

ISSN 0386—5878
土研資料第1659号
Aero. 40/ST.Section

土 木 研 究 所 資 料

ロック材料の粒子形状試験

昭和56年 3 月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

建設省土木研究所フィルダム研究室

播田 一 雄 (水公団・阿木川ダム建設所)

豊田 光 雄

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 目 的	2
3. 用 語 の 定 義	2
4. 試 験 方 法	5
4.1 試 験 材 料	5
4.2 試 験 器 具	5
4.3 試 験 方 法	5
4.3.1 平均的粒形の測定方法	5
4.3.2 トータルアンギュラリティー測定方法	8
5. 試験結果と考察	10
5.1 平均的粒形	10
5.1.1 測定誤差	10
5.1.2 平均的粒形の性質	10
5.1.3 測定法の改良すべき点	10
5.2 トータルアンギュラリティー	21
5.2.1 測定誤差	21
5.2.2 トータルアンギュラリティーの性質	21
5.2.3 測定法の改良すべき点	21
5.3 粒子形状と岩質	28
5.4 粒子形状と力学的性質	28
6. ま と め	35

1. ま え が き

一般に、粒状体の力学的性質は岩質、粒子形状、粒度、密度等に影響を受けると言われている。筆者らの調査では、これらのなかでどのファクターがどれくらいの影響を持っているか、いまだ明確でない。本報告はロック材の粒子形状を取りあげてその測定法の確立を図り、粒子形状と力学的性質の関係をロック材の強度試験で必要な内部摩擦角、間隙比から検討するものである。測定方法の細かい点は実験者によってそれぞれ異なるが、フィルダム研究室で従来から行なわれてきたものを整理したものである。ちなみに、本報告では粒子形状のファクターが力学的性質のなかでどれだけのウェイトを占めるかについてはあまり触れていない。

ところで粒子形状の考え方にいろいろあると思われるが、筆者らは小田による粒子形状の分類を参考にした。その説明を以下簡単に示す。小田は粒子形状を、

- ① 超微視的な表面特性
- ② 平均的粒形
- ③ 円 摩 度

の3つに分類している。①は電子顕微鏡で表面構造を観察するもので、粒子の物理的摩擦角およびセメンテーション等の物性論的アプローチを確立するうえで役立つ。②は粒子をシンプルな形に置きかえるものでLeesが数量化した偏平率、細長率、形状係数、Krumbeinが数量化したスphericityがあり、粒子構造の異方性と関連が深い。そして③は粒子表面の大まかな凹凸を観察するものでWaddellのラウンドネス、Leesのアンギュラリティーがあり、粒子間の摩擦角と関連がある。

本報告はこのなかの②、③について検討したものである。

2. 試 験 目 的

本報告は、粒子形状の分類のなかで平均的粒形（Lees の細長率，偏平率，形状係数，細長率 — 偏平率平面を利用した Zingg の分類，Krumbein のスヘルシティの指標）と Lees のアンギュラリティーについて，1）ロック材の粒子形状測定にいかすために従来の測定法に関する問題点を取りあげ，2）ロック材の強度常数（内部摩擦角，間隙比）との関係について検討したものである。

3. 用 語 の 定 義

ここで使用する用語について説明を行なう。

① 偏 平 率 (p)

図-1 のように，3 成分（XY 平面，XZ 平面，YZ 平面）を考え粒子をはさむ最大の間隔を最大径(a)とし他の 2 成分の測定において大きい間隔順に中間径(b)，最小径(c)とする。このときの最小径と中間径の比をいう。

② 細 長 率 (q)

上記の測定方法において，中間径と最大径の比をいう。

③ 形 状 係 数 (F)

偏球率と細長率の比で細長状，偏球状を表わす指標。（ $F > 1$ 細長状， $F < 1$ 偏球状）

④ 細 長 状

①のところで述べた中間径が最小径に近い図-2.a のような形となる。

⑤ 偏 球 状

中間径が最大径に近い。図-2.b のような形となる。

⑥ スヘルシティ (S)

粒子の体積と同一球の表面積と粒子の表面積の比で表わしたものである。いわゆる粒子が球状と比べてどのくらいの程度であることを示す指標。（球状 1.0，立方体 0.65）

⑦ アンギュラリティー (An)

粒子の角ばりの多少を示す指標。図-3 は四角形，三角形等のアンギュラリティーである。正方形で 508，正三角形で 720，星形で 36,000 の値を示す。このように，1 断面の角ばりをアンギュラリティーと呼ぶことにする。

⑧ トータルアンギュラリティー (TAn)

3 断面のアンギュラリティーの和

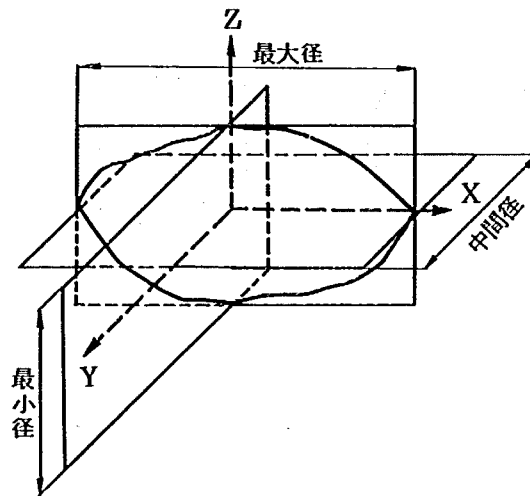


図-1 最大径、中間径、最小径のとり方

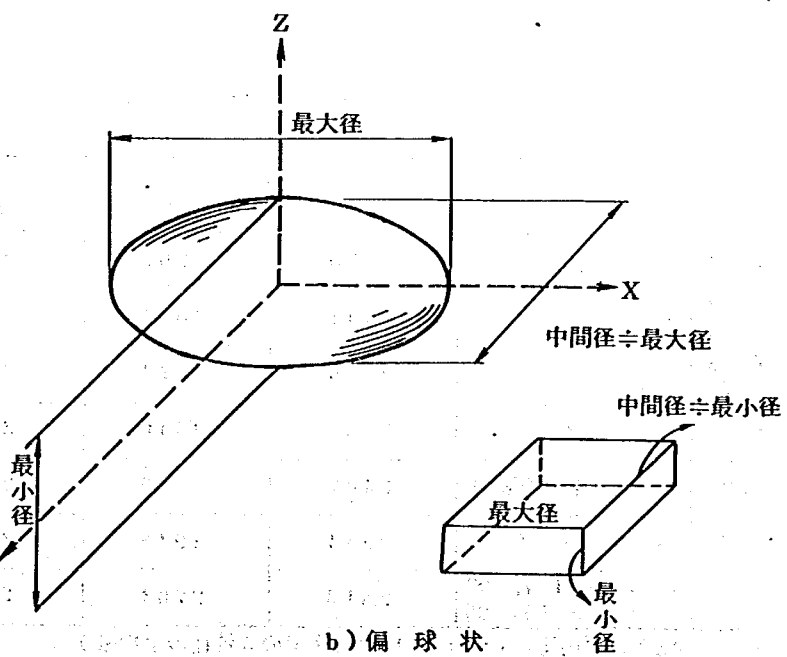
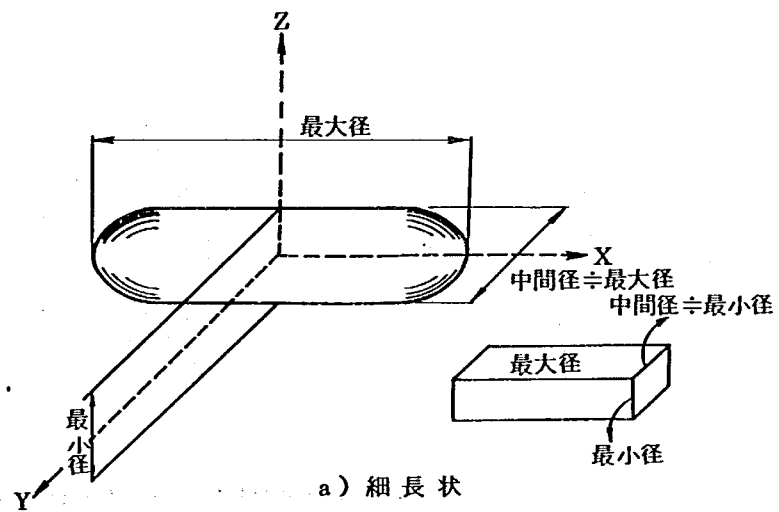
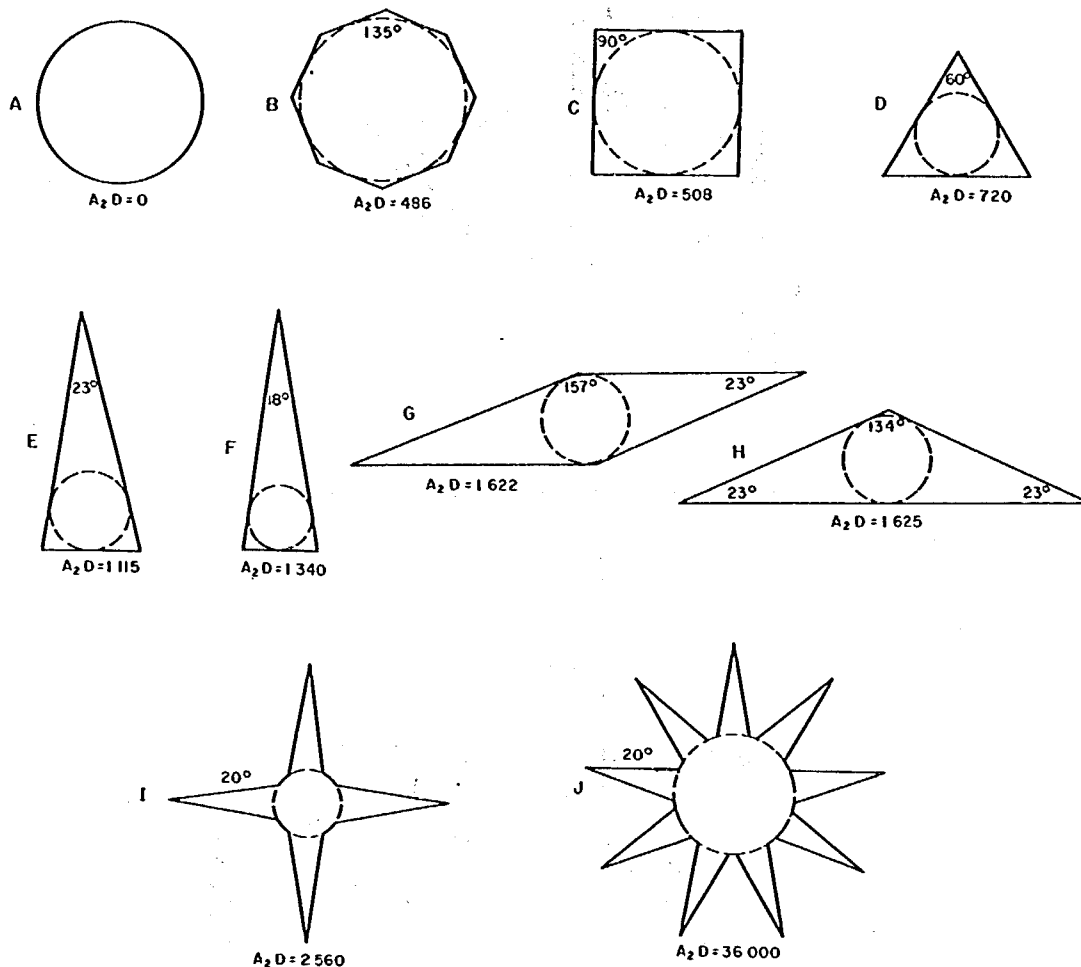


図-2 細長状、偏球状の概念図



図一3 基本形の Angularity (1断面)

表一1 物 性 値

名 称	岩 種	比 重			吸 水 率 Q%
		Ga	Gb	Gs	
①寒河江 T-2	玄 武 岩	2.750	2.700	2.837	1.83
② " T-3 49-51	"	2.641	2.531	2.844	4.32
③ " T-3 77	"	2.600	2.474	2.837	5.13
④ " T-4	"	2.637	2.546	2.800	3.57
⑤七ヶ宿 79	流 紋 岩 (新鮮)	2.487	2.419	2.596	2.79
⑥三 国 川	ハ ソ レ イ 岩	2.954	2.943	2.990	0.53
⑦河 床 砂 レ キ	ハ ソ レ イ 岩 (8) セ ソ リ ョ ク 岩 (2)	2.813	2.784	2.866	1.02

注) 各粒径の平均比重 (63.5 ~ 9.52mmまでの5粒径の平均値)

4. 試 験 方 法

4.1 試 験 材 料

7種類の粒子の物性値を表-1に示す。寒河江ロック材は玄武岩で、絶乾比重が新鮮なもので2.7に近く、風化しているもので2.5前後である。風化しているものほど吸収率が高い。七ヶ宿ロック材は流紋岩で、絶乾比重は2.4である。三国川ロック材および河床砂礫はハンレイ岩で絶乾比重が2.8～2.9、吸水率は1%前後である。絶乾比重が大きいほど吸水率が小さいという一般的な傾向を示している。

試料の粒径は63.5～9.52mmのものを使用し、粒径の一部を写真-1に示す。

4.2 試 験 器 具

測定に必要な器具は、次のようにいずれも簡単なものである。

- 1) 平均的粒形の測定……ノギス(最小目盛 $\frac{1}{10}$ mm)
- 2) トータルアンギュラリティーの測定……カメラ(接写レンズ付)、粘土

4.3 試 験 方 法

まえがきでもふれたように測定法の細かなところは、実験者によって異っている。平均的な粒形の測定では個数だけ、吉越のレポートを参考にしている。トータルアンギュラリティーの測定では基本的なところはLeesの方法(1963)に依ったが、その他のところは当研究室で決めた。

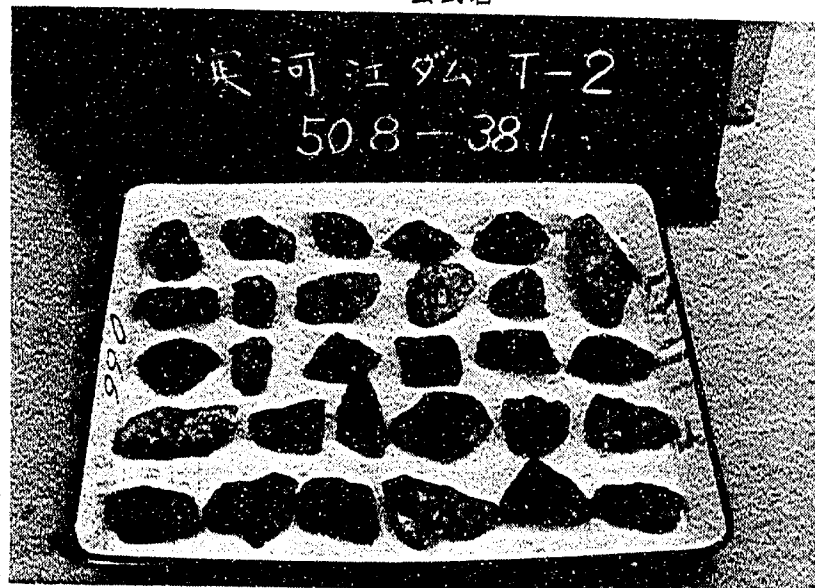
4.3.1 平均的粒形の測定方法

- 1) 試料は、ロック材の三軸圧縮試験等の関係により、63.5～50.8mm, 50.8～38.1mm, 38.1～25.4mm, 25.4～19.1mm, 19.1～9.52mmの粒径のなかから各粒径毎に粒子を無作為に30個抽出する。
- 2) 用語の定義のところでも触れたが、3成分の最大径、中間径、最小径をノギスによって測定する。測定における読み取りの精度は $\frac{1}{10}$ mmとする。写真-2はその測定状況である。
- 3) 2)の測定結果を使って偏平率(p), 細長率(q), 形状係数(F), スペリシティ(S)を1個づつ次式に従って計算する。

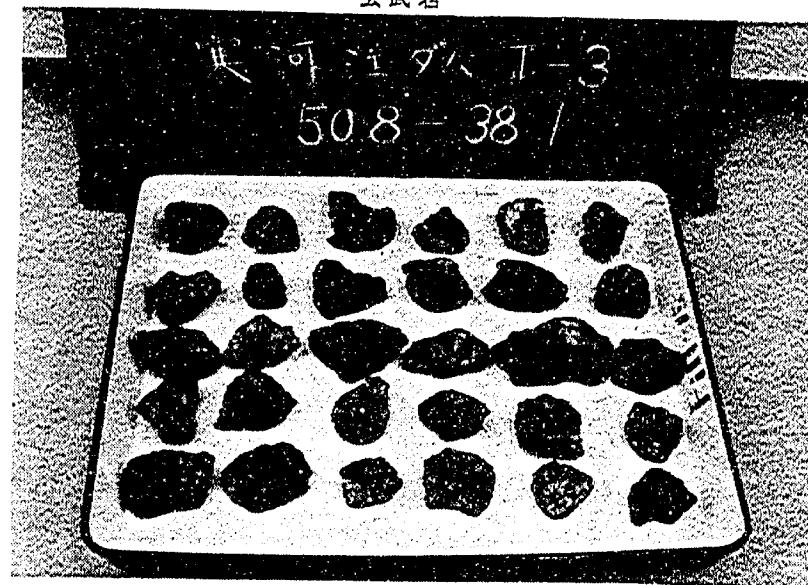
$$p = \frac{c}{b} \quad q = \frac{b}{a} \quad F = \frac{c \cdot a}{b^2} \quad S = \sqrt[3]{\frac{b \cdot c}{a^2}} \quad \begin{array}{l} a : \text{最大径} \\ b : \text{中間径} \\ c : \text{最小径} \end{array}$$

- 4) 30個の計算を行ない、平均値と標準偏差を求める。
- 5) 3)で求めたp・qの値をp-q平面上にプロットし、Zinggの分類を行ない形状を判別する。(図-4) このZinggの分類では分布個数を総数で割った値のなかで最大値をその粒子形状の代表名詞として表示する。

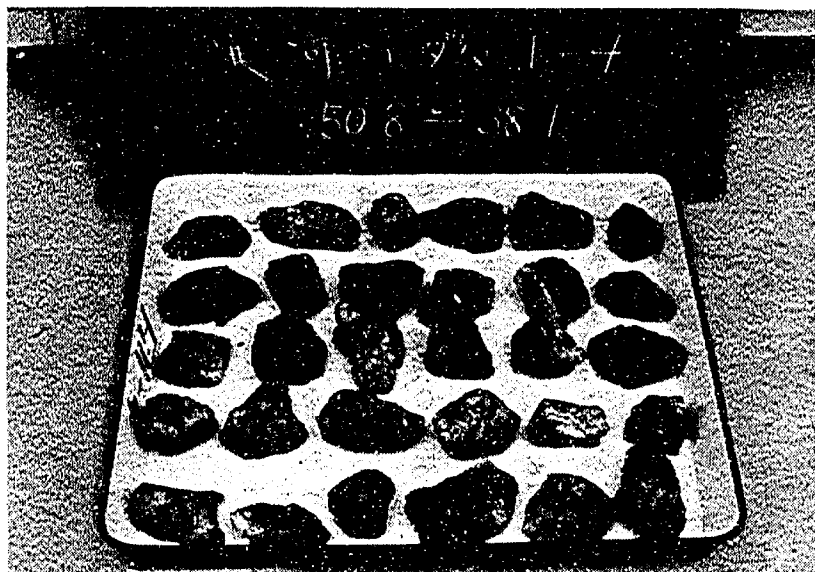
玄武岩



玄武岩



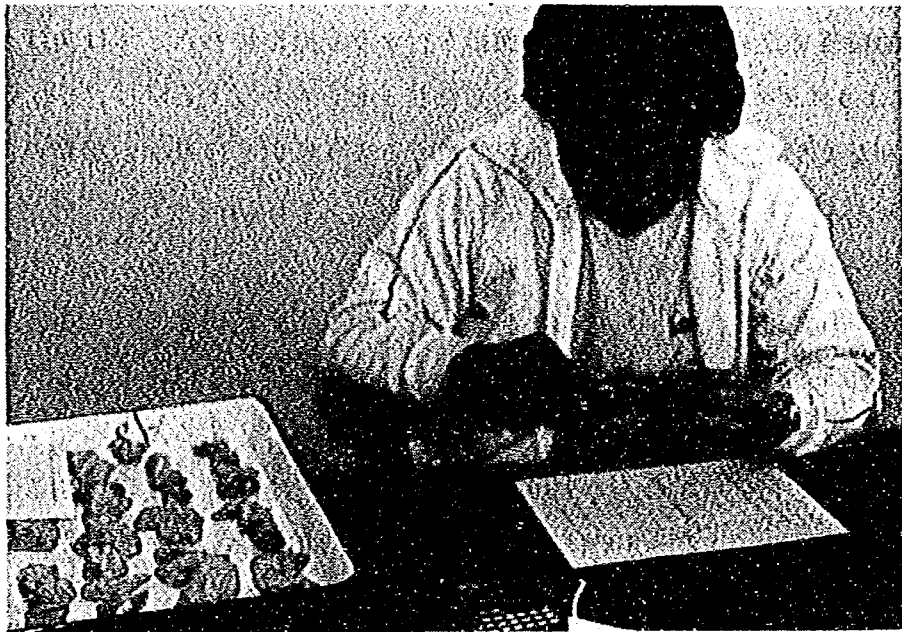
玄武岩



流紋岩



写真-1 試料粒径 50.8~38.1mm



写真一 2 最大径、中間径、最小径の測定状況

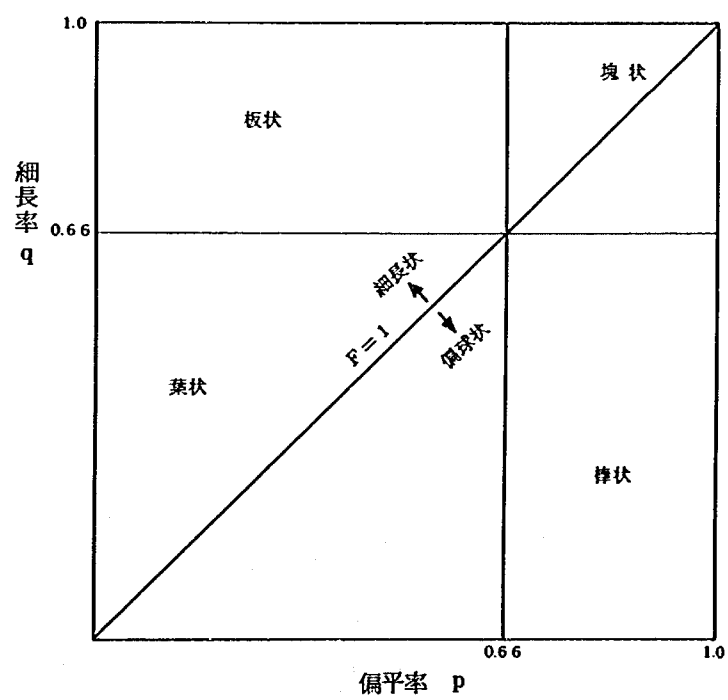


図 - 4 Zingg の分類

4.3.2 トータルアンギュラリティーの測定方法

- 1) 4.3.1 の平均的粒径の測定方法で使用した試料より各粒径毎に粒子を無作為に 10 個抽出する。この測定では粒径の大きさを 9.52 mm 以上とする。
- 2) 平均的粒径で定めた 3 方向からの撮影を行なう。撮影にあたっては角ばりの程度が一見でわかるようにスケールを入れる。撮影した粒子をシルエットと呼び、この大きさはあとの作業が便利のように最大径が 7 ~ 8 cm 程度になるように引きのばす。撮影の一例として X Y 平面のシルエットを写真-3 に示す。
- 3) シルエットの外郭線をトレースする (図-5)。
- 4) 外郭線の引き方は、図-6 のように凹凸の 2 mm 以下を無視する。この基準は砂の粒径より小さい凹凸を省くためである。また、丸い外郭線を呈しているところでは最大内接円の半径 $\frac{1}{2}$ 以上のところはかどとせずその曲線の末端でかどとする。
- 5) シルエットのトレース図上で 180° 以上 (a°) のかどを除き分度器で測る。かどの表示は、 12° 以下は 1° 単位、 $12^\circ \sim 20^\circ$ は 2° 単位、 $20^\circ \sim 70^\circ$ は 5° 単位、 $70^\circ \sim 180^\circ$ は 10° 単位で求める。
- 6) シルエットの粒子断面で最大内接円を描き、内接半径 (r) とかどの先端から最大内接円の中心までの距離 (x) を測定する。
- 7) アンギュラリティー (A_n) は次式によって求める。

$$A_n = \sum (180^\circ - a^\circ) \cdot \frac{x}{r}$$

ただし、小数点以下は四捨五入とする。

- 8) 3 方向から求めたアンギュラリティーを加えたものをトータルアンギュラリティーとする。図-7 は計算の一例である。
- 9) 同様に、各粒径毎に粒子 10 個について行なう。

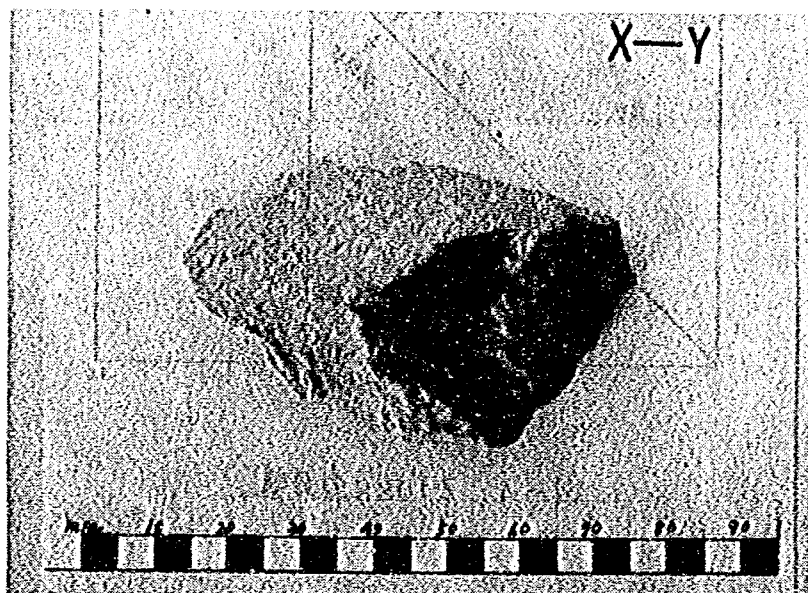
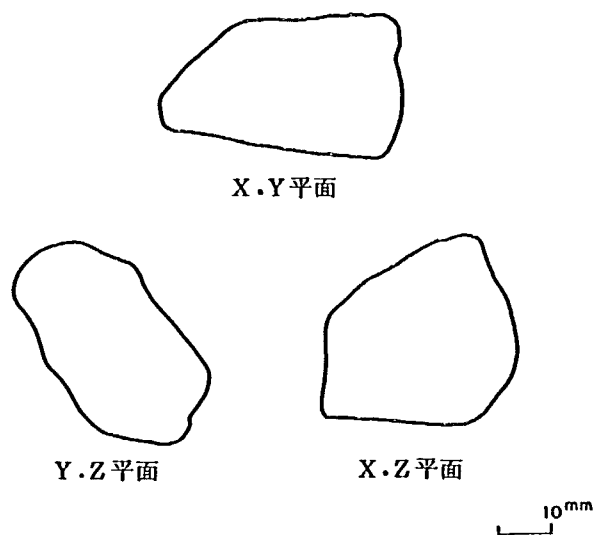
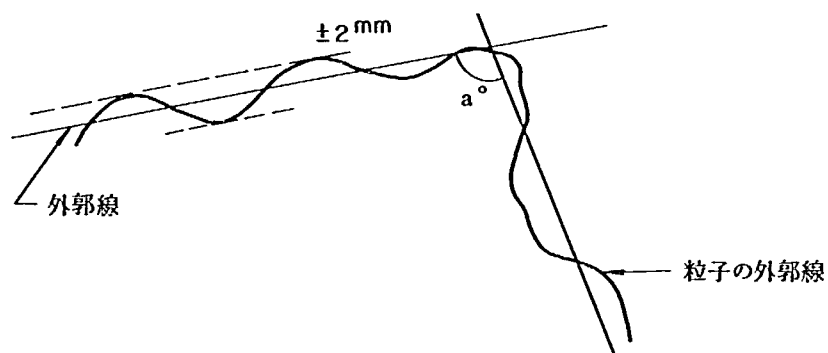


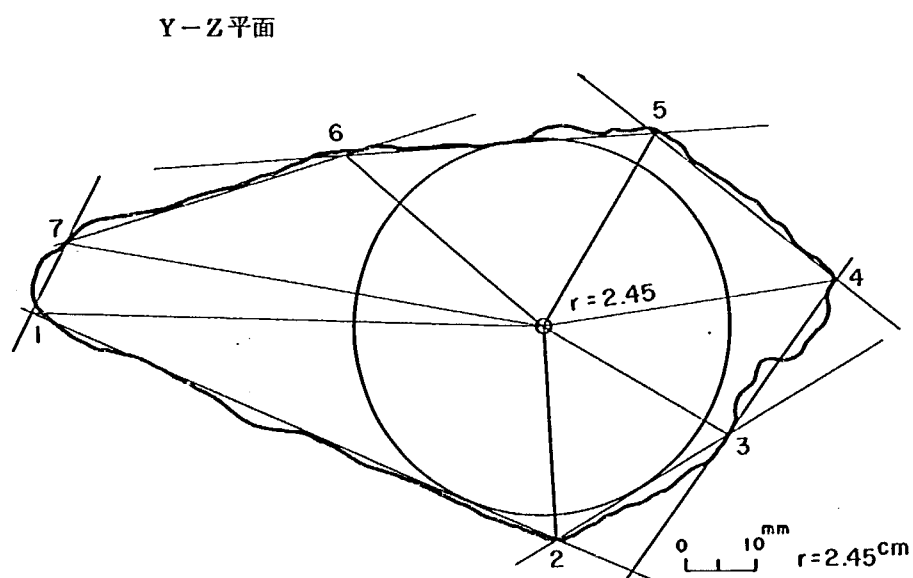
写真-3 アンギュラリティーの撮影状況



図一5 シルエット



図一6 外郭線の決め方



角数	x	a°
1	6.55	90
2	2.75	130
3	2.75	160
4	3.80	90
5	2.85	140
6	3.40	170
7	6.20	130
計	計算値	657

図一7 アンギュラリティーの計算例

5. 試 験 結 果 と 考 察

5.1 平均的粒形

5.1.1 測 定 誤 差

平均的粒形の測定誤差として、ノギスによって図-1のような平面を設定して最大径等を測るために軸のとり方による個人差が伴う。表-2は同一試料で作業者を替えて各個数毎の平均値と標準偏差を求めたものである。個人差は測定個数によらず表われており、個数が多くなっても測定値が収束しない。A, Bの測定者の最大の個人差は偏平率で0.06程度(平均値±4%), 細長率(q)で0.04程度(平均値±3%)となり、各個数毎の標準偏差よりは小さい。

p・qの値はZinggの分類でも用いられる。p・qにそれぞれの個人差があるとお互いに作用し合う。図-8の玄武岩(個数30個)をとると、図上で同じ測定点の分布を示しており個人による分類の差は生じない。流紋岩ではこの傾向が異なり、作業者間の分類の差がある。しかも、個数を多くしても個人差がありなかなか判断し難い。

5.1.2 平均的粒形の性質

平均的粒形と粒径、さらには岩種との関係を図-9に示す。偏平率、細長率等は粒径によって大きく変化する。粒径が小さくなってこの値が大きくなったり小さくなったりさまざまである。この傾向は形状係数によく表われている。つまり形状係数は偏平率(p), 細長率(q)の比であるからである。このばらつきは平均値に対し最大13%程度である。Krumbeinのスヘリシティも粒径によってばらばらの値を示している。このばらつきは形状係数に比べて小さい。極端に大きいところでは10%程度である。以上のことより岩石のわれ方は規則性のない一面を持っているようである。

p・qの値の粒径によるばらつきの当然の結果としてZinggの分類も図-10に示すように分布が粒径によって移動する。分布の移動のし方も不規則である。

表-3は各岩種の平均的粒形である。各岩種にはそれぞれ決った形があると考えられるが、同一岩種でも形状が異なりロック材の場合、形状と岩種の関係が明確でない。このなかで形状係数の大小によって得られる形状とZinggの分類による形状は、偏球状と板状でイメージ的に合うが、細長状のなかに塊状が含まれることには疑問である。この原因としてZinggの分類では塊状として判断したがその他の形状も含まれており、形状の代表だけをとらえて判断することは好ましくない側面を持っているようである。

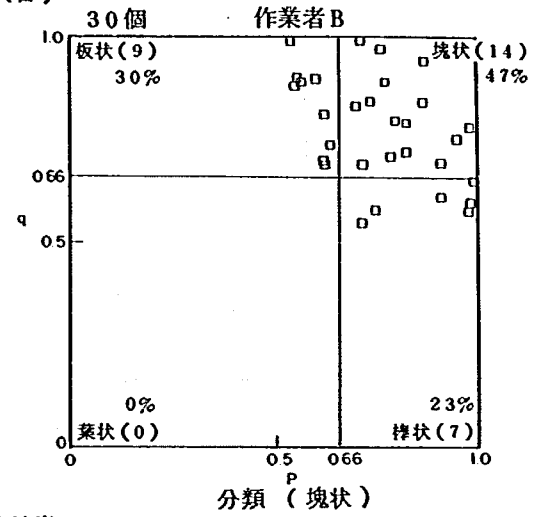
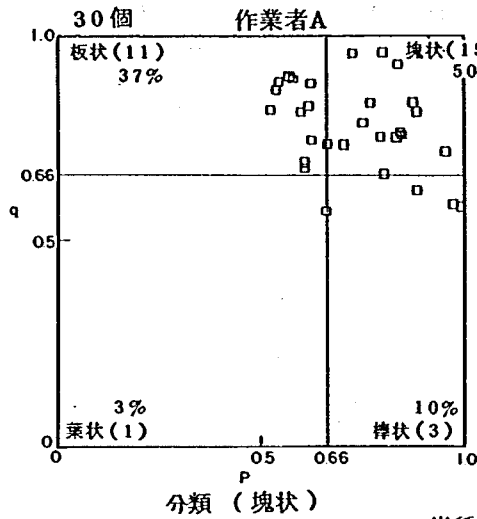
5.1.3 測定法の改良すべき点

A. 読み取り精度

試験方法では最大径等の読みを $\frac{1}{10}$ mmと規定しているが1mm, 10mmで読み取る。この偏平率(p), 細長率(q)の測定は最終的にはZinggの分類で用いるのでp・q平面に

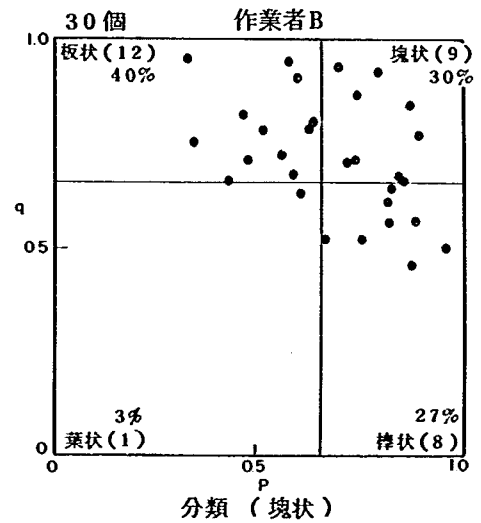
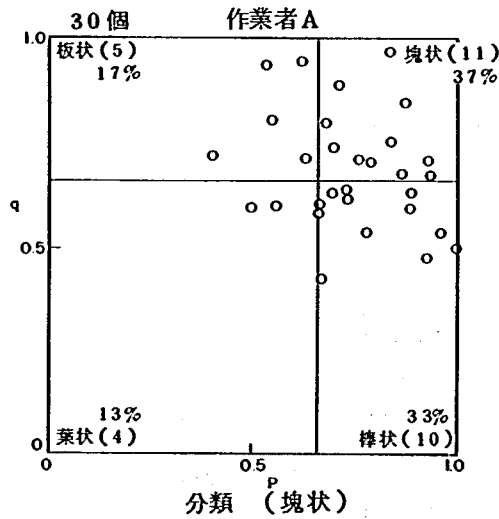
岩種 寒河江T-3 (77)
(玄武岩)

粒径 19.1 ~ 9.52 mm



岩種 流紋岩

粒径 38.1 ~ 25.4 mm



岩種 流紋岩

粒径 38.1 ~ 25.4 mm

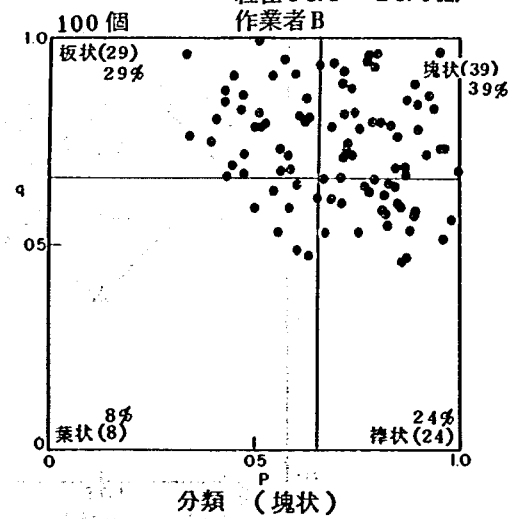
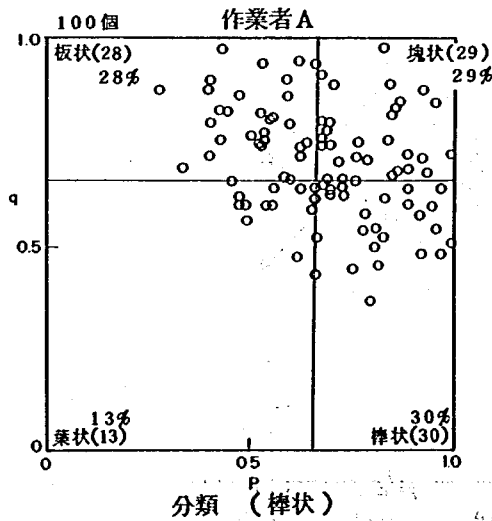


図-8 Zingg の分類の個人差

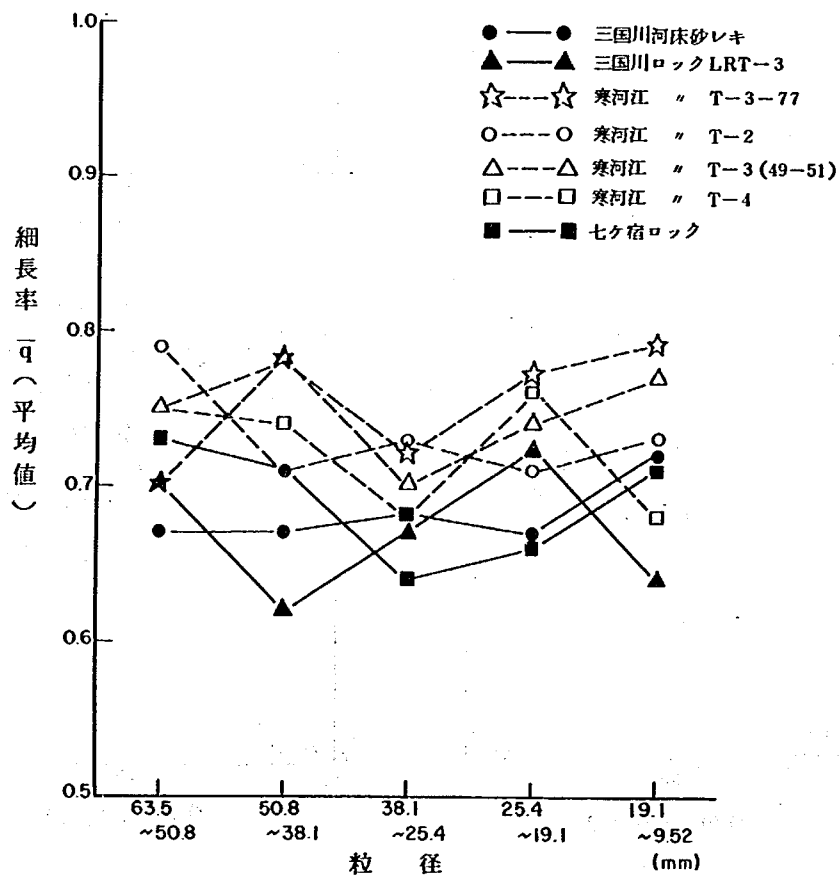
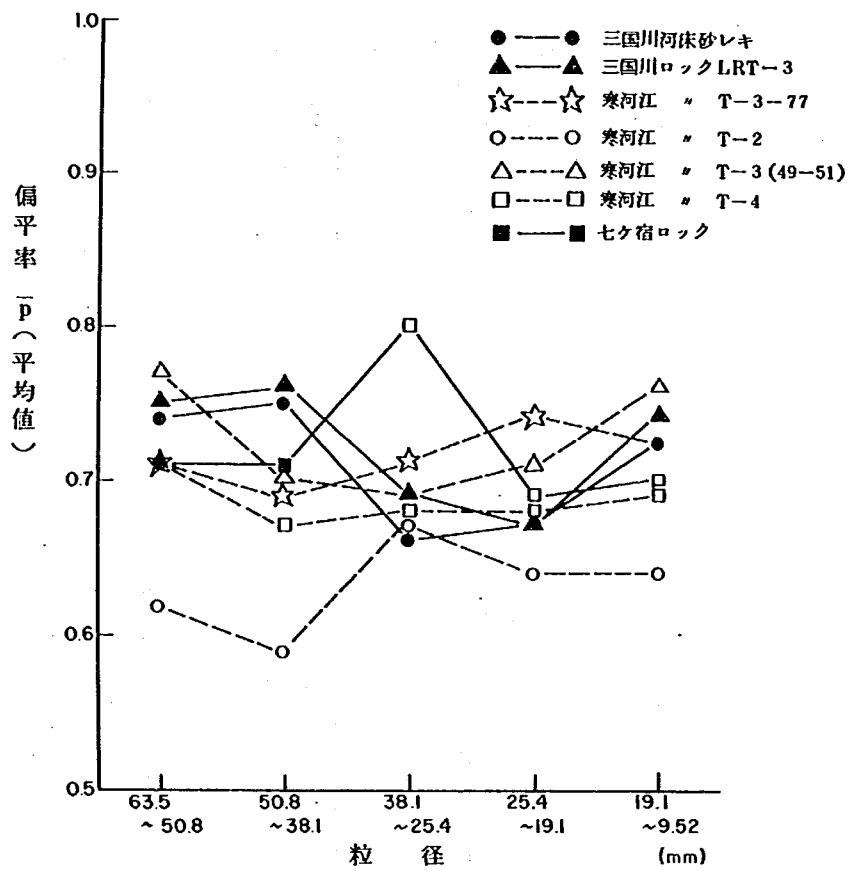


図-9(1) P、 q 、F、S と粒径

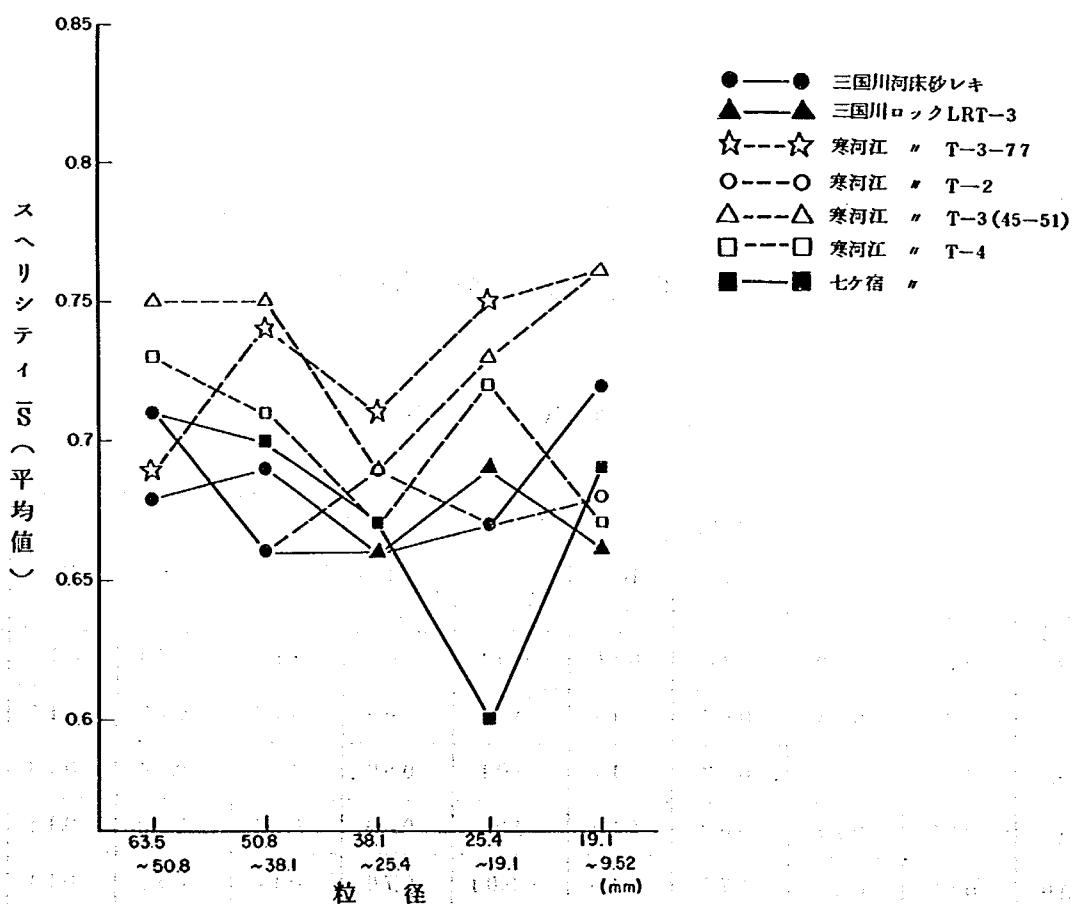
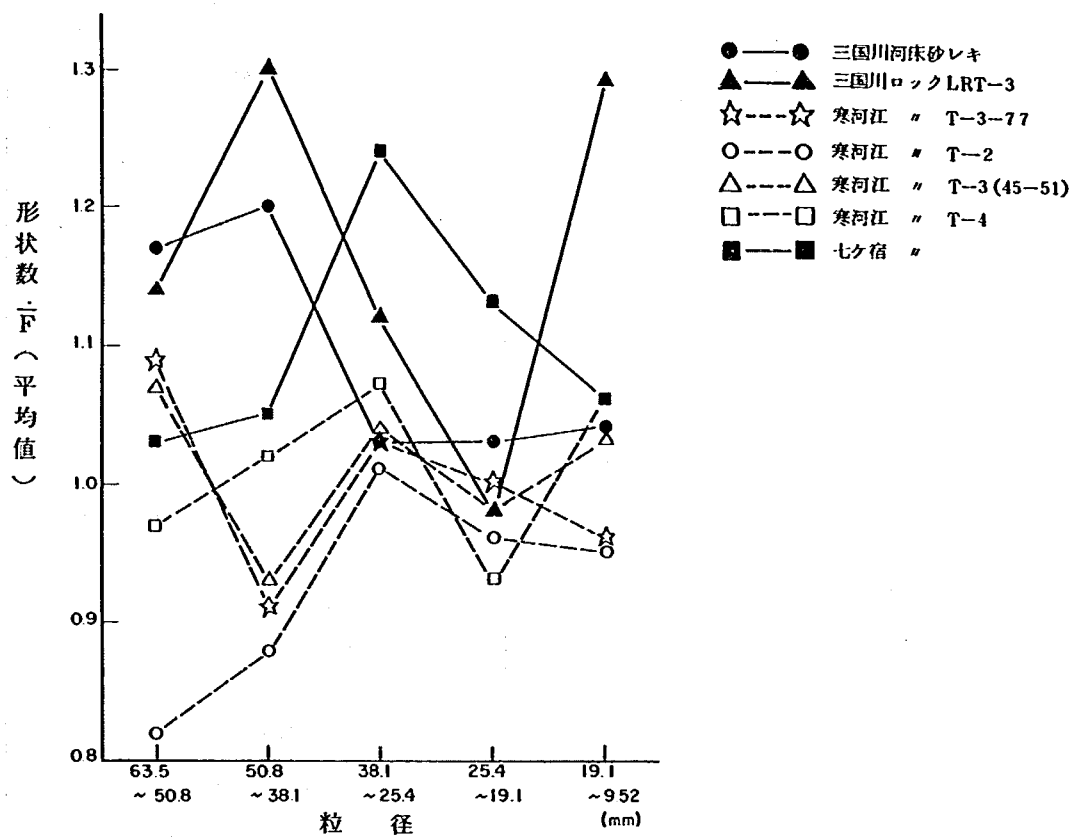


図-9(2) P, q, F, Sと粒径

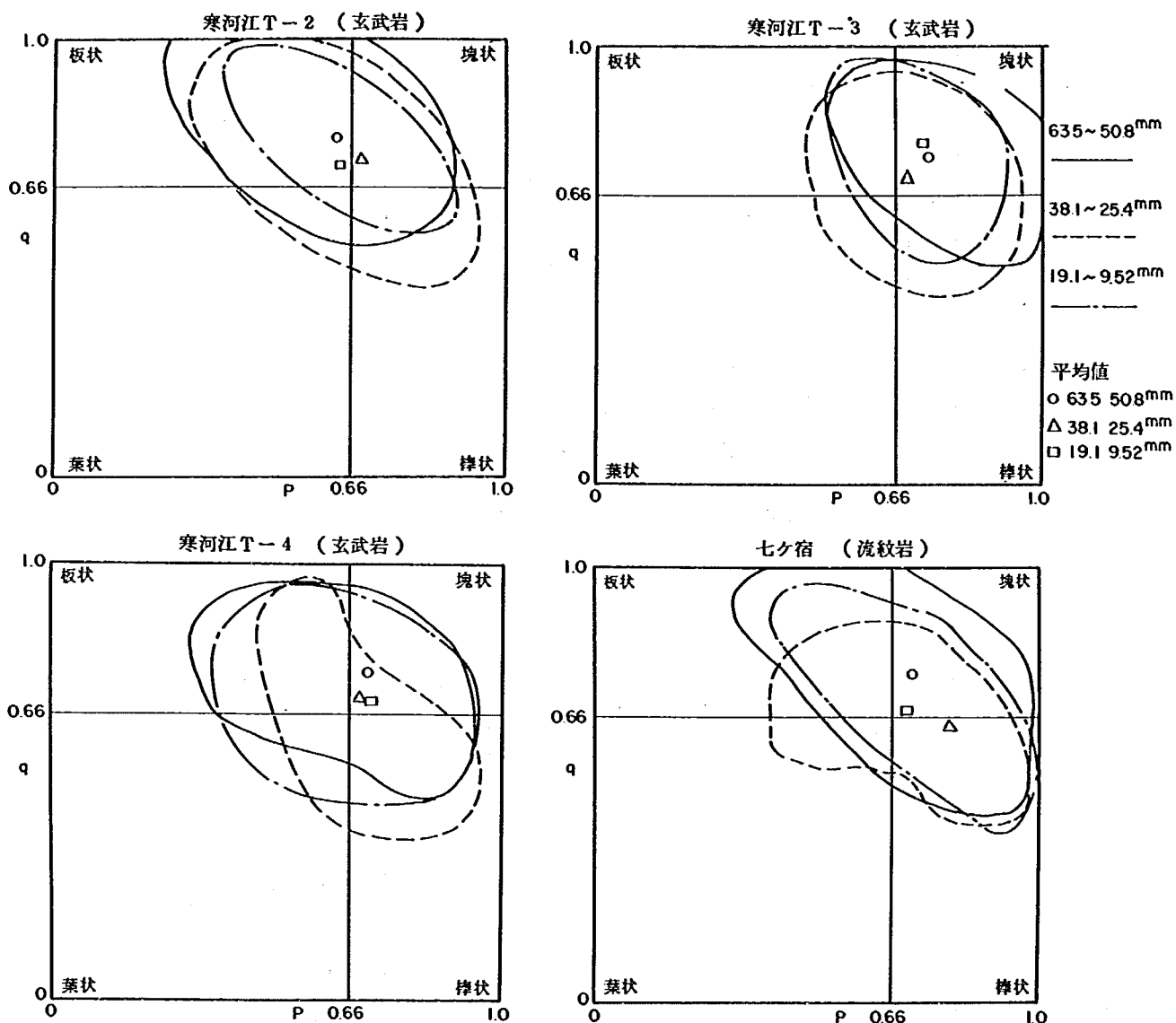


図-10 Zinggの分類と粒径

表-2 偏平率，細長率の個人差

岩種： 流紋岩 粒径：38.1 ~ 25.4mm

測定 個数	偏 平 率 p					細 長 率 q				
	作業 者 A		作業 者 B		$A\bar{p}-B\bar{p}$	作業 者 A		作業 者 B		$A\bar{q}-B\bar{q}$
	$\bar{p}$	σ	$\bar{p}$	σ		$\bar{q}$	σ	$\bar{q}$	σ	
10	0.74	0.12	0.70	0.16	0.04	0.69	0.14	0.70	0.16	-0.01
30	0.74	0.15	0.68	0.17	0.06	0.69	0.14	0.72	0.14	-0.03
50	0.70	0.16	0.69	0.17	0.01	0.69	0.13	0.74	0.13	-0.05
70	0.69	0.17	0.69	0.16	0.00	0.69	0.14	0.73	0.14	-0.04
100	0.69	0.17	0.70	0.16	-0.01	0.70	0.14	0.73	0.14	-0.03

プロットして比較する。(図-11) $\frac{1}{10}$ mm, 1mmともプロット位置が変わらず形状分類に問題がない。極端な例であるが10mm単位だと $p \cdot q$ とも1.0近くに集まり、点が重なりあまり好ましくない。しかし、形状分類上はさほど問題も少ないようである。従って、X軸等を決めるのに微妙な個人差があることから1mm単位の測定でもよからう。

B. サンプル個数

吉越は堆積岩で30個以上のサンプル個数があれば値が一定になることを結論として導いているが、念のため試料を代表するサンプル個数を求める。

図-12をみると流紋岩は30個でも大体よいが50個ぐらい欲しいところである。玄武岩は流紋岩より落ちつきが悪く最低50個は必要であろう。

一方、Zingg の分類を行なうのに必要な個数を求める。図-13は玄武岩について10, 30, 50, 70, 100個と粒子を増していった場合である。その比率を表-4に示す。総数10個を除いて30個から100個までは形状の分類に差はない。しかし、図からわかるように $p \cdot q$ の0.66ラインに測定点が集まるため、ある程度の個数を多くとることが望ましい。従って $p \cdot q$ の測定で必要な個数と同じでもよい。

C. Zingg の分類における判断のしかた

試験法では分布個数を総数でわって一番率の高い所をその粒子の形状としている。(Aの方法)個数を多くとれば分布が密になることや、 $p \cdot q$ 線上の測定点を考慮できることから図-14に示すような形状分布面積で評価する方法をとる。

Bの方法はそれぞれの分布面積を全体分布面積でわったのに対し、Cの方法は分布密度という考え方である形状に分布する面積をその形状の全面積でわったものである。表-5は表-4と同じ試料を使って求めたものであるから表-4と比べてみる。前者は個数百分率とあまり変わらず、後者はすべて塊状になるようである。これらの分布面積で表わす方法の欠点として、測定値が重なることを示せず、分布を密度で表わす場合Zingg の分類では形状間の面積に大小があり、よほど広く分散していなければ不利である。従って、個数分布の百分率の方が簡単かつ便利である。

ちなみに、全個数の $p \cdot q$ の平均値を求めて一点で示す方法もあるが、境界上にある場合も多く判断しにくい。

以上、A, B, Cの検討結果を踏えて測定法の提案を行なうと、

- 1) 読み取り精度は1mm単位で十分である。
- 2) 平均的粒形に必要なサンプル個数は50個ぐらいが好ましい。
- 3) Zingg の分類は個数百分率で表わす方が簡単かつ便利である。しかし形状分類をひとつだけにするのではなく棒状何%と板状何%として表わす方がよからう。
- 4) 粒径による不規則なばらつきがあることから、平均的粒形の一定の数値を示すには全個

表一 3 各岩種の平均的粒形

試 料 名	$\bar{p}$	$\bar{q}$	$\bar{F}$	$\bar{S}$	Fの判断	Zinggの分類
寒河江 T-2 (玄武岩)	0.63	0.73	0.92	0.68	偏球状	板状
" T-3 (49-51)	0.73	0.75	1.01	0.74	細長状	塊状
" T-3 (77)	0.71	0.95	1.00	0.73	"	塊状
" T-4 (")	0.69	0.72	1.01	0.70	"	塊状
七ヶ宿 79 (流紋岩)	0.72	0.69	1.10	0.67	"	棒状
三国川 (ハンレイ岩)	0.72	0.67	1.17	0.68	"	棒状
(ハンレイ岩とセンリョク岩) 河床砂レキ	0.71	0.68	1.09	0.68	"	棒状

数値はいずれも全個数の平均値である。

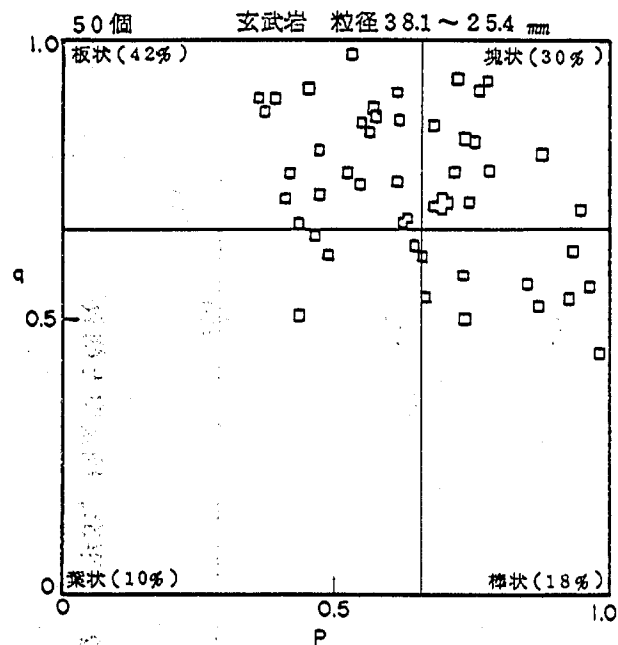
表一 4 個数の変化による形状の変化

		個 数/全個数				
形状	個数	10	30	50	70	100
板 状		40%	50%	42%	37%	42%
葉 状		0	7	10	10	11
塊 状		40	30	30	34	30
棒 状		20	13	18	19	17
判 断		板・塊	板	板	板	板

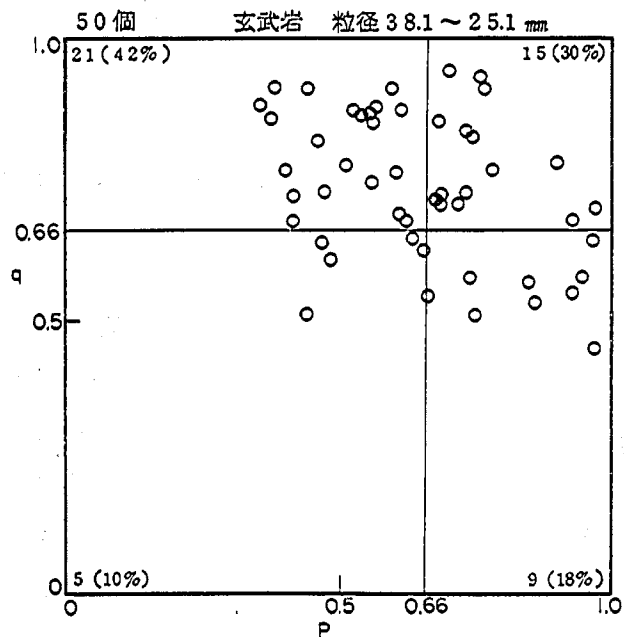
表一 5 個数の変化による形状の変化

		Bの方法による Zingg の分類				
		分布面積/全分布面積				
形状	個数	10	30	50	70	100
板 状		30%	36%	35%	32%	36%
葉 状		2	7	14	15	13
塊 状		50	31	28	30	31
棒 状		18	26	23	23	20
判 断		塊	板	板	板	板

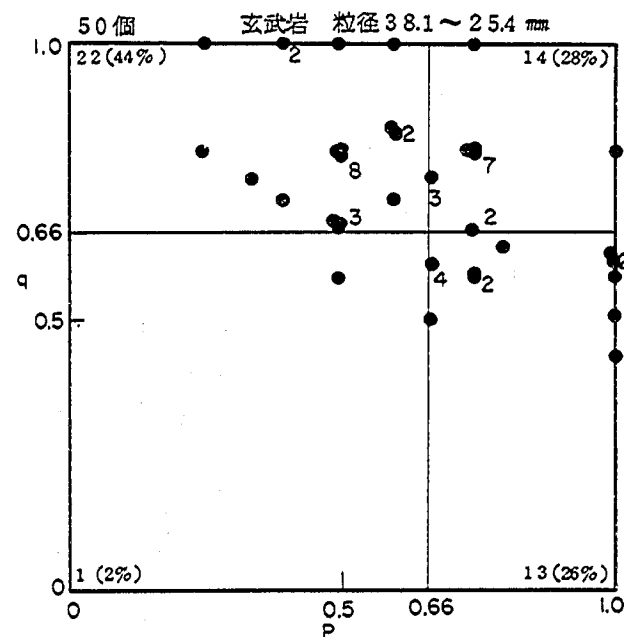
		Cの方法による Zingg の分類				
		各分布面積/各形状面積				
形状	個数	10	30	50	70	100
板 状		14%	30%	35%	35%	44%
葉 状		5	3	7	7	8
塊 状		46	51	56	56	75
棒 状		8	22	23	23	25
判 断		塊	塊	塊	塊	塊



読み取り精度 1/10 mm (板状 42%)
分類 塊状 30%
(個数百分率による) 葉状 10%
棒状 18%

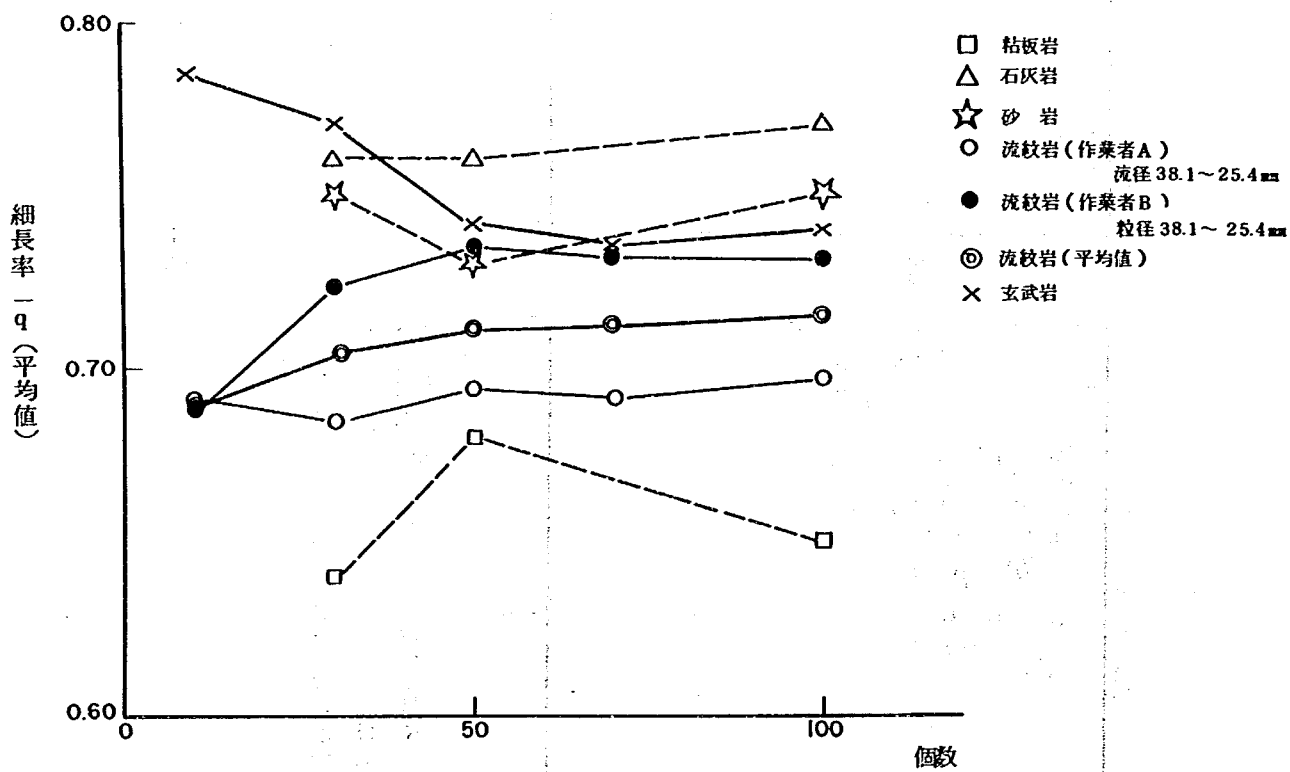
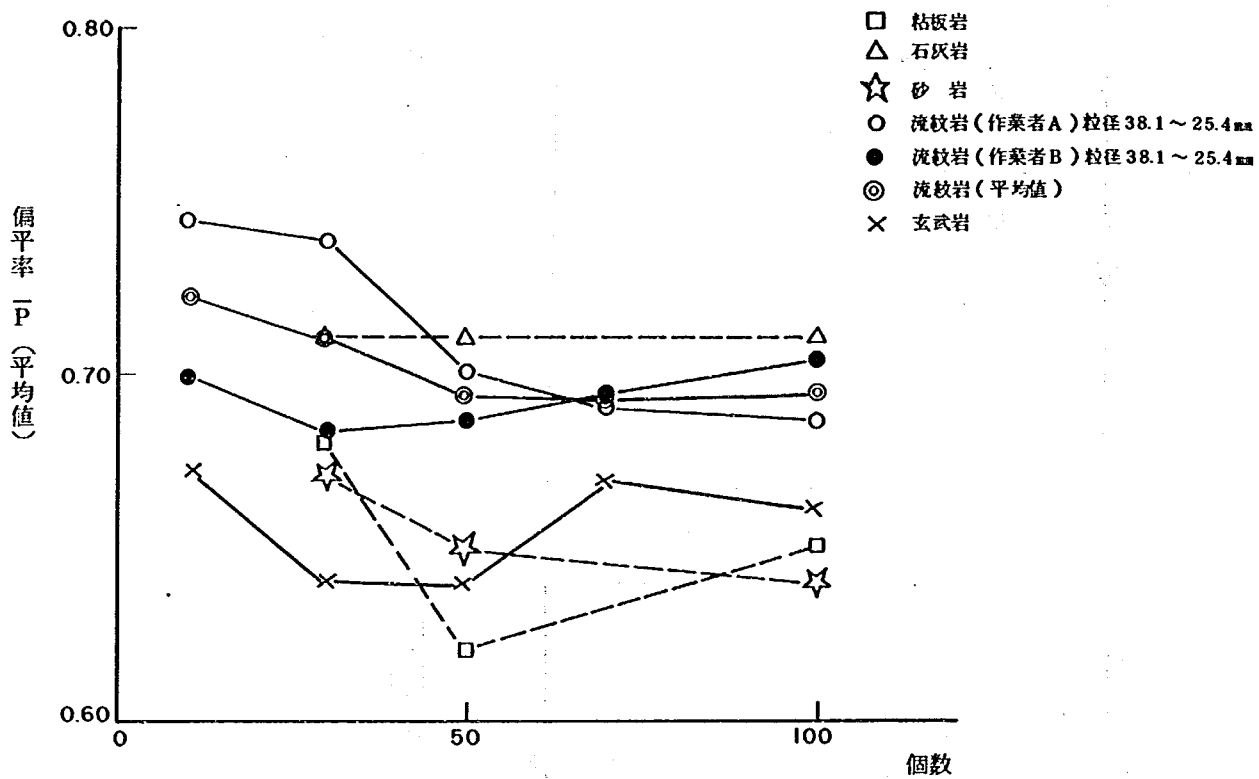


読み取り精度 1 mm (板状 42%)
分類 塊状 30%
(個数百分率による) 葉状 10%
棒状 18%

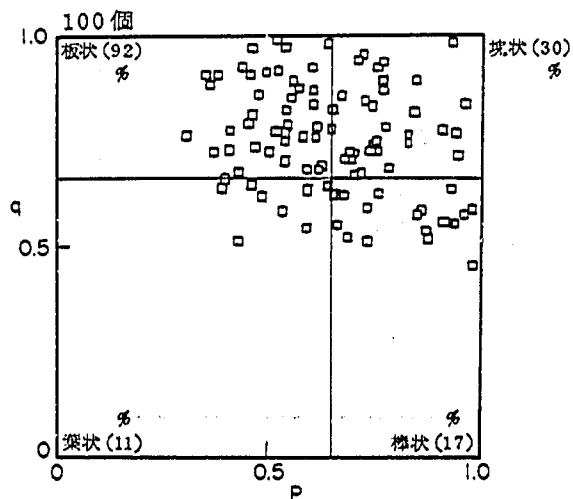
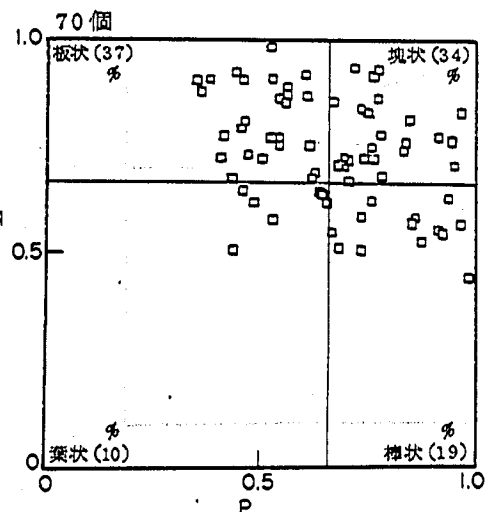
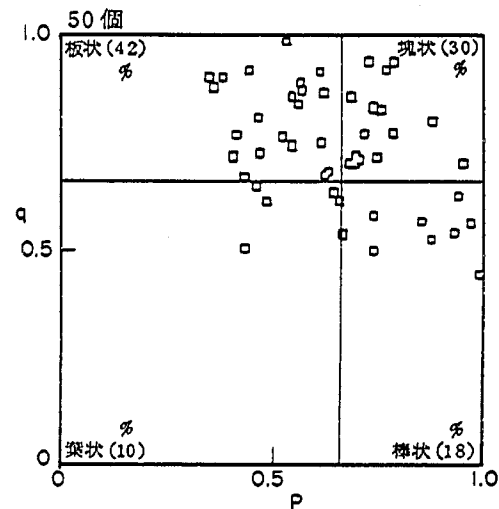
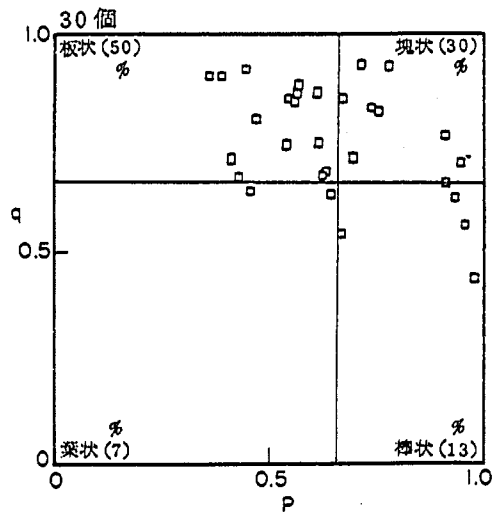
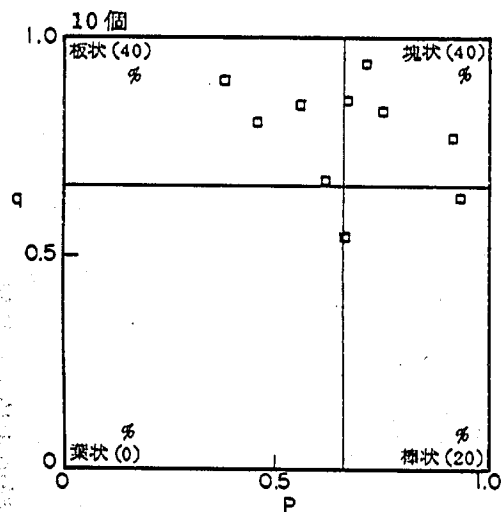


読み取り精度 10 mm (板状 44%)
分類 塊状 28%
(個数百分率による) 葉状 2%
棒状 26%

図-11 読み取り精度による Zingg の分類



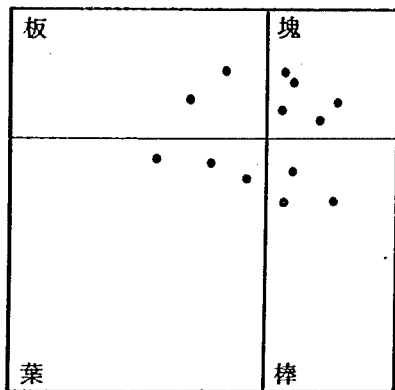
図一 12 偏平率、細長率と個数



寒河江 T-3 (49-51)
岩種 玄武岩 粒径 38.1 ~ 25.4 mm

図-13 Zingg の分類と個数

Aの方法



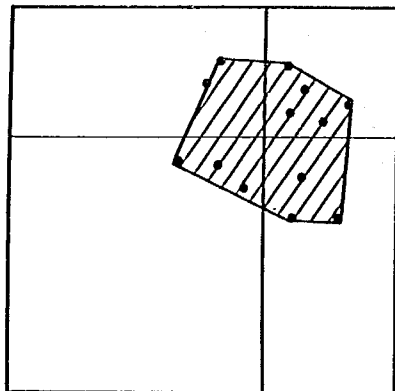
全体の個数 30 個

塊状の個数 6 個

塊状の個数百分率

$$\frac{6}{30} \times 100 = 20\%$$

Bの方法

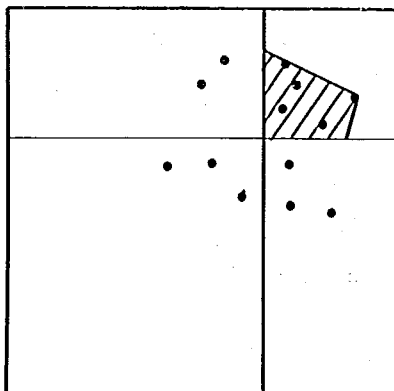


全体の個数の総面積 3cm² (斜線)

塊状の面積 (チェックの線) 0.6cm²

塊状の面積比 $\frac{0.6}{3} \times 100 = 20\%$

Cの方法



塊状の総面積 2.9cm²

塊状の面積 0.6cm²

塊状の面積比

$$\frac{0.6}{2.9} \times 100 = 21\%$$

図一 14 Zingg の分類の求め方の検討

数の単純平均でもよい。

5.2 トータルアンギュラリティー

5.2.1 測定誤差

ロック材は主に火山岩で原石山より切り出すため、岩によって結晶の大小があり細かな凹凸を示す。測定誤差は、凹凸の2mm以上の基準にしてもかどのとり方に最も影響をうける。構成鉱物が粗く凹凸の多い玄武岩と鋭角なかどばりのある流紋岩の2種類で比較検討する。

シルエットをみる限りでは双方ともさほど凹凸の変化はないようである。図-15は作業者を替えて測定した一例である。表-6には測定結果を示す。個人差はかど数でいずれもひとつぐらいの違いである。またトータルアンギュラリティーは玄武岩の場合約50程度、流紋岩で約10程度の違いがある。

5.2.2 トータルアンギュラリティーの性質

アンギュラリティーはかど数が増し、かどと円の中心間の距離が大きくなるほど測定値は大きくなる。図-16は岩種毎の粒子の頂点数とアンギュラリティーの相関である。測定値は実線等で囲んだ部分にある。当然のことではあるが、かど数が増えればアンギュラリティーは増す。また、同じかど数でもアンギュラリティーが増える傾向を示していると言える。同一岩種でも分布範囲がかなり異なり流紋岩と玄武岩(T-4)は近似した分布を示し、平均的粒径同様に各岩種間のアンギュラリティーはあまり明確でないことを意味する。

トータルアンギュラリティーも平均的粒形と同様に粒径によってばらつく傾向にある。図-17は、10個の平均値とそのなかの最大、最小値をプロットしてどのぐらいの巾を持っているかを示している。約400~1000程度の巾が認められ最も大きいものは約1500にも達する。

平均値の傾向をみると粒径が小さくなるに従いトータルアンギュラリティーは大きくなる傾向を示す。その最大増加量は19.1~9.52mmの粒径に比べ63.5~50.8mmの粒径は約300程度である。

各岩種のトータルアンギュラリティーは表-7のようになろう。この値は10単位で表示する。岩種との関係はあとで述べる。

5.2.3 トータルアンギュラリティーの測定法の改良すべき点

A. 角度の読み方

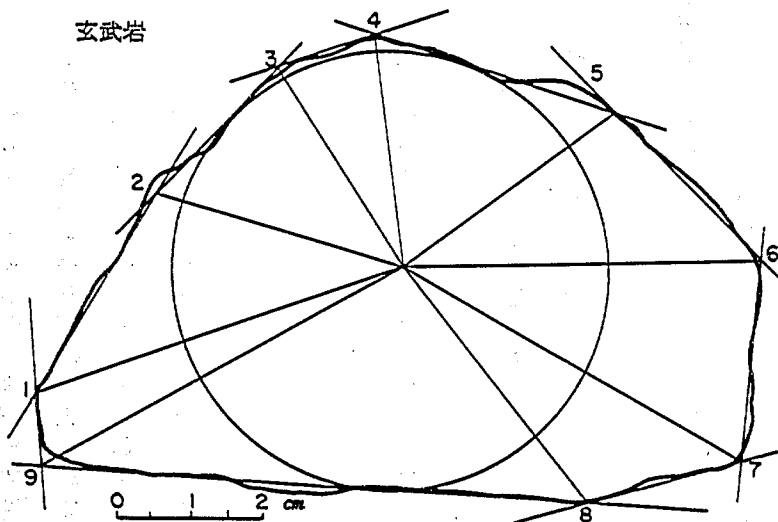
角度の測定に問題はないがLeesは小さい角度は小さい単位で読み、大きな角度は大ざっぱな読み方を提起している。これに反して1度単位で読み取った測定値と比較する。表-8によればLeesの方法とそうではないものは平均値で比較すると玄武岩で3程度の差、流紋岩で20程度となりあまり角度の測定を気にする必要がないと考えられる。

B. サンプル個数

トータルアンギュラリティーを求めるには、多くの作業行程と時間を要し写真代も大き

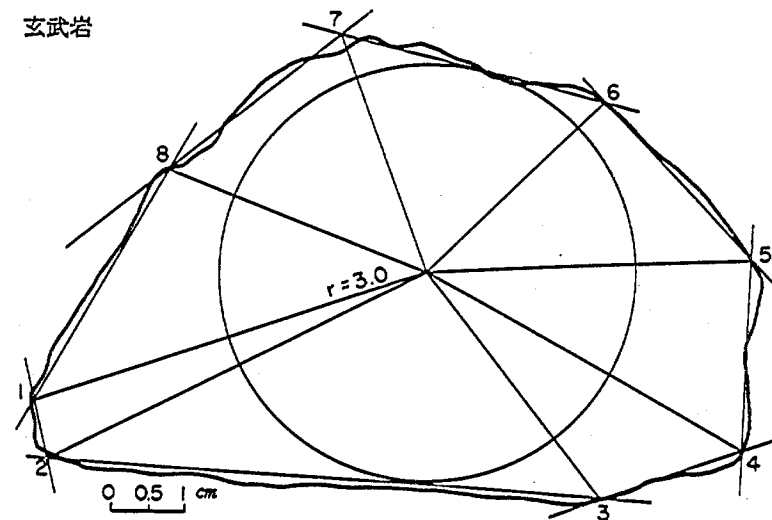
寒河江ロック材 粒径 63.5mm ~ 50.8mm X-Y平面 作業者A

玄武岩



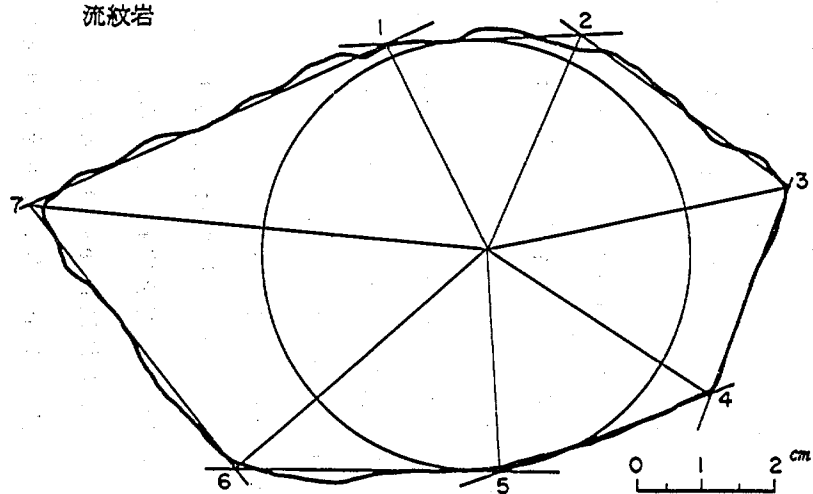
寒河江ロック材 粒径 63.5mm ~ 50.8mm X-Y平面 作業者B

玄武岩



七ヶ宿ロック材 粒径 63.5mm ~ 50.8mm X-Y平面 作業者A

流紋岩



七ヶ宿ロック材 粒径 63.5mm ~ 50.8mm X-Y平面 作業者B

流紋岩

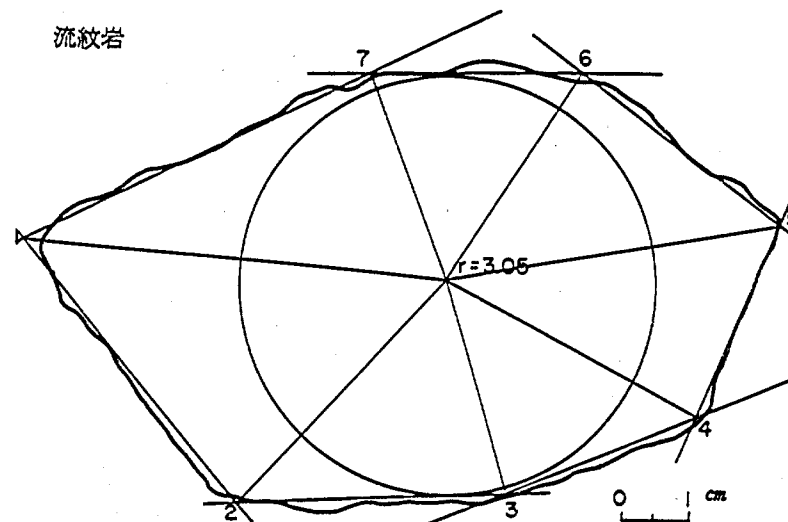


図-15 アンギュラリティーの個人差の例

表一六 トータルアンギュラリティーの個人差

寒河江 ロック材T-2:玄武岩 粒径:63.5 μ m~50.8 μ m

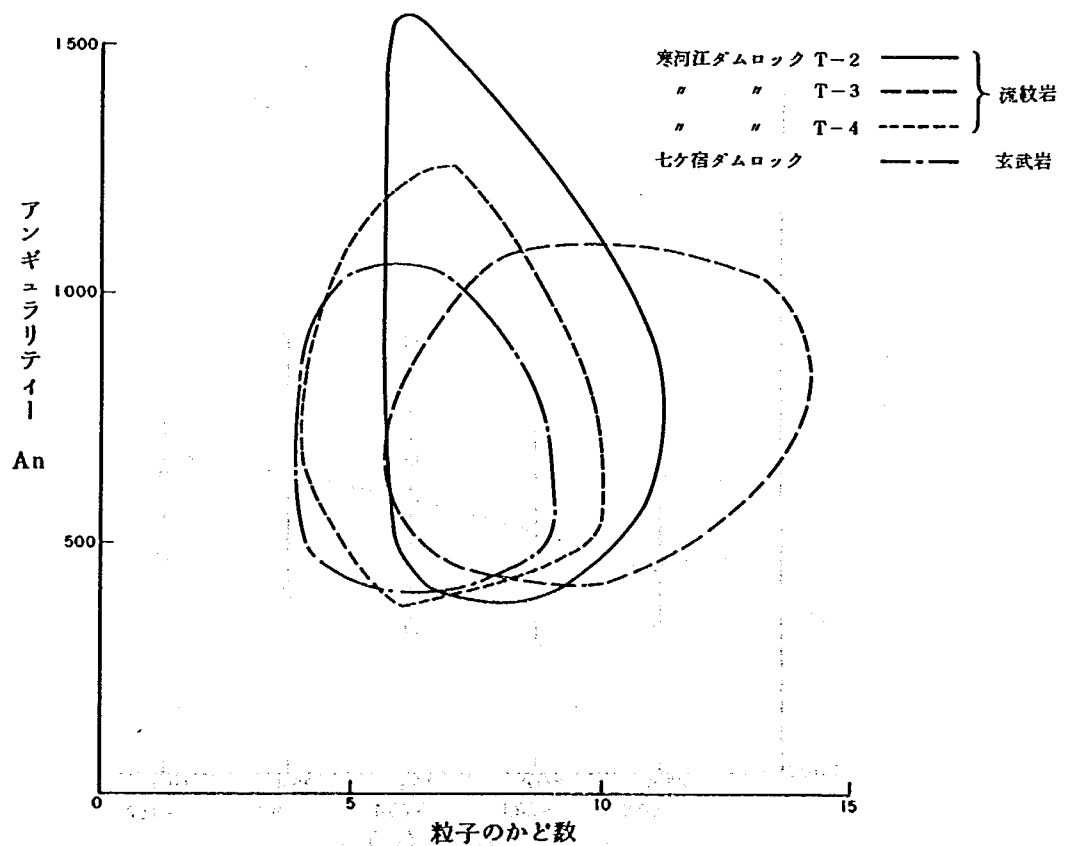
方 向	作 業 者 A	作 業 者 B
X Y	5 7 9 (9)	5 8 6 (8)
X Z	6 1 7 (8)	6 5 8 (9)
Y Z	4 6 7 (8)	4 6 7 (8)
T A	1,6 6 3	1,7 1 1
A-B	4 8	

()内はかどの数を示す。

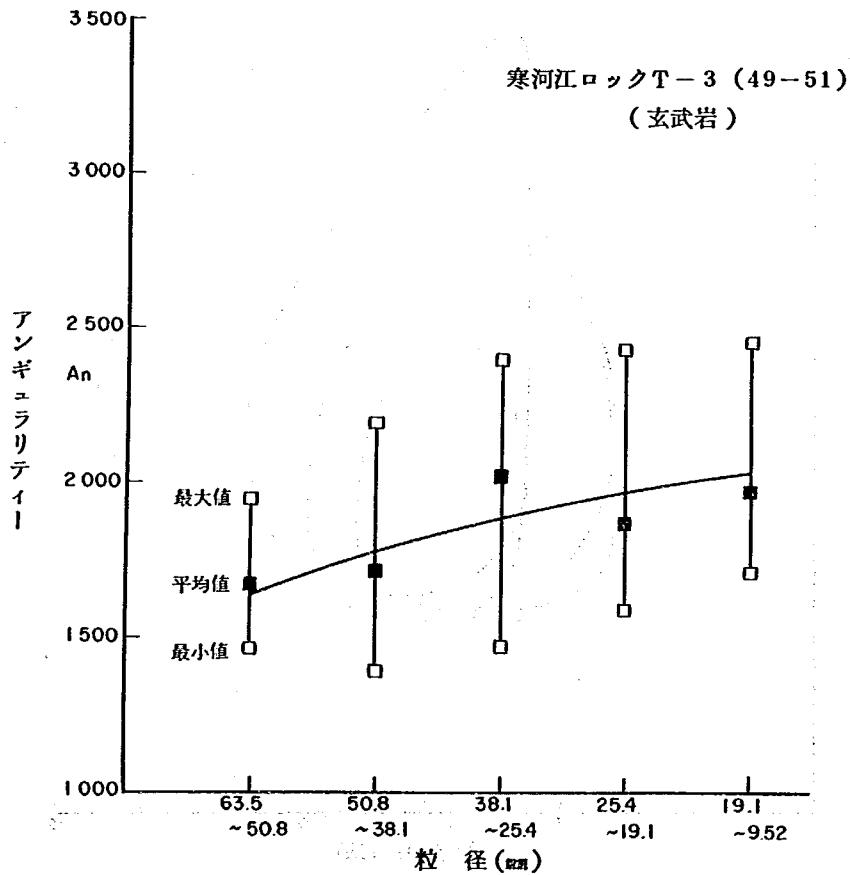
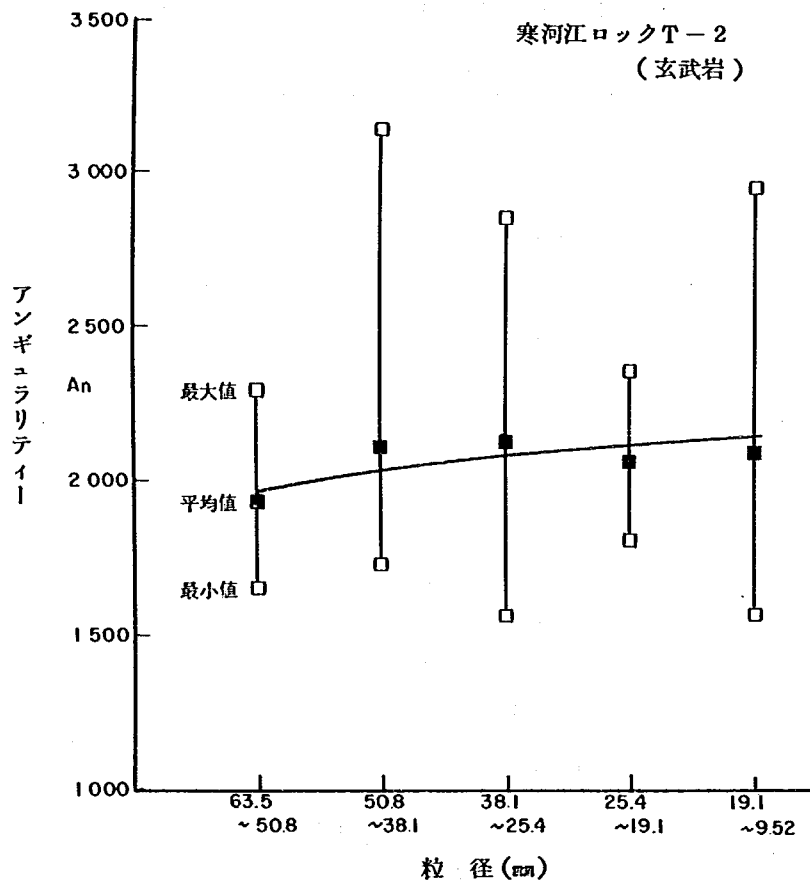
七ヶ宿 ロック材:流紋岩 粒径:63.5 μ m~50.8 μ m

	作 業 者 A	作 業 者 B
X Y	5 6 3 (7)	5 6 1 (7)
X Z	6 4 2 (7)	6 5 7 (7)
Y Z	6 1 1 (6)	5 8 7 (6)
T A	1,8 1 6	1,8 0 5
A-B	1 1	

()内はかどの数を示す。



図一六 アンギュラリティーと粒子の角数



図一17(1) アンギュラリティーと粒径

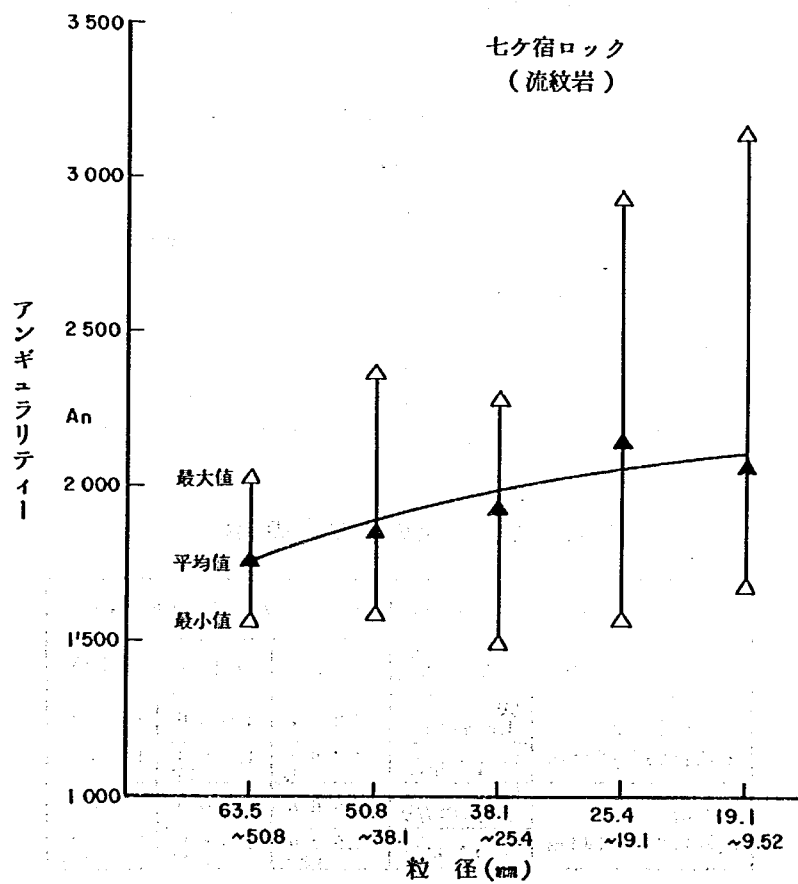
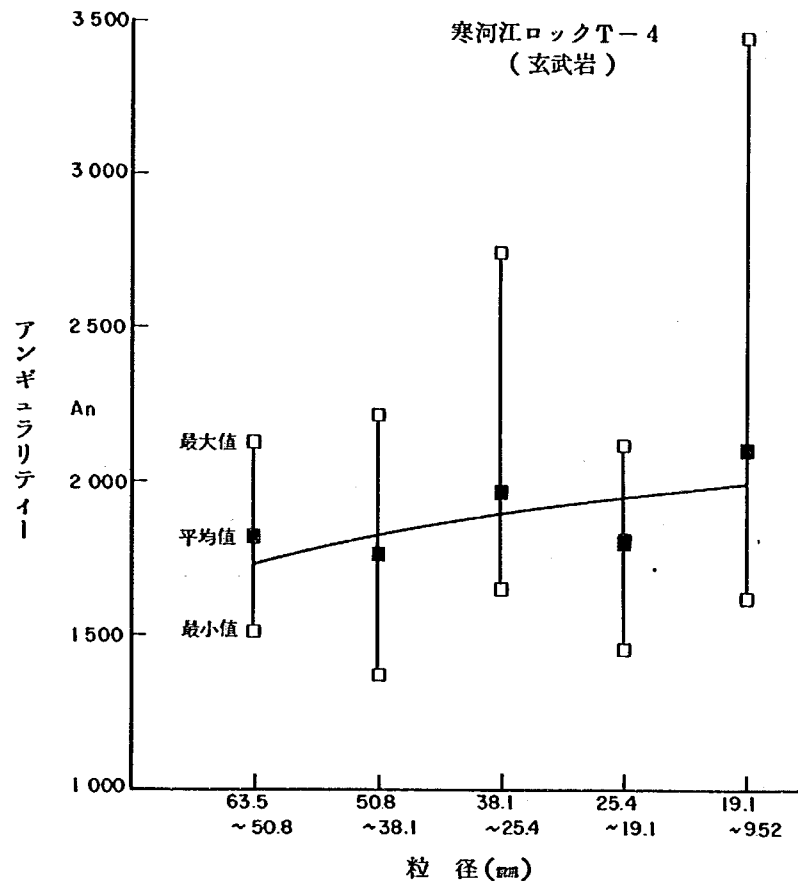
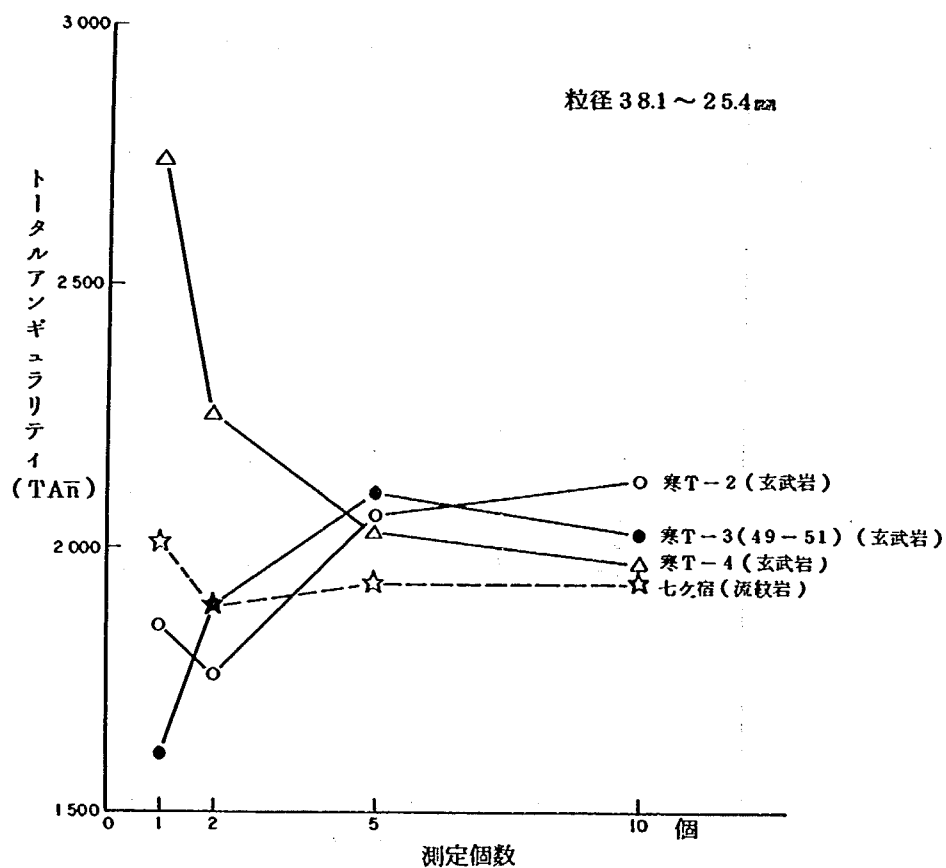


図-17(2) アンギュラリティーと粒径



図一 18 トータルアンギュラリティーと測定個数

表一 7 トータルアンギュラリティ

岩 種	トータルアンギュラリティ
寒河江 T - 2 玄武岩	2,060
T - 3 (49-51) //	1,850
T - 4 //	1,890
七ヶ宿 流紋岩	1,950

表一 8 角度のとり方の違い

岩 種	測定 値 方 法	トータルアンギュラリティー		
		最大値	最小値	平均値
寒河江 T - 2 玄武岩 63.5 ~ 50.8 mm	(A) Lessの方法	2,287	1,656	1,931
	(B) 1° 単位	2,283 (4)	1,653 (3)	1,934 (-3)
七ヶ宿 流紋岩 25.4 ~ 19.1 mm	(A) Lessの方法	2,966	1,600	2,174
	(B) 1° 単位	2,930 (36)	1,569 (-9)	2,154 (20)

注1) 測定値は10個の平均

注2) () は A - B の差を示す。

いので、全試料を調査することは物理的、経済的に困難である。また、粒子間のばらつきも多い。

試験法では10個までとしているが、測定個数をより少なくした場合のトータルアンギュラリティーの変化を図—18に示す。測定個数2個では値が安定せず、5個では10個と大差ない。

以上の結果を踏えて測定法について提案すれば次のようにまとめられよう。

- 1) 個人差によるばらつきも最大50になることや、最大、最小値の差が最大1500になることから、トータルアンギュラリティーの値の評価は10単位で表示してもよいだろう。
- 2) かどの測定は1°単位で読みとってもさほど問題はない。
- 3) サンプル個数は余裕をみて従来どおりの10個でよい。
- 4) 粒径によってアンギュラリティーは一定の傾向を持つが、それ以上に最大、最小値の範囲が大きいことから全個数の単純平均値でよい。

5.3 粒子形状と岩質

ここでいう岩質は、絶乾比重、吸水率である。絶乾比重が大きく、吸水率が小さい程岩質が良いと考える。絶乾比重と形状係数等の関係を図—19に示す。図から同一岩種で岩質が良くなれば形状係数、スヘリシティは減少の傾向にある。すなわち良い岩ほど偏球状となり球状体から離れることを示す。しかし岩種を無視して線を引くならば形状係数は大きくなり細長状となる。しかも Zingg の分類で評価しても岩質が良くなれば棒状になるか塊状になるか判断がつけにくい。従って岩質と形状の相関はうすい。

トータルアンギュラリティーは岩質が良ければ大きな値を示すことがある程度うかがわれる。つまり、硬い岩は角ばりの度合いが大きい。岩質とはあまり関係ないが形状係数とトータルアンギュラリティーの相関を図—20に示す。同一岩種で形状係数が小さくなるいわゆる偏球状になると、アンギュラリティーが大きくなることを示すが異なる岩質を入れるとそうではなくなり相関がないようである。

5.4 粒子形状と力学的性質

力学的性質については、三軸圧縮試験より得られる内部摩擦角(ϕ)と締固め試験によって得られる間隙比(e)をもとに粒子形状との関係を調べる。

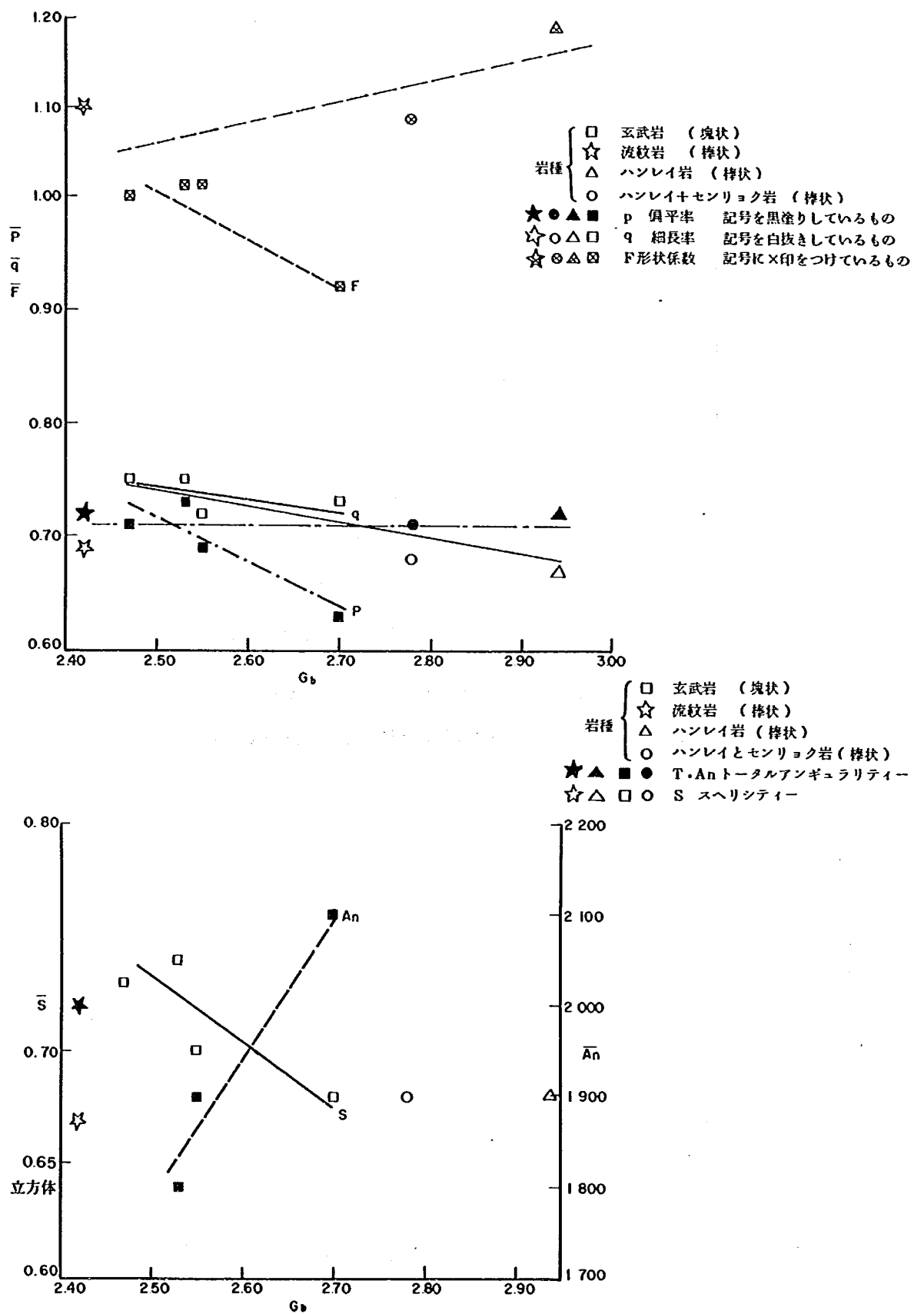
A. 間 隙 比 (e)

偏平率、細長率だけでは粒子の状態を具体的に表現出来ないで形状係数で示すと、 $U_c = 2.0$ の場合、偏球状より細長状が間隙比は小さくなる。この傾向は最大間隙比の方が影響が大である。締固め後ではこの関係があまり認められない。一方、スヘリシティは同一岩種では球状に近づくほど間隙比が小さくなるようであるが、岩質のことを無視するとこれらの関係が明確でない(図—21)。このことはスヘリシティはロック材の形状を把握するのに不適切である。いいかえれば、岩質を抜きには考えられないことを意味する。図—22は粒度が異なる場合である。この図では全く傾向がつかめず粒度の影響も大きいようである。

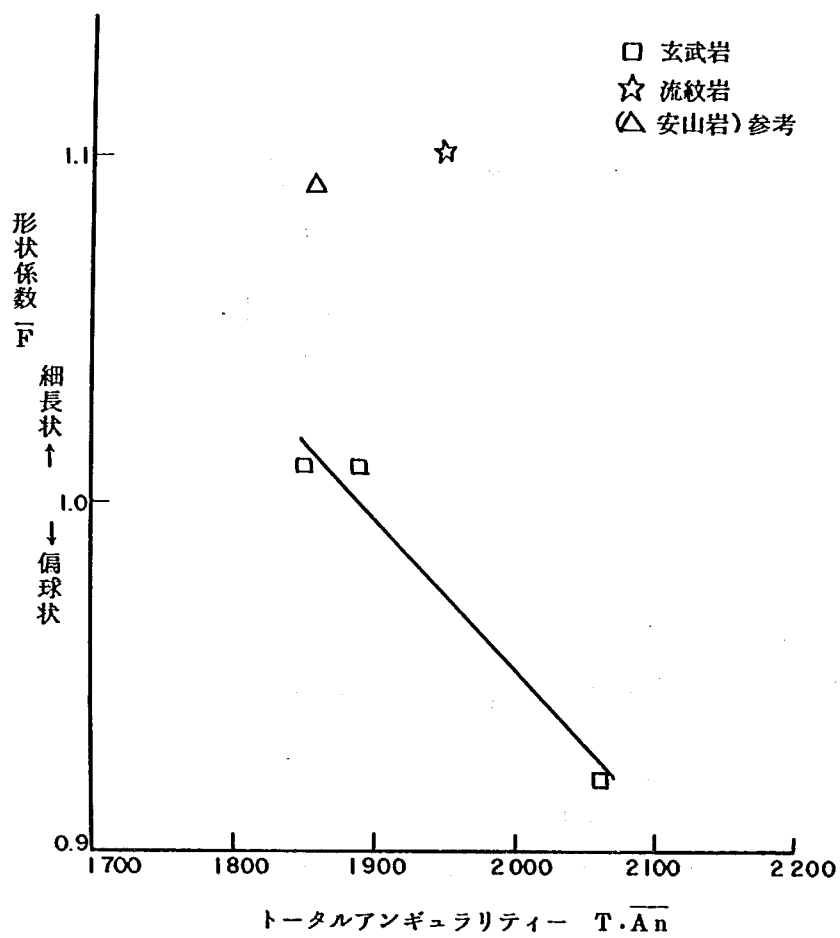
トータルアンギュラリティーと間隙比の関係は図—23のようになりアンギュラリティーの値が増えることによって間隙比が大きくなる。かどばりのあるものは粒子間の間隙を生じやすいという一般的な観点からすると当然の結果である。これは、同一岩種だけであるが岩種、粒度が異なればこの傾向もうすくなるようである。

(内部摩擦角 ϕ)

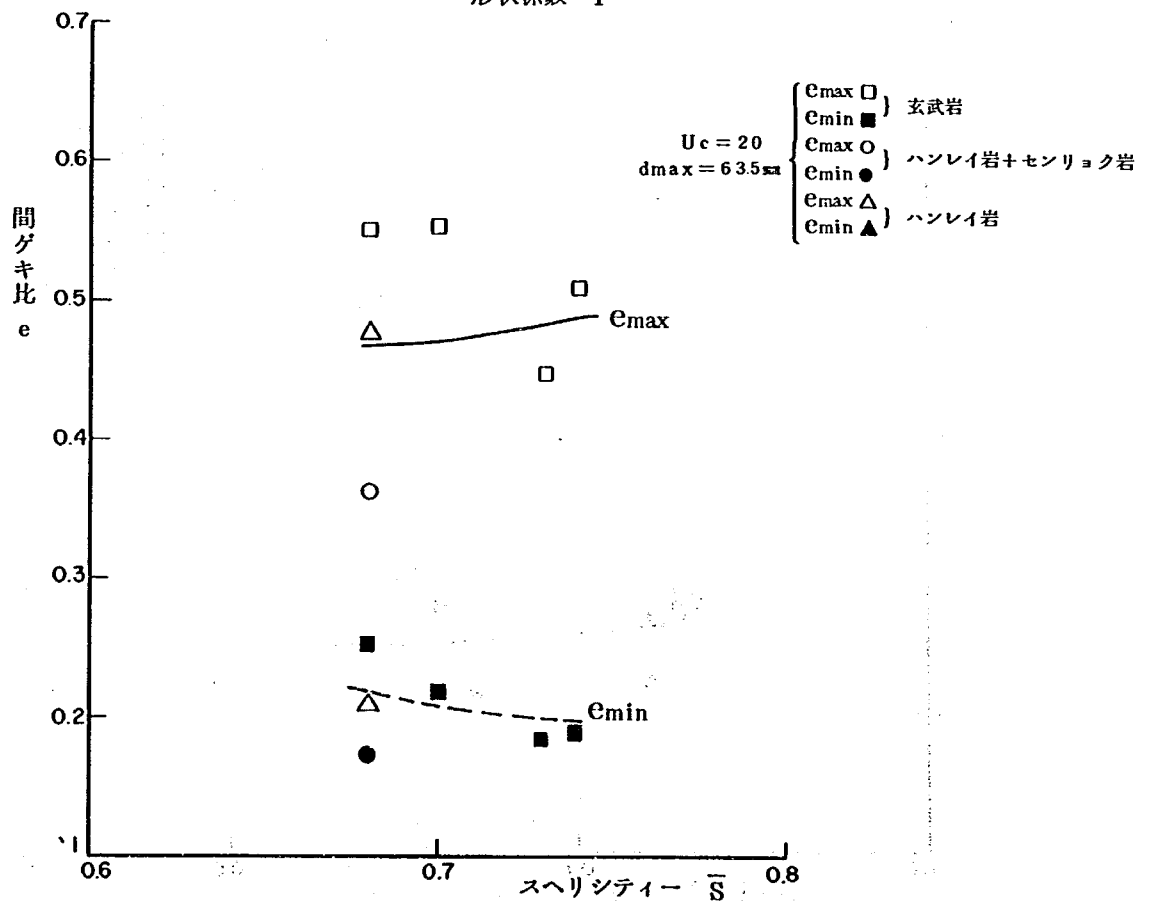
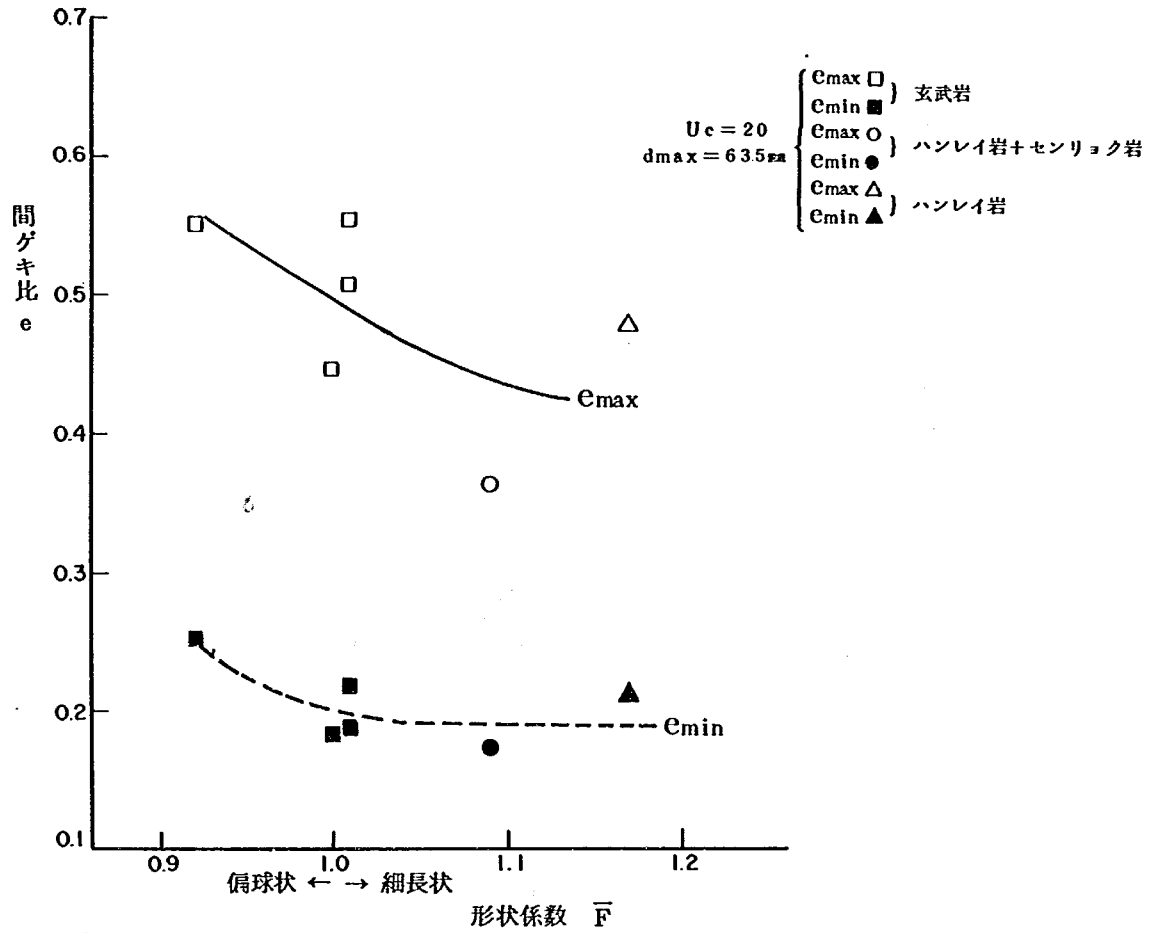
図—24は相対密度が85%の時の内部摩擦角と形状係数、アンギュラリティーの関係である。図からわかるように形状係数と内部摩擦角の相関はあまりない。トータルアンギュラリティーの方は相関が強く、トータルアンギュラリティーの大きいものほど内部摩擦角の値は大きい。いいかえるとトータルアンギュラリティーは粒度、岩質をこえて影響が大であると言える。



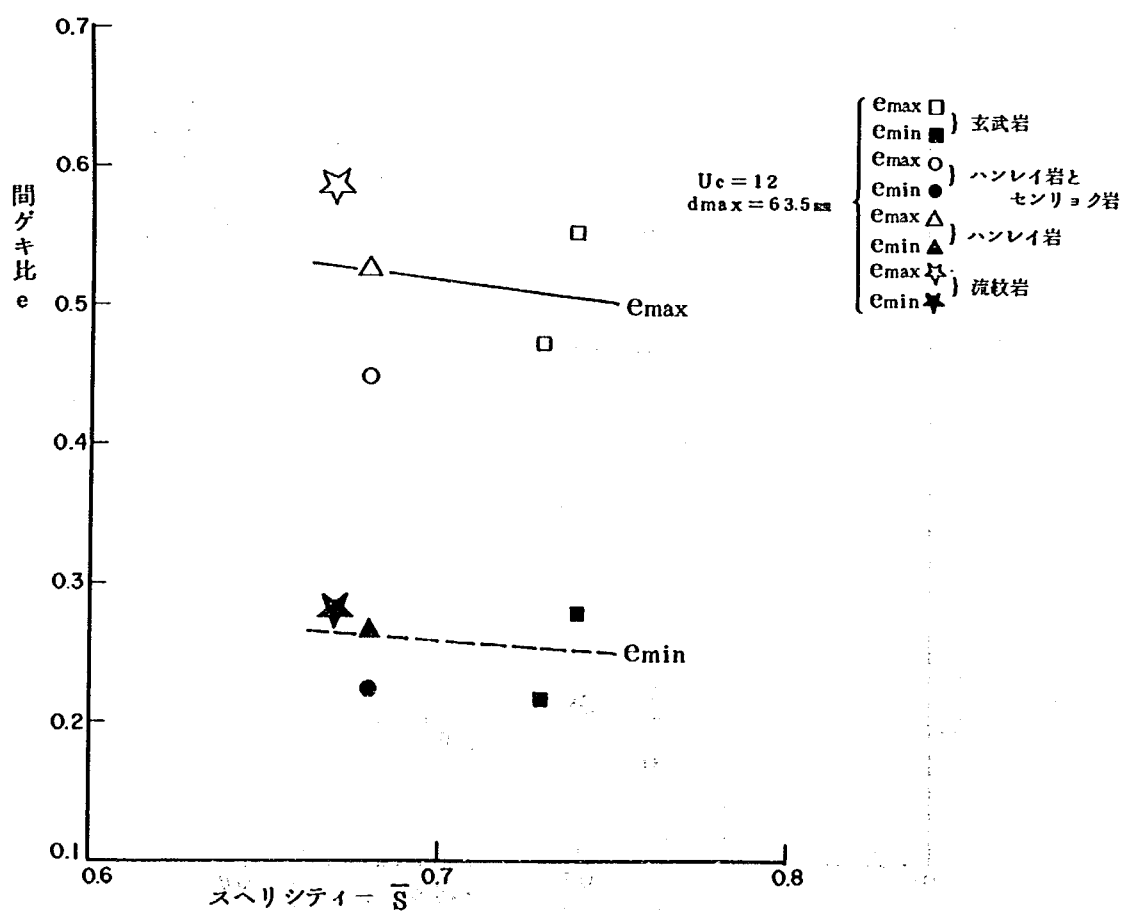
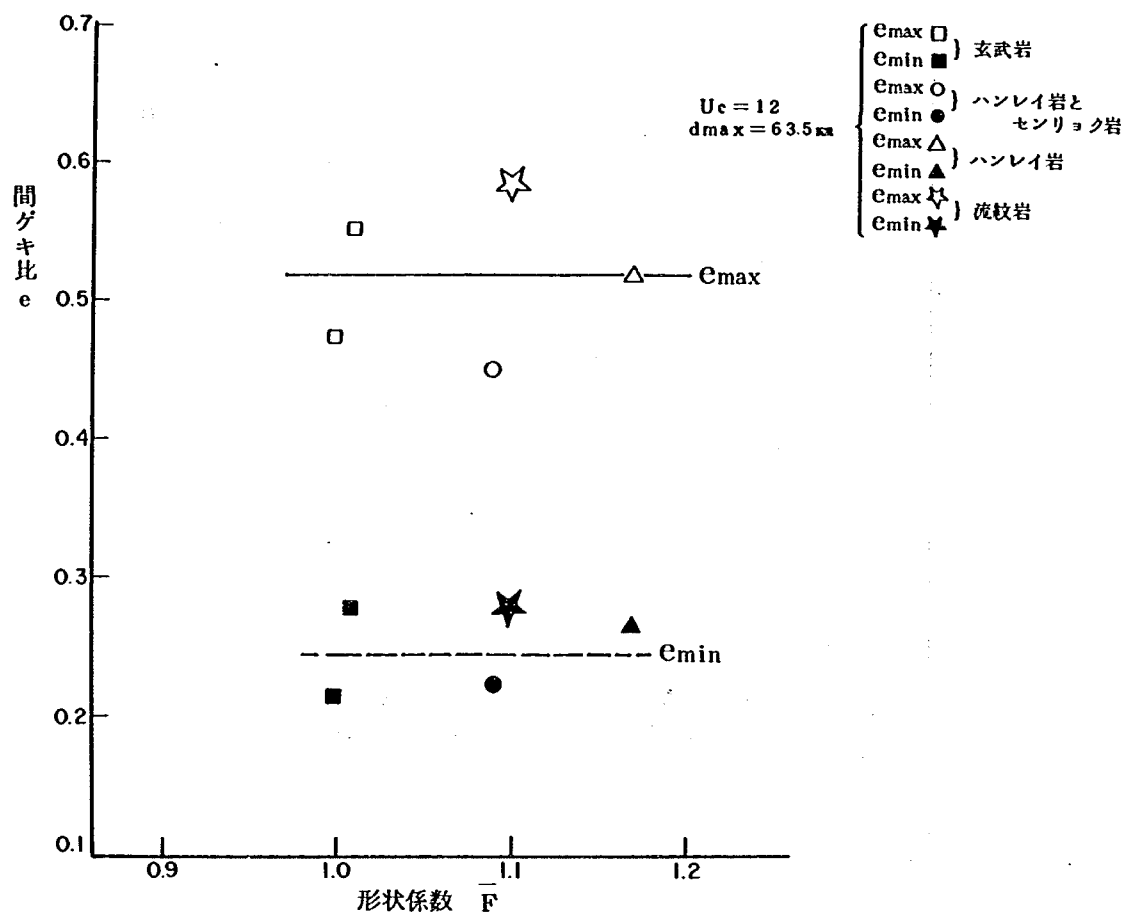
図一 19 比重と平均的粒形、アンギュラリティー



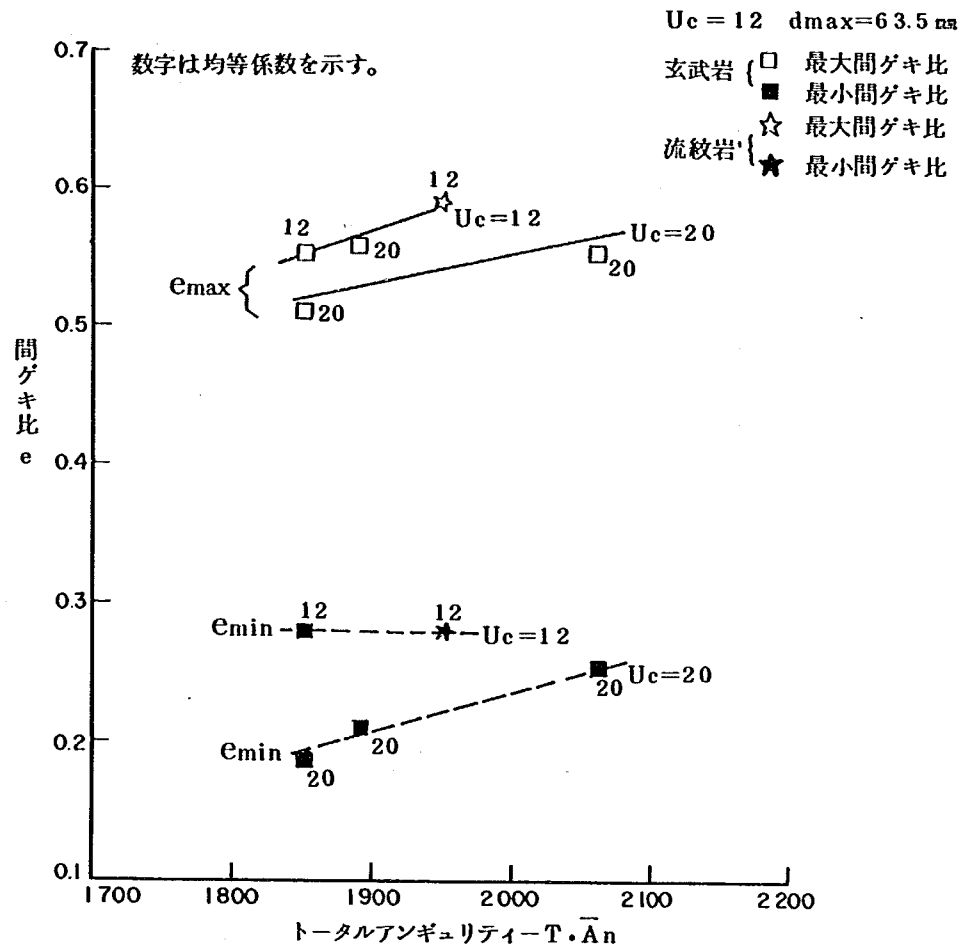
図一 2 0 トータルアンギュラリティーと形状係数



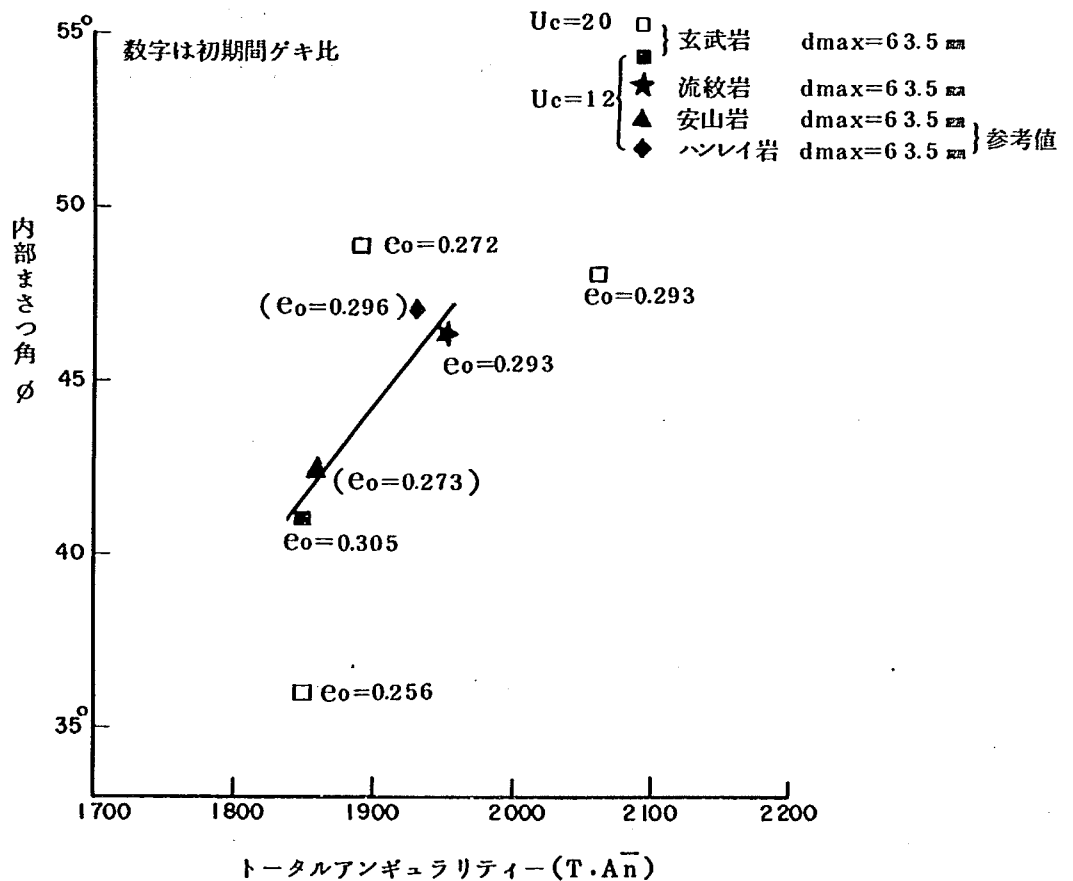
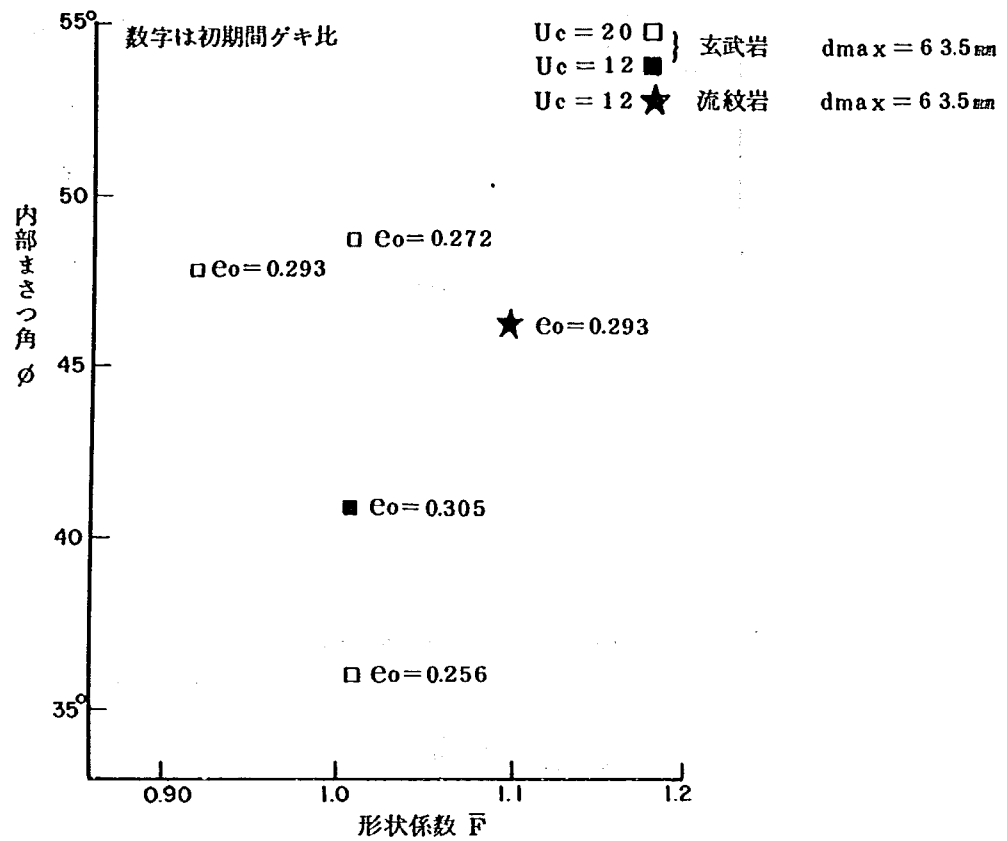
図一 2 1 形状係数、スヘリシティと間ゲキ比



図一 2 2 形状係数、スphericityと間ゲキ比



図—2 3 トータルアンギュラリティーと間ゲキ比



図一 2 4 形状係数、トータルアンギュラリティーと内部まっさつ角

6. ま と め

ロック材料の粒子形状試験を行ない、測定法の改良すべき点と力学的性質(ϕ , e)との定性的な傾向を把握した。この結果を要約すると次のようになる。

- 1) 測定にあたって粒径によるばらつきが大きいことなどから細かい測定法をとらなくても十分である。従って改良すべき点を参考すべきである。
- 2) 粒子形状は各岩種で、こんな形という単純なパターンはなく複雑である。ロック材の供試体を作成した場合、どれくらいの比率で各種の形状が混っているかという理解のしかたがよいだろう。
- 3) 粒子形状のなかでアンギュラリティーだけが間隙比、内部摩擦角に対して強い要素を占めている。いいかえると、岩質、粒度の影響が形状の要素よりかなりのウェイトを占めるようである。

今後の問題点として、平均的粒形の測定でノギスだけを用いて測定する方法は個人差を伴うので、粒子を適格にはさみこむ測定器を作る必要がある。また、力学的性質では少々強引すぎた面もあるので、データの蓄積をはかり定量的に把握すべきである。今回、岩質、粒度という因子の影響が強かったので、粒子形状がどのくらいのウェイトを占めるかさらに確める必要がある。

参 考 文 献

- 1) 粒状体の基本的性質とその土質工学的意義 — 小田匡寛 土と基礎 1978. 8
- 2) 土質力学 — 最上武雄 技報堂
- 3) 粒状体の内部摩擦角に影響する諸因子について 1971 吉越 洋
- 4) フィルダム材料の性質に関する試験(七ヶ宿ダム)建設省土木研究所資料 1979. 6
- 5) // (寒河江ダム) // 1979. 8

ロック材料の
粒子形状試験

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第1659号
昭和56年3月 (1981)
播田一雄・豊田光雄

キーワード 平均的粒形, トータルアンギュラリティ

要旨

本報告は、次の2点について検討したものである。

第一に、粒子形状は測定上の誤差を伴うもので、サンプリングにおいてどれだけの粒子をとれば一定の粒子形状の指標が得られるかを実際のロック材(7種類)で試験した。

第二に、ロック材の粒子形状(平均的粒形とアンギュラリティー)と三軸試験によって得られる内部摩擦角と室内締固め試験で得られる間隙比との関連について調べた。

郵便はがき

305-□□

四十円切手
をはって下
さい

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. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 1659号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印