

ISSN 0386—5878

土研資料 第1557号

土木研究所資料

フィルダム材料の性質に関する試験

昭和 55 年 3 月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright © 1980 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。

フィルダム材料の性質に関する試験

建設省土木研究所フィルダム研究室

播 田 一 雄
渡 辺 和 夫
小 川 優

目 次

1. まえがき	1
2. 試験目的	4
3. 試験内容	5
3.1 試験項目	5
3.2 試験装置	7
3.3 試験方法	8
4. 試験結果	11
4.1 物理試験	11
4.2 締固め試験	11
4.3 大型三軸圧縮試験	14
5. 繰り返し等方圧密と K_0 圧密試験	38
5.1 試験目的	38
5.2 試験概要	38
5.3 試験結果および考察	38
6. 試験結果および考察	47
6.1 考察および今後の課題	47
6.2 設計値の検討	47

1. ま え が き

三国川ダムは信濃川水系魚野川の右支川三国川に計画中の多目的ダムである。ダムは中央コア型ロックフィルダムで、ダム高 115.5 m、総貯水容量 2,750 万 m^3 、有効貯水容量 1,980 万 m^3 で洪水調節、かんがい、都市用水を目的とするダムである。ダムの流域図、平面図、標準断面図を図-1.1、1.2、1.3、に貯水池の諸元を表-1.1 に示す。

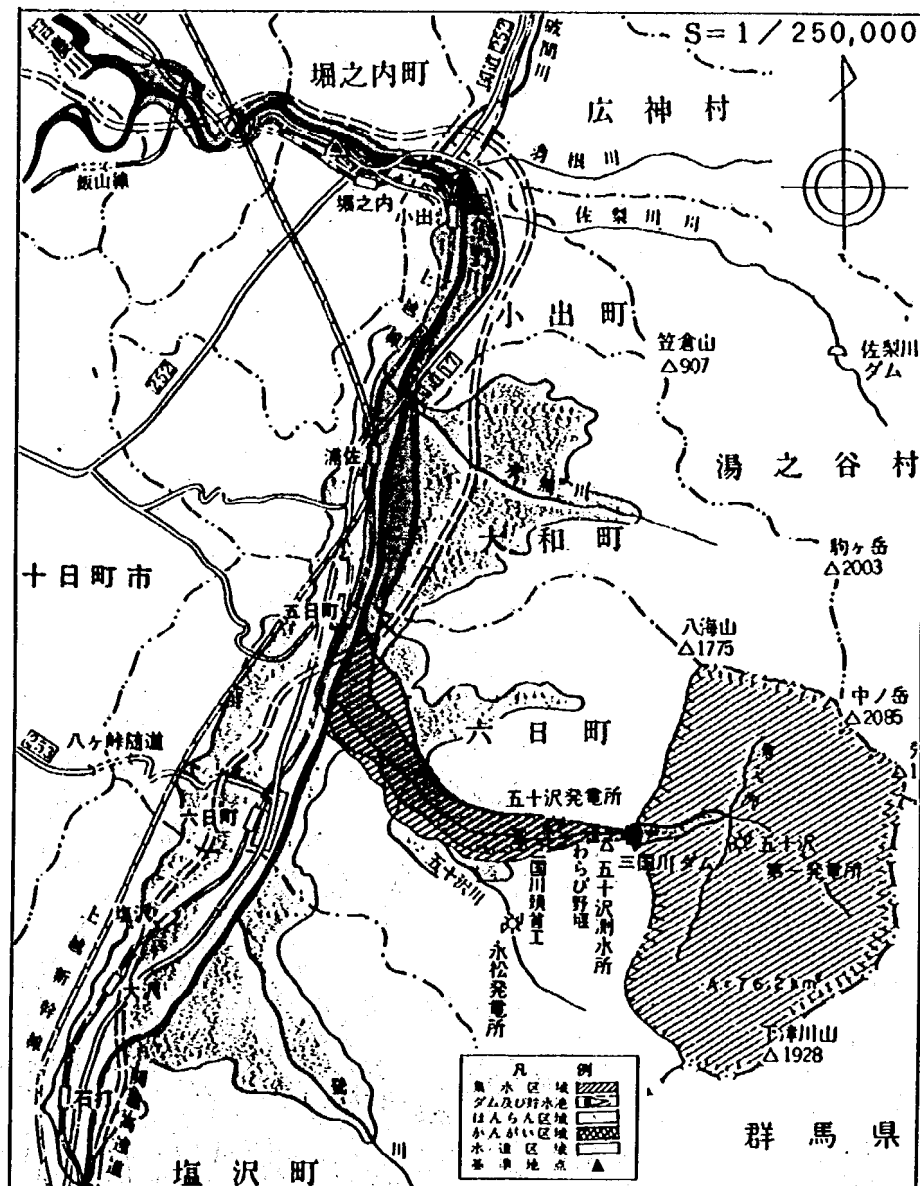


図-1.1 ダム流域図

本報告書は北陸地方建設局三国川ダム工事事務所の依頼によりダム堤体予定材料であるロック材（斑れい岩）について物理・力学試験を実施した結果を報告するものである。これらの試験は堤体材料としての適否を判定し使用可能材料については、これらが現場代表材料であるとして設計参考値・現場管理目標値を示すとともに今後の調査課題について考察を加えた。

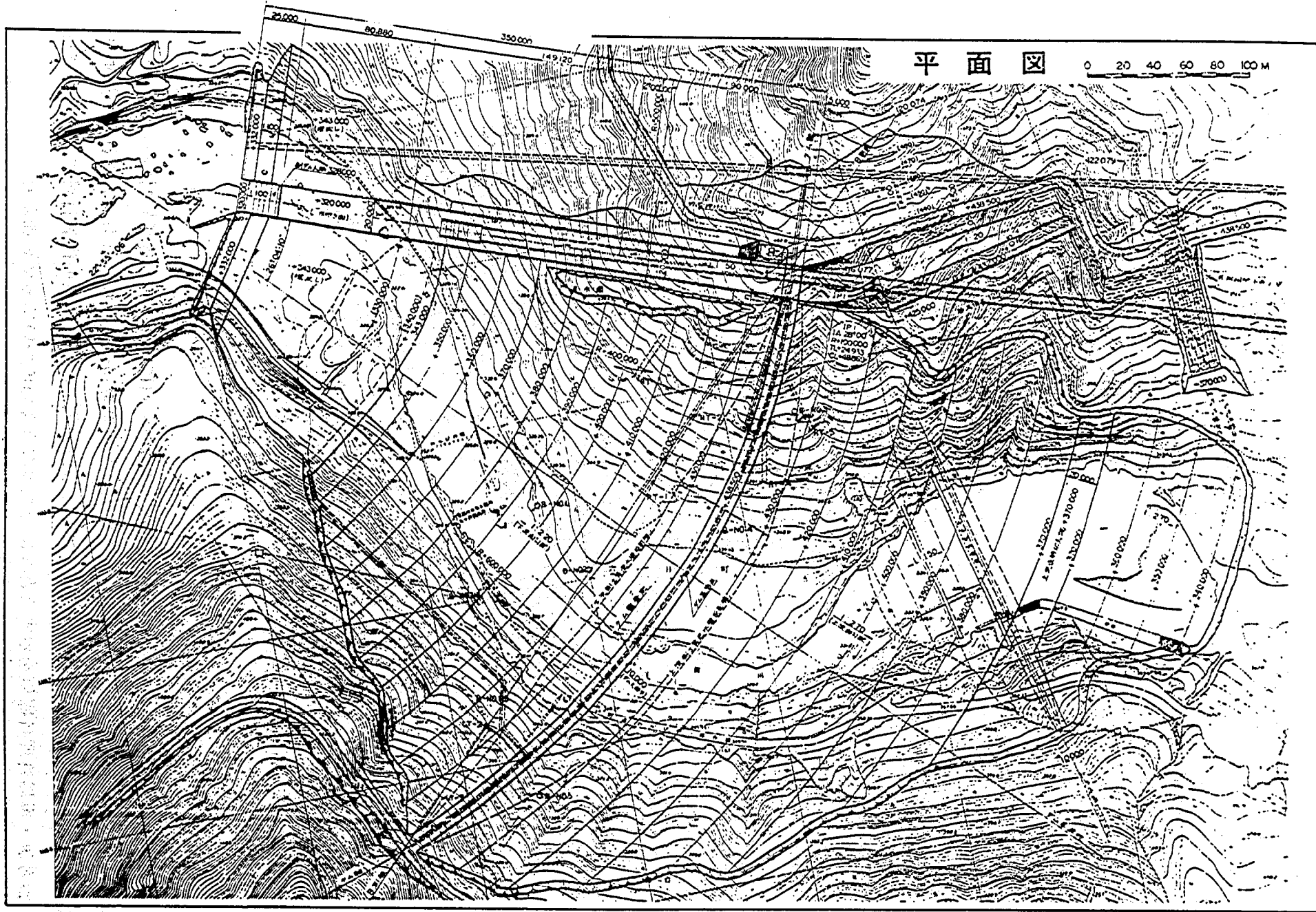
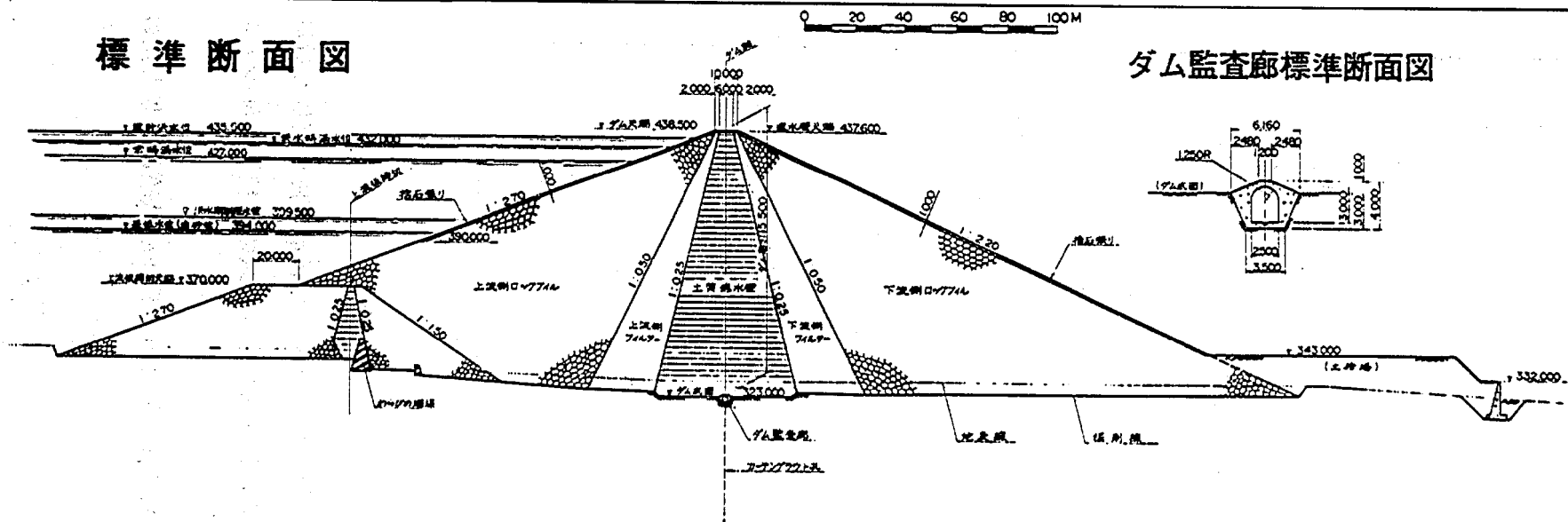
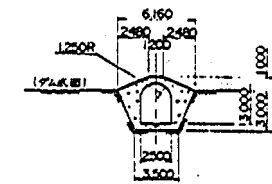


図-1.2 ダム平面図

標準断面図



ダム監査廊標準断面図



ダム軸展開図

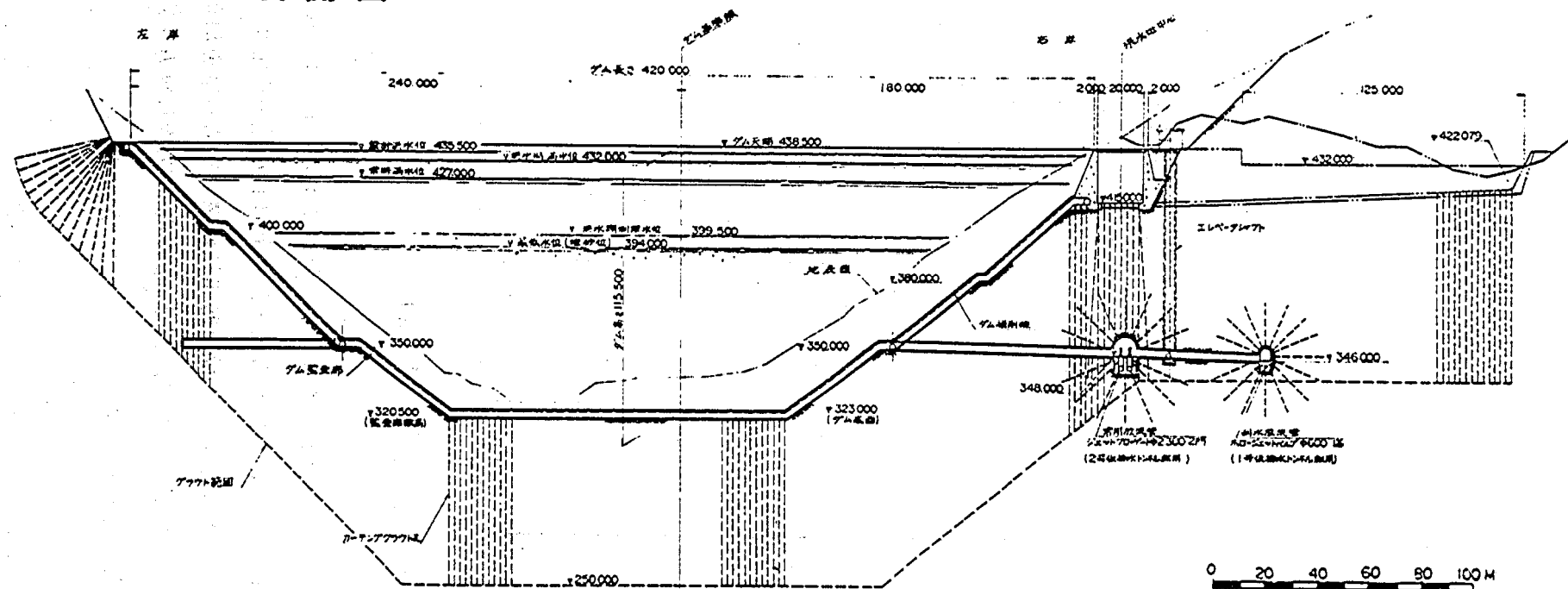


圖-1.3 ダム軸線標準断面図

表- 1.1 ダム及び貯水池諸元

位 置	新潟県南魚沼郡六日町わらび野地先		
総事業費	37,000,000千円	工 期	昭和52年度～昭和60年度

貯 水 池		ダ ム	
集 水 面 積	76.2 km ²	型 式	中央コア型 ロックフィルダム
洪 水 面 積	0.76 km ²	堤 頂 高	EL 438.5 m
洪水時満水位	EL 432.0 m	ダ ム 高	115.5 m
常時満水位	EL 427.0 m	堤 頂 長	420.0 m
計画堆砂面	EL 394.0 m	堤 頂 巾	10.0 m
総貯水容量	27,500,000 m ³	堤 体 積	7,214,000 m ³
有効貯水容量	19,800,000 m ³	堤体法勾配	下流面 1:2.2 上流面 1:2.7
堆 砂 容 量	7,700,000 m ³	越 流 設 備	横越流堰 L=125m
洪水調節容量	18,000,000 m ³	放 流 設 備	ホロージェットバルブφ0.65×1 ジェットフローゲートφ2.30×2
流水の正常な機能の 維持容量(洪水期)	900,000 m ³	計画高水流量	1,100 m ³ /s
水道用水容量(洪水期)	900,000 m ³	計画放流量	100 m ³ /s
地 質	斑 れ い 岩	調 節 流 量	1,000 m ³ /s

種 別	細 別	細 目	単位	数 量	備 考
一般補償	土 地	山 林	ha	104	
		原 野	ha	0	
	建 物	建 物	戸	5	
		立 竹 木	用 材 林	ha	4
			雑 木 林	ha	100
特殊補償	発電所1ヶ所、電気工作物1式				
補償工事	町道付替3.5km、その他				

2. 試 験 目 的

本試験の主目的はロック材料である斑れい岩の提体材料としての適否を判定し使用可能な材料については設計参考値・施工管理目標値を決定するために物理試験・粒度試験・締固め試験・大型三軸圧縮試験を行い前述した値を求め考察を加えた。

研究試験として、擬似 K_0 圧密・繰り返し等方圧密試験を行い従来の三軸圧縮試験の結果と比較し考察を加えた。

3. 試 験 内 容

下記の材料について以下に述べる試験を行った。なお採取位置は図-3.1に示す通りである。

材料採取地：新潟県南魚沼郡六日町大字舞台・畔地地先

試験材料：斑れい岩

採取横坑：LRT-2, LRT-3

試験時期：昭和54年6月13日～昭和54年8月31日

3.1 試 験 項 目

試験項目を表-3.1に示す。

試験項目を分類すると物理試験・粒度試験・締固め試験・大型三軸圧縮試験からなる。物理試験は含水比測定・比重および吸水量測定を行う試験で、粒度試験は締固め試験前後・大型三軸圧縮試験前後における試料のフルイ分け及び重量測定である。締固め試験は締固めエネルギー（重錘枚数）と間隙比の関係を測定し大型三軸圧縮試験の間隙比に対する締固めエネルギー（重錘枚数）を決定するものである。大型三軸圧縮試験では従来通りの等方圧密と新たに繰り返し等方圧密、擬似 K_0 圧密を行った後に、せん断試験を行い結果を比較した。

表-3.1 全 試 験 項 目

岩 種	試 験	備 考
斑れい岩 LRT-2 (II-3・4) LRT-3 (I-1・2・5・6・7) (C-8・9・10・11) (K-12・13)	物理試験・含水量・比重・吸水量	各粒径毎 D_{50} (平均粒径) で代表させた値
	粒 度 試 験	締固め試験後 (均等係数毎2点) 大型三軸圧縮試験後 (各側)
	締 固 め 試 験	振動締固め試験機による
	大型三軸圧縮試験	LRT-2 $U_c=12$ $D_r=68.88$ (※) $\left\{ \begin{array}{l} U_c=20 \quad D_r=34.83 \\ U_c=6 \quad D_r=75.89 \\ U_c=4 \quad D_r=90 \end{array} \right.$ LRT-3 $\left\{ \begin{array}{l} U_c=20 \quad D_r=79 * 1 \\ U_c=6 \quad D_r=72 \\ U_c=20 \quad D_r=28.72 * 2 \end{array} \right.$

* 1 繰り返し等方圧密試験

* 2 K_0 圧密試験

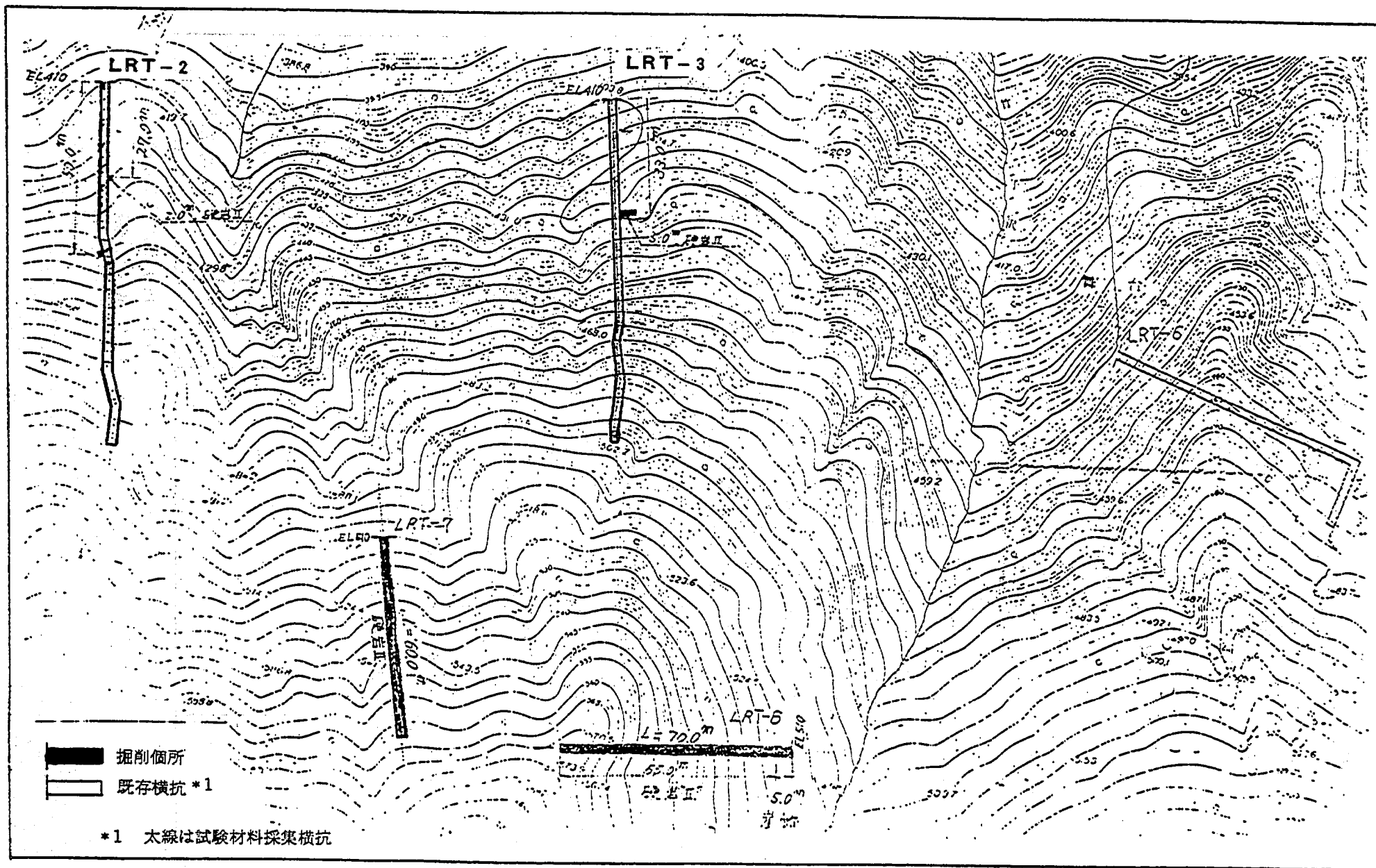


図 - 3.1 原石山平面図

3.2 試験装置

大型三軸圧縮試験機の測定可能項目および範囲は側圧 $0 \sim 30$ (kg/cm^2) , 軸方向荷重 $0 \sim 150$ (ton) , 軸方向変位 $0 \sim 150$ (mm) , 間隙水圧 $0 \sim 30$ (kg/cm^2) , 内体積および外体積 $0 \sim 10,000$ (cc) , である。

また本試験に使用した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, に示し, 本試験機の仕様を表-3.2 に示す。

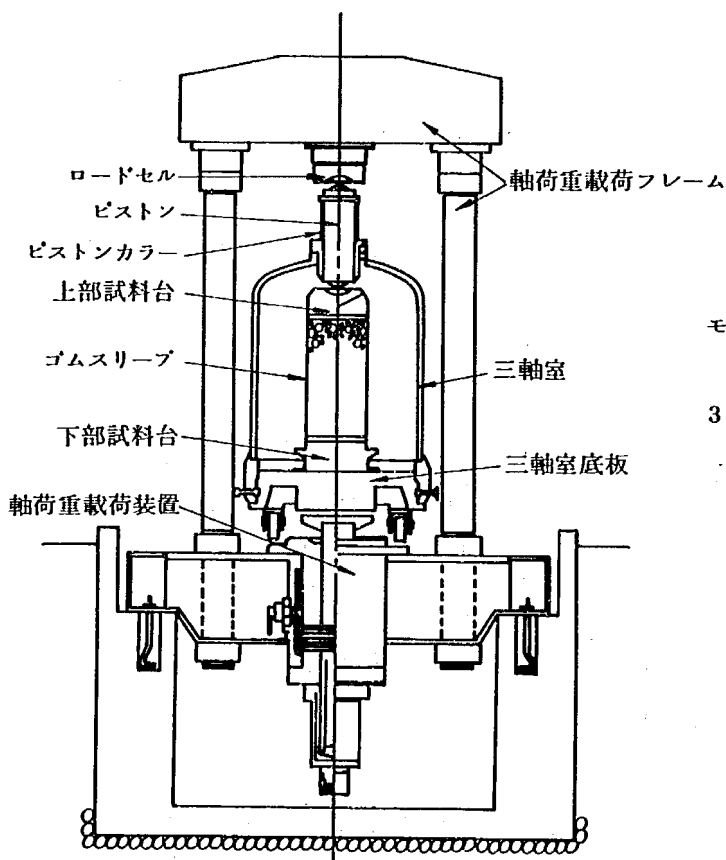


図-3.2 大型三軸圧縮試験機

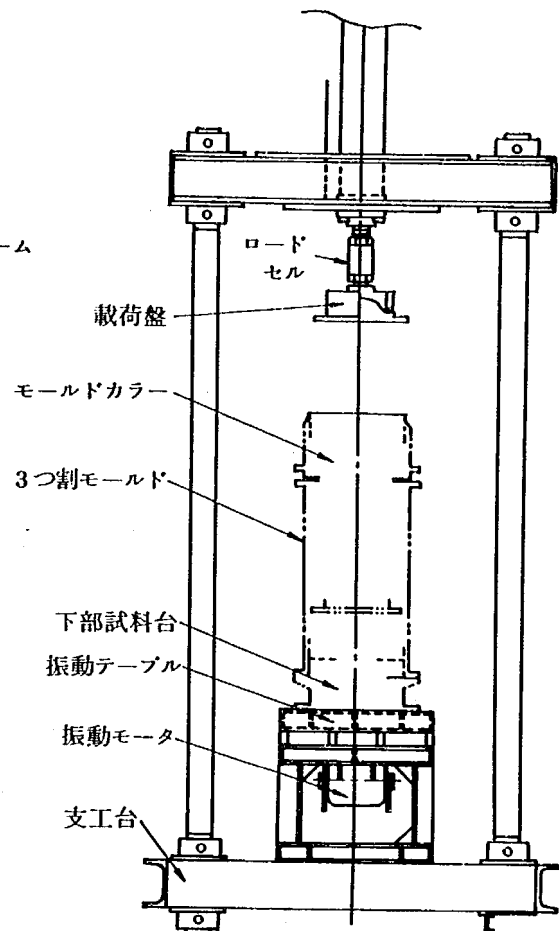


図-3.3 振動締固め試験機

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	D300×H600mm
	最大軸力	150ton ($\div 215\text{kg}/\text{cm}^2$)
	最大側圧	$30\text{kg}/\text{cm}^2$ ($\frac{\sigma_1 \text{ max}}{\sigma_3 \text{ max}} \div 7.2$)
	ひずみ速度	6mm/min (約1%)
	制御	ひずみ・荷重・応力
振動締固め試験機	最大静荷重	7ton ($\div 10\text{kg}/\text{cm}^2$)
	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

3.3 試験方法

現場搬入材料について含水量試験を行い含水比1%を超えるものは天日乾燥させ入念にフルイ分けを行った後で、以下に列記する方法および項目により試験を実施した。

1) 物理試験

含水量試験は、JIS・A・1203にて各粒径毎に行い、比重および吸水量試験は粒径4.76mmで分級し4.76mm以上は各粒径毎に粗粒材料の比重および吸水量試験(JIS・A・1100)により、4.76mm以下は土粒子の比重試験(JIS・A・1202)で行なった。浸水時間・炉乾燥時間は48時間とした。

2) 試料調整および試験粒度の決定

気乾状態(含水比1%程度)の材料を各粒径毎にフルイ分け(JIS・A・1204)供試体作成のための試料調整を行う。粒度分布については材料採取時の粒度分布を参考に表-3.3,図-3.4に示す粒度分布を決定した。なお三軸圧縮試験における最大粒径の決定は、最大粒径と供試体直径比が1:5以下になれば粒径効果によらず安定した値が得られると考えられるので63.5mmにした。

表-3.3 試験粒度分布表

ケース名 (U_c)	I-1, 2 ($U_c=20$)		II-3, 4 ($U_c=12$)		I-5, 6 ($U_c=6$)		I-7 ($U_c=4$)	
曲率係数 U'_c	1.7		1.9		1.7		1.4	
D_{60} mm (D_{10} mm)	19.0	(0.95)	23.0	(2.0)	26.5	(4.8)	30.5	(7.8)
粒 径 (mm)	加積通加率	残 留 率	加積通加率	残 留 率	加積通加率	残 留 率	加積通加率	残 留 率
63.5	100	0	100	0	100	0	100	0
50.8	94	6	94	6	91	9	91	9
38.1	86	8	84	10	80	11	78	13
25.4	72	14	66	18	57	23	49	29
19.1	60	12	50	16	42	15	34	15
9.52	40	20	30	20	21	21	14	20
4.76	28	12	18	12	10	11	5	9
2.00	17	11	10	8	4	6	0	5
0.84	9	8	3	7	0	4	0	0
0.42	4	5	0	3	0	0	0	0
0.074	0	4	0	0	0	0	0	0

3) 締固め試験

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)を変化させることにより三軸圧縮試験に用いる供試体の締固め条件(密度)を決定するために行う試験である。なお偏心重錘重量(重量は重り枚数によって変化させる)は $U_c=20$ では0, 1, 5, 10, 15枚, 15枚プラス静荷重, 他の粒度では0, 1, 8, 12, 15枚, 15枚プラス静荷重の条件で試験を行った。また振動時には試料の表面をおさえるため0.5kg/cm²程度の上載応力を, 15枚プラス静荷重では振動後各層毎に静荷重7t(約10kg/cm²)を加え試験を行った。締固め条件を表-3.4に示す。

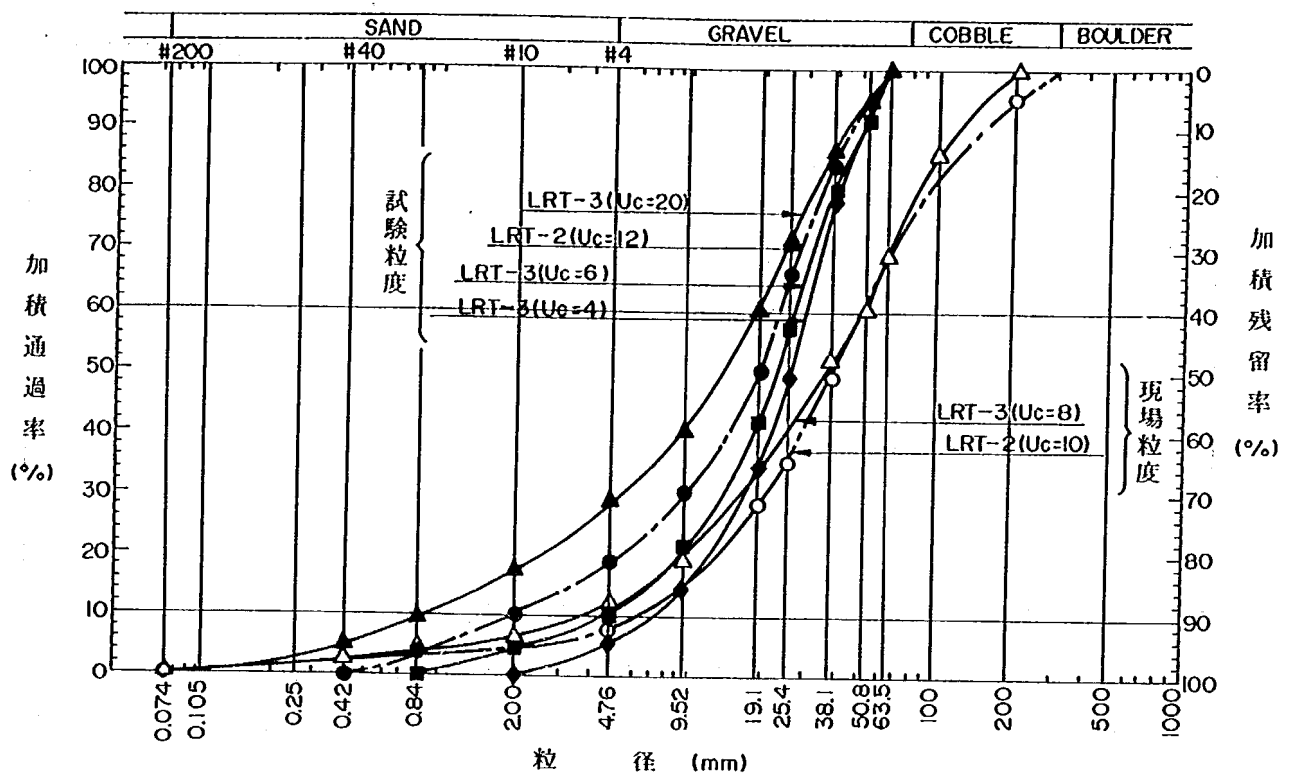


図 - 3.4 試験粒度分布

試験の手順は締固め方法、締固めエネルギーを設定した後供試体を6層で締固める、供試体が所定の粒度分布になるように試料（重量＝78kg）を粒径毎に計量し、粒径毎に各々6等分する。よって一層毎に所定の粒度分布の試料が6層分できる。これを各層毎にハンドスコップで

表 - 3.4 締固め条件

項 目	仕 様
絶 乾 重 量	78 kg
振 動 数	30Hz (1800 r · p · m)
振 動 時 間	480sec/層
層 数	6層<1層 約10cm>
締固めエネルギー (重錘重量枚数)	0,* 1, 5, 8, 10, 12, 15枚 15枚 (035)(200)(300)(340)(365)(430)+静荷重

* 試料投入のみ () 加速度g

静かに投入し振動後高さを測定し、6層まで締固めて間隙比を求めた。

4) 大型三軸圧縮試験

大型三軸圧縮試験は圧密排水条件における歪制御により実施した。試験供試体は締固め試験結果から決定した締固め条件（目標間隙比）で均一な供試体を作成することとした。

圧密方法は不飽和（気乾状態）で体積圧密度が各試験側圧状態（ $\sigma_3 = 2.0 \cdot 4.0 \cdot 6.0 \text{ kg/cm}^2$ ）で一定値になるまで行なう。また、せん断速度は供試体初期高さの約1%/minとした。試験の詳細内容は表 - 3.5 に示す。

5) 粒子破碎調査のためのフルイ分け

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の破碎がせん断特性（強度・変形）に

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%)	
大型三軸試験	$\left. \begin{array}{l} \text{LRT-2 } (U_c=12) \\ \text{LRT-3 } (U_c=20) \\ \quad (U_c=6) \\ \quad (U_c=4) \end{array} \right\}$	$\sigma_3 = 2.0, 4.0, 6.0 \text{ kg/cm}^2$
繰り返し等方圧密	$\left. \begin{array}{l} \text{LRT-3 } (U_c=20) \\ \quad (U_c=6) \end{array} \right\}$	$\sigma_3 = 4.0 \text{ kg/cm}^2$
Ko 圧密	LRT-3 ($U_c=20$)	$\sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2$

与える影響は無視できない。そこで締固め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（同粒度分布2点）および三軸試験後（各側圧毎）にフルイ分け試験を行った。試験は各試験後に気乾状態（含水比1%）で、供試体の全試料についてフルイ分け（JIS・A・1204）を実施し、これにより試験後粒度分布を求め、試験前粒度分布と比較してMarsalの定義による破碎率を求めた。

4. 試 験 結 果

試験結果一覧表を表－4.1 (1)(2)に示す。この一覧表の項目および数値は、以後の図および表の作成に使用した。

4.1 物 理 試 験

搬入材料についての比重および吸水量試験結果を表－4.2 (1)(2)に、平均粒径 D_{50} の絶乾・表乾・真比重は表－4.1 (1)に示した。

搬入時点では、LRT－2は弱風化・LRT－3については新鮮であると評価されていたが試験結果での絶乾比重値 (G_b) を見るとLRT－2で2.979～2.874, LRT－3で2.945～2.862とLRT－3の方が若干低い値を示しているが今回の試験では同一の岩質と考え試験を行なった。間隙比については粒子間の空隙を問題にすることと図－4.1に示すように絶乾比重がよく岩質を現わすことから絶乾比重により求めた。吸水率と絶乾比重の関係を図－4.2に示す。

斑れい岩はダムサイト上流に於て最も広範囲に分布しており粘板岩などの堆積岩（大倉沢上部に分布）に貫入した岩体で、貫入時期は古生代と推定される。一般には弱い広域変成作用を受け片理構造を示すものや、閃緑岩質、角閃岩質及びペグマタイト質のものまでであるが、原石山での変化は少いようである。比重は前述したように他の岩質に比しかなり大きく、吸水率はLRT－2で0.66～1.53, LRT－3で0.50～1.40と非常に小さく変質なども見うけられず良質のロック材料と言えるが、厳密には、図－4.1, 図－4.2に示すようにLRT－2はLRT－3より比重は大きく、吸水率も大きい。また、LRT－2, 3の吸水率と比重の関係は図－4.2に示す通り比重の増分に伴い吸水率は減少する。

粒子形状はZinggの分類により求め表－4.3に示した。粒径を無視して全体量の比率で表わすと塊状38%, 板状35%, 棒状19%, 葉状8%であるが、図－4.3の分類で見ると大半の場合が塊状周辺に分布しており全体としては塊状といえよう。

LeesのTotal degree of angularityを図－4.4に示す。これを見ると粒径にはあまり関係なく平均値で2.027である。また他のダムのロック材料と比較すると風化流紋岩で2.711, 石英安山岩で3.623とあまり大きくない。通常では岩質が硬いと角が多いように思われるがこの岩はその常識が適用しない。

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とし、加速度 $3.4g$, 振動数30 Hz 時の間隙比を最小間隙として求めた。従来の締固め試験から見ても、ある加速度をすぎると間隙比は一定になる。この試験では $3.4g$ で一定となるのでこの時の値を最小間隙比とした。締固め試験結果を図－4.6で見ると粒度の良い方が e_{max} と

表-4.1(1) 大型三軸圧縮試験結果一覧表 No.1

ケース名	*1 粒子形状	岩種	*2 均等係数 比重	*3 含水率 含水比 (%)	乾燥密度 相対密度 (平均値)	調圧 σ_3 (kg/cm ²)	初期乾燥 密度 γ_d (g/cm ³)	間グキ比の変化				$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg/cm ²)	ϵ_f (%)	$(\Delta V/V_c)_f$ (%)	破 壊 時			三軸試験 破壊時 (%)	強度定数 *6	
								初期 e_0	圧密後 e_c	最小 *4 e_{min}	破壊時 e_f				変形係数 (kg/cm ²)	ポアソン比 ν	主応力比 $\frac{\sigma_1}{\sigma_3}$		ϕ (度)	C (kg/cm ²)
I-1	塊状	炭れい岩 LRT-3	20 2892	Q=0.89 W=0.28	$\gamma_d=2311$ $D_r=83\%$	20	2341	0.235	0.202	0.199	0.211	1685	443	-0.736	380	0.583	943	3.7	47°50'	1.1
						40	2294	0.261	0.219	0.209	0.221	2883	535	-0.120	539	0.511	821	4.3		
						60	2298	0.258	0.213	0.201	0.207	3969	581	0.476	631	0.459	762	7.4	(47°52')	(1.06)
I-2	"	"	20 2892	Q=0.89 W=0.28	$\gamma_d=2053$ $D_r=34\%$	20	2090	0.384	0.347	0.331	0.335	1200	694	0.840	173	0.439	700	4.2	43°00'	0.80
						40	2018	0.433	0.366	0.329	0.329	1943	889	2.700	219	0.348	586	4.8	(43°19')	(0.59)
						60	2051	0.410	0.331	0.286	0.286	2944	1384	3.400	213	0.377	591	4.8		
II-3	"	炭れい岩 LRT-2	12 2945	Q=0.97 W=0.27	$\gamma_d=2273$ $D_r=88\%$	20	2261	0.303	0.273	0.267	0.284	1847	581	-0.820	318	0.571	1024	4.9	46°50'	1.60
						40	2272	0.296	0.256	0.243	0.251	3074	593	0.441	518	0.463	869	10.9	(46°57')	(1.59)
						60	2286	0.288	0.239	0.221	0.227	4008	733	0.990	547	0.432	768	10.5		
II-4	"	"	12 2945	Q=0.97 W=0.27	$\gamma_d=2175$ $D_r=68\%$	20	2170	0.357	0.321	0.309	0.320	1420	641	0.049	222	0.496	810	7.3	43°20'	1.15
						40	2195	0.342	0.292	0.273	0.275	2509	722	1.325	348	0.408	727	6.9	(43°28')	(1.27)
						60	2159	0.364	0.303	0.271	0.274	3168	1109	2.232	286	0.399	628	8.4		
I-5	"	炭れい岩 LRT-3	6 2918	Q=0.84 W=0.28	$\gamma_d=2101$ $D_r=89\%$	20	2086	0.399	0.354	0.347	0.370	1429	733	-1.221	195	0.583	815	6.0	43°10'	1.30
						40	2119	0.377	0.317	0.298	0.305	2266	817	0.954	277	0.442	667	7.8	(43°19')	(1.17)
						60	2097	0.392	0.322	0.295	0.302	3177	1042	1.501	305	0.428	630	11.0		
I-6	"	"	6 2918	Q=0.84 W=0.28	$\gamma_d=2033$ $D_r=75\%$	20	2048	0.425	0.374	0.364	0.381	1317	759	-0.443	174	0.529	759	8.9	42°00'	1.35
						40	2058	0.418	0.352	0.332	0.339	2321	972	0.977	239	0.450	667	9.3	(42°37')	(1.16)
						60	1993	0.464	0.369	0.328	0.328	2980	1098	3.046	271	0.361	630	11.3		
I-7	"	"	4 2925	Q=0.81 W=0.28	$\gamma_d=1996$ $D_r=90\%$	20	2004	0.460	0.413	0.340	0.425	1406	961	-0.840	146	0.544	803	8.0	41°50'	1.35
						60	1988	0.471	0.382	0.337	0.337	3078	1173	3.290	262	0.360	613	11.8	(42°32')	(1.25)
繰り返し各方圧密	C-8	塊状	20	Q=0.89 W=0.28	$D_r=79\%$	40	2286	0.265	0.216	0.204	0.214	2950	509	0.125	580	0.488	838	4.6	—	—
	C-9	"	20	Q=0.89 W=0.28	$D_r=0\%$	40	1912	0.513	0.432	0.388	0.388	1807	1197	3.032	151	0.373	552	5.3	—	—
	C-10	"	6	Q=0.84 W=0.28	$D_r=84\%$	40	2007	0.405	0.335	0.316	0.323	2441	939	0.938	260	0.450	710	8.3	—	—
	C-11	"	6	Q=0.84 W=0.28	$D_r=0\%$	40	1847	0.580	0.450	0.398	0.398	1970	1489	3.590	132	0.379	593	8.4	—	—
K ₀ 圧密	K-12	"	20	Q=0.89 W=0.28	$D_r=72\%$	60	2248	0.286	0.231	0.223	0.229	3639	505	0.221	780	0.478	707	?	—	—
	K-13	"	20	Q=0.89 W=0.28	$D_r=28\%$	60	2023	0.430	0.313	0.282	0.282	2766	990	2.354	279	0.381	561	7.4	—	—

*1 Zinggによる。

*2 粒径加横曲線での D_{50} の G_b による。*3 粒径4.75mm以上について求め、4.75mm以上を100%とした時の各粒径別 ρ_m もみ付き平均値。

*4 セン断時に最も圧縮した時の間グキ比。

*5 体積ヒズミより $\epsilon_p = (\epsilon_v - \epsilon)/2$ 、 $\nu = -\epsilon_p / \epsilon$ 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 (1) 大型三軸圧縮試験結果一覧表 № 2

ケース名		U_c 均等 係数	D_r 相 対 密 度	σ_3 (kg/cm^2)	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg/cm^2)	σ_{1f} (kg/cm^2)	e_o 初 期	e_f 破 壊 時	$e_o - e_f$	B (%)	$\left(\frac{B}{1+e_o}\right)$ (%)	ϕ_o ($^{\circ}$)	$\left(\frac{\Delta V}{V_c}\right)_f$ (%)	$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right)_f$	$\left(\frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_a}\right)_f$	E_{so} (kg/cm^2)
I - 1		2.0	87.8	2.0	16.85	18.85	0.235	0.211	0.024	3.7	3.00	54°00'	-0.736	9.43	-0.51	1,316
			80.1	4.0	28.83	32.83	0.261	0.221	0.040	4.3	3.41	51°30'	-0.120	8.21	-0.50	1,502
			81.1	6.0	39.69	45.69	0.258	0.207	0.051	7.4	5.88	50°10'	0.476	7.62	-0.33	1,682
I - 2			41.7	2.0	12.00	14.00	0.384	0.335	0.049	4.2	3.03	48°40'	0.840	7.00	-0.22	500
			26.7	4.0	19.43	23.43	0.433	0.329	0.104	4.8	3.35	45°10'	2.700	5.86	0	485
			33.9	6.0	29.44	35.44	0.410	0.286	0.124	4.8	3.40	45°20'	3.400	5.91	0	566
II - 3		1.2	85.3	2.0	18.47	20.47	0.303	0.284	0.019	4.9	3.76	55°20'	-0.820	10.24	-0.57	993
			87.7	4.0	30.74	34.74	0.296	0.251	0.045	10.9	8.41	52°30'	0.441	8.69	-0.44	1,182
			90.3	6.0	40.08	46.08	0.288	0.227	0.061	10.5	8.15	50°20'	0.990	7.68	-0.32	1,293
II - 4			67.1	2.0	14.20	16.20	0.357	0.320	0.037	7.3	5.38	51°20'	0.049	8.10	-0.30	676
			72.3	4.0	25.09	29.09	0.342	0.275	0.067	6.9	5.14	49°20'	1.325	7.27	-0.19	853
			65.0	6.0	31.68	37.68	0.364	0.274	0.090	8.4	6.16	46°30'	2.232	6.28	-0.11	847
I - 5		6	85.6	2.0	14.29	16.29	0.399	0.370	0.029	6.0	4.29	51°20'	-1.221	8.15	-0.44	1,099
			92.0	4.0	22.66	26.66	0.377	0.305	0.072	7.8	5.66	47°40'	0.954	6.67	-0.27	929
			87.8	6.0	31.77	37.77	0.392	0.302	0.090	11.0	7.90	46°50'	1.501	6.30	-0.19	1,012
I - 6			78.0	2.0	13.17	15.17	0.425	0.381	0.044	8.9	6.25	50°10'	-0.443	7.59	-0.38	775
			80.2	4.0	23.21	27.21	0.418	0.339	0.079	9.3	6.56	48° 0'	0.977	6.67	-0.19	936
			66.8	6.0	29.80	35.80	0.464	0.328	0.136	11.3	7.72	45°30'	3.046	6.30	0	727
I - 7		4	92.0	2.0	14.06	16.06	0.460	0.425	0.035	8.0	5.48	51°10'	-0.840	8.03	-0.38	639
			88.8	6.0	30.78	36.78	0.471	0.337	0.134	11.8	8.02	46° 0'	3.290	6.13	0	770
繰等 り方 返圧 し密	C-8	2.0	78.9	4.0	29.50	33.50	0.265	0.214	0.051	4.6	3.64	51°50'	0.125	8.38	-0.500	1,229
	C-9		0	4.0	18.07	22.07	0.513	0.388	0.125	5.3	3.50	43°50'	3.032	5.52	0	337
	C-10	6	84	4.0	24.41	28.41	0.405	0.323	0.082	8.3	5.91	48°50'	0.938	7.10	-0.140	842
	C-11		0	4.0	19.70	23.70	0.580	0.398	0.182	8.4	5.32	45°20'	3.590	5.93	0	334
K _o 圧密	K-12	2.0	72.4	6.0	36.39	42.39	0.286	0.229	0.057	?	?	48°50'	0.221	7.06	-0.148	5,199
	K-13		27.6	6.0	27.66	33.66	0.430	0.282	0.148	7.4	5.17	44°10'	2.354	5.61	0	2,034

表 - 4.2 (1)(2) 物理試験結果表

粒 径 (mm)	U_c *1	LRT-3 I-1・2, I-5・6, I-7				
		真比重 Gg	絶乾比重 Gb	表乾比重 Ga	含水比 W	吸水率 Q
63.5 ~ 50.8		2.989	2.945	2.960	0.11 %	0.50 %
50.8 ~ 38.1		2.996	2.949	2.965	0.10	0.53
38.1 ~ 25.4	(4)	2.984	2.925	2.945	0.22	0.69
25.4 ~ 19.1	(6)	2.988	2.918	2.941	0.13	0.81
19.1 ~ 9.52	(20)	2.979	2.892	2.922	0.37	1.02
9.52 ~ 4.76		2.981	2.862	2.902	0.18	1.40
4.76 ~ 2.00		2.971		—	0.85	—
2.00 ~ 0.84		2.965	—	—	0.08	—
0.84 ~ 0.42		2.952	—	—	0.09	—
0.42 ~ 0.074		2.941	—	—	0.44	—
粒 径 (mm)	U_c *1	LRT-2		II-3・4		
		真比重 Gg	絶乾比重 Gb	表乾比重 Gb	含水比 W	吸水率 Q
63.5 ~ 50.8		3.037	2.979	2.998	0.15 %	0.66 %
50.8 ~ 38.1		3.026	2.968	2.988	0.21	0.64
38.1 ~ 25.4		3.032	2.964	2.986	0.14	0.82
25.4 ~ 19.1	(12)	3.024	2.945	2.971	0.40	0.89
19.1 ~ 9.52		3.026	2.930	2.961	0.23	1.09
9.52 ~ 4.76		3.005	2.874	2.917	0.20	1.53
4.76 ~ 2.00		3.015	—	—	0.74	—
2.00 ~ 0.84		3.010	—	—	0.29	—
0.84 ~ 0.42		2.973	—	—	0.15	—
0.42 ~ 0.074		2.927	—	—	—	—

* 1. 太線枠内の値はそれぞれの均等係数に対する平均粒径 (D_{50}) を示す。

e_{min} の差が大きく良く締まるが、逆に粒度が悪くなると e_{min} は大きな値を示し良く締まらない。今回の場合は間隙比のパラツキにより傾向は顕著には現われていない。 e_{max} , e_{min} と均等係数で表わした関係を図 - 4.7 に示したが、この範囲の粒度分布では $e_{max} - e_{min}$ にあまり変化はない。

なお相対密度は上記の e_{max} と e_{min} の定義による値と Terzaghi の相対密度の定義から求めた。 e_{max} , e_{min} の測定方法は ASTM の基準とほぼ同一である。

4.3 大型三軸圧縮試験

試験結果一覧表を表 - 4.1 (1)(2) に示す。また各ケースのモールの応力円・破壊時包絡線と応力～歪曲線を図 - 4.8 (1)(2) ~ 4.14 (1)(2) に示した。各項目毎にまとめた結果および特徴は次の通りであ

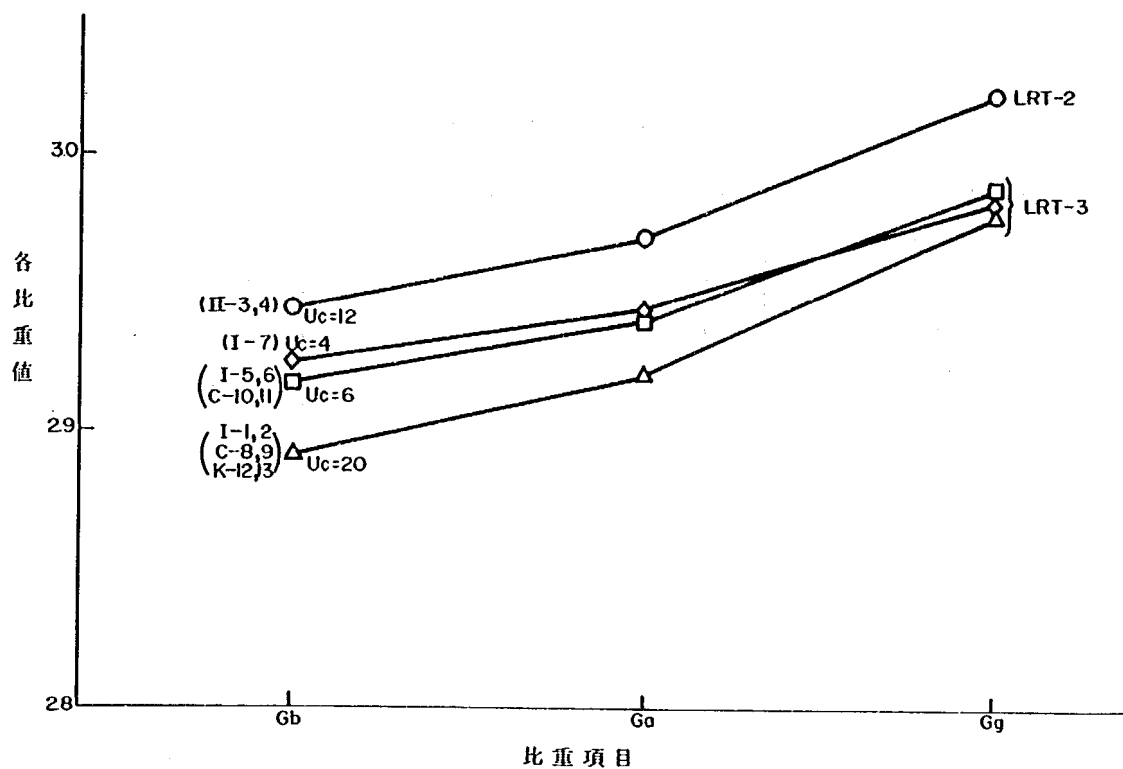


図-4.1 比重 (Ga, Gb, Gg) 関係図

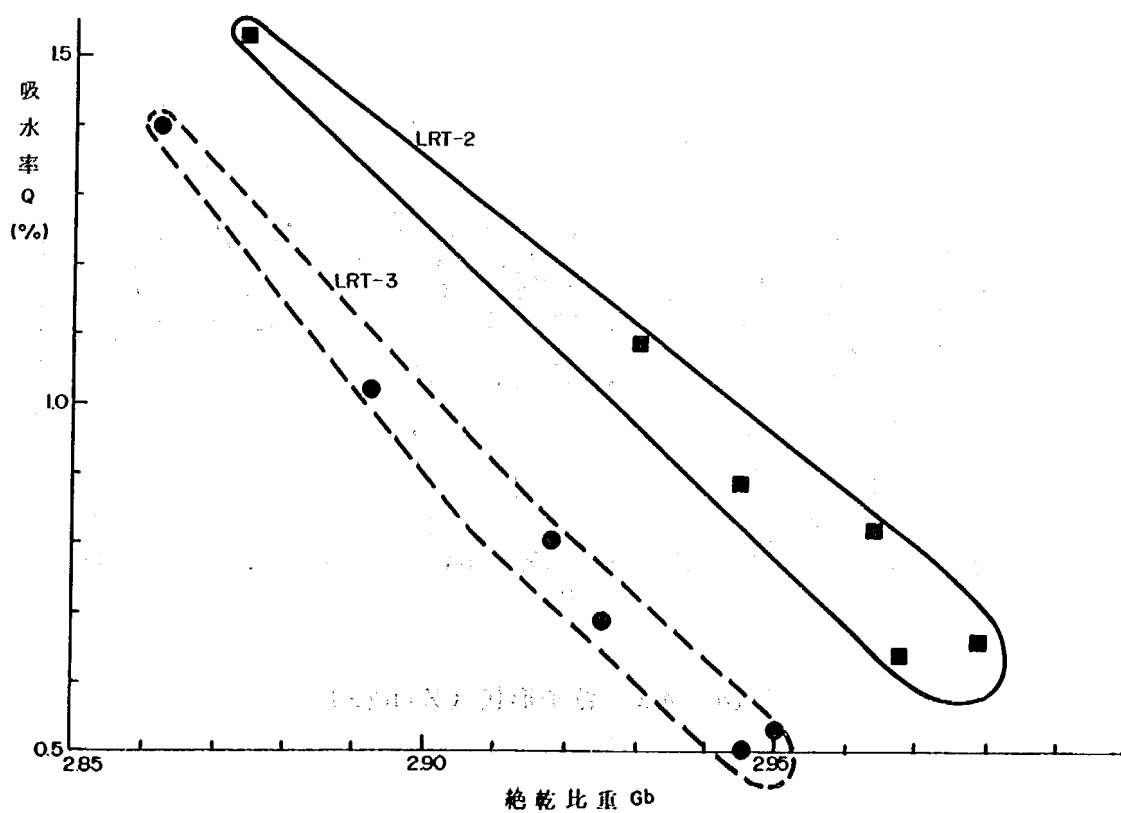


図-4.2 吸水率・比重関係図

表-4.3 粒子形状 (Zinggの平均的粒形)

岩質	粒徑 粒形	63.5~50.8	50.8~38.1	38.1~25.4	25.4~19.1	19.1~9.52
		塊状	塊状	塊状	塊状	塊状
斑 れ い 岩	塊状	47%	34%	33%	37%	37%
	板状	33	43	33	33	33
	棒状	20	13	20	20	20
	葉状	0	10	14	10	10

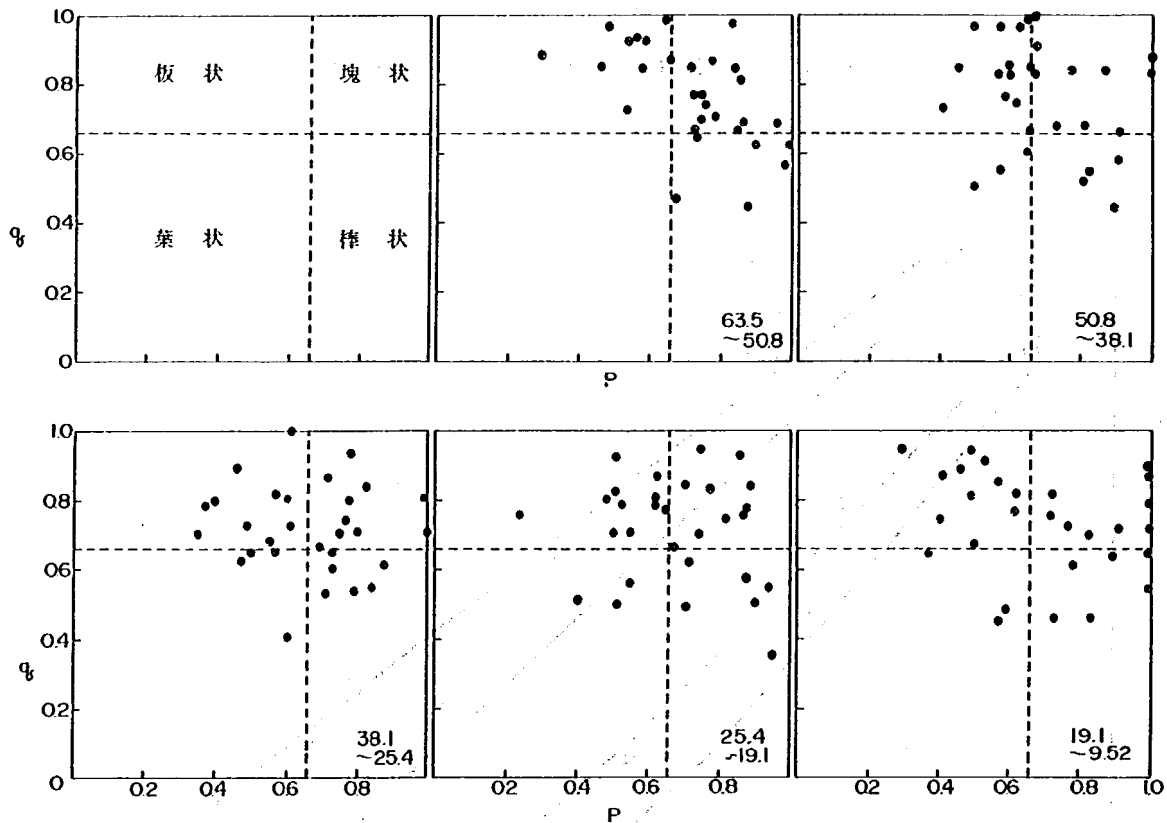


図-4.3 粒子形状 (Zingg)

表-4.4 締固め試験結果

ケース名	Gb	Q(%)	e _{max} *1		e _{min} *2		
			γ_d	e	γ_d	e	+ 静荷重 γ_d
I-1・2 ($U_c=20$)	2.892	0.89	1.905	0.519	2.418	0.197	2.420
II-3・4 ($U_c=12$)	2.945	0.97	1.890	0.559	2.340	0.259	2.351
I-5・6 ($U_c=6$)	2.918	0.84	1.725	0.693	2.162	0.350	2.200
I-7 ($U_c=4$)	2.925	0.81	1.643	0.780	2.043	0.432	-

*1 数値については重錘重量 0枚(投入のみ)である。

*2 " 15枚である。

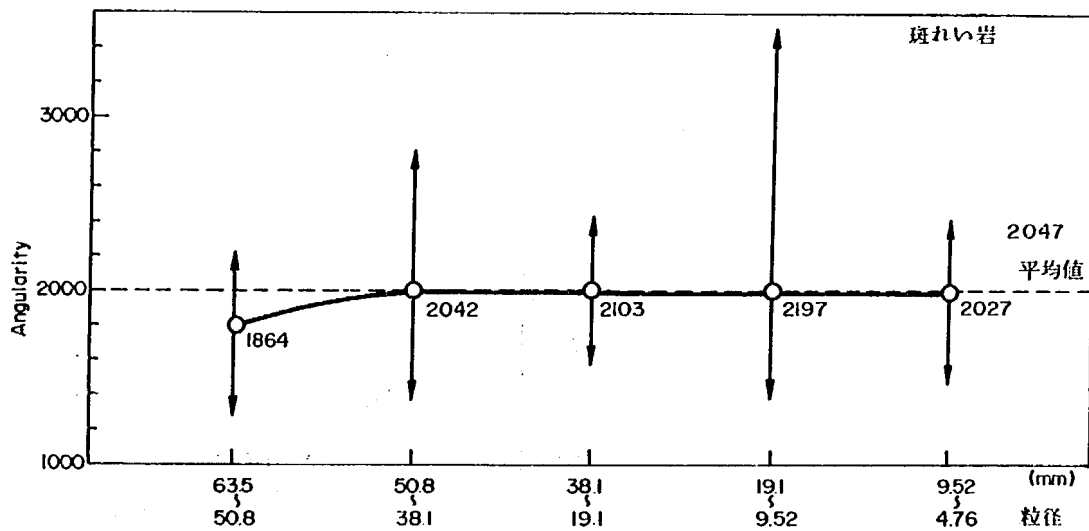


図-4.4 Total degree of angularity

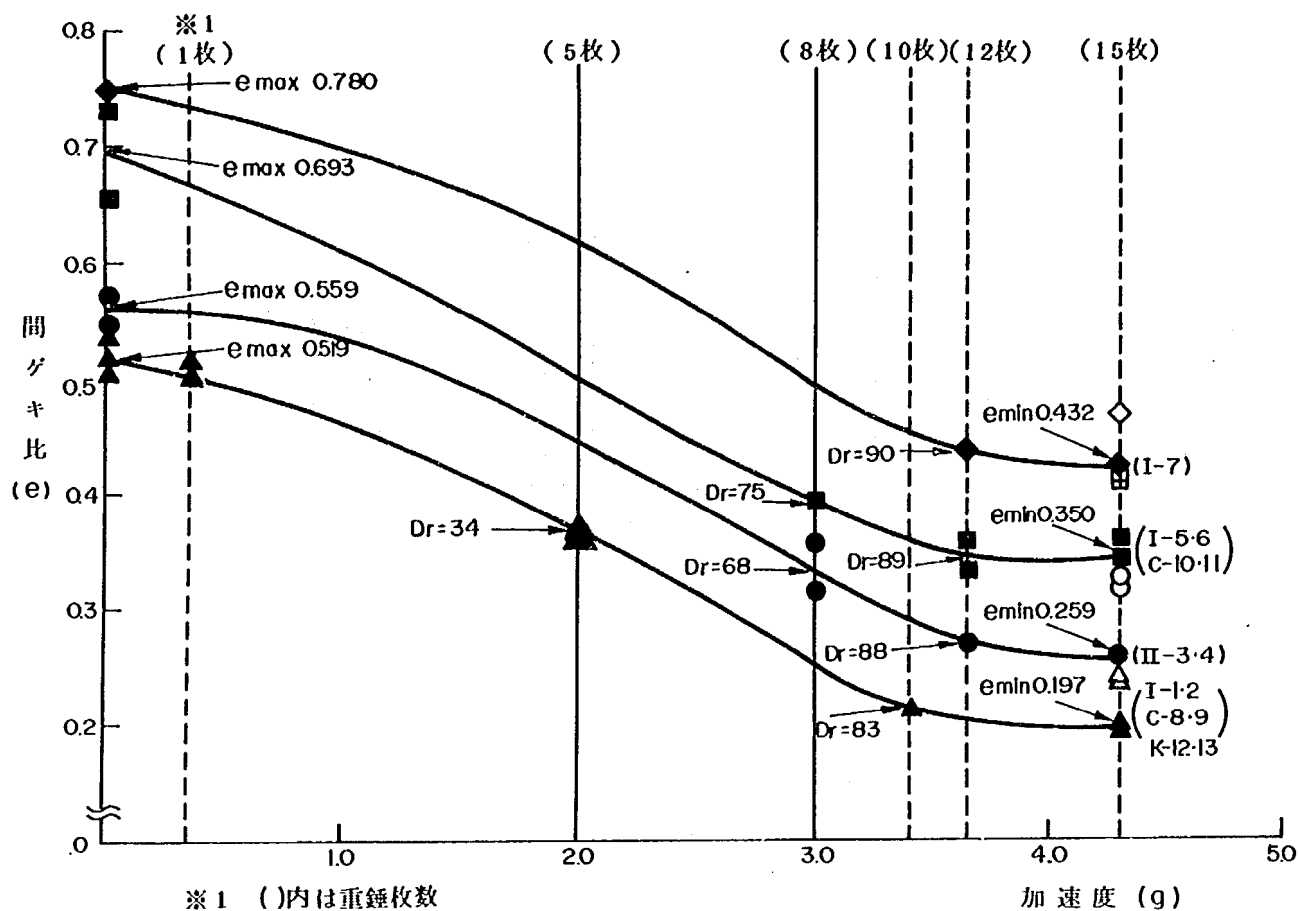


図 - 4.5 締固め試験結果図

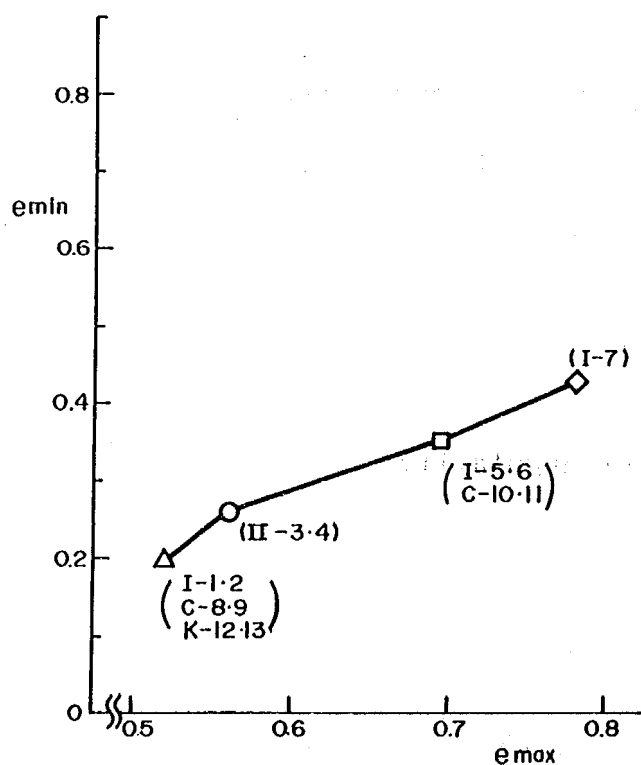


図 - 4.6 最大・最小間隙比図

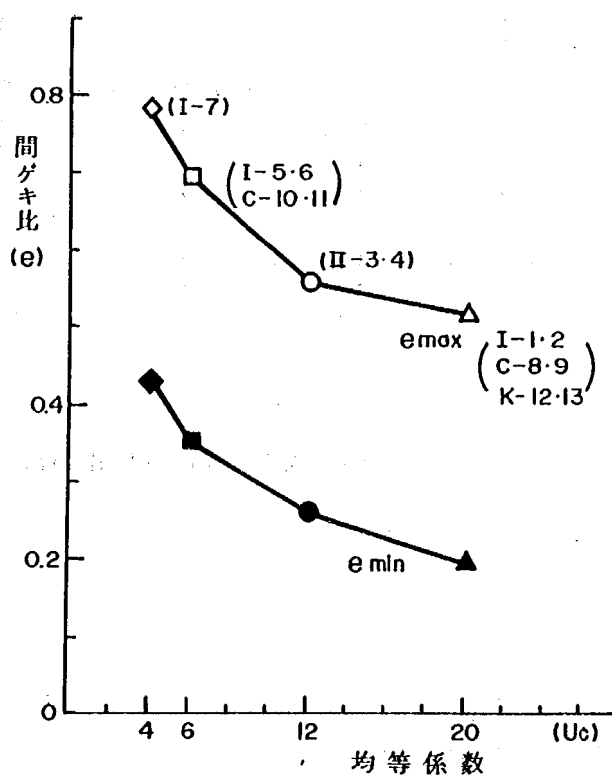


図 - 4.7 間隙比と均等係数の関係図

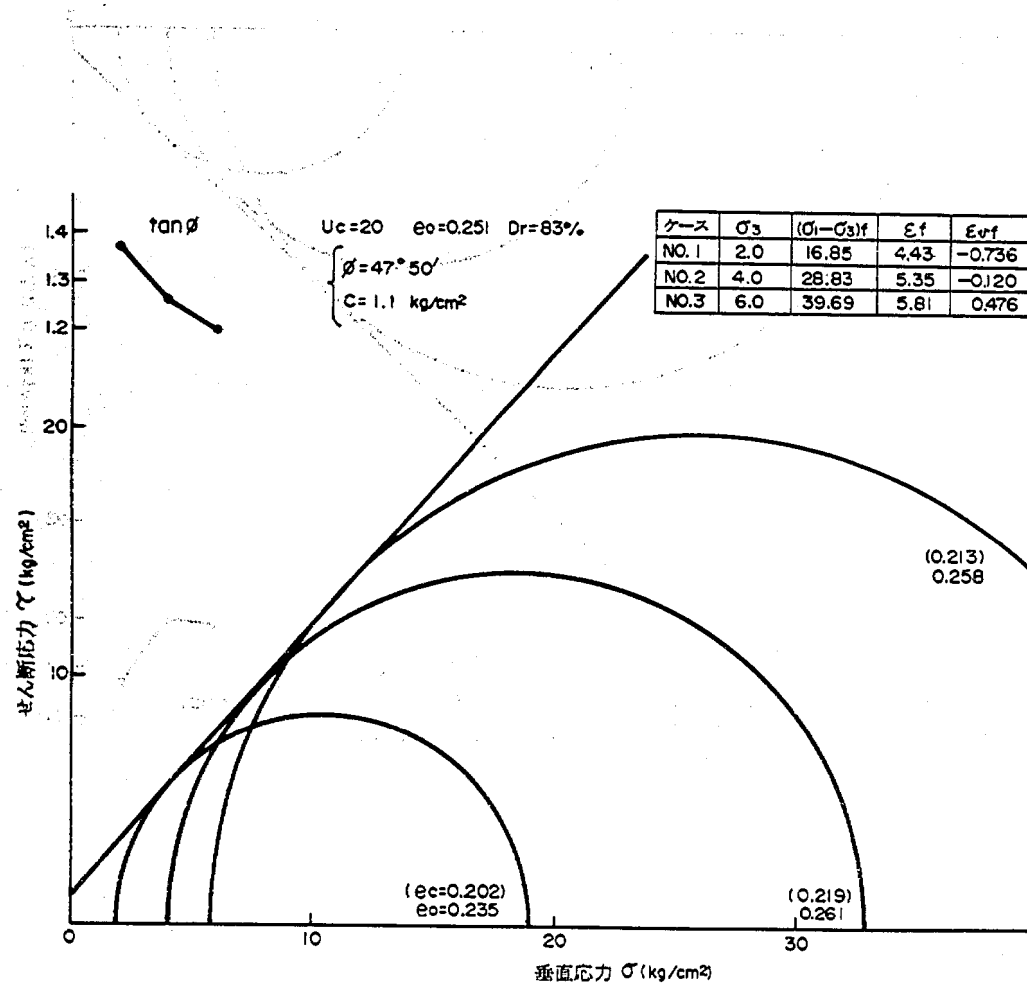


図-4.8(1) モールの応力円 (I-1)

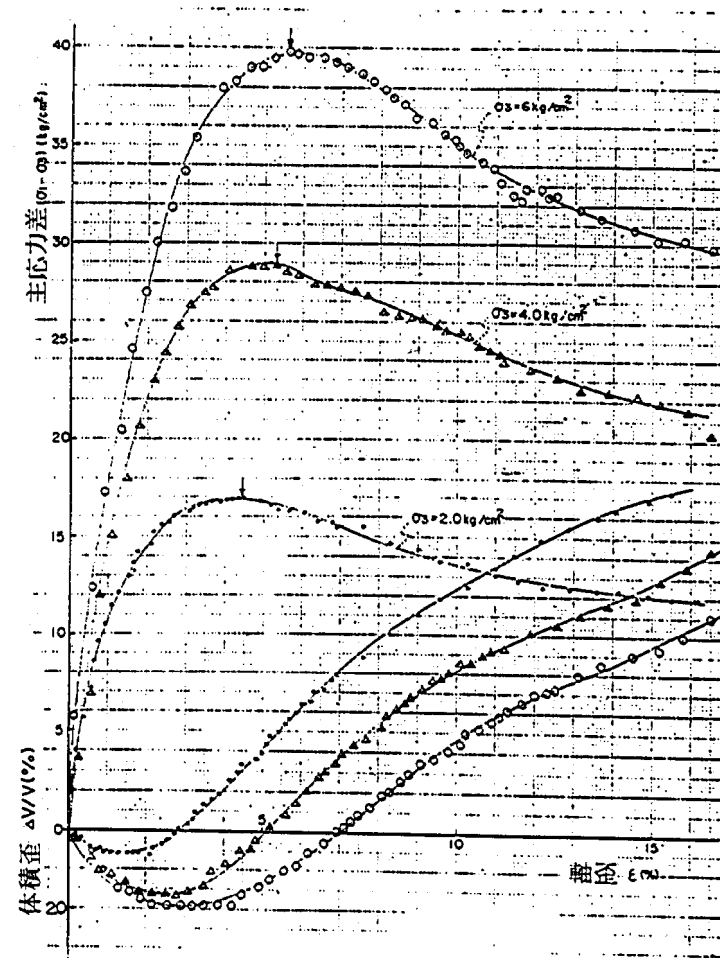


図-4.8(2) 応力・歪曲線 (I-1)

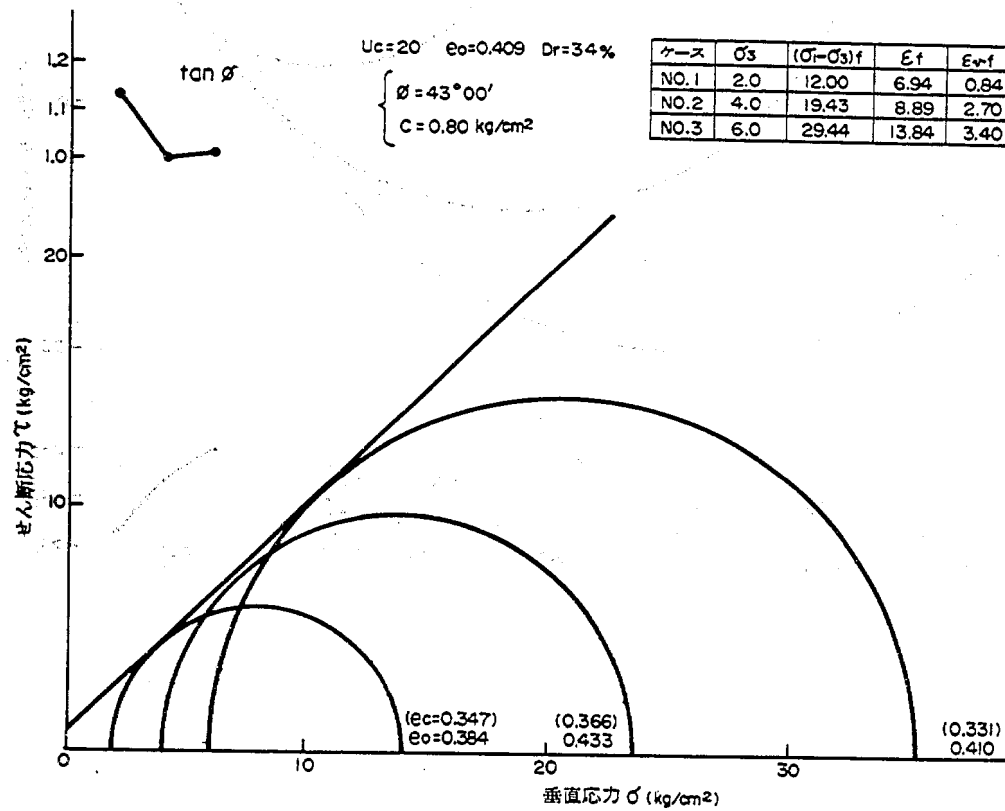


図-4.9(1) モールの応力円 (I-2)

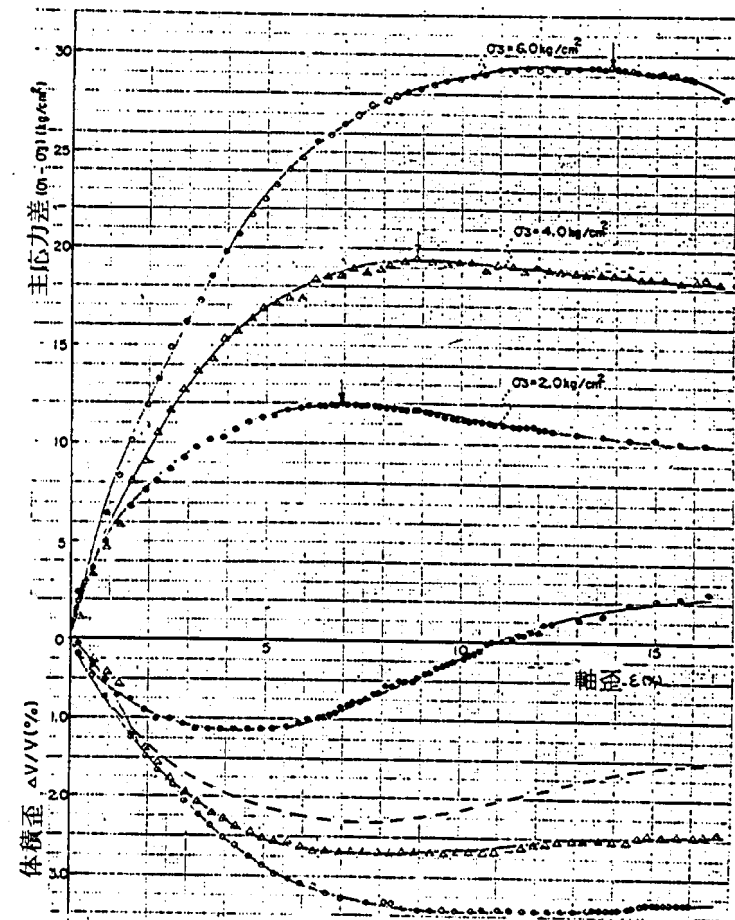


図-4.9(2) 応力・歪曲線 (I-2)

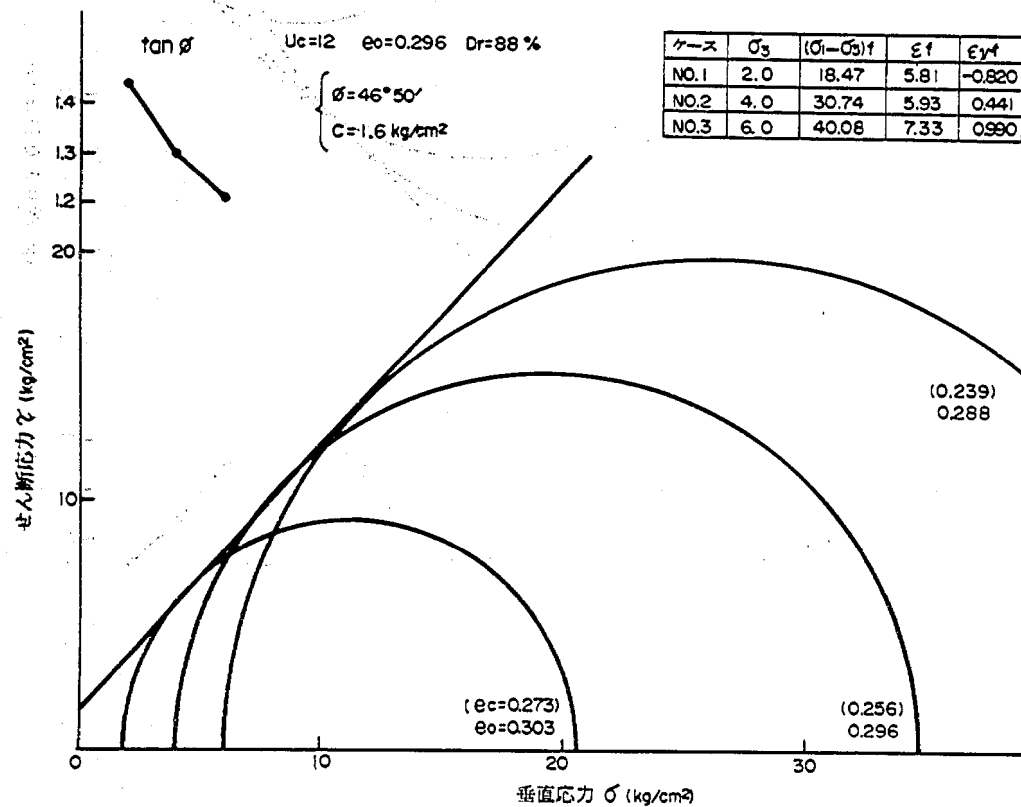


図-4.10(1) モールの応力円 (Ⅱ-3)

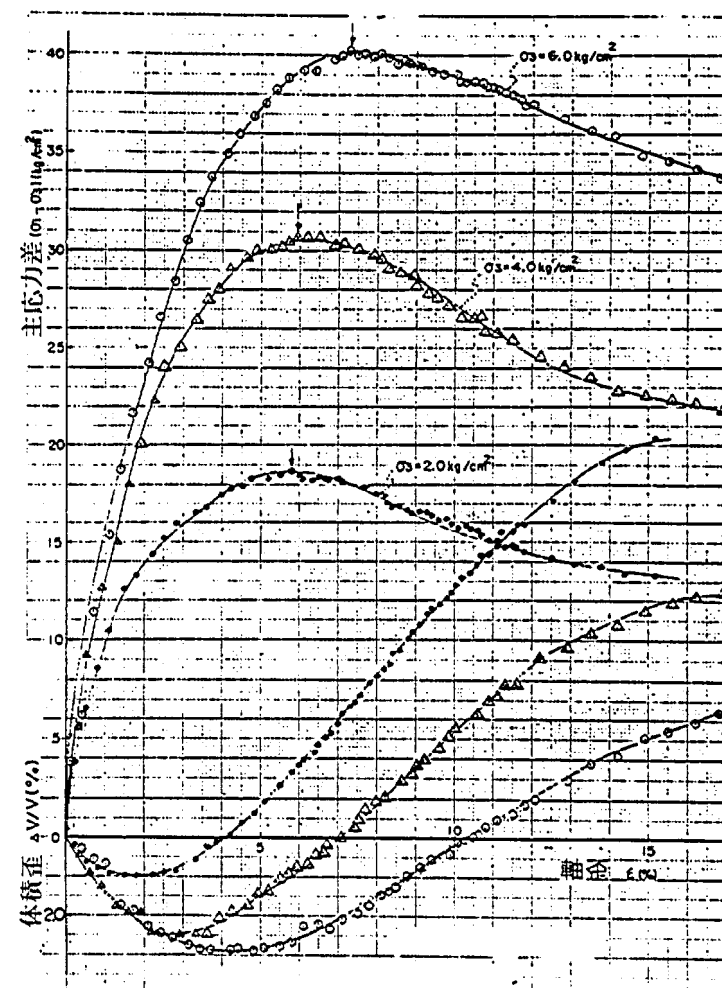


図-4.10(2) 応力・歪曲線 (Ⅱ-3)

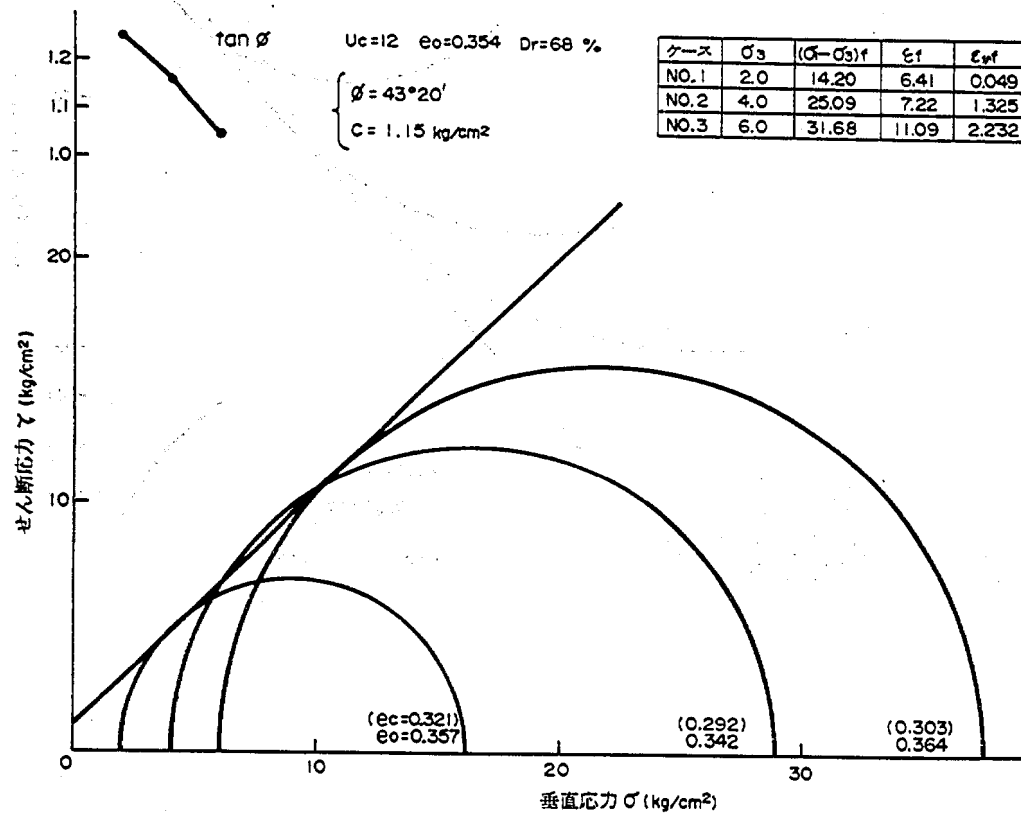


図-4.11(1) モールの応力円 (II-4)

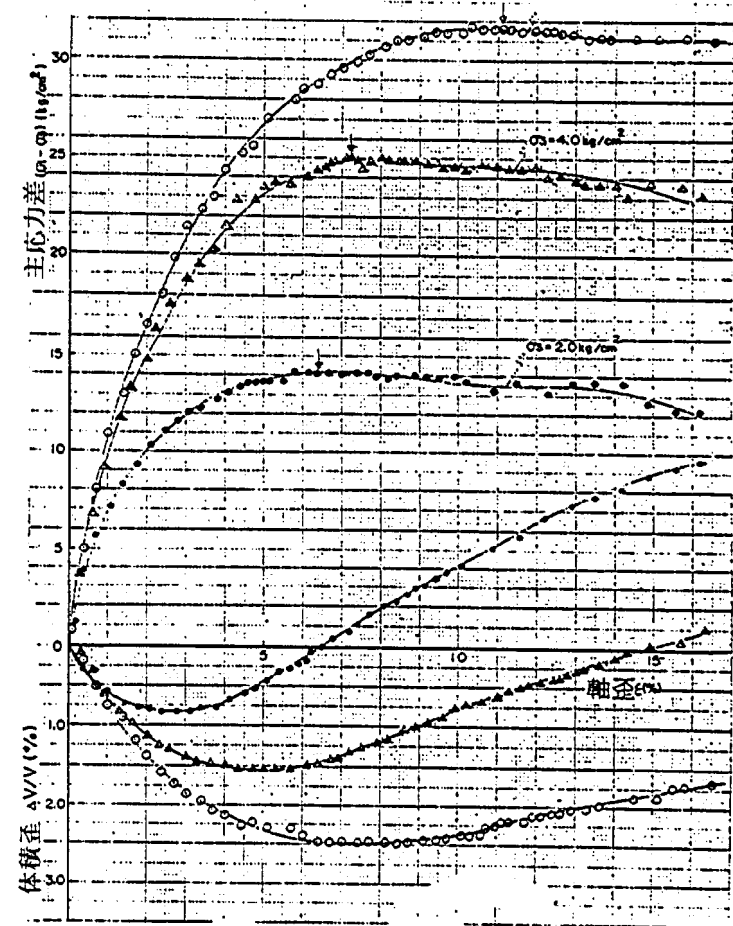


図-4.11(2) 応力・歪曲線 (II-4)

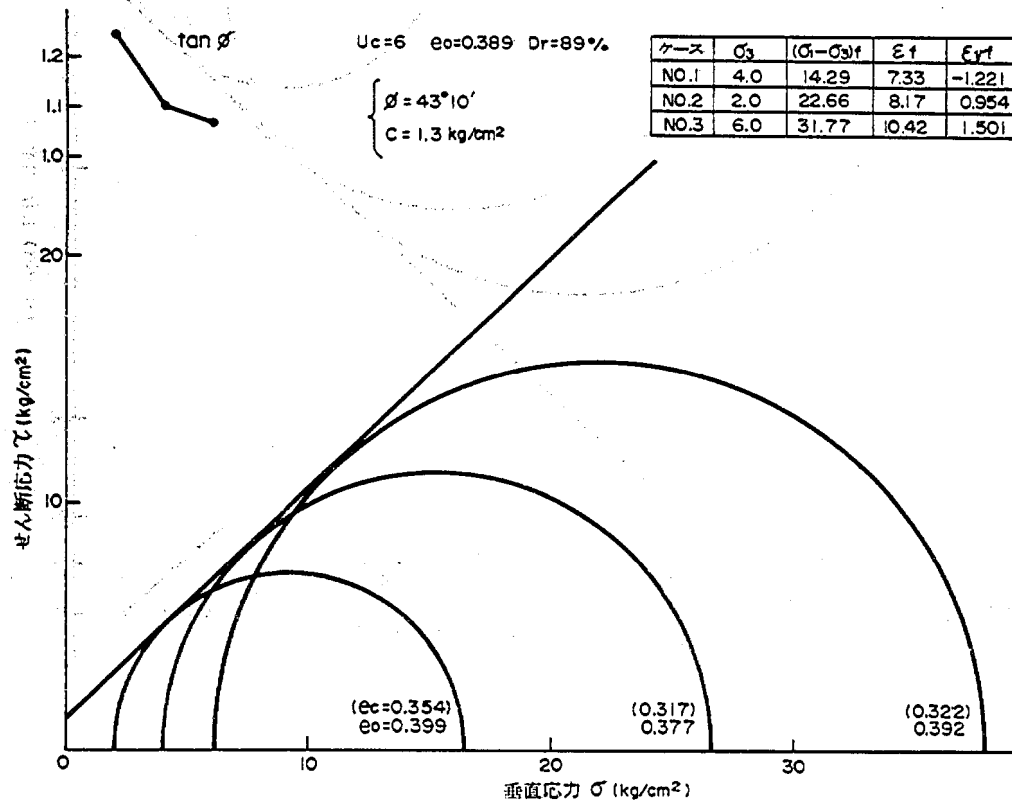


図-4.12(1) モールの応力円 (I-6)

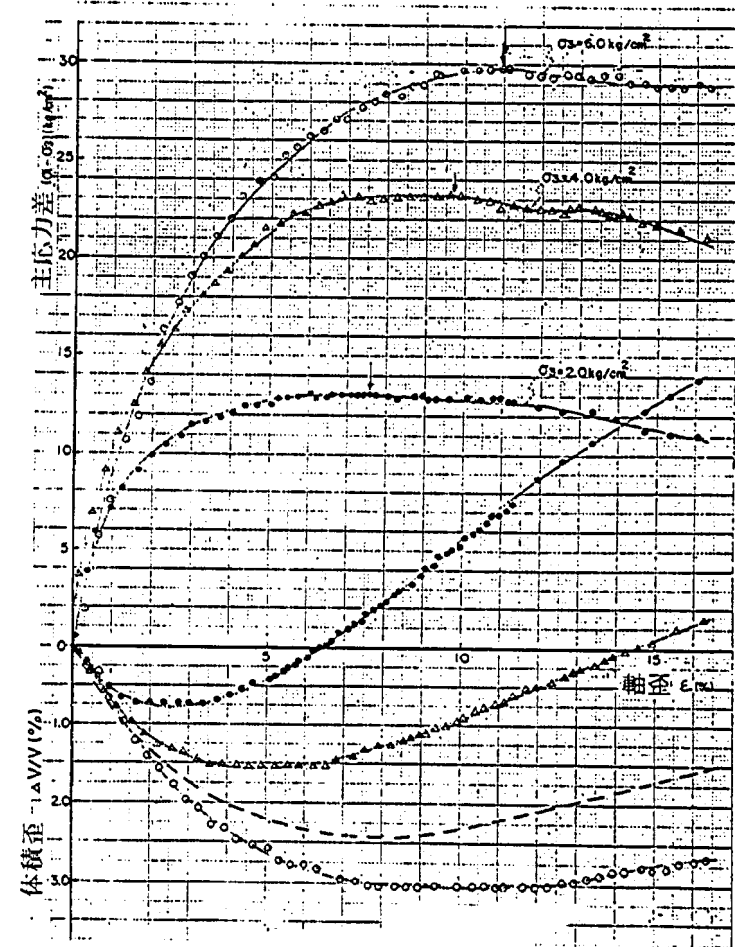


図-4.12(2) 応力・歪曲線 (I-6)

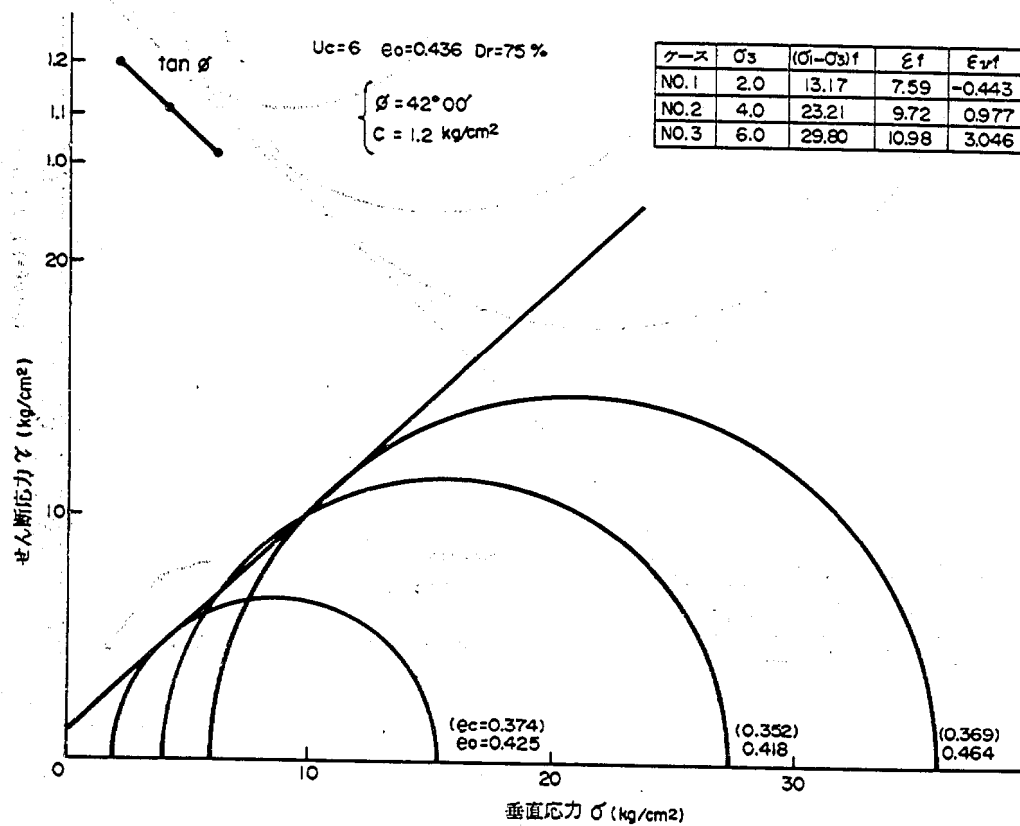


図-4.13(1) モールの応力円 (I-7)

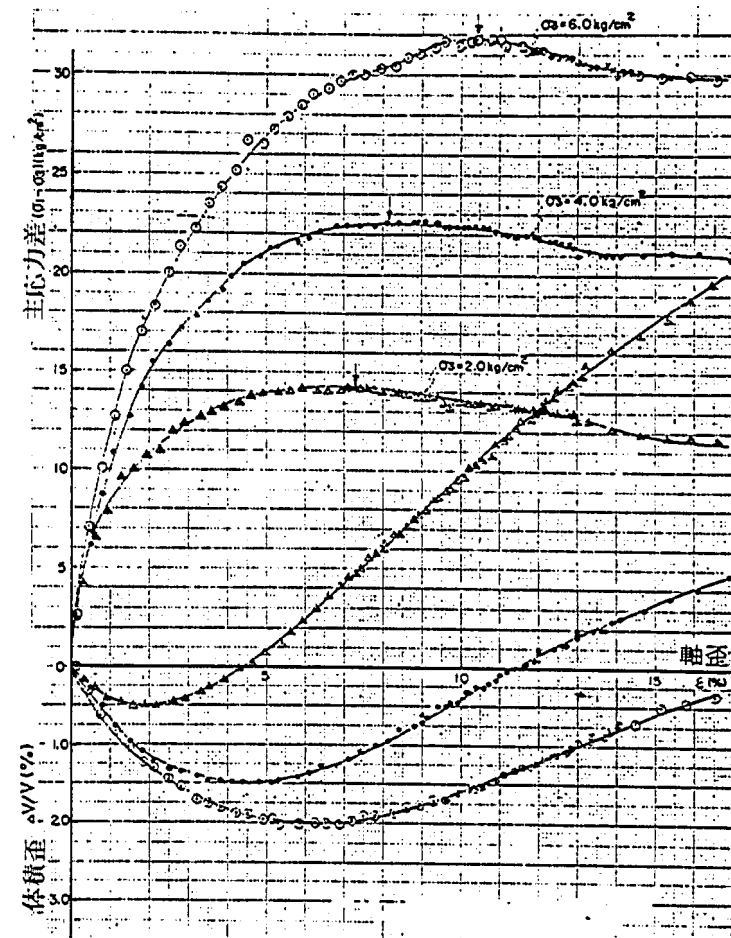


図-4.13(2) 応力・歪曲線 (I-7)

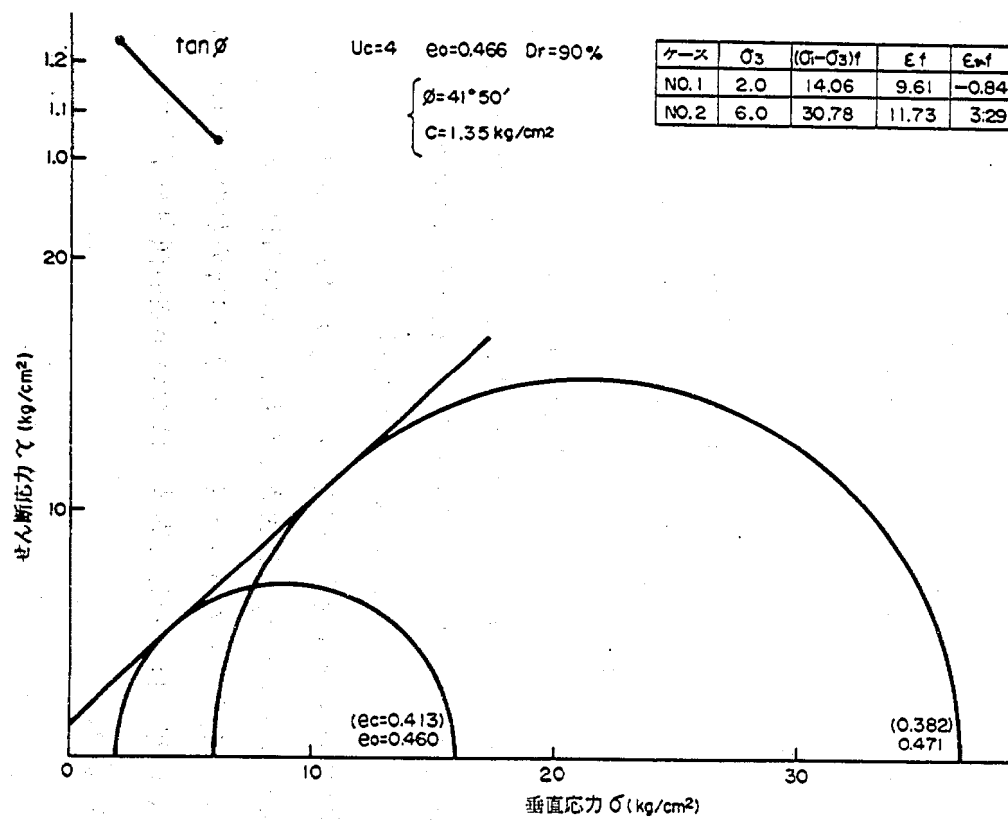


図-4.14(1) モールの応力円 (I-5)

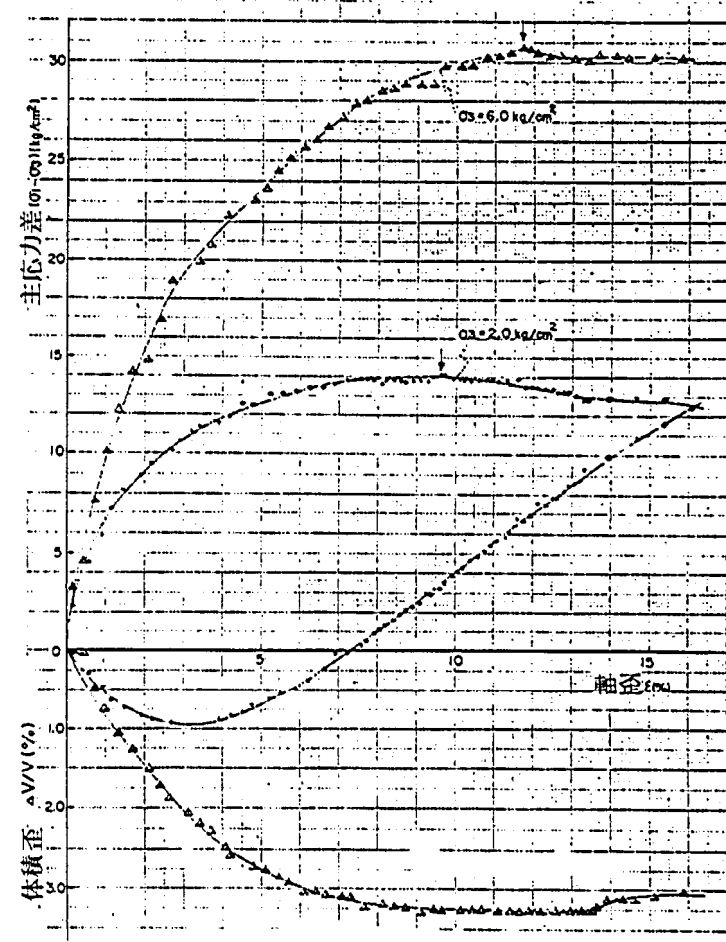


図-4.14(2) 応力・歪曲線 (I-5)

る。

1) 応力関係

モールの応力円の破壊時包絡線は I-1, II-3, I-5 は比較的直線で応力円に接する。しかし II-4, I-6 では σ_3 が最も大きい値で若干ピークが小さく包絡線は曲線となる。I-2 は $\sigma_3 = 4.0 \text{ kg/cm}^2$ の応力円の値が他の側圧に比して小さく現われている、この最大の原因は図-4.26に示すように初期密度のバラツキによるものではないかと考えられる。また軸差応力のピークが $\varepsilon_a = 15\%$ を越えるものはなく、I-1・II-3 以外は極端に上に凸なピークは現われず、ピーク付近ではほとんど一定となる。I-1 と II-3 は、粒度が良く締まった場合でありその他の場合は粒度が悪く、あまり締まっていない場合である。とくに粒度が悪い場合 ($U_c = 6$ 以下の場合) は良く締めてもあまり明確なピークはでない。

ダイレタンシーレートが零になるのは、下記の通りである。

$$\text{I-2} \quad \sigma_3 = 4.0, 6.0 \text{ kg/cm}^2 \quad (D_r = 34\%, U_c = 20)$$

$$\text{I-6} \quad \sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2 \quad (D_r = 75\%, U_c = 6)$$

$$\text{I-7} \quad \sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2 \quad (D_r = 90\%, U_c = 4)$$

これらのケースでは内部摩擦角がダイレタンシーレートにくわれるということになろう。

破壊時の軸歪と体積歪に注目して見ると、図-4.15 に示すように相対密度が大きく粒度が良い場合は (I-1, II-3) 軸歪、体積歪は小さい。逆に、相対密度が小さく粒度が悪い場合は (I-2, I-6, I-7) 軸歪、体積歪は大きく各側圧間の差も大きい傾向にあるようである。また、この図からも同様に粒度が悪い場合良く締めても、粒度が良く締まった状態の軸歪、体積歪を示さない。

2) 破 碎 率

破碎率を Marsal の B で表示し締固め時の B について見ると表-4.5 に示すように加速度が大きい場合および静圧をかけた場合の破碎率が大きい。粒度が悪い場合 ($U_c = 4$, I-7) の破碎率が大きいことが目立つ。

図-4.17 に示す σ_1 と B の関係から破碎の傾向についてみると、全体に σ_1 と B は比例の関係を示し、粒度分布が悪くなるほど B の増加が認められる。均等係数が 20, 12, 6 での低側圧部で比較すると、初期間隙比の大きな方が破碎が多い傾向を示すが σ_1 の増分による破碎率の増加は初期間隙比の小さな方が多く現われているのが特徴である。

初期間隙比と破壊時間隙比の差 ($e_0 - e_f$) と破碎率 B の関係を図-4.18 で見ると初期間隙比 e_0 が大きい程 ($e_0 - e_f$) は大きくなり、破碎率 B は ($e_0 - e_f$) が増加してもその増分は少ない、つまり良く締まっていると ($e_0 - e_f$) の増分が少なく B の増分が多いと言える。しかし均等係数が 6 の場合は、むしろ顕著ではないが逆の傾向を示していると同時に強度定数に大きな差が生じていない。

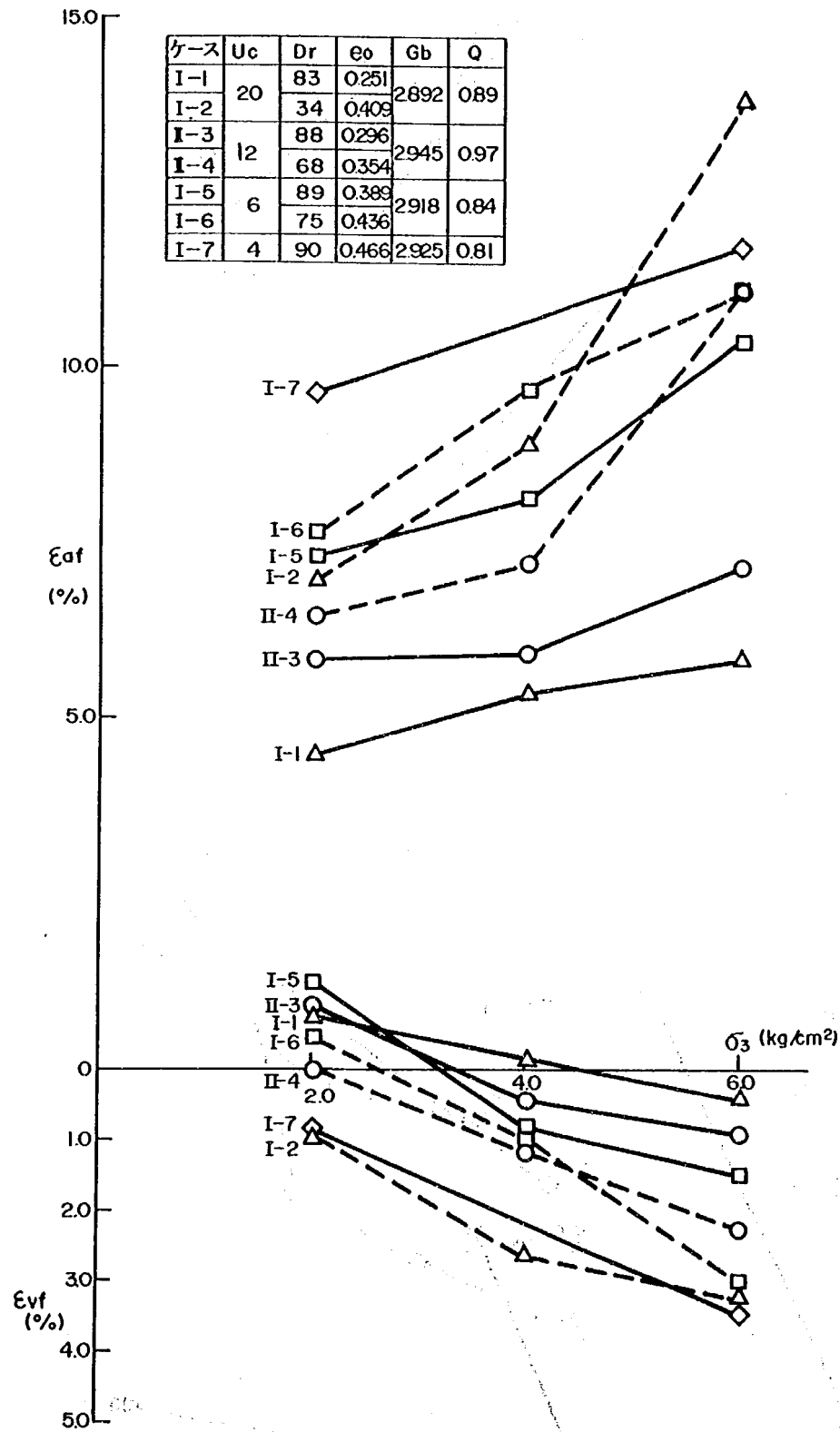


図 - 4.15 破壊時の軸歪と体積歪

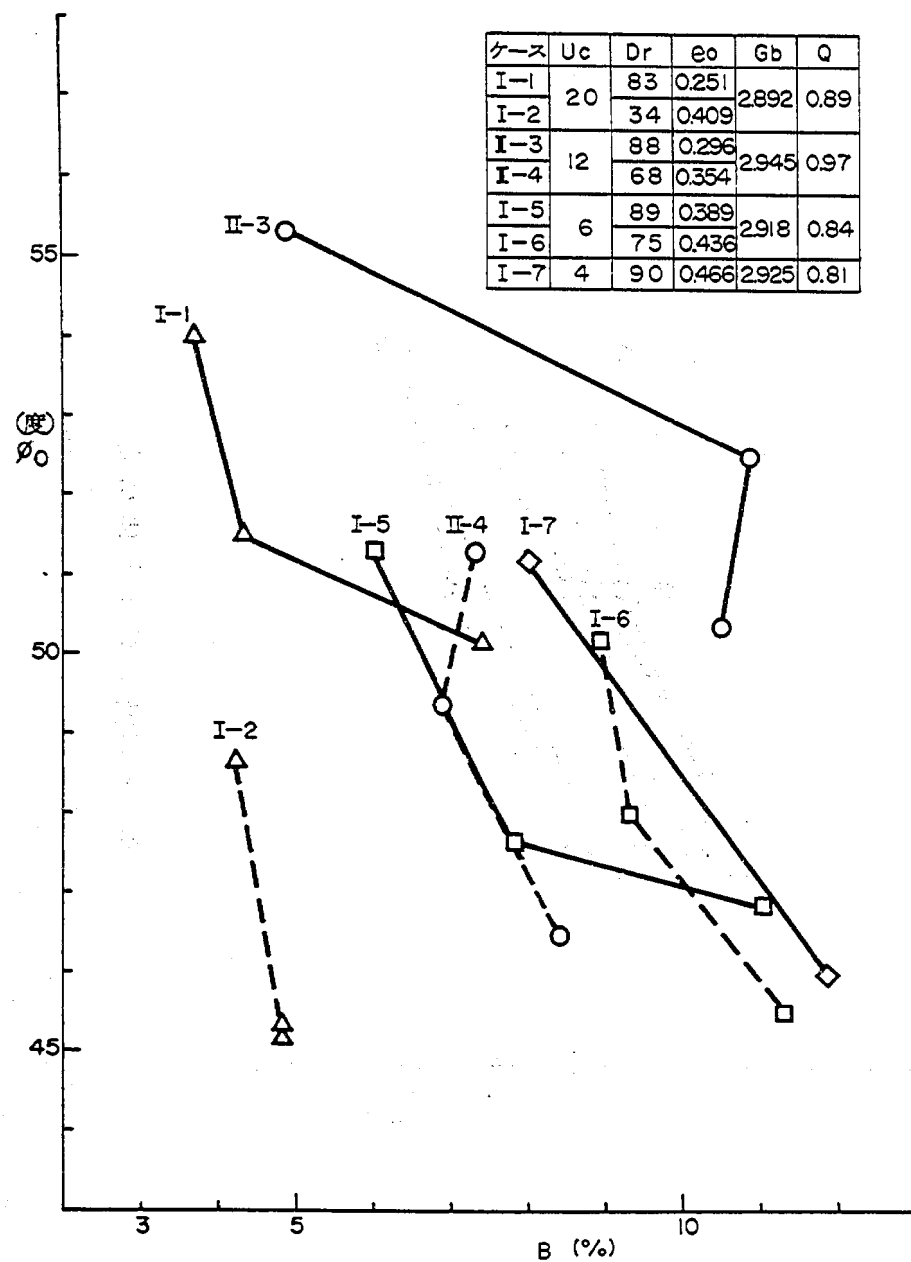


図 - 4.16 内部摩擦角と破砕率

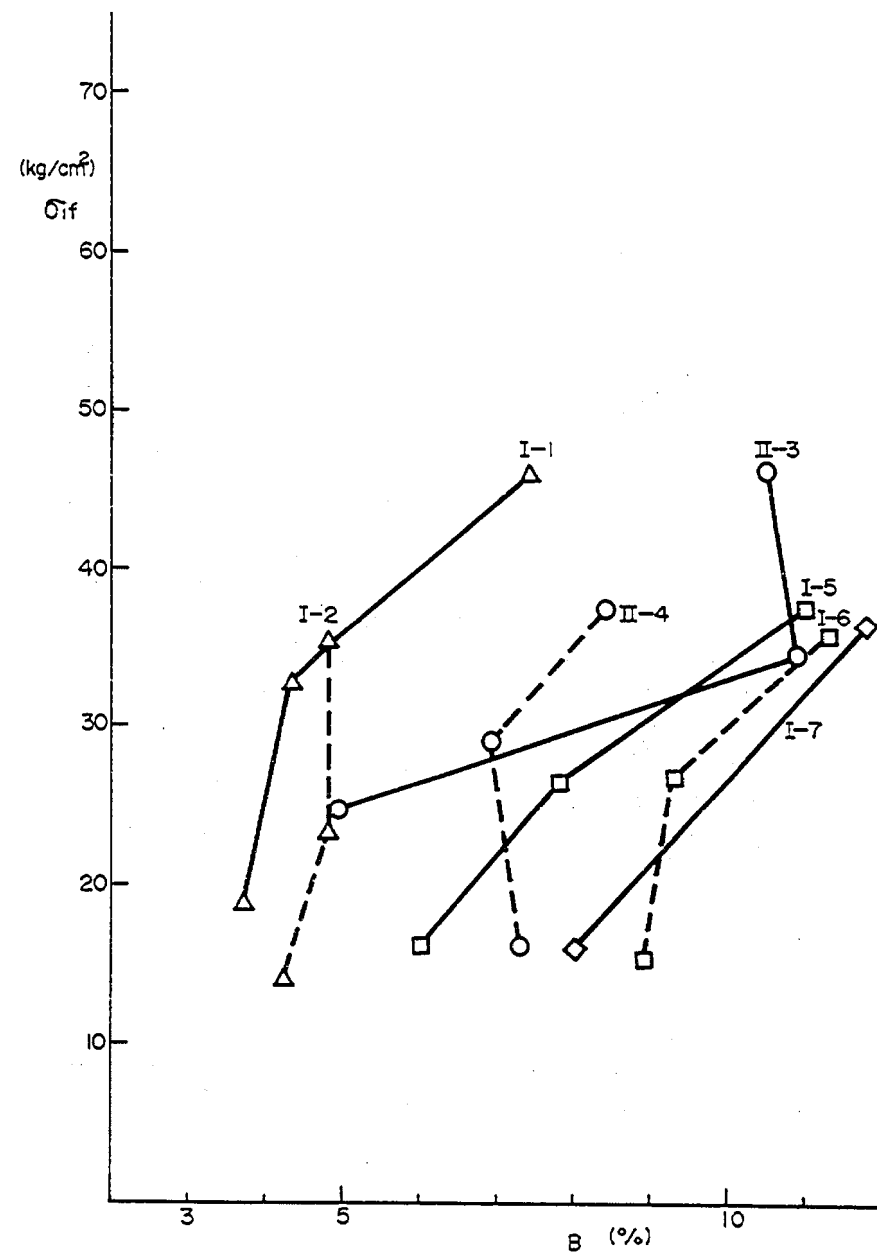


図 - 4.17 最大応力と破砕率

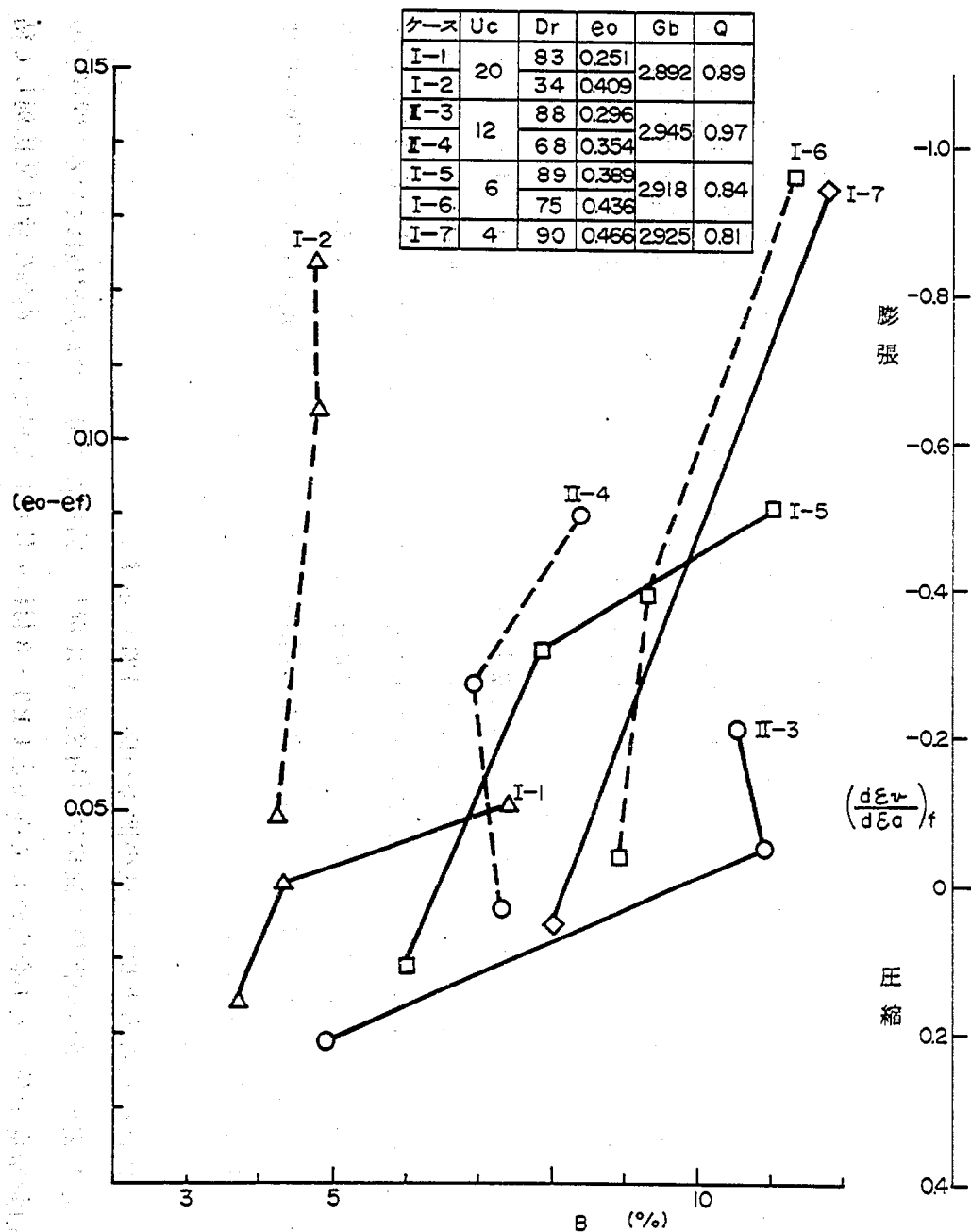
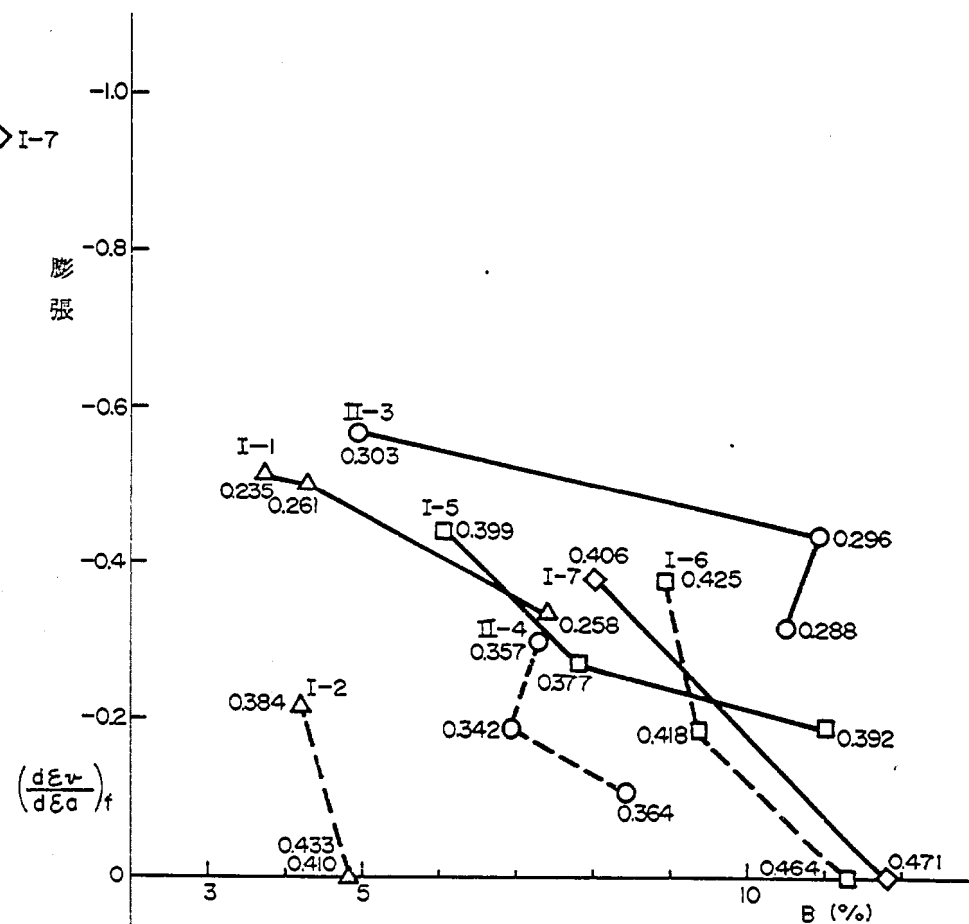


図 - 4.18 初期と破壊時の間隙差



※各点毎の数値は e_o 値である

図 - 4.19 破壊時ダイレイタンス

表-4.5 三軸圧縮試験供試体締固め条件・締固め試験加速度と破砕率

ケース	均等 係数	締固め試験後破砕率 B (%)				締固めとせん断による破砕率 B (%)			
		(20)*1 3.0	3.7*1	4.3*1	4.3+静*2	締固め時 加速度 (g)	$\sigma_3 = 2.0$ (kg/cm ²)	$\sigma_3 = 4.0$ (kg/cm ²)	$\sigma_3 = 6.0$ (kg/cm ²)
I-1	20	(15)	-	35	-	3.0	3.7	4.3	7.4
I-2						2.7	4.2	4.8	4.8
II-3	12	25	29	25	-	3.3	4.9	10.9	10.5
II-4						2.8	7.3	6.9	8.4
I-5	6	2.1	18	28	4.4	3.0	6.0	7.8	11.0
I-6						2.7	8.9	9.3	11.3
I-7	4	-	3.7	-	-	3.3	8.0	-	11.8

*1 条件として上載荷重 0.215 kg/cm², 1800 rpm 480 sec の平均加速度を示す。

*2 静荷重 7 t

*3 Marsal の破砕率

3) 内部摩擦角

内部摩擦角と初期間隙比の関係を図-4.20 に示しその特徴をみると粒度が良い方が内部摩擦角の値は初期間隙比に大きく支配されている。また初期間隙比と内部摩擦角は反比例の関係を示す。

均等係数毎に見ると良い粒度の場合は初期間隙比の影響が大きいが悪い粒度ではその影響は顕著ではない。

相対密度と内部摩擦角の関係を図-4.21 に示しその特徴をみると、初期間隙比と ϕ 値の関係よりも供試体の締固まり程度が ϕ 値に与える影響を明確に表現していることが認められ、相対密度が同程度であっても均等係数が大きい程 ϕ 値が増加する。特に均等係数が 6 以上になるとその増加の程度が極端に大きい。しかしその反面相対密度の変動が ϕ 値を大きく変動させる結果となる材料（岩質）であることを示唆しているものと考えられる。また、均等係数が 6 以下の場合では、均等係数と相対密度が ϕ 値に与える影響が小さく現われており ϕ 値のみを考えた場合ではかなり安定した値を確保できそうな材料であろう。

原点法により求めた内部摩擦角と初期間隙比の関係を図-4.26 に示したが、I-1・II-3 の場合は他よりも ϕ は大きく現われており大きな破壊応力比 (σ_1 / σ_3) が期待できる。

各側圧毎の原点法により求めた内部摩擦角と相対密度の関係（図-4.27）より次のことが言える。相対密度が大きく均等係数が良いと、低側圧ほど内部摩擦角の値は大きくなる。また大半のケースが相対密度の増加にともなって、各々の側圧における値も直線的に増加するが特に低側圧部での増加率が顕著である。

4) 粘着力

見掛けの粘着力と相対密度の関係を図-4.23 に示す。

相対密度と ϕ 値の関係と同様に相対密度に比例して粘着力成分の増加が現われている。同程度の相対密度で値の大小を比較してみると LRT-3 材料を使用した場では、均等係数に反比例して粘

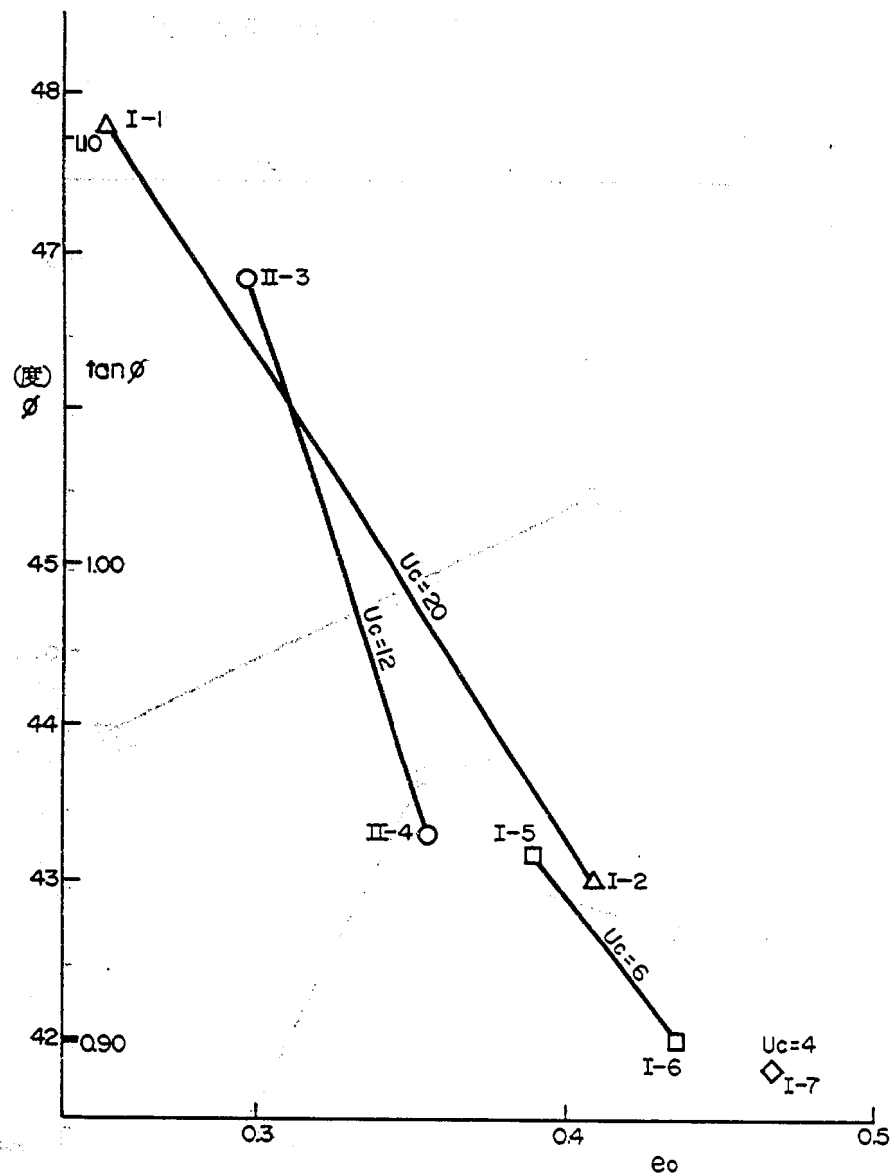


図 - 4.20 初期間隙比と内部摩擦角

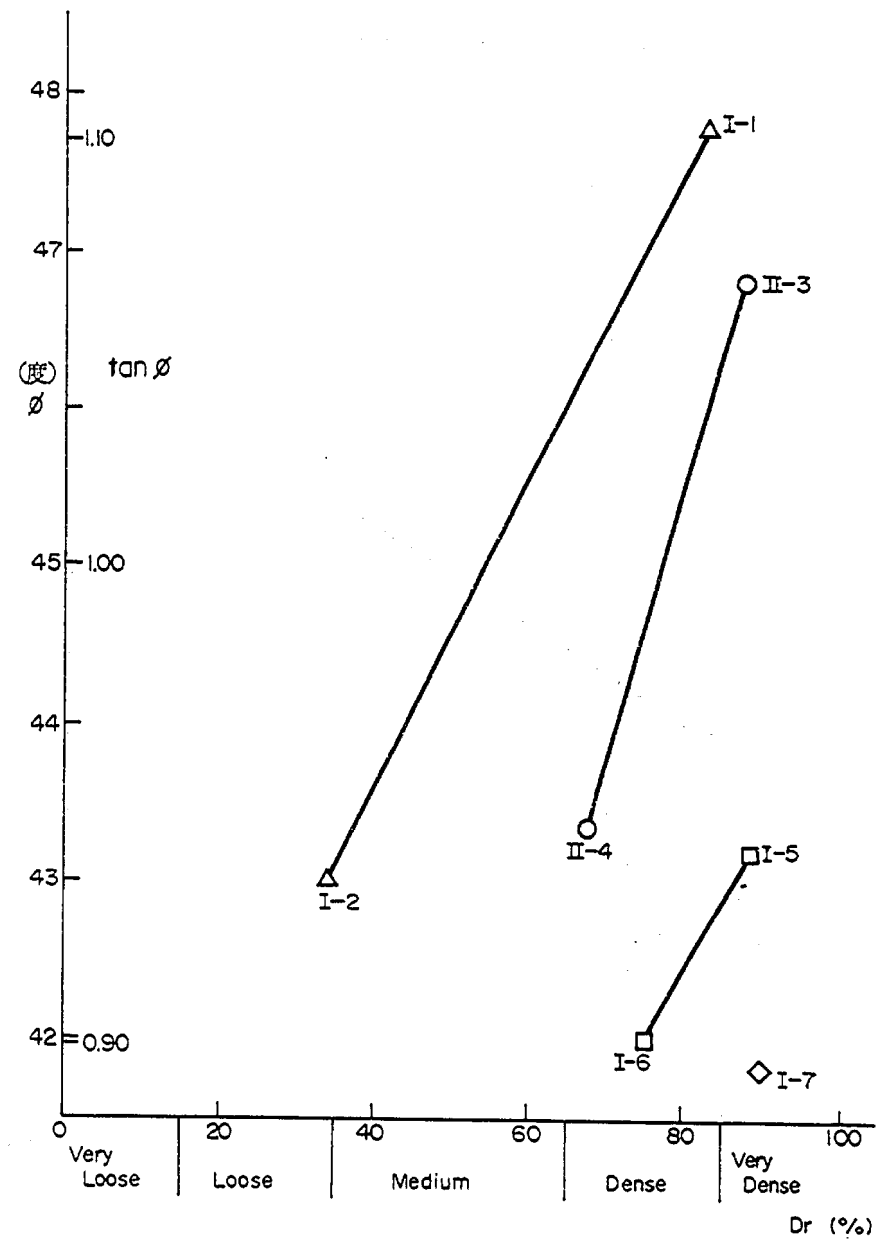


図 - 4.21 相対密度と内部摩擦角

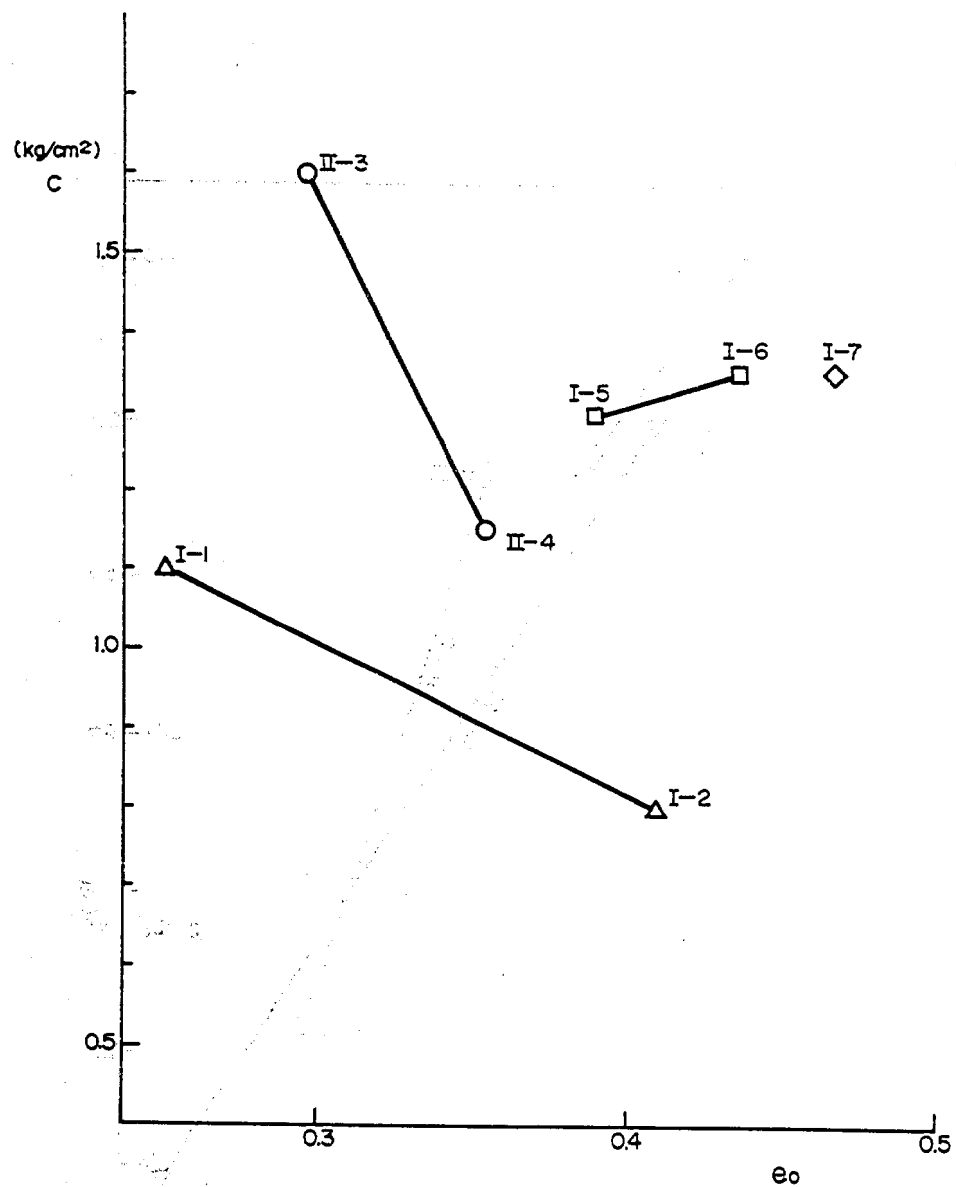


図-4.22 粘着力と初期間隙比

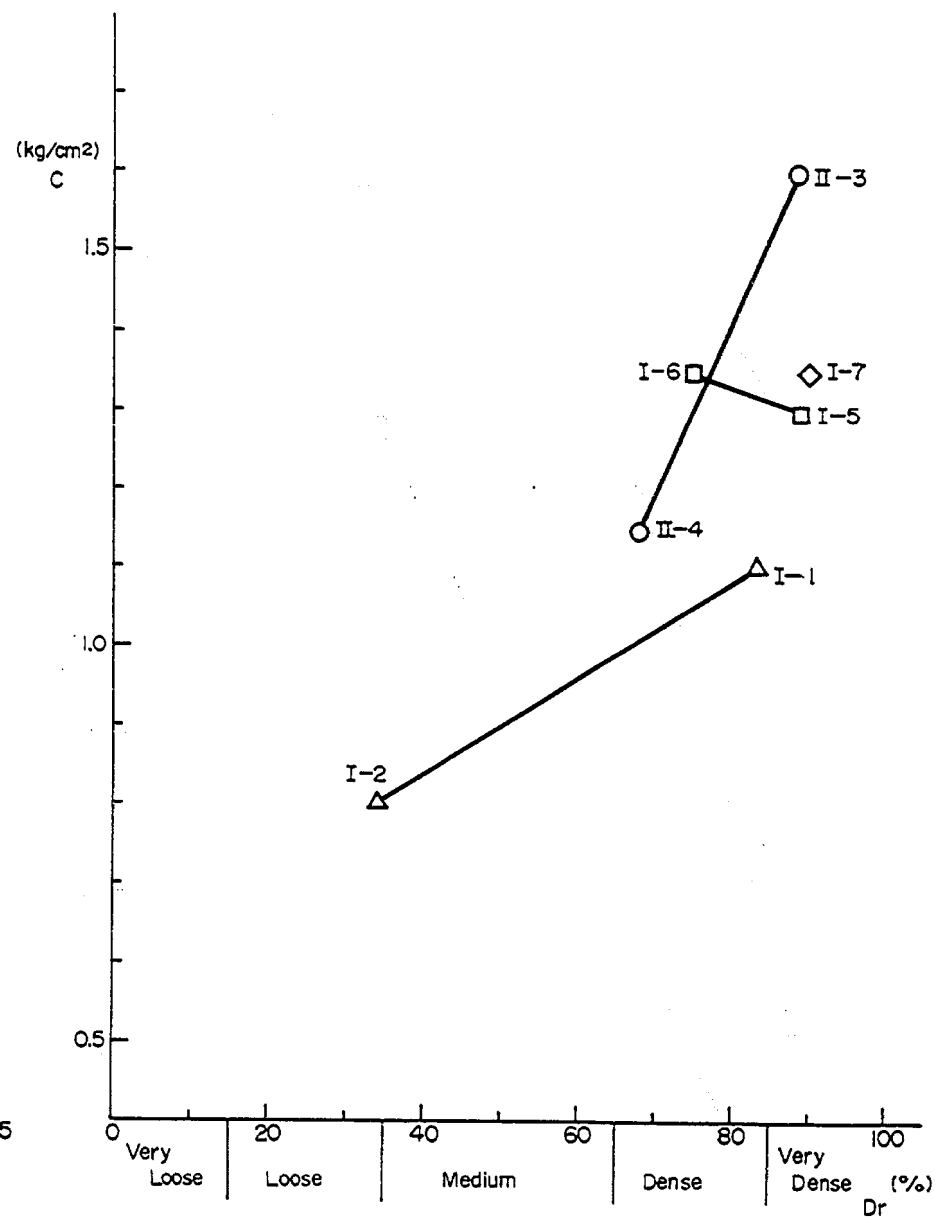


図-4.23 粘着力と相対密度

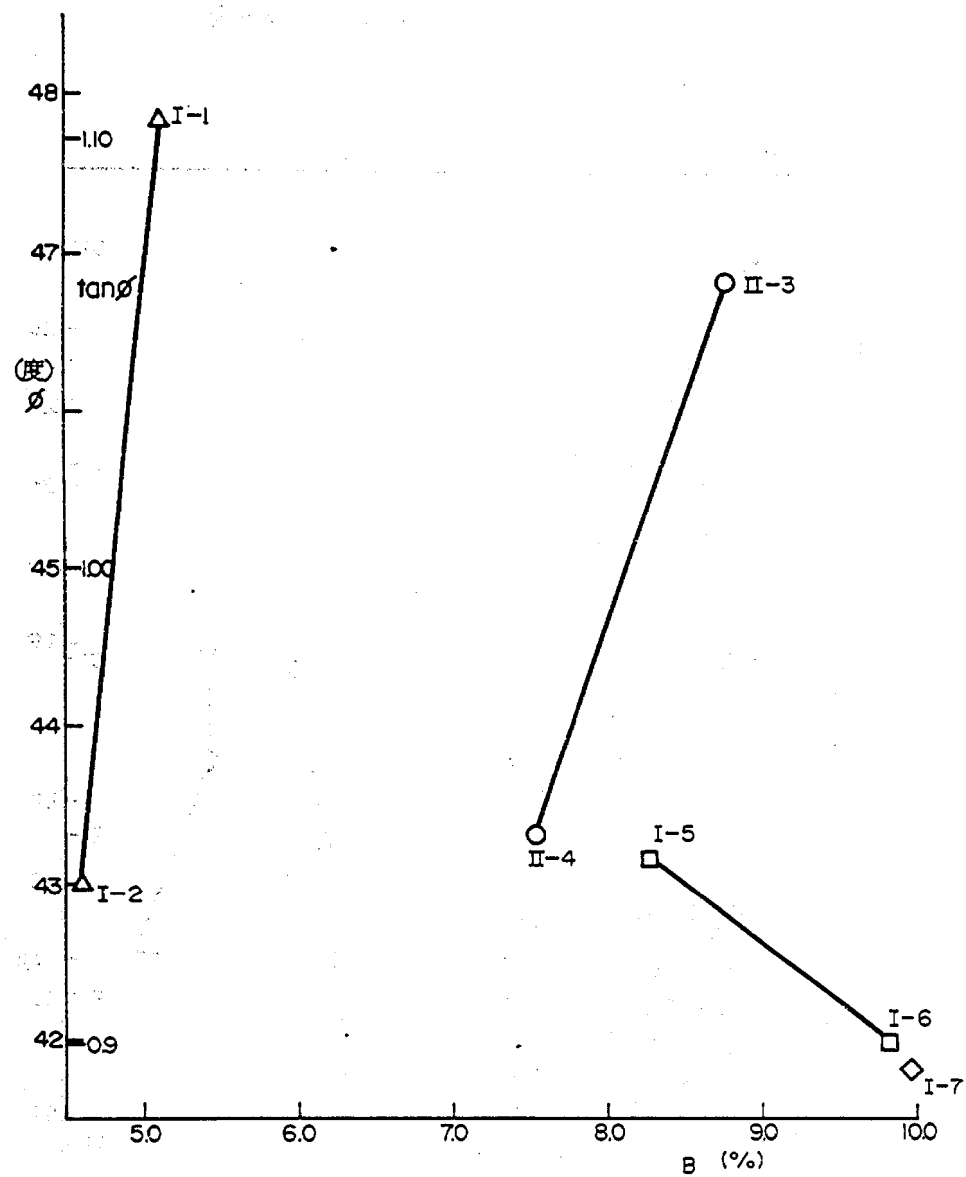


図 - 4.24 内部摩擦角と破碎率

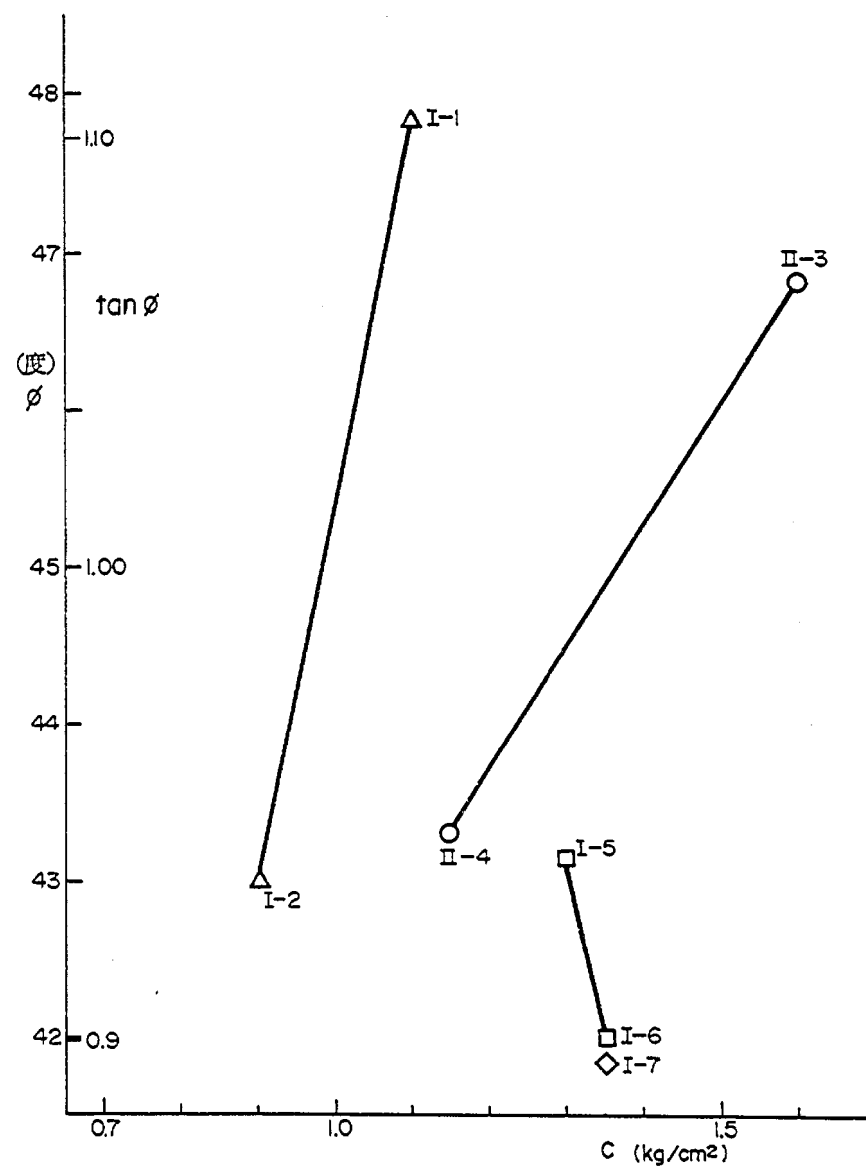


図 - 4.25 内部摩擦角と見掛の粘着力

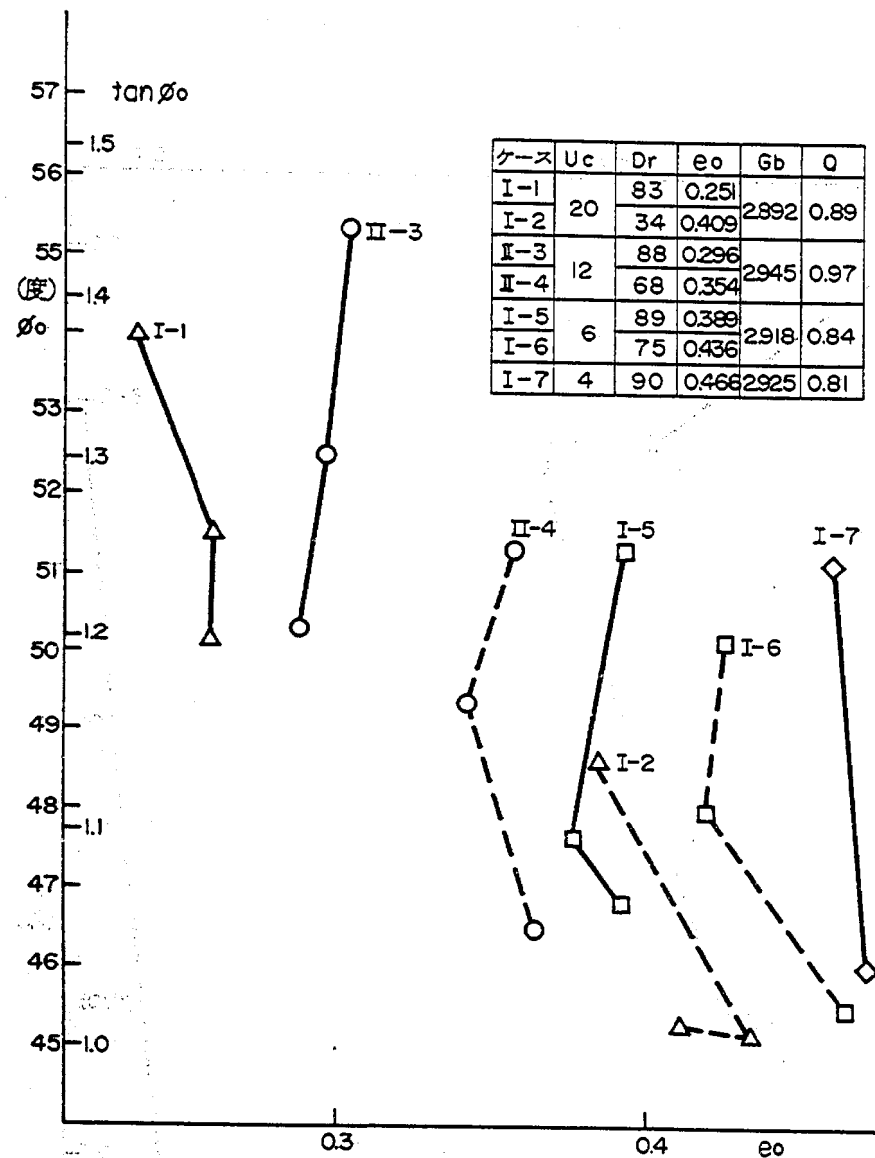


図 - 4.26 内部摩擦角と初期間隙比

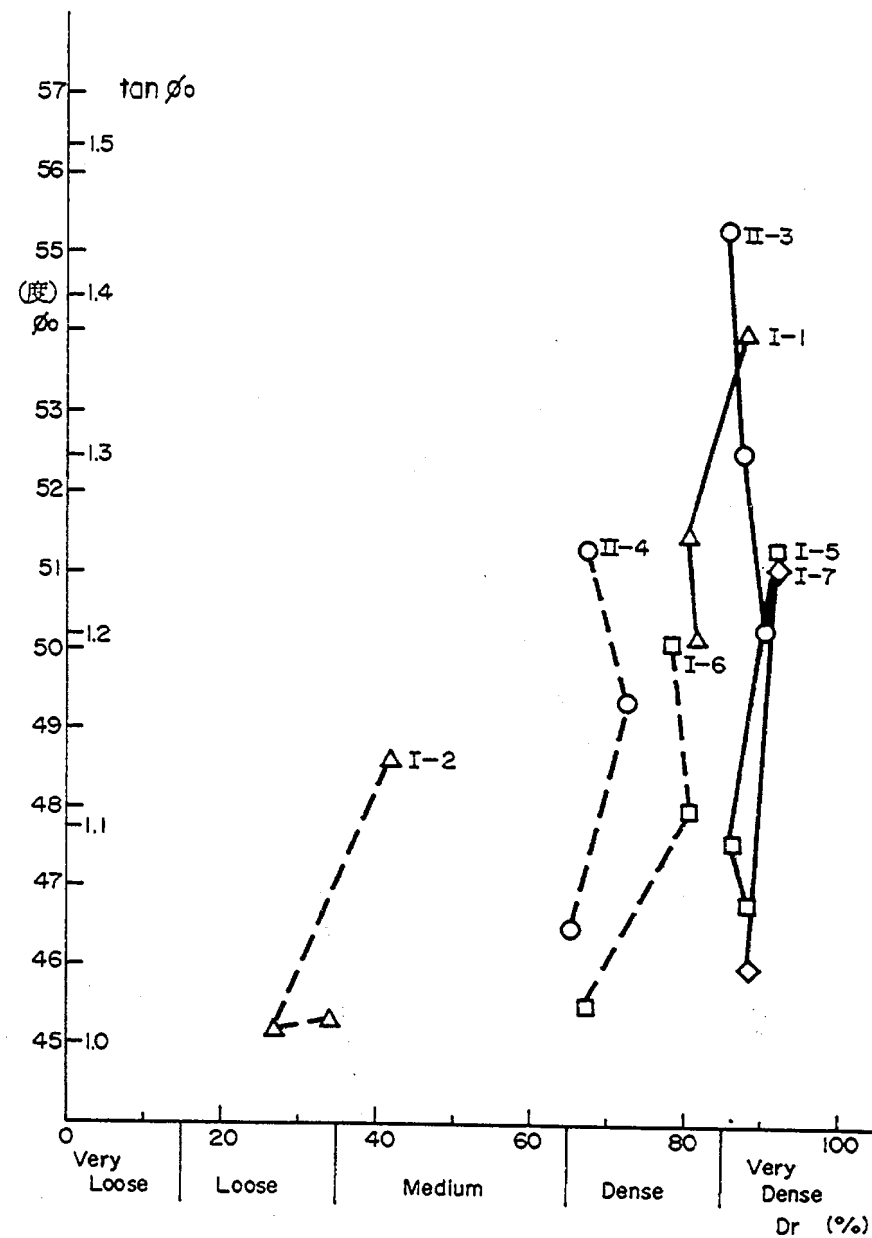


図 - 4.27 内部摩擦角と相対密度

着力成分が大きく現われており、 $LRT-2$ 材料（均等係数が12）を使用した場合が最も大きな値を示している。これらの値が示す傾向は材質の相違が微妙に影響を与えたものか、あるいは均等係数の影響による特徴が真に表現されているかの点については不明である。粘着力成分の値そのものは相対密度が85%程度で $1.1 \sim 1.6 \text{ kg/cm}^3$ を示しており火成岩類の値としては一般的な値であると言えよう。また内部摩擦角と見掛けの粘着力の関係を図-4.25に示す。これより次のことが言える。内部摩擦角と見掛けの粘着力の間には比例の関係が現われておりその変化率は粒度に左右され良い粒度では粘着力が小さい傾向を示すが、粘着力成分の増分による内部摩擦角の増分は大きい傾向にある。またこのケースでも前述した高側圧での頭落ちの結果が現われている。そして図-4.28の結果と合わせて見ると、粘着力と側圧が零に近づくとも内部摩擦角 ϕ は ϕ_0 に近くなり、粘着力が大きい程勾配は急で内部摩擦角が大きい程勾配は緩くなる。

5) 強度定数

強度定数の値に及ぼす要因の1つを応力と歪の関係の中でダイレイタンスーレートに着目して再度総括してみよう。

$(d\varepsilon_v/d\varepsilon_a)_f$ と $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ の関係では均等係数、締固まり程度によらずほぼ一様な正の勾配を示しておりダイレイタンスーレートと最大主応力比の間には密接な関係が認められる。また均等係数が大きく初期密度が高いほどダイレイタンスーレートの増分は多く、主応力比の最大値に近づくに従って急激に体積膨張を生じることを示している。（図-4.29）

$(d\varepsilon_v/d\varepsilon_a)_f$ と B の関係では、ダイレイタンスーレートが小さく現われる場合は破碎率が大きくなることを示しており1-2を除いてその傾向が顕著であるとともにダイレイタンスーレートと破碎率の増加にともなって粘着力成分の増分がみられる。（図-4.19）

以上の2点より主応力差の最大値におけるダイレイタンスーレートが大きく現われる状態、つまり均等係数が大きく初期密度が高い程内部摩擦角が大きく現われ、ダイレイタンスー係数が大きく、しかも粒子破碎が多く生じる程粘着力成分が大きく現われるものと考えられる。強度定数比較表を表-4.8、主応力比とダイレイタンスーレートの関係を図-4.29に示した。

表 - 4.8 強度定数比較表

	I-1 $U_c=20$ $D_r=83$		I-2 $U_c=20$ $D_r=34$		II-3 $U_c=12$ $D_r=88$		II-4 $U_c=12$ $D_r=68$	
	内 マ サ ツ 角 ϕ	粘着力 kg/cm^2	内 マ サ ツ 角 ϕ	粘着力 kg/cm^2	内 マ サ ツ 角 ϕ	粘着力 kg/cm^2	内 マ サ ツ 角 ϕ	粘着力 kg/cm^2
モール・クーロンの包絡線	$47^\circ 50'$	1.10	$43^\circ 00'$	0.80	$46^\circ 50'$	1.60	$43^\circ 20'$	1.15
	$\sigma_3 = 2.0, 4.0 (kg/cm^2)$	1.10	$40^\circ 20'$	1.15	$47^\circ 10'$	1.40	$46^\circ 50'$	0.70
	$\sigma_3 = 2.0, 6.0 (kg/cm^2)$	1.10	$43^\circ 00'$	0.80	$46^\circ 50'$	1.60	$43^\circ 20'$	1.15
最小二乗法	$47^\circ 52'$	1.06	$43^\circ 19'$	0.59	$46^\circ 57'$	1.59	$43^\circ 28'$	1.27
各応力レベルに応じた原点か らの接線	$54^\circ 00'$	0	$48^\circ 40'$	0	$55^\circ 20'$	0	$51^\circ 20'$	0
	$47^\circ 50'$	0	$40^\circ 20'$	0	$49^\circ 40'$	0	$46^\circ 50'$	0
	$47^\circ 50'$	0	$46^\circ 10'$	0	$42^\circ 50'$	0	$39^\circ 10'$	0
破壊時 σ_1 / σ_3 最小円	$50^\circ 10'$	0	$45^\circ 20'$	0	$50^\circ 20'$	0	$46^\circ 30'$	0
モール・クーロンの包絡線	I-5 $U_c=6$ $D_r=89$		I-6 $U_c=6$ $D_r=75$		I-7 $U_c=4$ $D_r=90$			
	$43^\circ 10'$	1.3	$42^\circ 00'$	1.35	$41^\circ 50'$	1.35		
	$\sigma_3 = 2.0, 4.0 (kg/cm^2)$	1.45	$45^\circ 10'$	0.80	—	—		
最小二乗法	$43^\circ 10'$	1.30	$42^\circ 00'$	1.20	$41^\circ 50'$	1.35		
	$43^\circ 19'$	1.17	$42^\circ 37'$	1.16	$42^\circ 32'$	1.25		
	$51^\circ 20'$	0	$50^\circ 10'$	0	$51^\circ 10'$	0		
各応力レベルに応じた原点か らの接線	$41^\circ 50'$	0	$45^\circ 10'$	0	$42^\circ 20'$	0		
	$44^\circ 40'$	0	$38^\circ 30'$	0	—	—		
	$46^\circ 50'$	0	$45^\circ 30'$	0	$46^\circ 0'$	0		

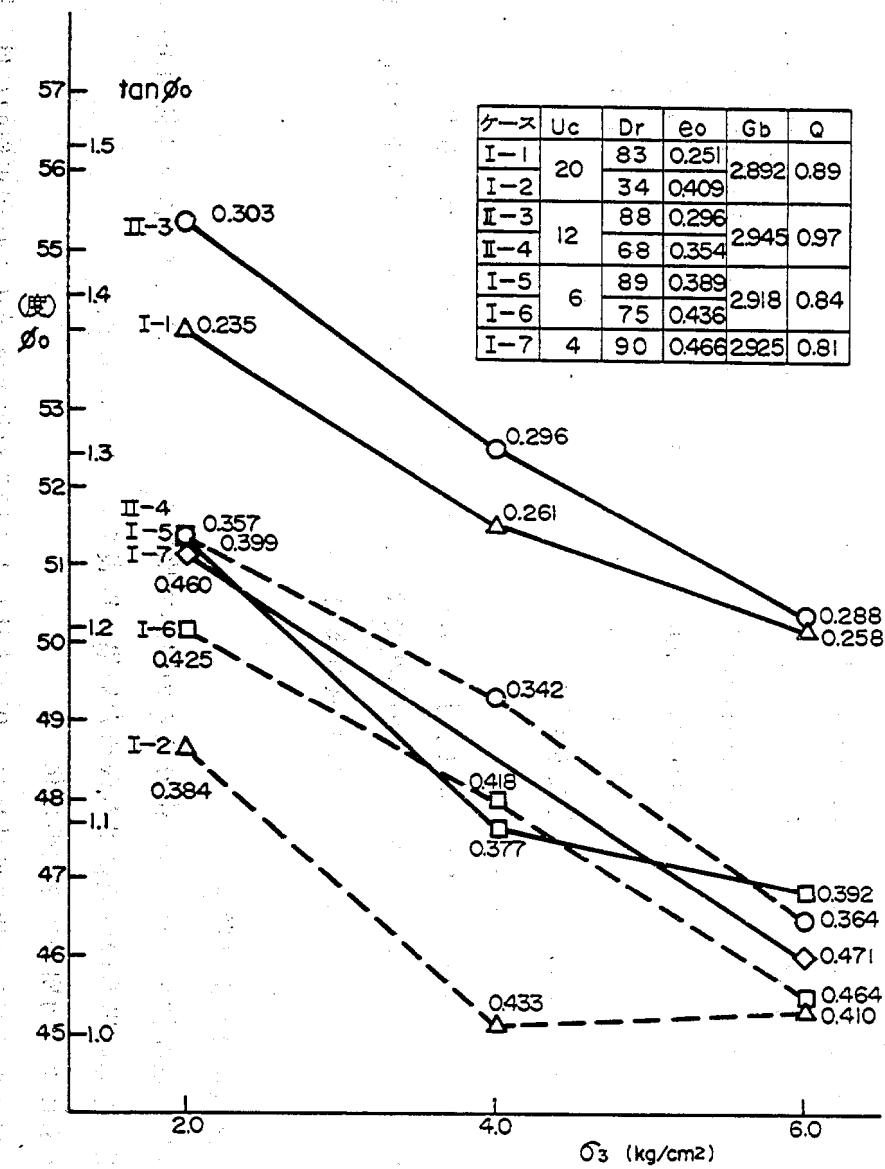


図-4.28 内部摩擦角と側圧

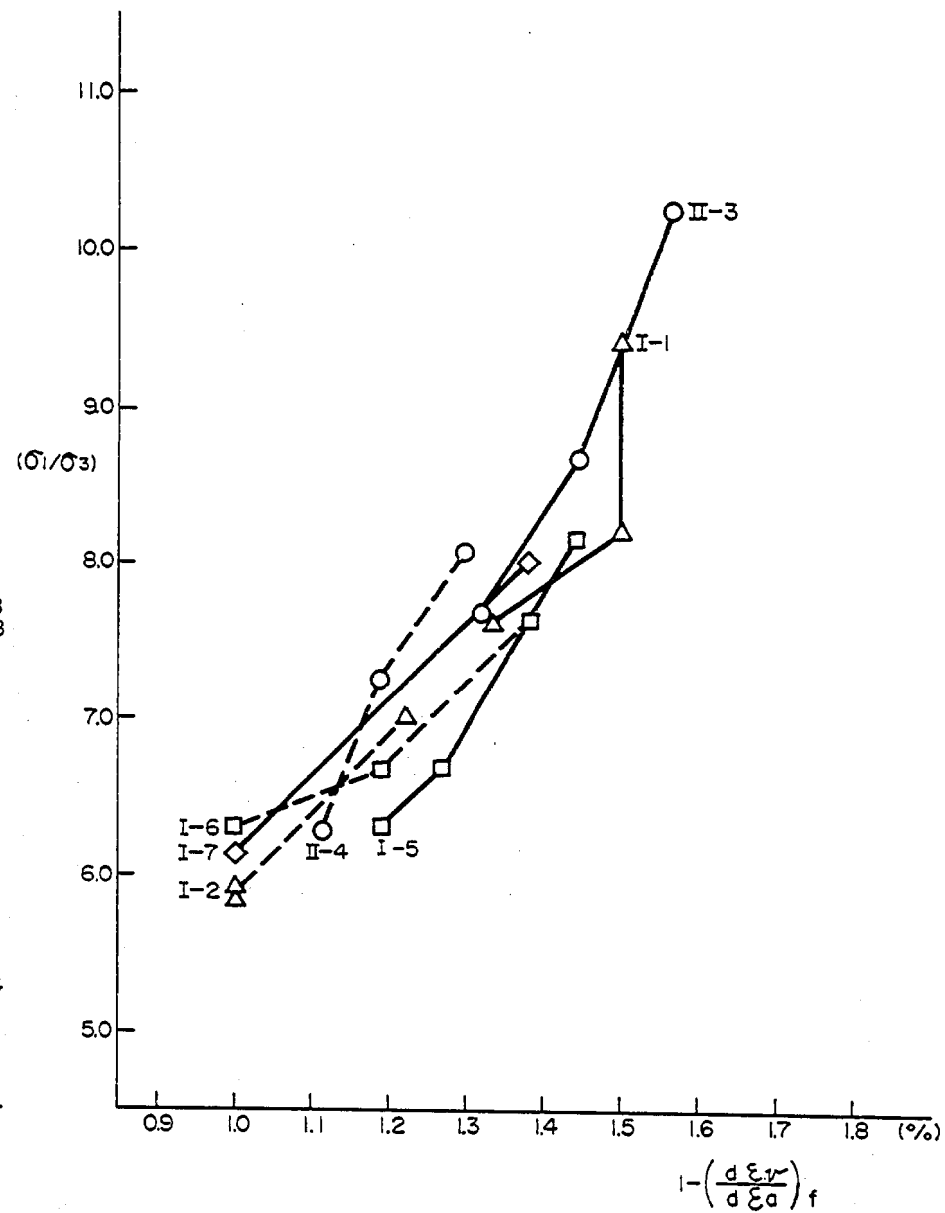


図-4.29 主応力比とダイレイタンスーレート

5. 繰り返し等方圧密と K_0 圧密試験

5.1 試験目的

圧密方法の相違によるロック材料の強度定数の値と変形性（変形係数）の変動性および堤体材料として用いる場合の注意点を把握しようとすることを主目的として行ったものである。

5.2 試験概要

1) 繰り返し等方圧密後におけるせん断試験

CD試験方法における場合の様な等方圧密後の値と繰り返し等方圧密後の値を圧密効果による依存性を基本に考えて比較しようとしたものである。

繰り返し圧密のパターンは、供試体を排水状態にしておき、供試体に等方に加わる側圧を増減して繰り返し圧密を行ったものである。側圧の上限値を 4 kg/cm^2 、下限値を 0 kg/cm^2 とし圧密波形を側圧値と時間軸において三角波形として側圧の増減スピードを $1 \text{ kg/cm}^2/\text{min}$ でコントロールした。圧密過程終了の判定は、繰り返し圧密によって現われる体積圧縮量が一定値を示す状態を基本に考えて行った。

圧密終了後のせん断試験はCD試験方法に準じたもので軸変位制御とした。

2) K_0 圧密後におけるせん断試験

繰り返し等方圧密の場合と同様に圧密効果の依存性を基本としたものであるが、堤体内の圧密状態が K_0 状態（側面拘束状態）に近いものと仮定したものである。

圧密方法は、圧密過程において供試体の側方が変位しないように圧密応力をコントロールする方法とした。側方の変位の有無は、供試体の高さ方向の中央に周辺変位計を取りつけて検出する。圧密応力の与え方は、供試体の軸方向荷重を 300 kg/min ($\approx 0.45 \text{ kg/cm}^2/\text{min}$) として側方変位が零となるように側圧をコントロールした。圧密終了時の側圧上限を 6 kg/cm^2 とし、圧密終了後のせん断試験はCD試験方法に準じた軸変位制御とした。

3) 試験粒度と試験初期密度

試験に使用した材料は、LRT-3（左岸、 $EL = 410 \text{ m}$ ）の横抗より採取されたものである。

粒度分布は側圧一定試験の状態と同一のものであり、初期密度についても極力側圧一定試験状態と一致するように努力した。表-5.1に試験条件を示す。

5.3 試験結果および考察

圧密効果の依存性を、異なる圧密方法との対応で比較するためにCD試験で供試体初期条件と試験側圧が等しい場合の試験結果も含めた結果一覧表を表-5.2に示す。

1) 圧密による初期間ゲキ比の変化

圧縮効果による間ゲキ比の低減には、圧密方法による顕著な相違は認められず平均的には、初

表 - 5.1 試験条件

ケース名		粒子形状 ^{*1}	岩種	比重 (均等係数)	吸水率 含水比 (%)	相対密度 (平均値)	側圧 σ_3 (kg/cm^2)	初期乾燥 密度 γ_d (g/cm^3)	間ゲキ比 初期 e_0
繰り返し等方圧密	C-8	塊状	Gabbro	2.892 (20)	Q=0.89 W=0.28	Dr=79%	4.0	2.286	0.265
	C-9	"	"	2.892 (20)	Q=0.89 W=0.28	Dr= 0%	4.0	1.912	0.513
	C-10	"	"	2.918 (6)	Q=0.84 W=0.28	Dr=84%	4.0	2.007	0.405
	C-11	"	"	2.918 (6)	Q=0.84 W=0.28	Dr= 0%	4.0	1.847	0.580
K ₀ 圧密	K-12	"	"	2.892 (20)	Q=0.89 W=0.28	Dr=72%	6.0	2.248	0.286
	K-13	"	"	2.892 (20)	Q=0.89 W=0.28	Dr=28%	6.0	2.023	0.430

*1 Zingg による。

表 - 5.2 試験結果一覧表 (研究試験)

		σ_3 kg/cm^2	eo	ec	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ kg/cm^2	ϵ_f %	ϵ_{vf} %	ϕ_0	E_f kg/cm^2	$\epsilon_a = 1\%$ 時		$\epsilon_a = 2\%$ 時	
										$(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm^2	E_1 kg/cm^2	$(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm^2	E_2 kg/cm^2
側圧一定試験 $\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right)$	$U_c = 2.0$ (1)	4	0.261	0.219	28.83	5.35	-0.120	51.52°	539	13.45	1345	21.59	1080
	(1)	6	0.258	0.213	39.69	5.81	0.476	50.16°	683	18.03	1803	27.63	1382
	(1)	6	0.410	0.331	29.44	13.84	3.400	45.27°	213	6.97	697	12.15	608
$U_c = 6$ (1)	4	0.418	0.352	23.21 (22.7)	9.72	0.977	48.05° (47.68°)	239	10.25	1025	14.69	735	
繰り返し等方圧密													
$U_c = 2.0$ (1)	4	0.265	0.216	29.50	5.09	0.125	51.87°	580	12.54	1254	21.15	1058	
	(1)	4	0.513	0.432	18.07	11.97	3.032	43.88°	151	4.73	473	7.34	367
$U_c = 6$ (1)	4	0.580	0.450	19.70	14.89	3.590	45.33°	132	5.34	534	7.88	394	
	(1)	4	0.405	0.335	24.41	9.39	0.938	48.87°	260	10.05	1005	14.60	730
K ₀ 圧密 $\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right)$													
$U_c = 20$ (2.37)	6	0.286	0.229	36.39	5.05	0.221	48.77°	720	24.87	2487	31.36	1568	
	(2.49)	6	0.430	0.313	27.66	9.90	2.355	44.22°	279	15.14	1514	18.59	930

期間隙比の約20%の低減を示している。しかし、初期間隙比が大きい場合には、若干 K₀ 圧密の効果が大きく現われるようである。(図 - 5.1 間隙比の変化)

2) 最大主応力差の比較

K_0 圧密後の最大主応力差の値は、等方圧密および繰返し等方圧密によるものと比較して約20%程度の低下を示している。また、等方圧密よりも繰返し等方圧密によるものの値が若干大きな値を示している。この値の示す傾向は基本的に K_0 圧密の場合は圧密過程においてせん断されることに対して、繰返し等方圧密過程においてはせん断されないことの相違であろう。(図-5.2 主応力差の比較)

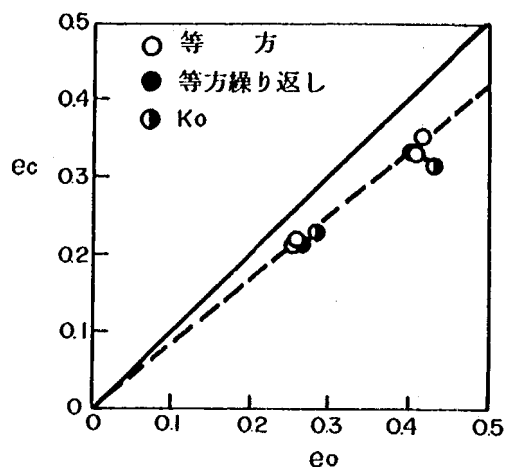


図-5.1 間ゲキ比の変化

3) 応力と歪曲線の比較

等方圧密と繰返し等方圧密および K_0 圧密状態の各々をせん断試験し得られた応力歪曲線に対応させて比較してみる。

等方圧密と繰返し等方圧密で側圧が 4 kg/cm^2 ・均等係数が6と20の場合の試験ケースでは軸方向歪が3%以内において、主応力差の値と体積歪の値はほとんど差が認められないが、繰返し等方圧密試験では $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ と ϵ_f が大きく ϵ_{vf} が小さくなる結果を示している。(図-5.3 応力～歪曲線)

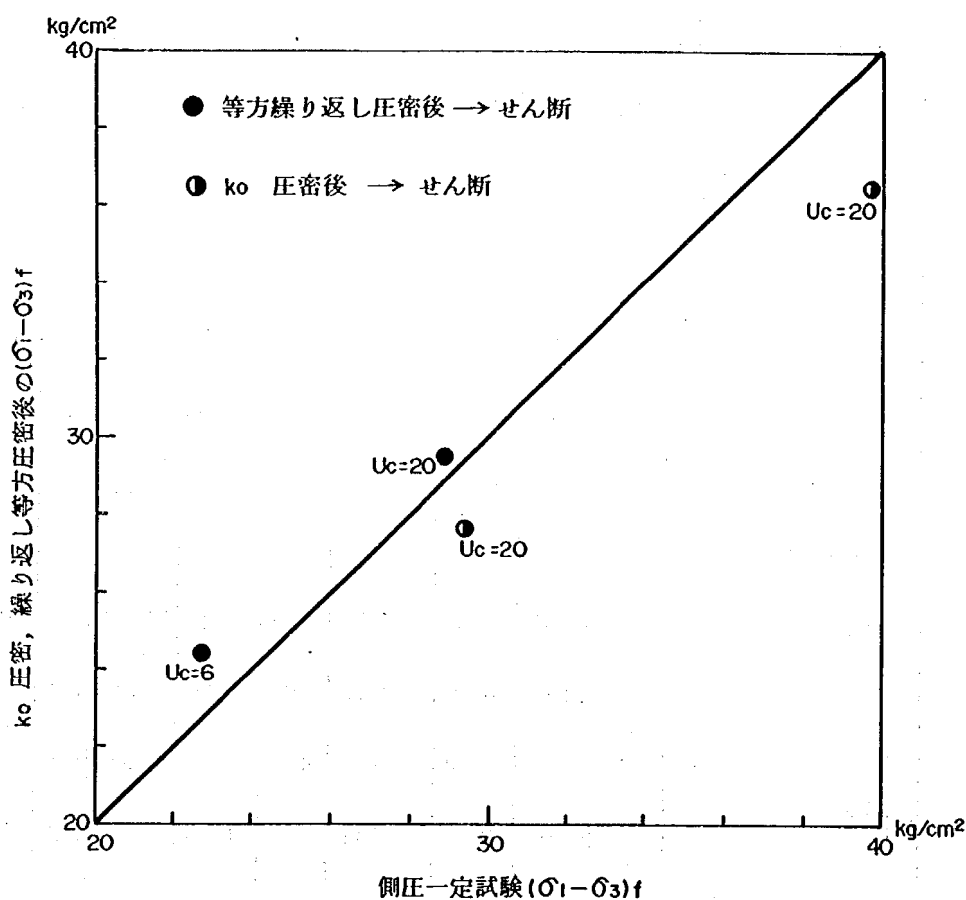


図-5.2 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の比較

等方圧密と K_0 圧密を行った場合で初期密度の

異なる側圧 6 kg/cm^2 の場合の試験ケースでは、 K_0 圧密を行った方が $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$, ϵ_f , ϵ_{vf} の値が小さく現われている。(図-5.4 応力～歪曲線)

4) ϵ_f および ϵ_{vf} の比較

ϵ_f および ϵ_{vf} は等方圧密を行った場合と繰返し等方圧密を行った場合での値の差は顕著に認めることはできないが K_0 圧密を行った場合は若干小さな値を示している。(図-5.5 ϵ_f の比

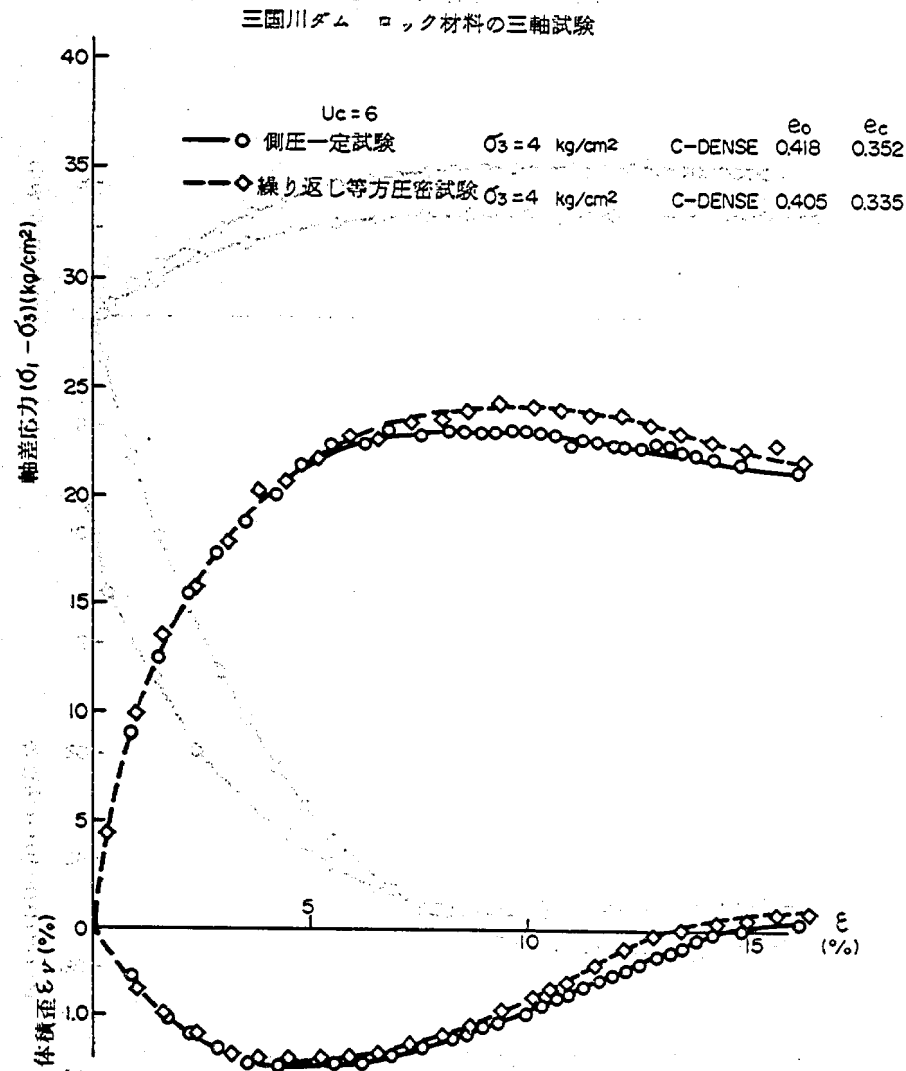


図-5.3(1) 等方圧密と繰り返し等方圧密の比較

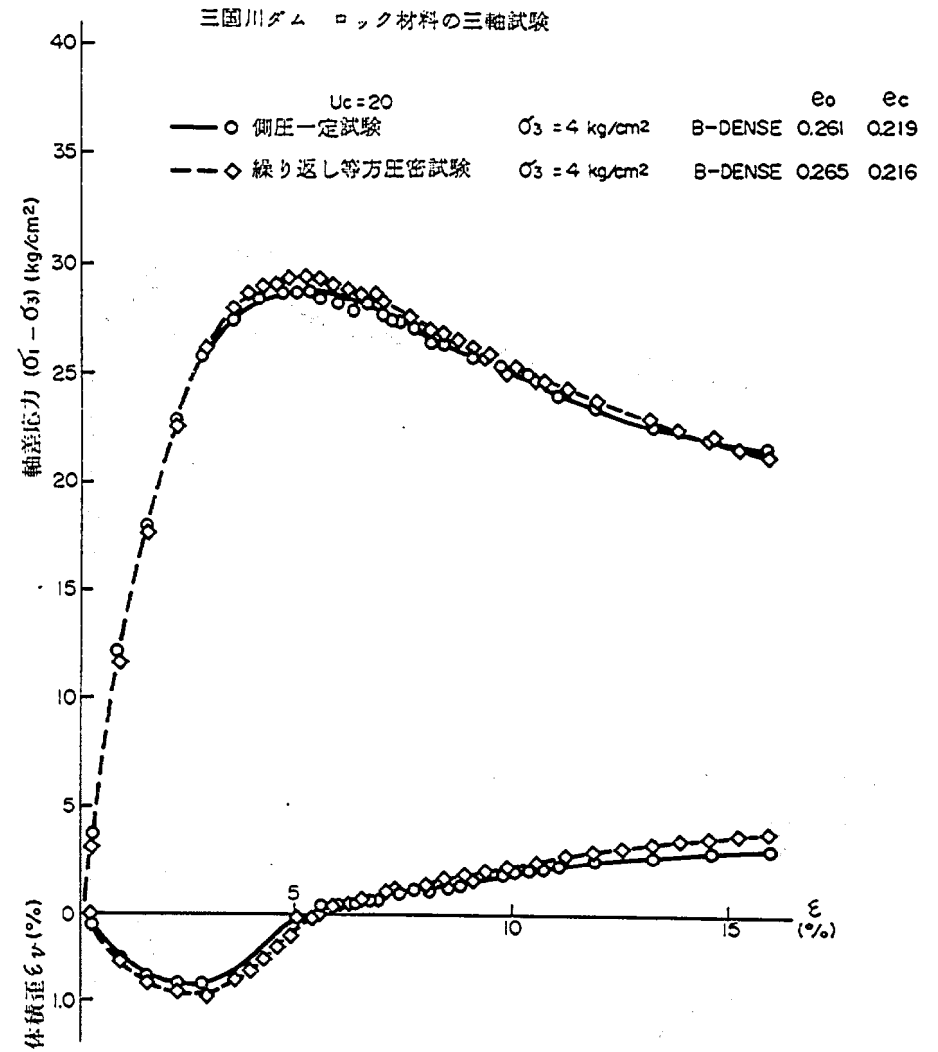


図-5.3(2) 等方圧密と繰り返し等方圧密の比較

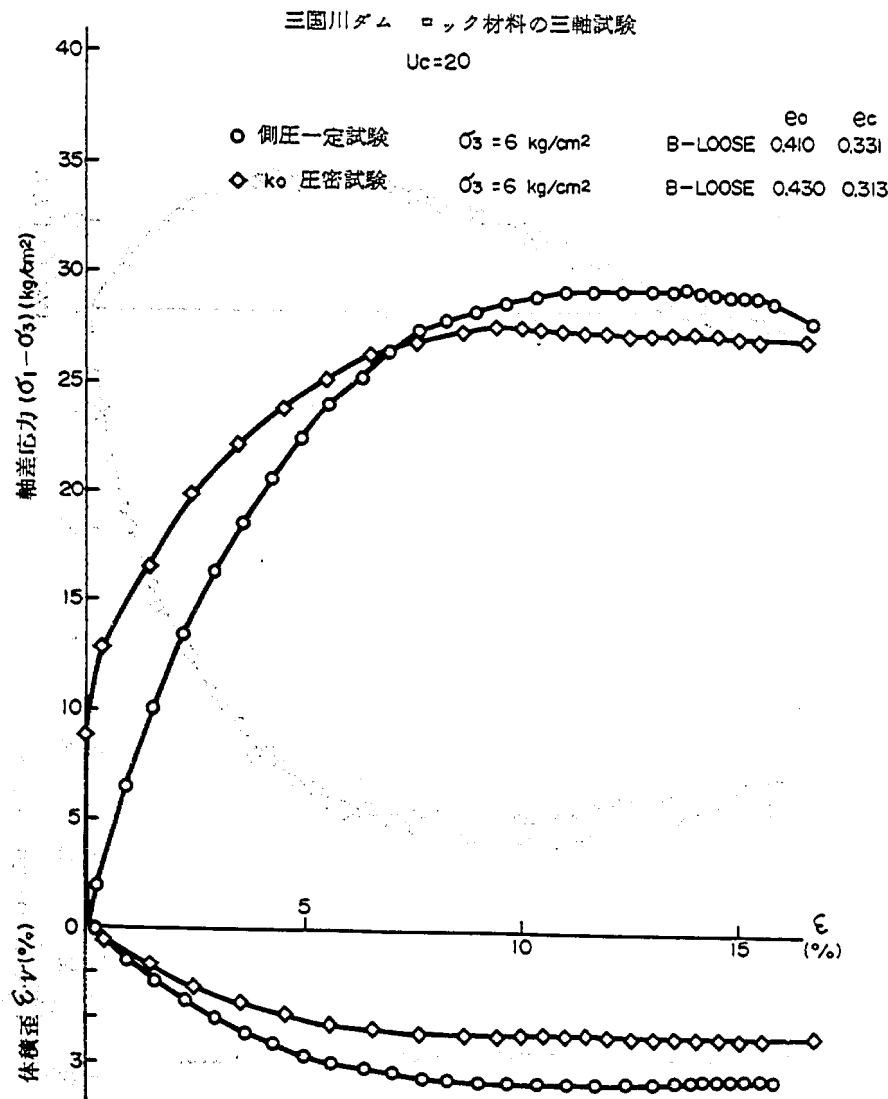


図 - 5.4 (1) 等方圧密と K_0 圧密の比較

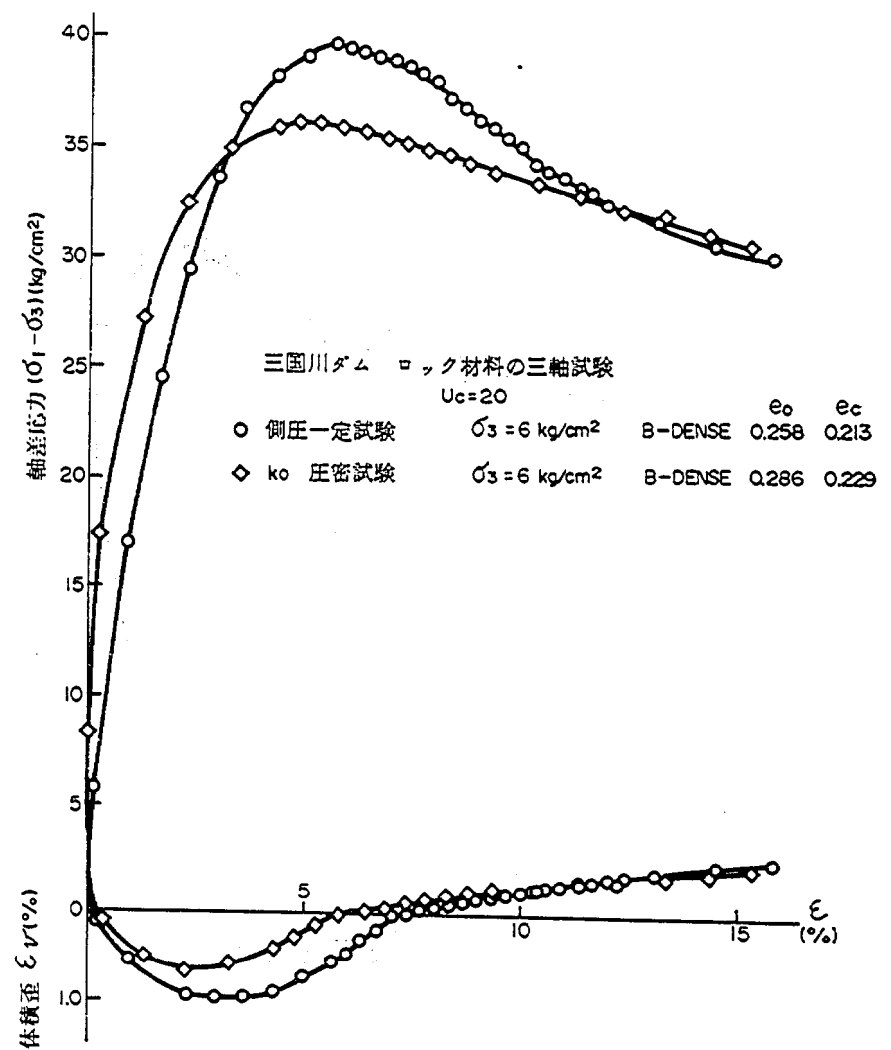


図 - 5.4 (2) 等方圧密と K_0 圧密の比較

較, 図- 5.6 ϵ_{vf} の比較)

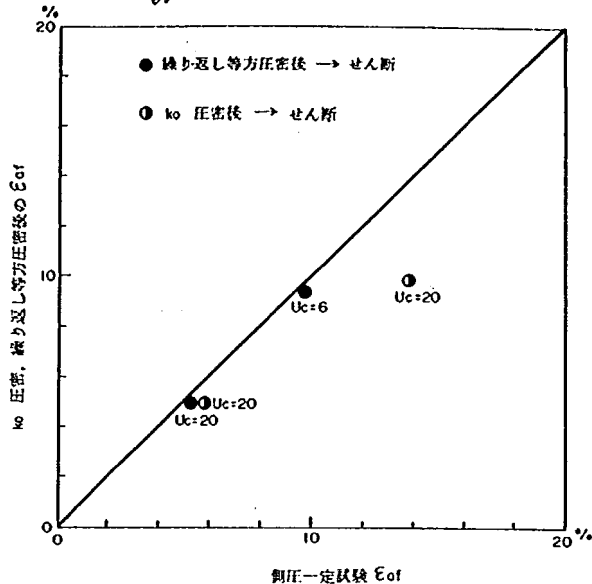


図- 5.5 ϵ_{af} の比較

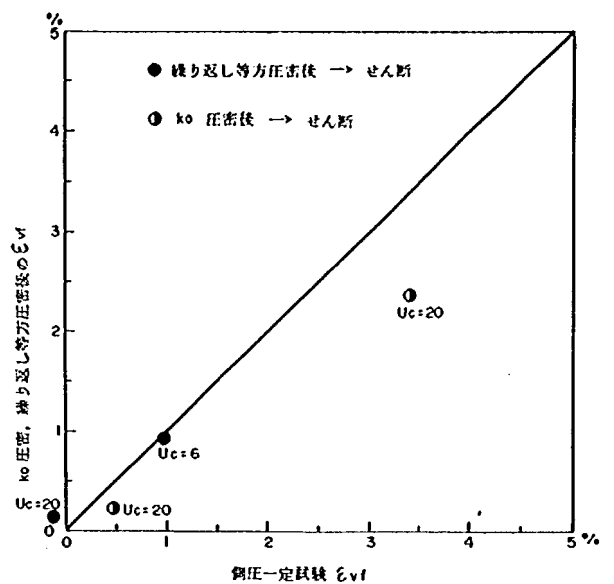


図- 5.6 ϵ_{vf} の比較

5) 変形係数の比較

$(\sigma_1 - \sigma_3)_f / \epsilon_f$ と $\Delta(\sigma_1 - \sigma_3) / \Delta\epsilon$ の値で比較すると $(\sigma_1 - \sigma_3)_f / \epsilon_f$ の値では, K_0 圧密, 繰り返し等方圧密, 等方圧密を行った場合の順序で大きな値を示している。(図- 5.7 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f / \epsilon_f$ の比較)

$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3) / \Delta\epsilon$ の値を軸方向歪が 1~2 % の間で比較すると等方圧密と繰り返し等方圧密を行った場合とはほぼ等しいが, 両者に比較して K_0 圧密を行った場合の方が 150 ~ 300 kg/cm^2 程度低い値を示しており初

期密度が高い状態の場合その差が大きく現われている。(図- 5.8 $\Delta(\sigma_1 - \sigma_3) / \Delta\epsilon$ の比較)

応力と歪の関係が非線形性を示すことを考慮すると変形係数の比較は $\Delta(\sigma_1 - \sigma_3) / \Delta\epsilon$ で行った方が堤体内の応力増分過程の面から妥当性が高いと考えられる。

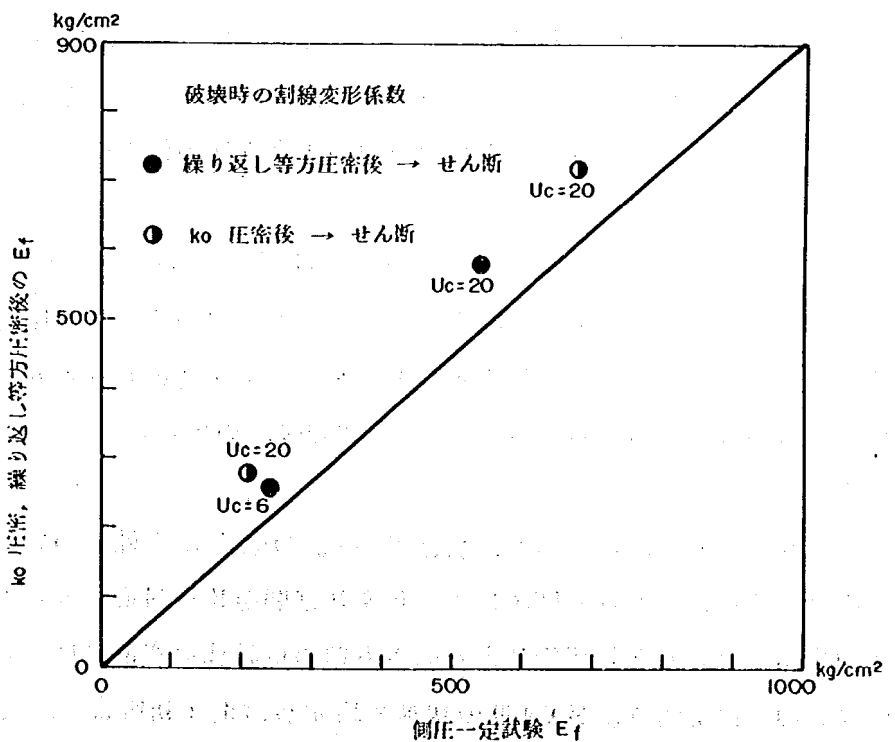


図- 5.7 E_f の比較

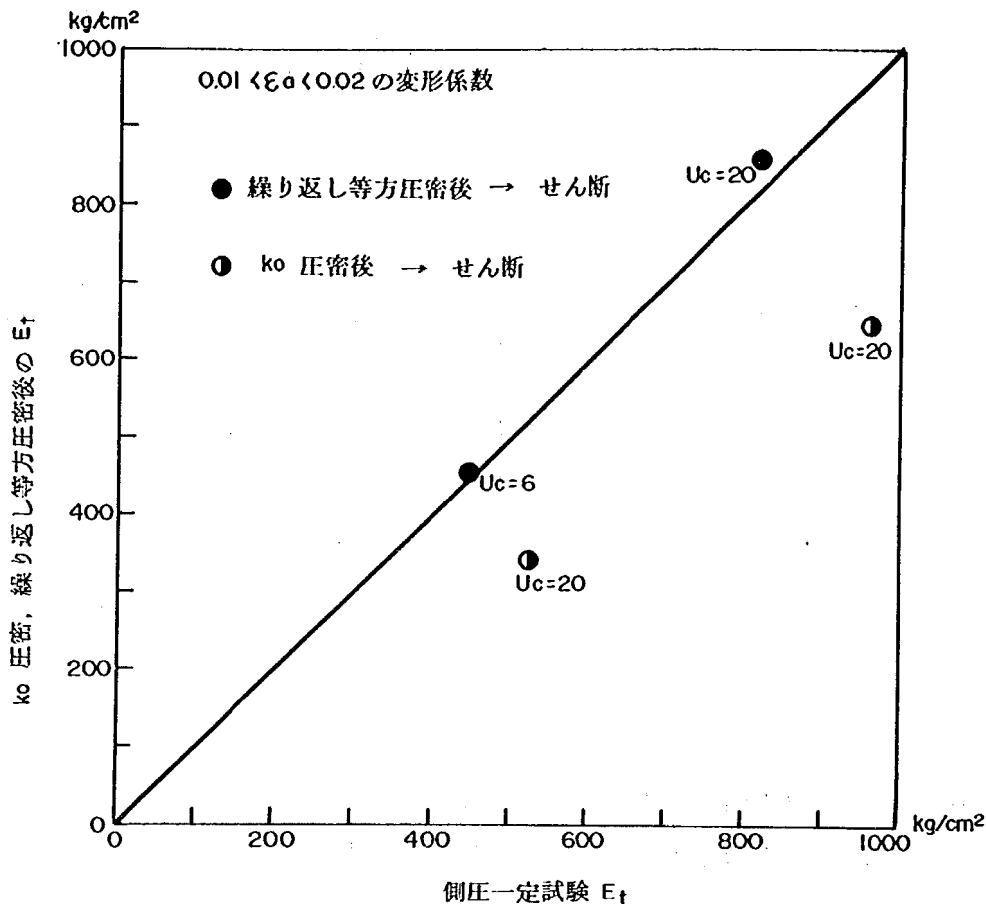


図 - 5.8 E_t の比較

6) 破壊時 ϕ_0 の比較

等方圧密と繰り返し等方圧密を行った場合を比較すると、繰り返し等方圧密を行った場合の方が若干大きめの値を示しているが顕著な差は認められない。等方圧密と K_0 圧密を行った場合を比較すると K_0 圧密を行った場合の方が約 1 度程度の値の低下を示している。(図 - 5.9 (1) ϕ_0 の比較)

K_0 圧密を行った試験ケースで、初期間隙比と圧密効果をみると、 $e_0 = 0.286$ の状態で 20 %, $e_0 = 0.430$ の状態で 27 % の低減を示し若干の差が認められるが圧密終了時の主応力比については、2.37 と 2.49 ではほぼ同程度の値を示しており圧密終了時における ϕ_0 の値に与える初期間隙比の影響は少ないものと考えられる。(図 - 5.9 (2) ϕ_0 の比較)

7) その他

3 種類の圧密方法によった試験結果を ϕ_0 の値と変形性について比較を行ないその特徴についてみた。圧密後における空隙比の変化を初期間隙比の対応でみると圧密方法によらずほぼ一様な傾向を示した。しかし圧密による高さ方向の供試体の変位量についてみると、 K_0 圧密試験で均等係数が 20、初期間隙比が 0.430 の状態で約 4 % の歪 (初期高さに対して) が生じた外は、1.1 ~ 1.9 % の値を示し等方圧密よりも繰り返し等方圧密および K_0 圧密の方が大きく現われる傾向がある

が大きな差は生じていない。この試験結果の傾向は初期間隙比が大きく、堤体内部の状態が K_0 状態である場合には、大きな沈下（圧密変位）が生じることを示唆しているものと考えられる。

ϕ_0 の値および変形係数では他に比較して K_0 圧密を行った場合の試験値が小さめな値を示した。これは、圧密時の側方拘束条件と圧密過程における主応力差の発生によることに起因しているものと考えられるが、粒度分布と初期密度の相違による影響についても今後試験検討を加える必要があるものと考えられる。

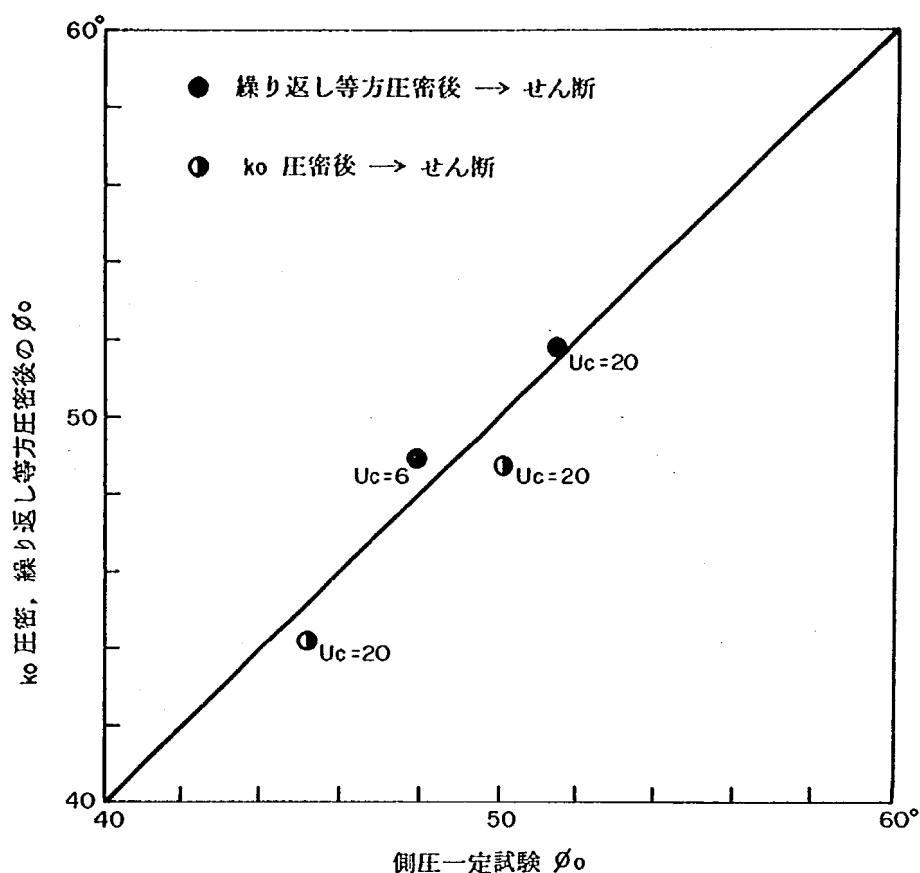


図 - 5.9 (1) ϕ_0 の比較

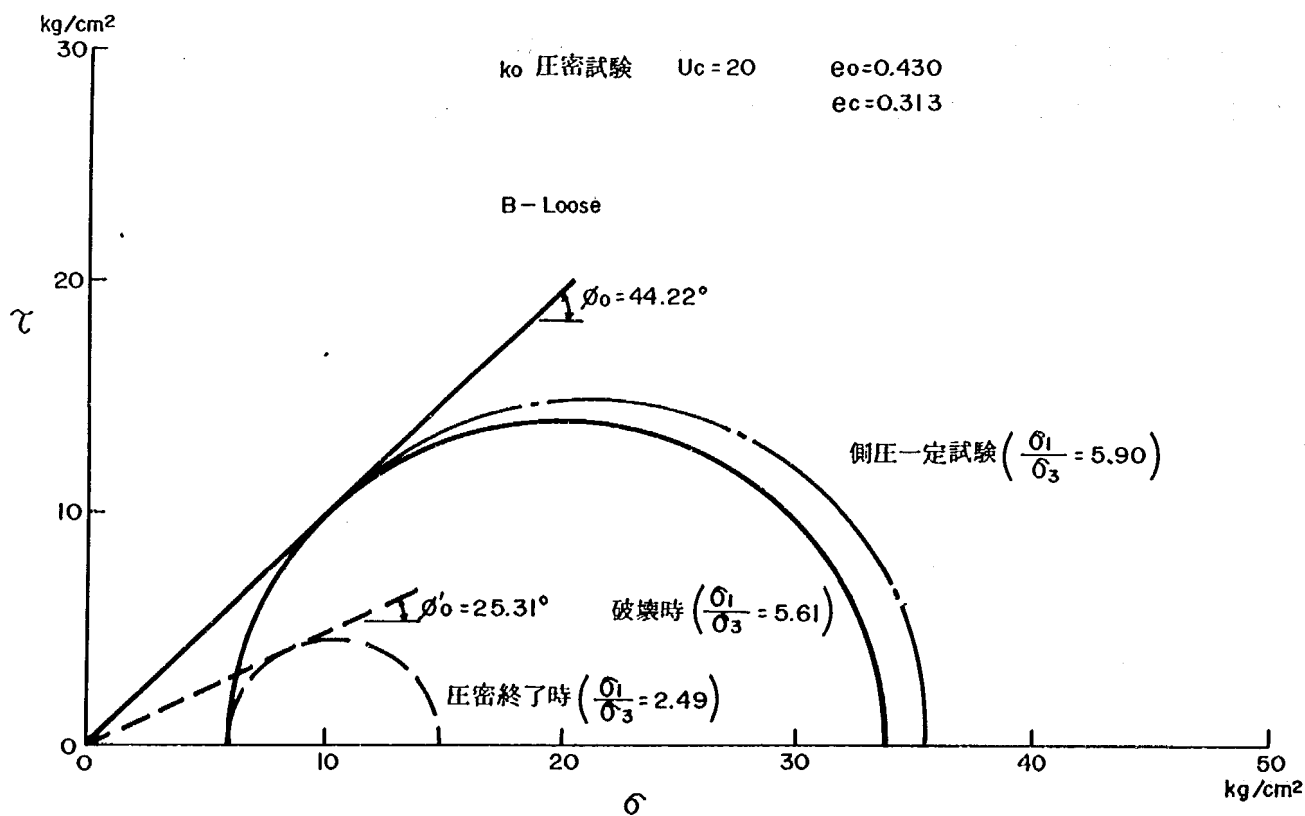
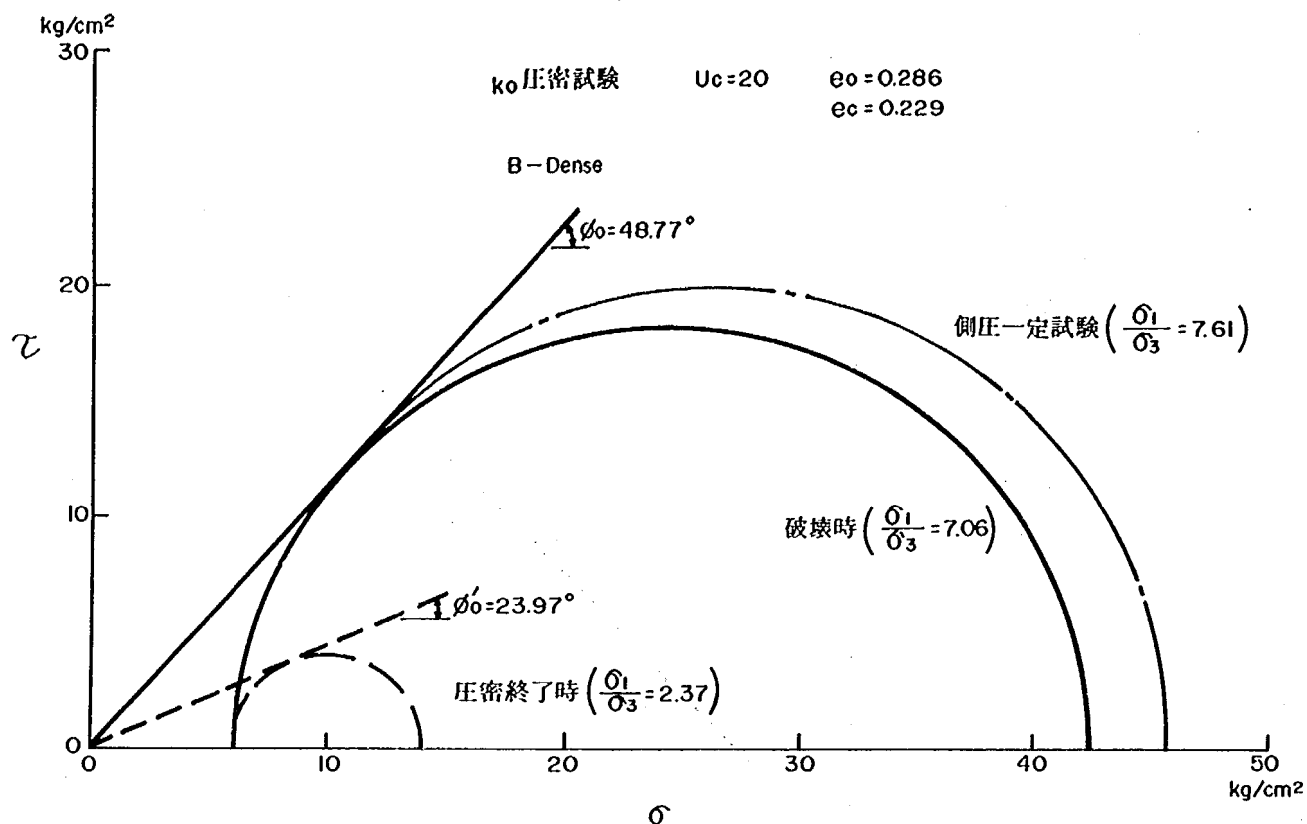


図 - 5.9 (2) ϕ_0 の比較
(圧密終了時と破壊時の応力円の比較)

6. 試験結果および考察

6.1 考察および今後の課題

1) 搬入材料を岩質的な面の評価では、当初は2岩質であると考えられていたため、比重・吸水量試験はLRT-2とLRT-3の各々の材料について実施した。得られた値の範囲は次の通りである。

$$\left. \begin{array}{l} LRT-2 \quad G_s = 2.874 \sim 2.979 \quad Q = 0.66 \sim 1.53\% \\ LRT-3 \quad G_s = 2.862 \sim 2.979 \quad Q = 0.50 \sim 1.53\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{※ 測定粒径} \\ (63.5 \sim 9.52) \text{ mm} \end{array}$$

G_s の値で比較するとLRT-2の材料が若干大ききな値を示しているが顕著な差は認められない。したがって両者の岩質は同程度と考えてよいであろう。

物理的性質の面では比重が大きく、吸水率が小さい点でロック材としてはかなり良質・堅硬な材料であるとともに水および気象作用に対する耐久性も問題ないと考えられる。

2) 締固め後の破碎は貧粒度で最高4.4%と若干多いが盛立て時において自由な排水性を損なうような極端な材料の破碎ではない。

3) 現場施工と室内締固め条件とは異なるが現場密度は岩質と現場粒度分布によって支配されることに十分留意する必要がある。

4) 三軸圧縮試験結果より内部摩擦角が均等係数によって大きく変動することが判明した特に均等係数が6~12の間の変動巾が大きい。

5) 内部摩擦角に対する初期間隙比、相対密度の関係(図-4.20, 4.21)と粘着力・すべり面での応力状態(応力レベル)を考慮すると図より設計値を求めることができる。

6.2 設計値の検討

締固め試験および三軸圧縮試験結果より表-6.1に示す設計参考値を求めた。

設計参考値は、相対密度85%を基本としたものであり、均等係数については現場横抗採取粒度では8~10程度が期待されるが、粒度分布状態の変動に余裕を見込んで $U_c = 6$ を基本として求めた。

現場施工密度は表-6.1に示す値以上になると考えられることと均等係数が増分される可能性を考慮すると間隙比および相対密度と内部摩擦角の関係より設計参考値には1度の余裕が見込まれる。また、粘着力成分については慣例通り無視して考えてある。

圧密方法の相違がせん断強さと変形性に与える影響を把握するために等方圧密に加えて繰り返し等方圧密および K_0 圧密試験を行い結果を比較した。

表-6.1 三国川ダム設計参考値

ゾ ー ン (岩種)	乾燥 密度 ρ_d (g/cm^3)	間隙比 e	相対 密度 D_r (%)	絶対 比重 G_s	内部 摩擦 角 ϕ (度)	粘着力 C (kg/cm^2)	備考
ロ ッ ク (硬い岩)	2.10	0.34	85	2.918	43	0	

ϕ_0 値では等方圧密と繰返し等方圧密効果の相違が明確に現われなかった。 K_0 圧密による場合が他の方法に比較して1度程度の低下を示したが設計値に与える影響については考慮する必要はないであろう。

変形性については、今後フィルダム堤体の応力解析の精度向上を主目的として、さらに検討を加えて調査試験を実施して行くことが必要であろう。

フィルダム材料の性質に
関する試験（三国川）

土木研究所資料第 1557 号
昭和 55 年 3 月（1980）

播田一雄，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

三国川ダムのロック材料である斑れい岩について力学試験を行っ
た結果を報告したものである。

郵便はがき

二十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町旭一番地

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1557号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印