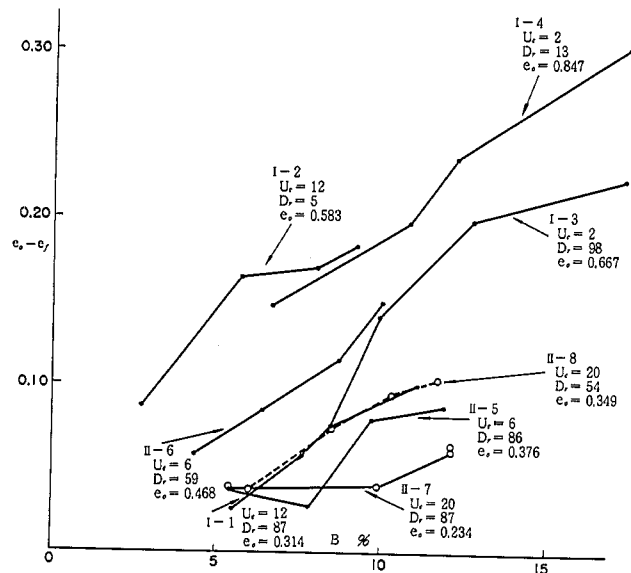


图 4.23 $(e_o - e_f) - B$

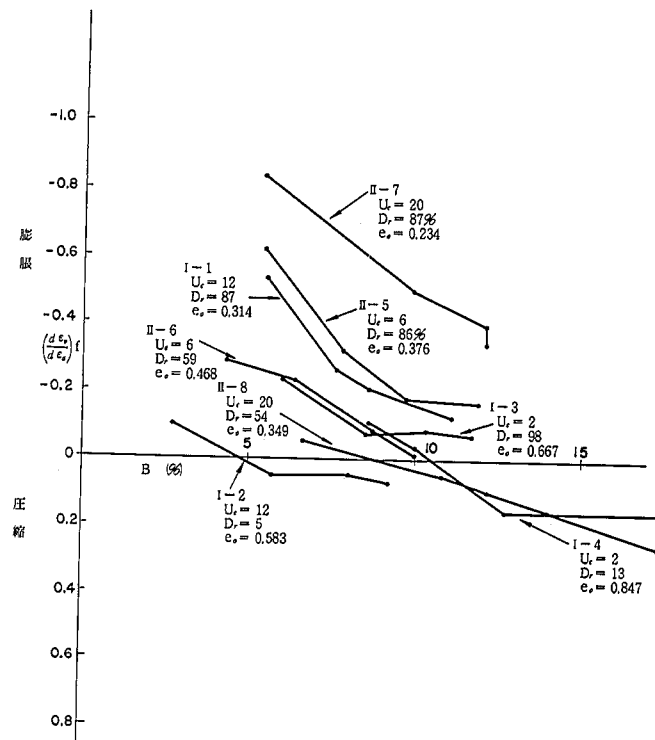


图 4.24 $(\frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_a})_f - B$

c) II-5とII-6が同質、同粒度の供試体にも拘わらず通常の ϕ と e の関係にないのは、図-4.29の ϕ と σ_3 の関係で高い σ_3 での ϕ の曲線の勾配があまりに緩やかなためである。この原因は明確でないが、 ϕ と σ_3 の関係と e の関係は通常の関係にあると言えよう。

d) Rhyouiteの中でも岩質が劣る程、 e は同じでも ϕ は小さい。

図-4.26は ϕ と相対密度 Dr の関係を示したものである。

a) 同じ岩質で同じ Dr でも粒度が悪いと ϕ は小さい。

b) I-5,6については前記の通り、5が若干小さく6が若干大きいように思われる。

図-4.27に最小二乗法で求めたmohrの応力円の接線の切片、粘着力・Cと初期間隙比の関係を示す。

a) 粘着力はかなり大きく $C = 0.7 \text{ kg/cm}^2$ 以上である。

b) 初期間隙比が増加するにつれてCは減少する傾向にある。

c) 均等係数とはあまりCは関係ないようである。

d) 岩質が良い方がCは小さい傾向にある。

e) I-3, 4はb)と異なる傾向を示す。粒度が悪いせいか、間隙比が大きいせいかよく理解できない。なお図-4.29の ϕ - σ_3 の関係ではI-4の勾配が急でCが大きくなることを示している。

f) 図-4.25のII-5,6の逆の傾向はCと e では示されない。

図-4.28はCと相対密度 Dr との関係を示す。

a) 相対密度が大きい方がCは大きい。

図-4.29は、各側圧 σ_3 毎のモールの応力円に原点から接線を求め、内部摩擦角 ϕ を算出し、 ϕ と σ_3 の関係を示すものである。この図はmohrの応力円の接線を直線とした場合の ϕ とCとの関係で言うと次の様になる。C、 σ_3 が0に近づくとき ϕ は ϕ_0 に近づく。Cが大きい程勾配は急になる ϕ が大きい程勾配は緩くなる特徴がある。図-4.29からは図-4.25～4.28と同様の関係が示されている。

表-4.7 大型と中型の比較 (比重)

φ 300 土研				Uc = 12		藤田 φ 600				
粒 径	表乾比重 Ga	絶乾比重 Gb	真 比 重 Gg	%		Ga	Gb	Gg	%	
200 ~ 150 ^{mm}						2.502	2.432	2.614	2.854	
150 ~ 100						2.522	2.472	2.602	2.024	
100 ~ 63.5						2.513	2.457	2.602	2.267	
63.5 ~ 50.8	2.499	2.455	2.569	1.8		2.509	2.439	2.623	2.875	
50.8 ~ 38.1	2.502	2.458	2.571	1.8	} 2.509	2.443	2.625	2.845		
38.1 ~ 25.4	2.501	2.456	2.593	2.2						
25.4 ~ 19.1	2.501	2.446	2.601	2.2	} 2.522	2.451	2.638	2.888		
19.1 ~ 9.52	2.505	2.446	2.599	2.4						
9.52 ~ 4.76	2.504	2.430	2.623	3.0	2.524	2.448	2.653	3.190		
4.76 ~ 2.00			2.654				2.648			
2.00 ~			2.662				2.680			
重みつき平均値	2.502	2.447	2.607	2.3	2.514	2.447	2.632	2.799		
	(19.1~9.52) ^{mm}				(50.8~25.4) ^{mm}					
D 50 平 均 値	2.505	2.446	2.599	2.4	2.509	2.443	2.625	2.845		

I-1はCが比較的小さいために勾配が緩くなっている。

- 1) 当試験の供試体の大きさは $\phi = 300$ mmである。同様の σ_3 一定試験を $\phi = 1200$ mmでフジタで行った。比重結果は次の通りである。比較はI-1, 2のケースについて行った密度は下記の通りでありほぼ一致した値である。

		r_d	e_o	Dr
I-1	中 型	1.862 t/m ³	0.314	87 %
F-10	大 型	1.874	0.304	75
I-2	中 型	1.545	0.583	6
F-9	大 型	1.532	0.595	7

締固め方法が異なるので、相対密度の比較を正確にはできないが参考までに列記した。間隙比を求める比重は表-4.7に示す通りで、岩質的には大型が良くなる。

吸水率で見ると大型が若干高く岩質的に若干異なることを示している。粒子形状は表-4.4に示すように大粒形になると塊状が増える傾向にある。粒度は $\phi 300$ での試験粒度を平行移動させ、max, sizeを $\phi 300$ で63.5 mm, $\phi 1200$ で100 mmとした。

- a) 図-4.16(2), 図-4.17(2)に応力歪曲線を示す。大型と中型の応力歪曲線は良く似た形をしている。密な場合の $\sigma_3 = 2$ kg/cm²を除いて $\sigma_1 - \sigma_3$ は中型が大きい。また側圧が大きい方が、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の差は大きくなる。この結果内部摩擦角は中型が大きく粘着力は小さくなる。

(図-4.25, 4.27)

- b) 図-4.32に破壊時の体積変化軸歪との σ_3 の関係を示す e_{af} , は中型が大きく(密な場合), ピークがはやくて傾向にある。若干の間隙比の差がでていいるのかも知れない。

e_{vf} については初期間隙比の差と思われるただ $\sigma_3 = 2$ kg/cm²(密な場合)は逆転している。

- c) 図-4.33は ϕ_o と σ_3 の関係を示す。中型が ϕ_o の値が小さくなっている。この図からはCが中型は小さいことが顕著にわかる。

- d) 最小二乗法で表示した内部摩擦角 ϕ と粘着力Cは図-4.25, 4.29に示す。中型が ϕ で2~3°高くCで0.1~0.5 kg/cm²小さい。

- e) 図-4.34に破壊時の主応力比 $R = \sigma_1 / \sigma_3$ とダイレクشنシーレート $D = (1 - \frac{d\epsilon_v}{d\epsilon_a})_f$ の関係を示す。F-10の $\sigma_2 = 2$ kg/cm²を除いて R/D が定数となりRoweの材料定数にあてはまる。この材料定数は粒形、試験機によって変化しないことを示している。

- f) 破壊時の軸応力 σ_{1f} と破碎率Bの関係は図-4.35に示す。前述したように中型の軸力 σ_{1f} が若干大きく、破碎率Bは小さい。

ϕ_o ($\sin \phi_o = \sigma_1 - \sigma_3 / 2 / \sigma_1 + \sigma_3 / 2$)とBの関係を図-4.36に示した密な場合ゆるい場合とも中型の方が小さいBを示す ϕ_o とBの関係は良く似ている。

ダイレクشنシーレートと破碎率とBの関係は図-4.37に示した。同じ関係にあるといえるが、初期間隙比の影響が大きい。

以上から σ_{1f} , ϕ_o , $(\frac{d\epsilon_v}{d\epsilon_a})_f$ との関係でともに中型の方が小さくなっており、最大粒度が大きい程内部摩擦角が大きくなる。

強度定数はモールの応力円の包絡線の描き方で異ってくる。表-4.8は3通りの方法で求めた強度定数である。低側圧を重視して求めると一般にCが小さくなり ϕ が増加する場合の ϕ と e_o , Drの関係を図-4.30, 31に示した。粘着力, すべり面での応力状態を考えるとこの図の ϕ から設計値を求めてもよいと考えられよう。

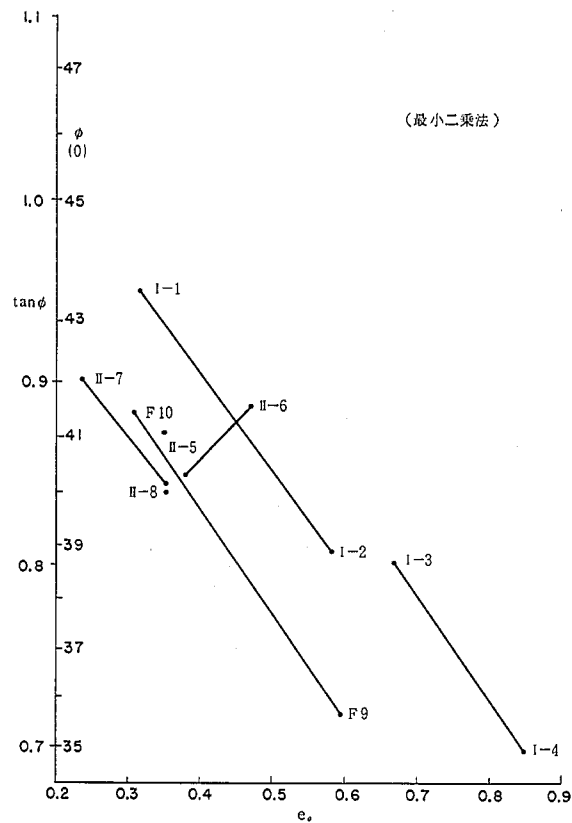


图-4.25 $\tan \phi - e_0$

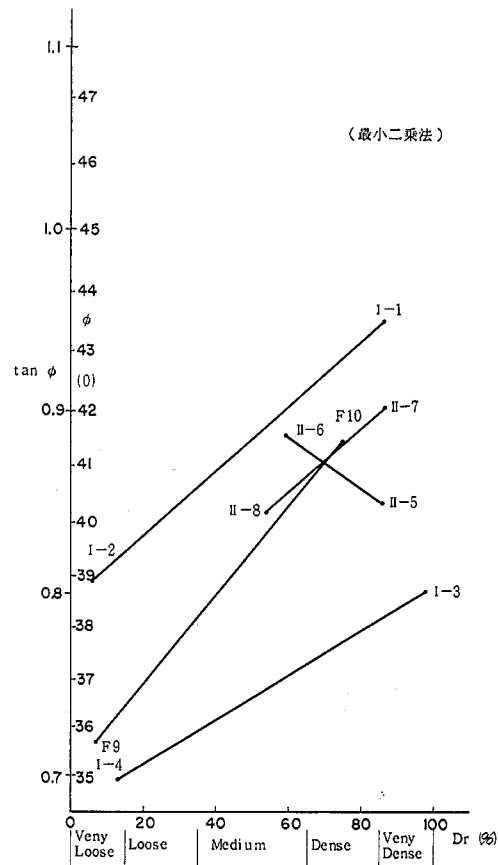


图-4.26 $\tan \phi - Dr$

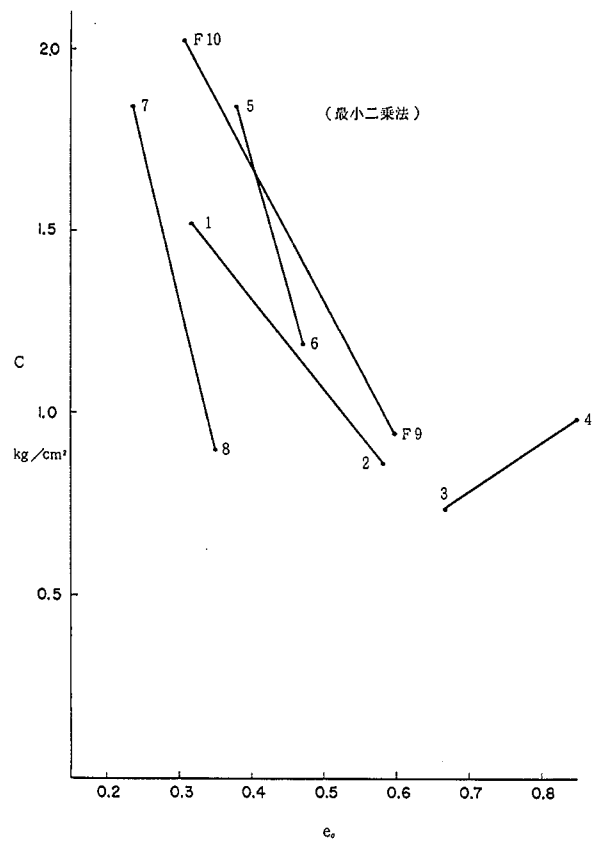


图-4.27 $C - e_0$

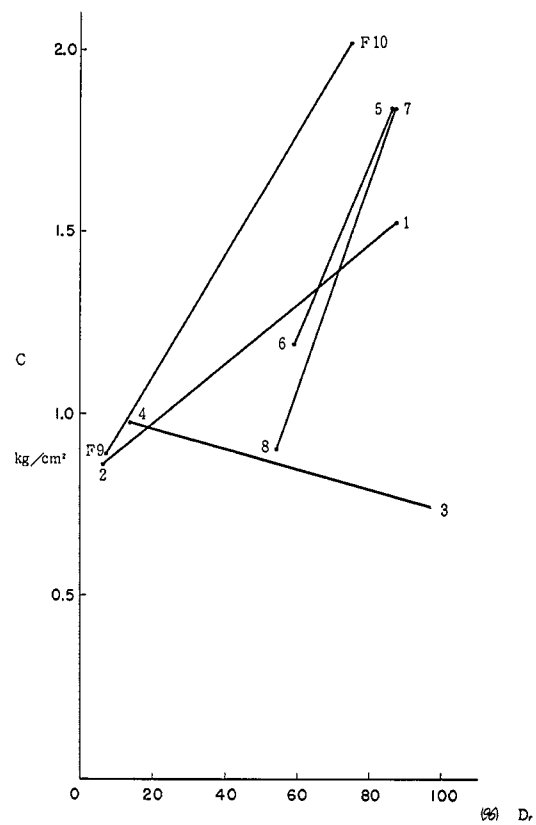


图-4.28 $C - D_r$

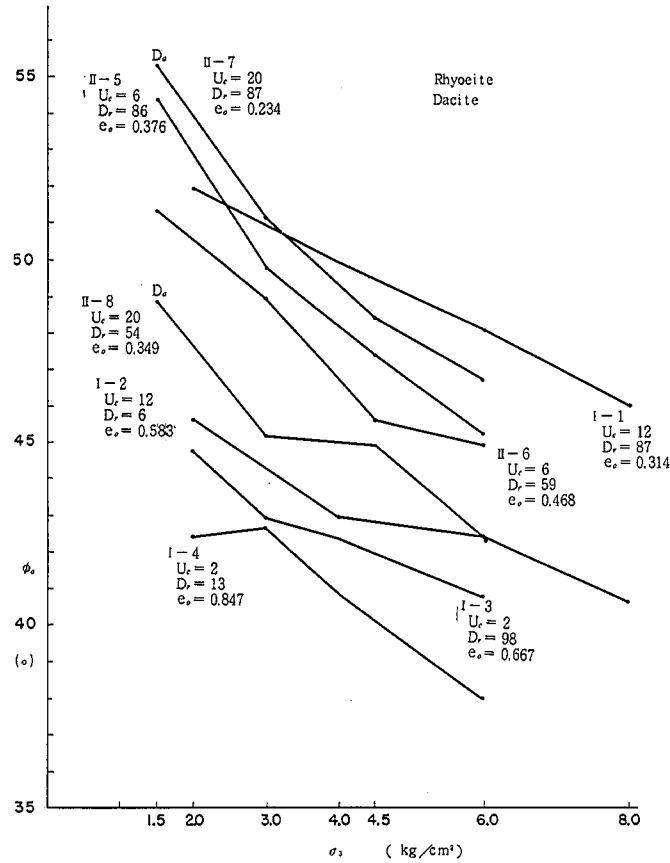


图-4.29 $\phi_0 - \sigma_3$

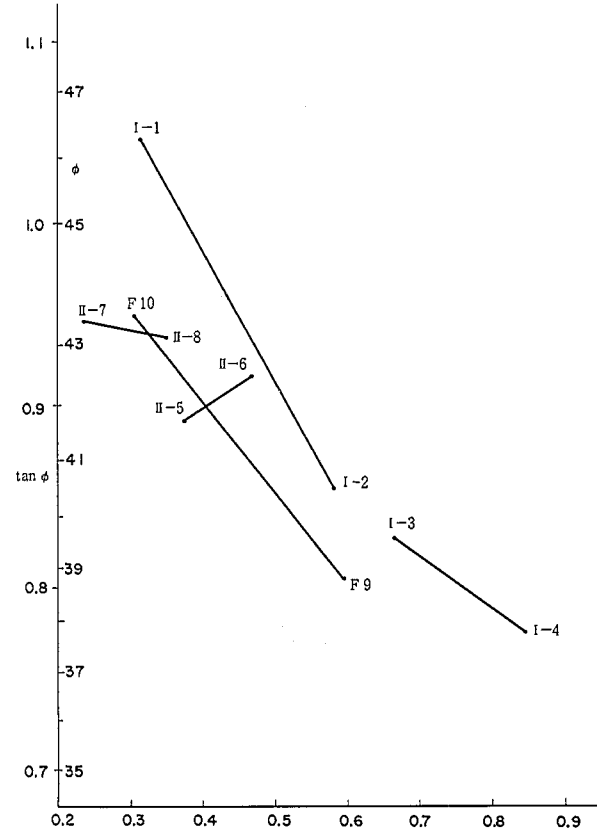


图-4.30 $\tan \phi - e_0$

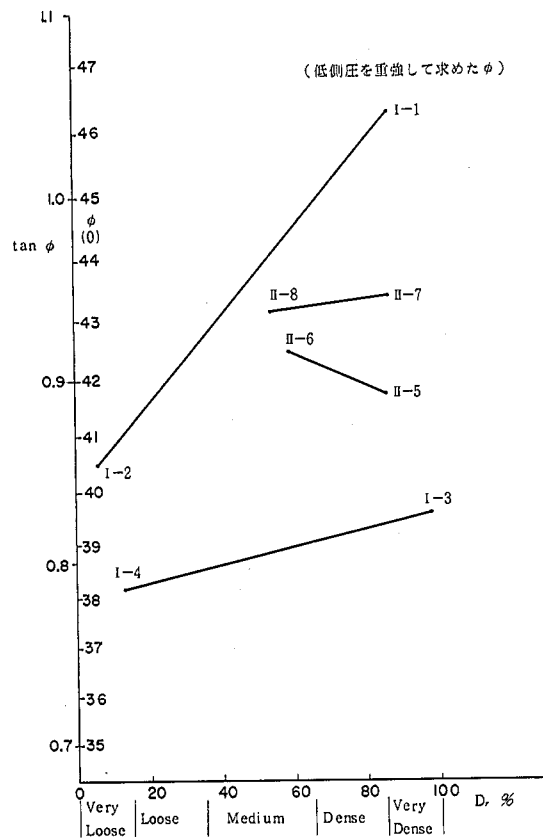


図-4.31 $\tan \phi - D_r$

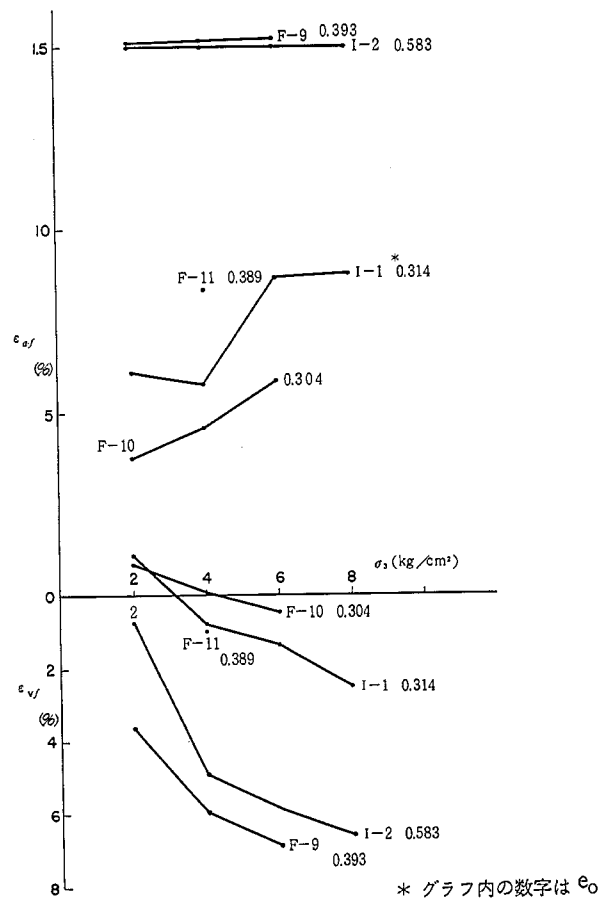


図-4.32 $\epsilon_{vf} - \epsilon_{af}$ と σ_3

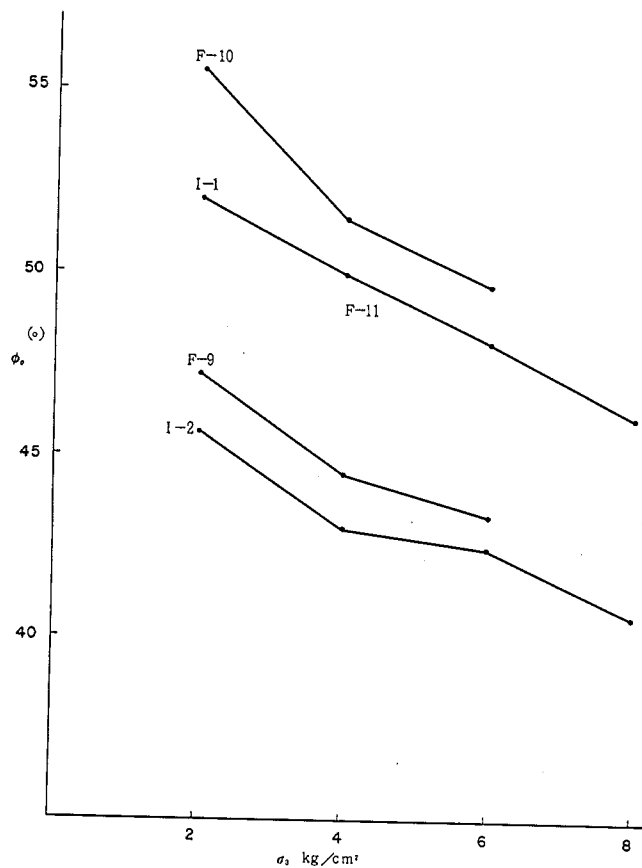


図-4.33 $\phi_0 - \sigma_3$

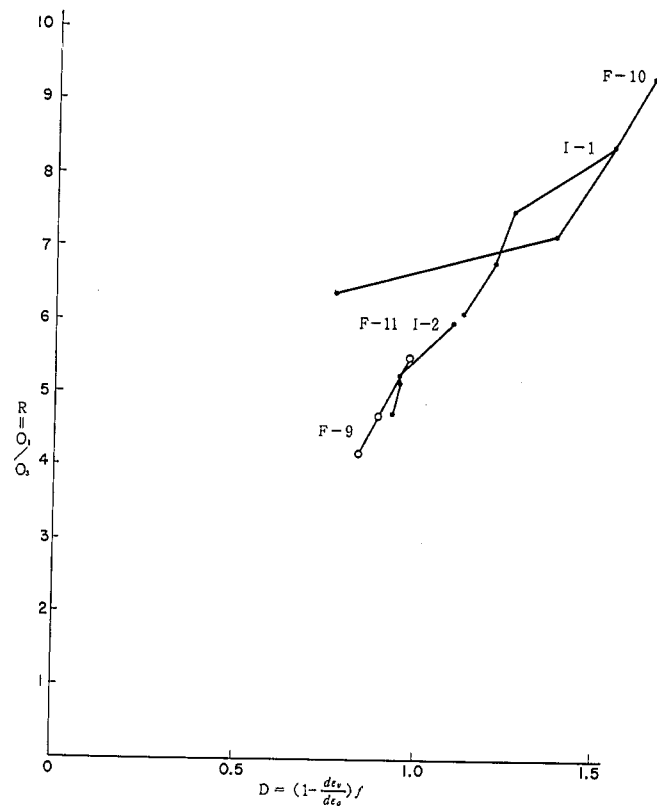


図-4.34 R と D

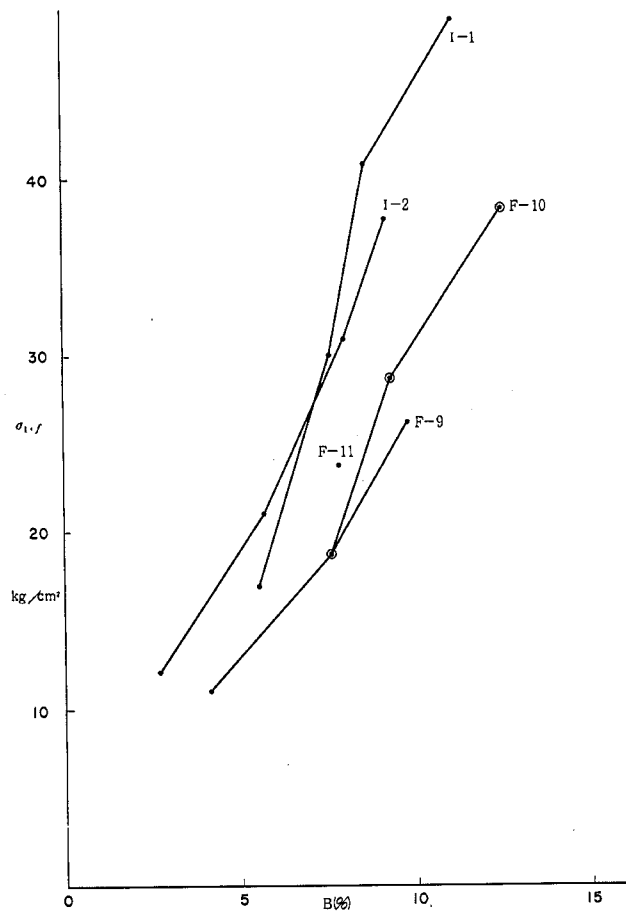


図-4.35 σ_{1f} と B

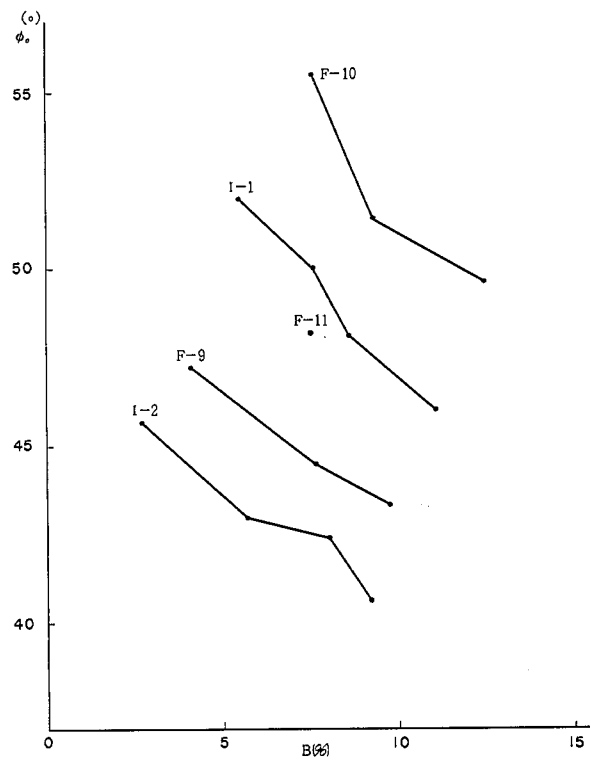


図-4.36 ϕ_o - B

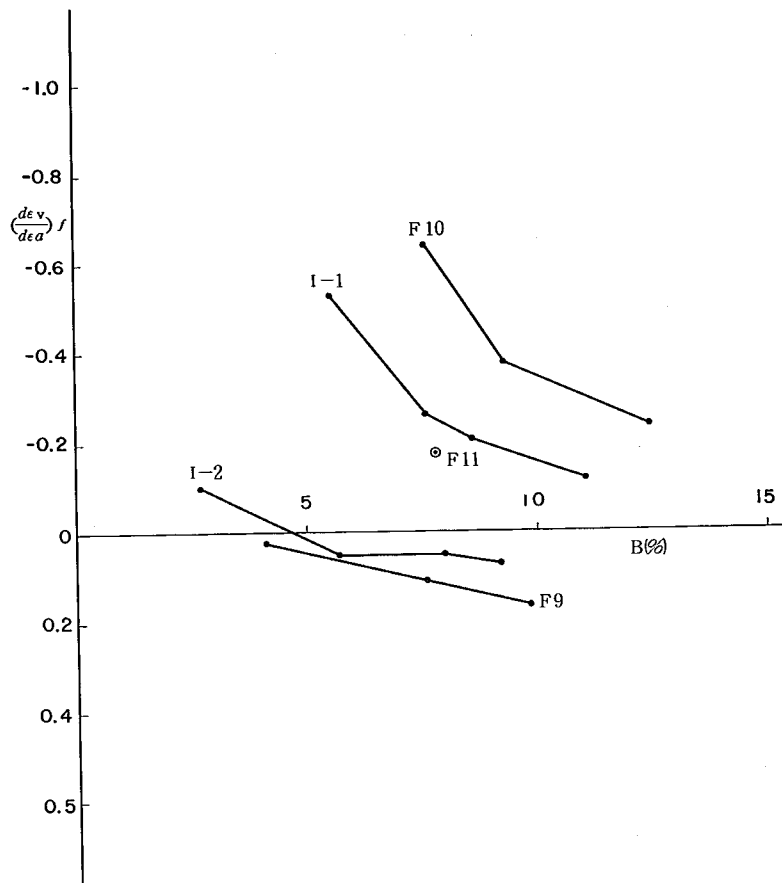


図-4.37 $(\frac{d\epsilon_v}{d\epsilon_a})f - B$

表-4.8 強度定数

岩種	粒度	相対密度 Dr(%)	ケース	初期間 ゲキ比 e_0	低側圧重視値		$\sigma_3 = 1.5, 6.0$ 値		最小二乘法値	
					ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C
流紋岩	Uc=12	87	I-1	0.314	46° 20'	0.8	43° 00'	1.2	43° 31'	1.52
		6	I-2	0.583	40° 30'	0.7	38° 45'	0.8	38° 55'	0.86
	=2	98	I-3	0.667	39° 35'	0.8	37° 55'	0.7	38° 42'	0.74
		13	I-4	0.847	38° 10'	0.7	34° 40'	0.8	34° 55'	0.98
風化流紋岩	=6	86	II-5	0.376	41° 45'	1.6	39° 55'	1.9	40° 21'	1.84
		59	II-6	0.468	42° 30'	1.1	41° 50'	1.1	41° 36'	1.19
石英安山岩	=20	87	II-7	0.234	43° 25'	1.6	42° 15'	1.6	42° 03'	1.84
		54	II-8	0.349	43° 10'	1.2	39° 35'	0.8	40° 11'	0.90

5. 考察および今後の課題

5・1 流紋岩と石英安山岩

1) 今回試験に用いた流紋岩は、 D_{50} で絶対比重 2.415～2.456 吸水率 2.2～3.3% で、さほど大きい比重小さい吸水率ではないが普通程度の材料である。試験結果から判断してロック材料として良質、堅硬な材料である。水および気象作用に対する耐久性については、凍結融解試験で、重量比 10% 崩壊回数が 100 回程度以上を基準にして見ると比重は 2.4 以上あればよい。リップラップ材としては、より比重の大きいのが好ましいがなお検討を要するところである。石英安山岩は、流紋岩と鉱物的には異なるが類似した岩である。提体材料としては数量的には少ないが、洪水吐の掘削ズリとして使用せざるを得ない材料である。材質としては岩石の物理試験のデーターが少いため、質と量の分布が明確でない。流紋岩、石英安山岩ともに岩質が悪くなると、内部摩擦角は低くなるので注意を要する。

2) 岩質の関係もあって現場粒度は変化することが多いと思われる。粒度が悪いと内部摩擦角が低くなることと、同じ締固めエネルギーでも締まらないので注意を要する。

3) 締固め後の破碎は粒度が小さいものが大きい傾向にある。

4) 内部摩擦角と初期間隙比の関係を図-4.30に相対密度との関係を図-4.31に示した。ロック材料として十分なせん断強度を持つと言える。

以上、今回試験した流紋岩と石英安山岩は、岩質、粒度、密度、せん断強さ、排水性、耐久性など質的にロック材料として適当である。

5・2 設計値の検討

以上の試験結果から表-5.1に示す設計参考値を求めた。

流紋岩、石英安山岩とも表の間隙比、相対密度で約 1% の余裕が見込れる。現場密度は表に示す値以上となると思われるので設計参考値として余裕のある値と言えよう。粘着力は慣例通り無視した。

表-5.1 七ヶ宿ダム設計参考値

ゾーン	材 質	乾燥密度 γ_d (t/m^3)	間隙比 e	相対密度 D_r (%)	絶対比重 Gb	内部摩擦角 ($^\circ$)	粘 着 力 kg/cm^2	備 考
ロック	流 紋 岩	1.85	0.34	85	2,473	41 $^\circ$	0	
	石英安山岩	1.93 *	0.29	85	2,486	41 $^\circ$	0	

* 設計計算上は $\gamma_d = 1.85$ で流紋岩と石英安山岩は同じとして考える。

品質管理では $\gamma_d = 1.93$ をとる。