

土 木 研 究 所 資 料

ダム基礎岩盤の原位置試験に 関する諸検討と考察

昭和58年 1 月

建設省土木研究所
ダム構造研究室

はじめに

ダム基礎岩盤の概略的な工学的性状を分級する作業として岩盤観察で得られた情報を元に行われる岩盤分類がある。また、ダム基礎岩盤の力学的安定性を検討する際の物性値としてはせん断強度及び弾性係数がある。最近のダムサイトの基礎岩盤は、良好地点が少なくなり、地質構造も複雑なダム基礎が多いため一般に一つのダムサイトでも3～4階級の岩盤分類で表現されている。

ダム基礎の安定解析の精度を上げるためには、岩盤分類と物性値の相関性が良くなければならないが、個々のダムでは原位置試験が行われ、その前後で岩盤分類や試験の見直しが行われているため、両者の相関性が良いのが普通である。しかし一般に原位置岩盤試験の初期の段階では地質、岩盤分類が十分なされていても費用、工期の多大な割には得られる値は、バラツキが大きいものである。したがって、バラツキの大きい試験値の妥当性の可否判断、地質別特性による問題点、試験手法上の問題点についての検討方法が要望されてきている。

本報告は、建設省直轄ダムのうち、コンクリートダム35箇所について行われた基礎岩盤原位置試験について試験資料の収集整理を行ったものである。整理結果から、地質区分別岩盤分類との相関性及びその特性について調査し、地質別の力学的な評価上の問題点及び岩盤試験上の問題点について若干の検討、考察を行ったものである。

昭和58年1月

ダム構造研究室

齊 藤 孝 三
片 平 博

目 次

はじめに

I 岩盤分類	1
I-1 岩盤分類と原位置岩盤試験	1
I-2 岩盤分類と分類要素	1
II 原位置岩盤せん断試験	2
II-1 岩盤せん断試験法	2
II-2 岩盤せん断強度	5
II-2-1) 岩盤分類とせん断強度	5
II-2-2) 地質成因別岩種区分	5
II-2-3) 各岩盤成因別の強度特性	5
II-2-4) 試験手法が結果に与える影響	10
II-2-5) ダムの型式・規模のちがいによるせん断強度の比較	12
II-3 せん断試験時のブロックの挙動	13
II-3-1) せん断方向変位	13
II-3-2) 鉛直方向変位（浮上り点について）	15
III 原位置岩盤変形試験	20
III-1 岩盤変形試験法	20
III-2 岩盤変形特性	23
III-2-1) 弾性係数と変形係数	23
III-2-2) 岩盤のゆるみ	23
IV 二次元弾性計算によるせん断試験の解析	26
IV-1 目的	26
IV-2 解析条件	26
IV-3 解析結果	27
IV-3-1) ブロックの変位	27
IV-3-2) ブロック内の応力分布	27
IV-3-3) 点安全率分布と浮上り現象	27
附図	29

附 図

附図一	1	岩盤分類別せん断強度	31
	2	岩盤成因別にみたせん断強度	34
	3	層理面の方向とせん断強度（堆積岩）	44
	4	片理面の方向とせん断強度（変成岩）	46
	5	岩種別にみたせん断強度（深成岩）	48
	6	ダムの型式・規模とせん断強度	55
	7	せん断方向変位量	62
	8	単位荷重当りのせん断変位増分	67
	9	岩種別にみた単位荷重当りのせん断変位増分（深成岩）	72
	10	浮上り点応力の破壊応力に対する割合	75
	11	浮上り点でのせん断強度	80
	12	浮上り点応力の破壊応力に対する割合と初期垂直応力 σ_0 との関係	86
	13	弾性係数	89
	14	変形係数	94
	15	弾性係数に対する変形係数の割合	99
	16	二次元弾性計算によるせん断ブロックの変位	102
	17	“ せん断ブロックの第一主応力分布	104
	18	“ せん断ブロック着岩面の応力分布	106

I 岩盤分類

I-1 岩盤分類と原位置岩盤試験

ダム基礎岩盤の力学的安定性を検討するのに必要な物性値として、せん断強度及び弾性係数が挙げられる。これらの力学的定数を知り得る為に、原位置岩盤試験が行われているが、試験から得られる値は、ダムサイト全域からみればあくまでもミクロ的なものにすぎず、これをダムサイト全域に適合させることを目的として、岩盤分類が行われている。言い換えれば、岩盤分類によって区分された各岩級ごとの力学的定数を得る為に、原位置岩盤試験が行われているものである。

従って、設計の精度を上げる為には、岩盤分類と物性値の相関性がよくなければならない。個々のダムにおいては、原位置岩盤試験が実施され、その前後で岩盤分類や試験値の見直しが行われている為に、両者の相関性は良いのが普通である。

I-2 岩盤分類と分類要素

岩盤分類とは、ダムサイトの調査横坑及びボーリングコアの観察を主体とした手法で得られた分類要素の組合せによって、ダム基礎岩盤の力学的な期待度を数階級に分類することである。ダム基礎岩盤の分類要素とその組合せ方法は、土木学会、岩盤力学委員会のダム地質調査法に示されている。これは例えば土研式では、①岩石の硬さ、②岩盤の割れ目の間隔、③割れ目の状態の3要素を分類要素とし、それぞれの要素を3段階（①についてはA～C、②については50 cm以上15 cm以下をI～Ⅲ、③については密着～狭雑物の有無をa～c）に分け、その組合せによって総合評価A、B、C、Dの4階級に区分するもので、分類要素の組合せと総合評価の関係は、かなり明確なものとなっている。

なお、C級岩盤においては、更に C_H 、 C_M 、 C_L の3段階に分級している。一般のコンクリートダムではB級、C級の岩盤が通常ダム基礎岩盤の対象となり、ダム高に応じて対応基礎岩盤を選定しているものである。

II 原位置岩盤せん断試験

II-1 岩盤せん断試験法

コンクリートダムの設計において、基礎岩盤のせん断強度は最も重要な設計条件であり、ほとんどのダムにおいて原位置岩盤せん断試験が行われている。今回の報告に用いたデータは、表-1に示す35ダムの635ヶ所の試験値である。

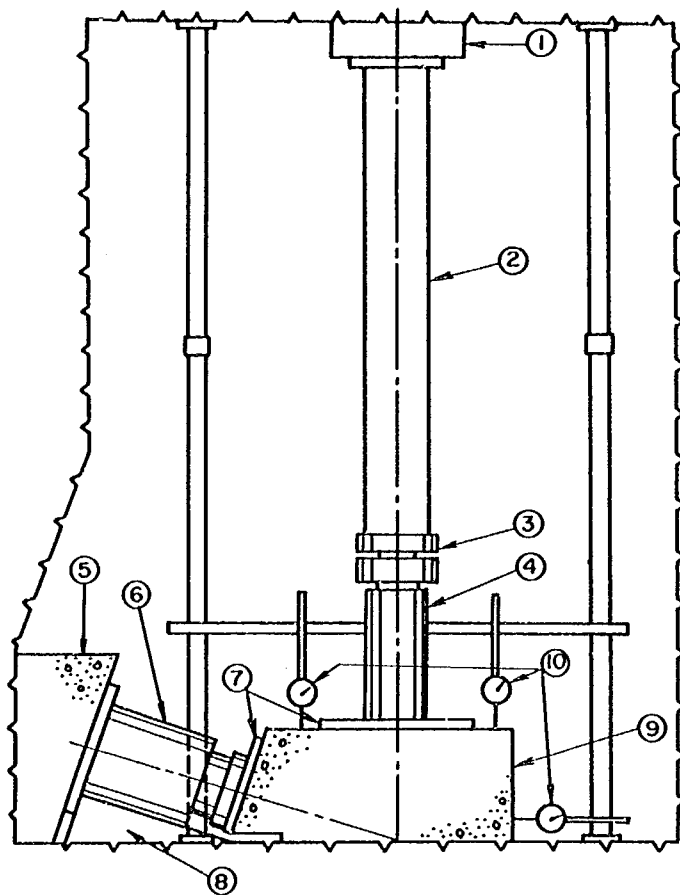
原位置岩盤せん断試験法としては、そのせん断試験体のちがいによって、ブロックせん断試験とロックせん断試験の2通りの試験法がある。

ブロックせん断試験は、整形した岩盤上にコンクリートブロックを打設し、ブロックにせん断荷重を載荷することによってブロック直下の岩盤をせん断するものであり、試験体の製作が容易なことから一般によく用いられている。これに対してロックせん断試験は、岩盤自体をブロック状に切り出して行うものであり、せん断面の岩盤を痛めずに試験体の製作ができるが、岩盤の切り出しに時間と労力を要する為に、特に、整形で痛み易い等の問題があると目される岩盤において行われるものである。1979年に「原位置岩盤のせん断試験—指針と解説—（土木学会）」が発表されており、いずれもこの指針に基づいて試験が実施されている。せん断試験の試験装置を図-1に示す。

試験結果から図-2に示すような応力—変位曲線が得られる。この曲線については、収集した全データを別冊「ダム基礎岩盤原位置試験 一資料編一」に集録した。

表-1 解析対象ダムと試験箇所数（せん断試験）

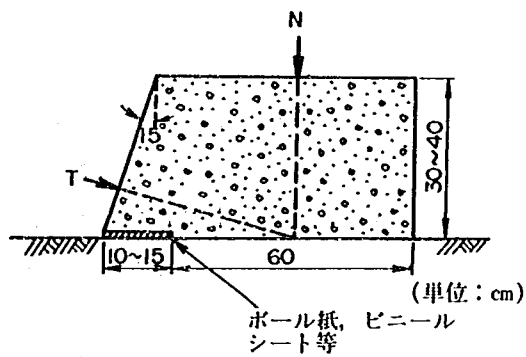
NO.	ダム名	実施 時期	試験箇所数		NO.	ダム名	実施 時期	試験箇所数		NO.	ダム名	実施 時期	試験箇所数	
			ブロック	ロック				ブロック	ロック				ブロック	ロック
1	緑川	S 41		3	12	弥栄	S 48		15	22	長島			3
2	矢作	S 41		20	13	野村	S 47	9					10	
3	大滝	S 41	10	6	14	大町	S 48	16				S 54		5
		S 42	21				S 49	4		23	八田原	S 50		12
		S 50	7		15	大川	S 51	5	6			S 52		15
		S 51	4		16	厳木	S 52	8		24	温井	S 52	8	
4	真名川	S 44	20				S 53	4				S 54	8	
5	草木	S 47	12		17	玉川	S 51	5		25	安波	S 51	20	
6	大渡	S 42	13				S 52	6					9	
		S 46	12				S 53	16		26	普久川	S 54		9
7	川治	S 46	8				S 55	4		27	一庫	S 46	16	
8	滝沢	S 47	4		18	定山溪	S 50	8		28	布目	S 54	15	
		S 48	12				S 51	8		29	富郷	S 52	27	
		S 48.12	8				S 53	4				S 55	4	
		S 49		10	19	浅瀬石川	S 47	8		30	平取	S 52	4	3
9	川辺川	S 46	12				S 48	10		31	早明浦	S 40	12	
		S 47	6				S 52	11		32	島地川	S 48		11
10	大石	S 47	25		20	赤川	S 53	4		33	耶馬溪	S 46	4	
11	蓮	S 48	6				S 54	4				S 47	8	4
		S 49	6				S 56	8		34	宮ヶ瀬	S 53	8	
		S 53	4		21	宇奈月	S 53	12		35	鹿ノ子		16	



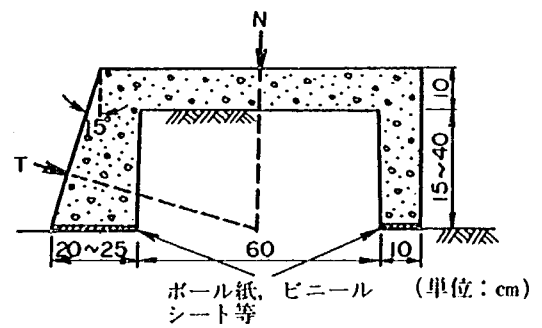
Na . 名 称

- ① 反力端ブロック
- ② 支 柱
- ③ 球 座
- ④ ジャッキ
- ⑤ 反力端ブロック
- ⑥ ジャッキ
- ⑦ 載荷板
- ⑧ 斜傾台
- ⑨ 試験ブロック
- ⑩ グイヤルゲージ

図一1(a) せん断試験装置図



図一1(b) ブロックせん断試験用試験体



図一1(c) ロックせん断試験用試験体

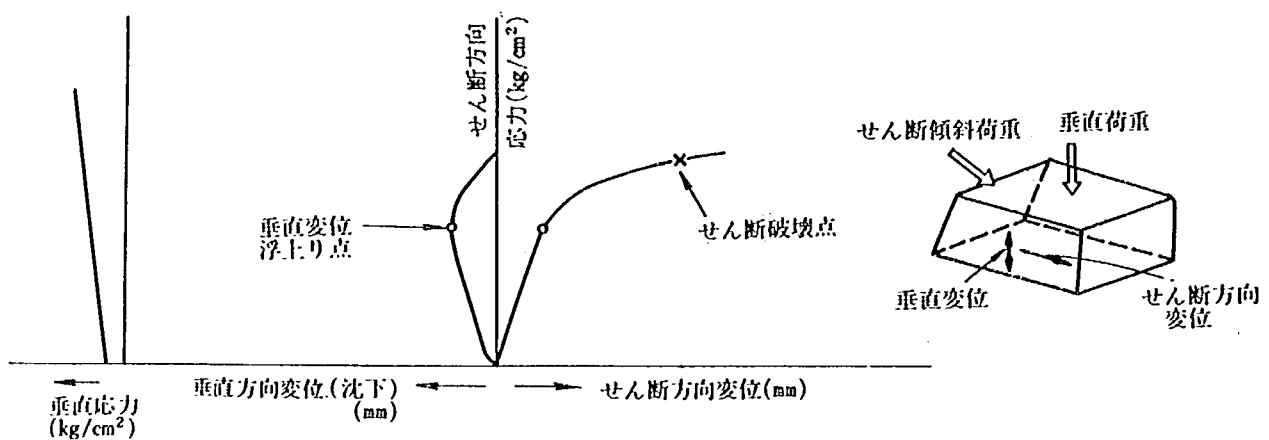


図-2 せん断試験応力—変位曲線

岩盤のせん断強度は、一般に次に示すクーロンの破壊公式から求められる。

$$\tau = \tau_0 + \sigma \tan \phi \quad \dots\dots(1)$$

ここに τ : せん断強度

τ_0 : 純せん断強度

σ : 垂直応力

ϕ : 内部せん断摩擦角

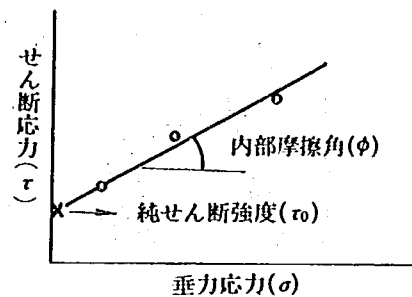


図-3 せん断強度と垂直応力の関係

岩盤せん断試験の破壊点の強度から、図-3に示す要領で、設計に必要な τ_0 と ϕ を求めるものである。試験個数としては、同一な岩盤において、垂直応力条件を変えたものを最低2ヶ所実施すれば、 τ_0 と ϕ を求められるわけであるが、一般には、試験値のバラツキを考慮して、同一な岩盤で垂直応力条件を変えたものを4ヶ所程度行っている。

なお、せん断試験結果における破壊点のとり方であるが、個々の試験ヶ所において、その定義が異なっているようであり、今回の解析においては、せん断変位の状態によって図-4に示す箇所を破壊点として定義した。即ち、一般の場合は(a)のようにせん断荷重がそれ以上上昇しない点を、但し(b)のように、最大荷重に達する直前で変位が急増しているものについてはその変曲点をもって破壊点としたものである。

また、破壊時の応力を算出するのに不可欠な要素である試験面積であるが、実際にせん断破壊が生じた面積ではなく、想定せん断面の面積を用いた。例えば底辺が60cmのブロックせん断試験を実施して、そのせん断破壊が想定面と異なる面で生じたとしても、 $60 \times 60 = 3,600 \text{ cm}^2$ を試験面積として応力を算出したものである。

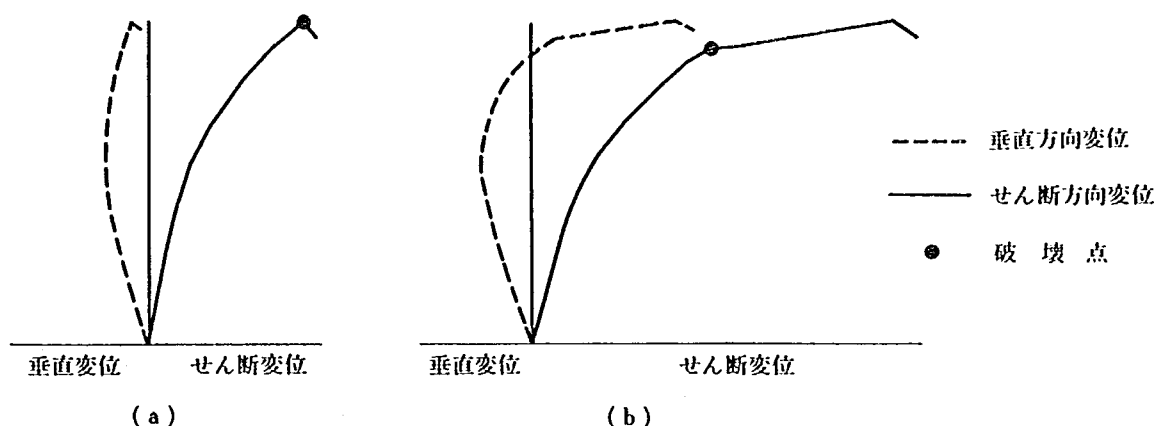


図-4 破壊点の定義

II-2 岩盤せん断強度

II-2-1) 岩盤分類とせん断強度

個々のダムにおいての岩盤分類と試験結果とは対応性があることは先にも述べたが、地域・地質の異ったダムの相互間では、必ずしも良いとはいえないようである。

岩盤せん断試験結果より得られる破壊点での垂直応力 σ とせん断応力 τ との関係を、各岩盤分類別にプロットしたものを附図-1に示す。各岩盤分類別のせん断強度を比較すると、明らかに上階級で大きく、下階級で小さくなる傾向を示しているが、同一岩盤分類内でのデータのバラツキは大きく、その上限と下限とでは τ_0 にして30~60kg/cm²程度のひらきがあるものと推定され、単なる平均的な値で整理するには、無理があるようである。

II-2-2) 地質成因別岩種区分

同一の岩盤分類に評価される岩盤であっても、その岩種によって、造岩鉱物の物理的性質や割れ目の発達状態・性状等が異なるものである。そこでまず、これらが互いに共通した特徴を有すると考えられる地質の成因に着目し、データを表-2に示す5種類の成因別岩種に分類した。

岩盤の成因別に分類した破壊点のデータを、各岩盤分類別にプロットしたものを附図-2に示す。これより各区分ごとのせん断強度の平均値と上・下限値を推定したものを表-3に示す。附図-2及び表-3から明らかなように、岩盤せん断強度は、各岩種ごとにそれぞれ異った特性を示しており、同一岩種区分内では、強度と岩盤分類との関係は、概ね対応性がつきそうである。

II-2-3) 各岩盤成因別の強度特性

以下に、岩盤の各成因別の強度特性について、結果と考察を述べる。

- ① 古生代・中生代堆積岩：古・中生代堆積岩は、岩片は堅硬であるが、褶曲の影響や断層の発達により地質構造が複雑で、割れ目の多いのが特徴であり、附図-2より推定されるせん断強度は、他の岩種に比較して幾分小さな値となっている。また、岩盤分類のちがいによる強度差はそれほど大きくないのに、同一岩盤分類内でのデータのバラツキが比較的大きいようであり、このデータのバラツキの原因について以下の検討を行った。

せん断強度を左右する最も大きな要因として、岩盤内のキレツの特性が挙げられる。このキ

表-2 ダム名と成因別岩種区分表(せん断試験)

ダム名	タイプ	高さ(m)	岩種名	ダム名	タイプ	高さ(m)	岩種名
① 中古生代堆積岩				③ 火成岩深成岩			
大滝	G	100	砂岩, 粘板岩, チャート	緑川	G	35	片麻岩質石英閃緑岩
草木	G	140	砂岩, 粘板岩	矢作	A	100	両雲母花崗岩
大渡	G	96	輝緑凝灰岩	真名川	A	127	ひん岩, 花崗岩, 輝緑岩
滝沢	G	140	輝緑凝灰岩, 砂岩, 粘板岩	大石	G	87	角閃石黒雲母花崗岩
川辺川	A	107.5	砂岩, 粘板岩, 砂岩と粘板岩互層	弥栄	G	120	ひん岩
弥栄	G	120	粘板岩, チャート	大町	G	107	黒雲母花崗岩
野村	G	60	砂岩, 粘板岩	宇奈月	G	97	石英閃緑岩
長島	G	112	粘板岩, 砂岩, 互層帯, シャーゾーン	八田原	G	84.9	黒雲母花崗岩
一庫	G	75	粘板岩, 砂岩, 粘板岩と砂岩の互層	温井	A	155	黒雲母花崗岩
平取	G	52.5	砂岩	布目	G	72	花崗岩
				富郷	AG	111	かんらん岩
② 広域変成岩				④ 火成岩火山岩			
蓮	G	78	砂質片岩, 黒色片岩	大川	G	78	流紋岩
蔵木	G	117	結晶片岩類	玉川	G	100	玄武岩
安波	G	86	千板岩(粘板岩質)	定山溪	G	112.5	石英安山岩, 石英斑岩
普久川	G	41.5	千板岩(輝緑凝灰岩質)	浅瀬石川	G	96.5	玄武岩
早明浦	G	106	黒色片岩	鹿の子	G	55.5	輝石安山岩
富郷	AG	111	変成岩類	赤川	G	125	安山岩
島地川	G	88	結晶片岩				
真名川	A	127	片麻岩	⑤ 火山性堆積岩 (第3紀以降)			
				川治	A	140	凝灰角礫岩
				玉川	G	100	凝灰角礫岩
				浅瀬石川	G	96.5	凝灰角礫岩
				赤川	G	125	凝灰角礫岩
				耶馬溪	G	65	凝灰角礫岩
				宮ヶ瀬	G	155	火山礫凝灰岩

A : アーチ式, G : 重力式

表一 3 岩盤成因別せん断強度

(r_0 : kg/cm² ϕ : 角度)

成因別岩種区分		岩 盤 分 類											
		B			C _H			C _M			C _L		
		r_0	ϕ	f	r_0	ϕ	f	r_0	ϕ	f	r_0	ϕ	f
古・中生代堆積岩	平均	28	50	1.2	20	50	1.2	19	45	1.0	7	45	1.0
	上限	34	53	1.3	31	57	1.5	29	53	1.3	13	51	1.2
	下限	22	48	1.1	12	44	1.0	10	39	0.8	5	33	0.7
広域変成岩	平均	(35)	(50)	(1.2)	24	50	1.2	14	45	1.0	6	45	1.0
	上限	(47)	(50)	(1.2)	39	55	1.4	25	53	1.3	7.5	49	1.2
	下限	(28)	(50)	(1.2)	11	50	1.2	8	41	0.9	4	40	0.8
火成岩深成岩	平均				44	51	1.2	30	47	1.1	22	45	1.0
	上限				82	52	1.3	68	50	1.2	40	45	1.0
	下限				20	50	1.2	14	46	1.0	8	45	1.0
火成岩火山岩	平均	30	51	1.2	27	47	1.1	19	45	1.0	7	40	0.8
	上限	44	54	1.4	35	53	1.3	26	50	1.2	11	44	1.0
	下限	14	50	1.2	15	45	1.0	13	44	1.0	3	35	0.7
火山性堆積岩 (第三紀以降)	平均				35	51	1.2	19	51	1.2			
	上限				48	56	1.5	28	55	1.4			
	下限				22	50	1.2	11	50	1.2			

レツの特性のうち、キレツの本数(頻度)とキレツ面の性状については、岩盤分類を行う際に判断要素として含まれていることから、ここでまず問題となるのはキレツの方向性である。とりわけ層理面によって層状構造を呈する堆積岩においては、この層理面の方向性が、岩盤のせん断強度に大きな影響を与えているものと予想される。また、粘板岩類においては、石英または方解石の細脈が貫入していることがしばしばあり、この細脈の方向性も強度に影響を与える要素となりうるものである。

以上の理由により、試験面に対する層理面の傾斜方向から、古・中生代堆積岩のデータを図一5に示す5つのタイプに分類した。また、水平分理面や細脈等に沿って破壊したものについては、その分理面の方向性から分類を行ったものである。Eタイプ(塊状岩盤)には、層理面の比較的明瞭でない砂岩、輝緑凝灰岩等が該当した。これらの各タイプごとの強度との関係を附図一3に示す。

附図一3から解る様に、層理面が水平(Dタイプ)もしくは载荷方向に対して流れ目(Cタイプ)のものはせん断強度が低く、逆に、層理面が鉛直なもの(Bタイプ)と明瞭でない塊状岩盤(Eタイプ)では高い強度を示しており、層理面の方向がせん断強度に影響をもつことが確認できる。附図一3より各タイプごとの強度を推定したものが表一4である。

- ② 広域変成岩： 広域変成岩は片理面を有し、片理面に沿って剝離しやすいという地質的弱点を有しており、風化の幾分進んだC_M級、C_L級クラスでは、他の岩種より多少低い強度を示しているが、岩盤分類との相関性は比較的良く、C_H級、B級クラスになると古・中生代堆積岩と同程度の強度を示しているようである。

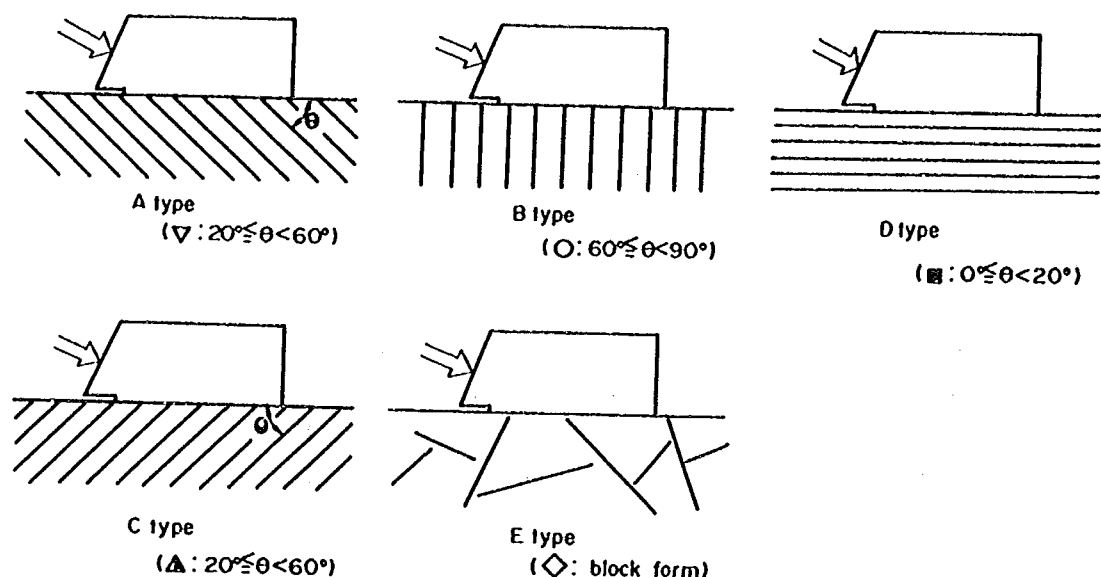


図-5 層理面の方向による分類

表-4 層理面の傾斜タイプ別せん断強度(堆積岩)

(τ_0 : kg/cm² ϕ : 角度)

層理面の傾斜角による分類 (タイプ別)		岩 盤 分 類											
		B			CH			CM			CL		
		τ_0	ϕ	f	τ_0	ϕ	f	τ_0	ϕ	f	τ_0	ϕ	f
Bタイプ(鉛直)	平均	28	50	1.2	22	53	1.3	21	48	1.1	12	42	0.9
Eタイプ(塊状)	上限	34	53	1.3	31	57	1.5	29	53	1.3	14	51	1.2
	下限	22	48	1.1	14	51	1.2	12	47	1.1	10	35	0.7
Cタイプ(流れ目)	平均				19	44	1.0	14	39	0.8	8	35	0.7
Dタイプ(水平)	上限				26	45	1.0	20	41	0.9	10	37	0.75
	下限				12	44	1.0	10	39	0.8	5	34	0.7

表-5 片理面の傾斜タイプ別せん断強度(変成岩)

(τ_0 : kg/cm² ϕ : 角度)

片理面の傾斜角による分類 (タイプ別)		岩 盤 分 類											
		B			CH			CM			CL		
		τ_0	ϕ	f	τ_0	ϕ	f	τ_0	ϕ	f	τ_0	ϕ	f
Bタイプ(鉛直)	平均	35	50	1.2	36	53	1.3	20	49	1.2			
Eタイプ(塊状)	上限	46	50	1.2	41	56	1.5	25	53	1.3			
	下限	28	50	1.2	26	50	1.2	17	41	0.9			
Aタイプ(さし目)	平均				20	50	1.2	13	46	1.0	6	45	1.0
Cタイプ(流れ目)	上限				30	52	1.3	17	50	1.2	7.5	49	1.2
Dタイプ(水平)	下限				11	50	1.2	8	41	0.9	4	40	0.8

片理面がせん断強度に与える影響については、古・中生代堆積岩同様に、その傾斜方向からデータを図-5に示す5タイプに分類し、強度との関係を示したものを附図-4に示す。分類に際して、Eタイプ(塊状岩盤)には、片理面がさほど明確でない片麻岩が該当した。

附図-4から各タイプごとの強度を推定したものが表-5である。ここで、堆積岩の場合と若干異なる点は、片理面の傾斜が荷重方向に対してさし目となるAタイプのなかにも、強度的に低い値を示しているものが存在することである。これについては、片理面沿いに剝離しやすいという広域変成岩の特性に起因しているものと考えられる。

また、広域変成岩の片理面には、その方向性が平面性に富むものから、褶曲が著しく平面性に乏しいものまで、その地域によって様々な特徴を示しており、平面性に乏しいものの場合には、岩のかみ合せ効果によって、平面性に富む場合よりも比較的高い強度が得られることも考えられ、これらの点についても十分調査する必要がある。

- ③ 火成岩深成岩： 地質の成因別に分類した5つのグループの中で、最も高い強度を有しているが、データのバラツキの範囲もまた大きなものである。従って、深成岩については、データを更に粗粒花崗岩、中粒花崗岩、塩基性岩、半深成岩の4タイプに分類した。この結果を附図-5に示す。附図-5から強度を推定したものが表-6である。

附図-5及び表-6から推定される各岩種ごとの強度的特性を以下に示す。

- (a) 花崗岩： 花崗岩は、日本に分布する深成岩の大半を占めるものであり、今回調査した深成岩の中でも最もデータ数の多いものであった。この岩の特徴としては、新鮮な場合には、岩石自体も堅硬で、割れ目や異方性も少ない岩盤であるが、造岩鉱物のなかに風化しやすい鉱物(黒雲母、長石等)を含み、地域的に深層風化(マサ化)がみられるものであり、その傾向は細粒花崗岩より粗粒のもので著しい。今回調査したデータには、細粒花崗岩は見うけられなかったので、中粒花崗岩と中～粗・粗粒花崗岩とに分類して強度を比較した。この結果、 C_H 、 C_M 級クラスで τ_0 にして15~20kg/cm²程度のひらきがあり、その差は明らかであった。なお、中粒花崗岩については、今回調査したすべての岩種の中で、最も高いせん断強度を示している。
- (b) 塩基性岩(中性岩)： 塩基性～超塩基性深成岩に分類される岩石は、優黒質で新鮮なものは緻密堅硬であり、比重も岩石のなかで最も大きい(3.0以上)ものである。しかし、二次的な加水変質によって蛇紋岩化することが多く、風化が進み軟弱化する傾向も強い。今回調査したデータのなかで、この分類に入るものは、超塩基性岩のかんらん岩と中性岩の閃緑岩であったが、上記の岩石の特徴を比較的良く反映した強度特性を示している。即ち、全体的には中粒花崗岩に次いで大きな強度を示しているが、岩盤分類のランクの低下に伴う強度の低下も比較的大きなものであり、岩盤分類とせん断強度とは良い相関性を示した。
- (c) 半深成岩： 半深成岩は、深成岩と火山岩との中間に位置するものであり、岩片としては堅硬であるが、割れ目がよく発達しており、割れ目には多量の流入粘土をはさむことが多く、見かけより強度が低いことが多い。今回収集したデータのうち、この分類に入れたものはひん岩だけであり、資料が少ないために、他の深成岩とせん断強度を比較するには問題があるが、表-5から判断する限りにおいては、極端に低い値を示しており、むしろ火山岩に近い強度特性であると考えられる。

表一6 各岩種別せん断強度(深成岩)

(τ_0 : kg/cm² ϕ : 角度)

岩 種 名		岩 盤 分 類								
		CH			CM			CL		
		τ_0	ϕ	f	τ_0	ϕ	f	τ_0	ϕ	f
中 粒 花 崗 岩	平均	58	53	1.3	43	50	1.2			
	上限	80	53	1.3	67	50	1.2	34	50	1.2
	下限	32	53	1.3	20	50	1.2	7	50	1.2
中～粗・粗粒花崗岩	平均	37	49	1.2	28	49	1.2	17	49	1.2
	上限	44	50	1.2	41	50	1.2	27	50	1.2
	下限	28	49	1.2	18	49	1.2	10	49	1.2
中性岩・塩基性岩 (閃輝岩, かんらん岩)	平均	39	51	1.2	27	47	1.1			
	上限	50	53	1.3	34	49	1.2	31	45	1.0
	下限	25	50	1.2	16	45	1.0	9	45	1.0
半 深 成 岩 (ひ ん 岩)	平均	25	45	1.0	17	45	1.0			
	上限	28	45	1.0	24	45	1.0			
	下限	19	45	1.0	10	45	1.0			

④ 火成岩火山岩： 火山岩は、その成因上凝灰岩や凝灰角礫岩をはさんで存在することが多い。火山岩溶岩は、冷却固結の際に収縮を伴うことから、比較的規則正しい節理状の割れ目が発達し、割れ目には流入粘土をはさむことが多い。また、流動しながら冷却固結していく段階で、空気や旧地表にふれて、早く冷却した部分が破砕される自破砕部を伴うことも多い。

以上の様に、火山岩はダム建設上問題の多い岩とされており、せん断強度は、同じ火成岩である深成岩と比較すると、低い値を示している。とりわけ、節理の風化の著しいと考えられるCL級に至っては、なおさらである。しかし、節理の風化の比較的少ないと考えられるCH、CM級においては、古・中生代堆積岩と同程度か、幾分大きめなせん断強度を示しており、節理の頻度や風化度が、岩盤分類にうまく反映されているようである。

⑤ 火山性堆積岩(第三紀以降)： 今回収集した資料のうち、この分類に入れたのは、すべて第三紀以降のグリーンタフ地域の凝灰角礫岩であり、この岩は、比較的固い角礫(玉石)と基質との組合せからなり、上載荷重の厚さによって基質の固結度が異なるものである。キレッツは比較的少なく、その成因上火山岩類に伴って存在することが多い。

以上の様に、角礫の大きさ(かみ合せ)と基質の固結度が、せん断強度を大きく左右するものと考えられるが、今回収集したデータから判断する限りにおいては、十分な固結度をもつ古・中生代堆積岩よりも、むしろ大きめなせん断強度を示している。このことから、火山性堆積岩のなかでも、基質の固結度が高く、また大きな角礫を含むものについては、キレッツが少ないという有利な特性もあることから、かなりの強度まで期待できるものと推定される。

II-2-4) 試験手法が結果に与える影響

① ブロックせん断とロックせん断との比較： 原位置岩盤せん断試験法には、ロックせん断試験法と、ブロックせん断試験法の2通りがあることは、先にも述べたが、この試験法のちがいが試験結果に与える影響を見る為に、附図-2の試験結果には、ロックせん断とブロックせん

断とを、異った記号でプロットしてある。ロックせん断試験は、試験面を痛めずに供試体を作製できる特性から、一般に破碎風化の進んだ岩盤や軟岩類の岩盤で多く実施されているが、附図-2をみる限りにおいては、強度の劣るC_L級クラスの岩盤でも、両試験法による強度の差は表われていないようである。従って、整形時にゆるみ易いと思われる岩盤であっても、試験面の整形に細心の注意を払うことによって、ゆるみ面を除去出来るならば、ブロックせん断試験でも、信頼できる強度が測定できるものと考えられる。但し、断層破碎帯などでは試験面の整形が困難であることや、新第三紀以降の堆積岩(軟岩)のうち泥岩類は整形面でスレーキングを生じ易いことなどにより、その限りではないと思われる。

- ② コンクリートブロック側でのせん断破壊： 本来、岩盤せん断試験は岩盤内に破壊を生じさせるものであるが、ブロックせん断試験に関しては、せん断破壊がすべて岩盤内に生じるとは限らず、ブロックの施工性が悪かったり、岩盤の強度がコンクリートより大きな場合には、コンクリートブロック側(またはコンクリート打設面)でせん断破壊する場合がある。附図-2では、せん断破壊面のうちコンクリート及び打設面の占める割合が50%以上のものについては×印で表示したが、特にせん断応力 τ が50~60kg/cm²以上になると、その傾向が著しくなっている。従って、C_H級以上の堅硬な岩盤において真の岩盤せん断強度を測定したい場合には、ロックせん断試験を行うべきであろう。しかし、通常のコンクリートダムの設計に際しては、コンクリートブロック側で破壊した強度を用いても、実際の岩盤強度はそれより大きいことは確実であることから、安全側の設計を行うこととなり、とりわけ高いせん断強度を岩盤に期待する場合を除いて、さほど問題にならない性質のものであろう。但し、附図-2から分かるように、低い応力レベルにおいてもコンクリートもしくは打設面で破壊しているものがまったくないわけではなく、ブロックの施工、及びジャッキ据付時の寸法の精度等には細心の注意を払うことは言うまでもない。また、最近では、ブロックせん断試験でもコンクリートブロック側でのせん断を極力避ける為に、図-6に示す様にブロック中央部の岩盤を多少盛り上げて整形するなど、工夫している例もある。

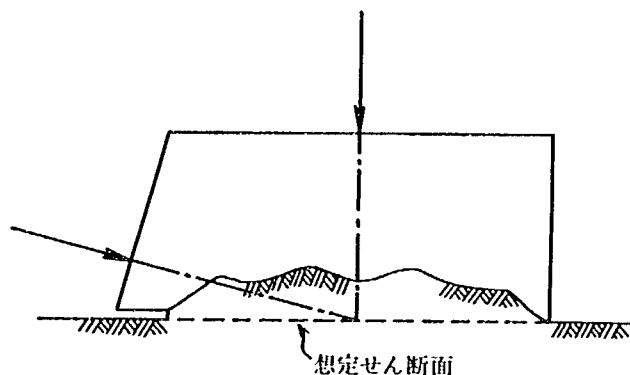


図-6 岩盤を盛上げて施工した
ブロックせん断試験の例

- ③ ブロックの回転による影響： 現在の原位

置せん断試験法では、垂直荷重とせん断荷重の合力の作用点が、試験面の中心にくるように油圧ジャッキの据え付け位置を決めており、平面保持の原則を仮定すればブロック底面での応力分布は均等となり、偏心モーメントは作用しない筈である。ところが実際のせん断試験においては、岩盤の不均一性や破壊特性、施工上の精度等によって、ブロックの前部と後部とでは異った鉛直方向変位を示すものも少なくなく、図-7に示すように前部と後部がまったく逆の動きを示すものもある。いわゆる上下方向に回転しようとするものであり、この回転作用によって生じる引張応力が、破壊を助成する可能性があると考えられる。附図-2では、鉛直方向の応力-変位曲線から、試験の早期から回転現象を示すデータに関しては〔◎、回〕印で示した

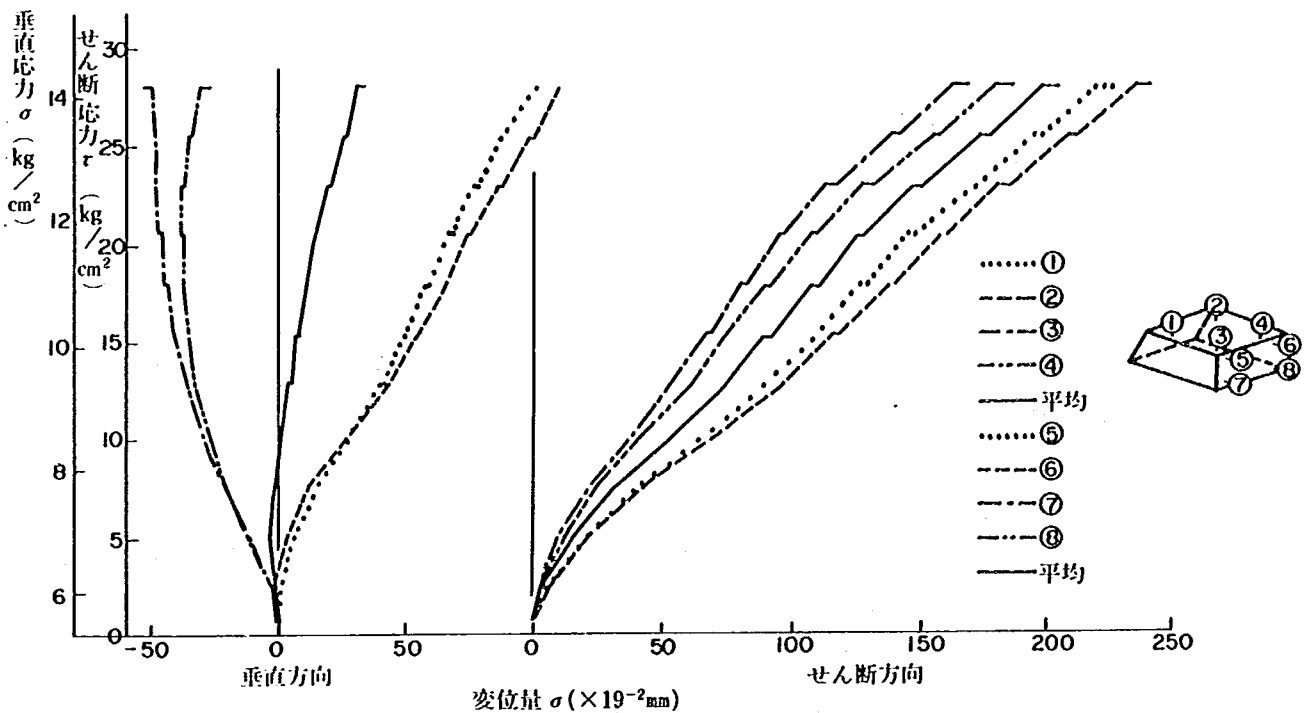


図-7 直鉛変位の異常例

が、今回の調査ではそれほど明確な強度低下はみうけられなかった。

なお、この回転現象については、「第IV章 二次元弾性計算によるせん断試験の解析」の項でも、二・三の考察を加えた。

II-2-5) ダムの型式・規模のちがいによるせん断強度の比較

岩盤分類は定められた基準に基づき岩石の硬度、割れ目の間隔・状態から、客観的に判定することを目指したものであり、まったく同一の岩盤であれば、いかなる場合においても同じ岩盤分類に評価されていなければならない。しかし、ダムの型式が異なったり、規模が異なる場合には、基礎岩盤に期待する強度が異なることから、岩盤分類の評価基準もそれによって異なっていることが懸念される。従って、ダムの型式・規模のちがいによるせん断強度の比較を行ってみたものである。各岩盤の成因別、岩盤分類別のせん断破壊点での垂直応力-せん断応力の関係図に、ダムの型式と規模による分類を示したものを附図-6に示す。

① ダム型式のちがいによる比較： アーチダムと重力ダムとを比較したものである。附図-6からみて、アーチダムのデータは強度的に高い部分に位置していることが多い。アーチダムはダムに加わる荷重のほとんどを左右岸のアバット面の岩盤で支えるために、左右岸の岩盤には重力ダムの岩盤以上の強度が要求されることや、三次元不静定構造物であることから、岩盤の安定性に余裕をもたせるために、岩盤の力学的評価（岩盤分類）を安全側に行っていることも考えられる。しかし、今回データを収集したダムのなかでアーチダムは5ダムだけで、データ数としても少ないものであり、また、重力ダムに比較して極端に大きな値を示しているというものでもない。

② ダムの規模（堤高）のちがいによる比較： 重力ダムについて、ダム高が100m以上のもの、

70～100mのもの、70m以下のものとに分けて比較したものである。アーチダムについては、収集したデータのすべてが100m以上のハイダムであった。附図-6から高さ別の強度差を比較すると、火山岩や、火山性堆積岩のC_M級である程度の相関性を示しているように見受けられるが、全体的な傾向としてはデータのバラツキが大きく、明確な関係はみられなかった。

今回収集したデータは、その大半が70m以上の高さを有するダムの基礎岩盤において行われたものであり、小規模ダムのデータが少ないことから、ダムの規模との関係は明確ではないが、上記の結果から判断して、少なくとも今回収集したデータに関しては、ダム高もしくはダム型式のちがいによる差は、あったにしてもわずかなものであり、同一レベルとして取り扱っても差し支えないものと考えられる。

II-3 セン断試験時のブロックの挙動

II-3-1) セン断方向変位

原位置岩盤せん断試験から得られるせん断変位量について、その大きさや岩種との関係、せん断強度との関連性について若干の解析を行ったものである。

① 浮上り点、破壊点での変位量： 浮上り点及び破壊点でのせん断変位量を岩盤成因別にプロットしたものを附図-7に示す。附図-7から各区分ごとの平均値と上・下限値を推定したものを表-7に示す。これから判断して、せん断変位が $5 \sim 300 \times 10^{-2} \text{mm}$ 程度で浮上り点が現われ、 $50 \sim 1,000 \times 10^{-2} \text{mm}$ 程度で破壊が生じており、岩盤分類が低階級になるに従い大きな変位量を示す傾向をわずかながら示していることが分かるが、データのバラツキは非常に大き

表-7 セン断方向変位量

(単位： $\times 10^{-2} \text{mm}$)

成因別岩種区分		岩 盤 分 類							
		B		CH		C _M		C _L	
		浮上り点	破壊点	浮上り点	破壊点	浮上り点	破壊点	浮上り点	破壊点
古・中生代堆積岩	平均	30.6	138	50.7	298	96.3	510	158.3	503
	上限	100	350	200	650	400	1100	600	1100
	下限	4	60	2	80	10	150	30	200
広域変成岩	平均	8.6		27.7	205	53.0	414	53.6	223
	上限	13		100	500	150	900	150	400
	下限	5		5	40	7	100	10	50
火成岩深成岩	平均			49.1	578	62.1	405	96.0	464
	上限			150	1000	250	1300	250	800
	下限			5	180	5	60	30	200
火成岩火山岩	平均	15.1		33.2	141	68.0	330	143.8	705
	上限	30		70	600	170	800	350	1000
	下限	2		6	30	20	50	30	500
火山性堆積岩 (第三紀以降)	平均			23.4	189	68.5	163		
	上限			50	280	400	500		
	下限			3	90	4	50		

なものであり、せん断強度の場合のように各岩種ごとの特性は表れなかった。

② 単位荷重当りの変位増分： 次に、せん断方向変位の単位荷重当りの増分について検討した。

変位の増分は応力-変位曲線からも分かるように、せん断荷重の増加に伴って刻々と変化するものであるから、今回の解析では破壊の初期的現象と考えられている浮上り点を境界として0→浮上り点、浮上り点→破壊点のそれぞれの変位増分を求めた。これを岩盤の成因別に分類してプロットしたものを附図-8に示す。附図-8より各区分ごとの平均値と上・下限値を推定したものを表-8に示す。附図-8のうち古・中生代堆積岩、広域変成岩については片理面の傾斜方向による影響をみる為に、データを図-5（P8参項）の5タイプに分類して示した。また、深成岩においては、データを更に花崗岩、塩基性岩、半深成岩の3種類に分類したものを附図-9及び表-9に示す。

表-8 単位荷重当りの変位増分

(単位： $\times 10^{-2}\text{mm/kg/cm}^2$)

成因別岩種区分		岩 盤 分 類							
		B		CH		CM		CL	
		0 → 浮 → 破		0 → 浮 → 破		0 → 浮 → 破		0 → 浮 → 破	
古・中生代堆積岩	平均	1.15	3.2	2.8	10.3	6.8	25	12.1	39
	上限	4.0	7	10	30	15	50	40	110
	下限	0.4	1.6	0.6	3	0.8	5	2	20
広域変成岩	平均	0.23		2.3	12.4	5.0	14.5	6.1	33
	上限	0.3		5	20	15	35	13	70
	下限	0.15		0.1	2	0.8	4	1.0	13
火成岩深成岩	平均			1.1	8.2	3.7	14.4	7.3	24
	上限			3	25	15	45	15	80
	下限			0.1	2	0.2	4	2.5	8
火成岩火山岩	平均	0.67	2.3	1.02	4.5	4.8	12.5	19.7	77
	上限	1.2		3	15	20	30	50	150
	下限	0.15		0.1	1.5	0.8	2	5	30
火山性堆積岩 (第三紀以降)	平均			0.97	4.2	2.3	8.8		
	上限			2	6	10	20		
	下限			0.25	2	0.4	3		

表-9 単位荷重当りの変位増分(深成岩)

(単位： $\times 10^{-2}\text{mm/kg/cm}^2$)

岩 種 名	岩 盤 分 類					
	CH		CM		CL	
	0 → 浮 → 破		0 → 浮 → 破		0 → 浮 → 破	
花 崗 岩	1.4	6.5	2.5	9.9	6.4	17.8
中性岩・塩基性岩	0.25	2.6	1.03	3	12.7	37.3
半 深 成 岩	5.8	26	10.3	29.3	11	76

附図-8より判断して、データのバラツキは大きなものの岩盤分類との間にはある程度の相関性があり、岩盤分類が低階級になるに従いせん断応力に対する変位増分が大きくなる傾向を示している。また岩盤成因別の特徴を見ると、キレッズの比較的発達している古・中生代堆積岩や低ランク（C_L級以下）の火山岩での変位増分は、キレッズの少ない深成岩や火山性堆積岩（グリーンタフ）に比較して大きな値を示しており、キレッズの頻度が岩盤のせん断変位特性に影響を与える一要素であることが確認できる。

古・中生代堆積岩や広域変成岩のせん断強度を考える場合には重要な要素の一つであった層理・片理面の方向性であるが、せん断変位増分の大きさに与える影響については明確な結果は得られなかった（附図-8）。

深成岩については、せん断強度の検討と同様に各岩種ごとの比較を行ったところ変位増分の小さい方から中・塩基性岩→花崗岩→半深成岩の順となり、せん断強度では中粒花崗岩に次ぐ強度であった中・塩基性岩がせん断変位増分では最も小さな値を示した。この理由としては、岩の硬度（塩基性岩は岩石のなかで最も緻密堅硬）が影響しているものと考えられる。尚、花崗岩における粒度のちがいによる差はみられなかった（附図-9、表-9）。

以上のことから判断して、せん断試験におけるせん断変位増分には主に岩盤内のキレッズの頻度やゆるみ、岩の硬度が大きく影響しているものと考えられ、これらの要素以外にキレッズの方角、かみ合せ、岩のもろさ等が重要な要素となるせん断強度との相関性は、必ずしも良いとは限らないようである。

今回の解析は、浮上り点がせん断変位の変曲点（弾性挙動から塑性・すべり挙動への変化点）であるとの仮定をもとに、浮上り点の前後で変位増分を検討したものであるが、実際の応力-変位曲線では必ずしも浮上り点と変曲点とが一致するとは限らないようであり、これらの各変位点の関係や発生位置を明確に判断することが可能であれば、更に適切な解析が可能と思われる。

尚、今回のせん断変位特性の検討について、以下に示すデータはすべて削除して解析を行った。(1)ブロックの回転が著しいもの。(2)破壊点の変位量、浮上り点→破壊点の変位増分の解析においてはコンクリートまたは付着面で破壊した割合がせん断面の50%以上を占めるもの。

II-3-2) 鉛直方向変位（浮上り点について）

試験ブロックにせん断ジャッキによる載荷を行うと、当初はブロックが沈下を始めるが荷重の増加に伴ってある荷重段階で浮上りに転ずる現象を示す。この変化点を浮上り点と称し、岩盤の初期破壊の一現象と考えられており、岩盤の破壊特性を知るにおいては重要な意味をもつものである。実際のせん断試験から得られる応力-変位曲線から、この浮上り点について若干の解析を行った。

① ブロックの回転： 多くのせん断試験の場合、鉛直方向変位はブロック上面の4隅にダイヤルゲージを配置して測定しているが、実際の測定結果を見ると4隅の変位がほぼ同一の曲線を示すものから、ブロックの各箇所ですべて異なる曲線を示すものまで様々であり、これらをすべて同一レベルで解析するのには疑問が残るであろう。ブロックの鉛直方向変位が一様でないものの大部分は、ブロックが上下方向に回転しようとする変位を示すものであり、この回転の傾向からデータを次に示す4タイプに分類した。

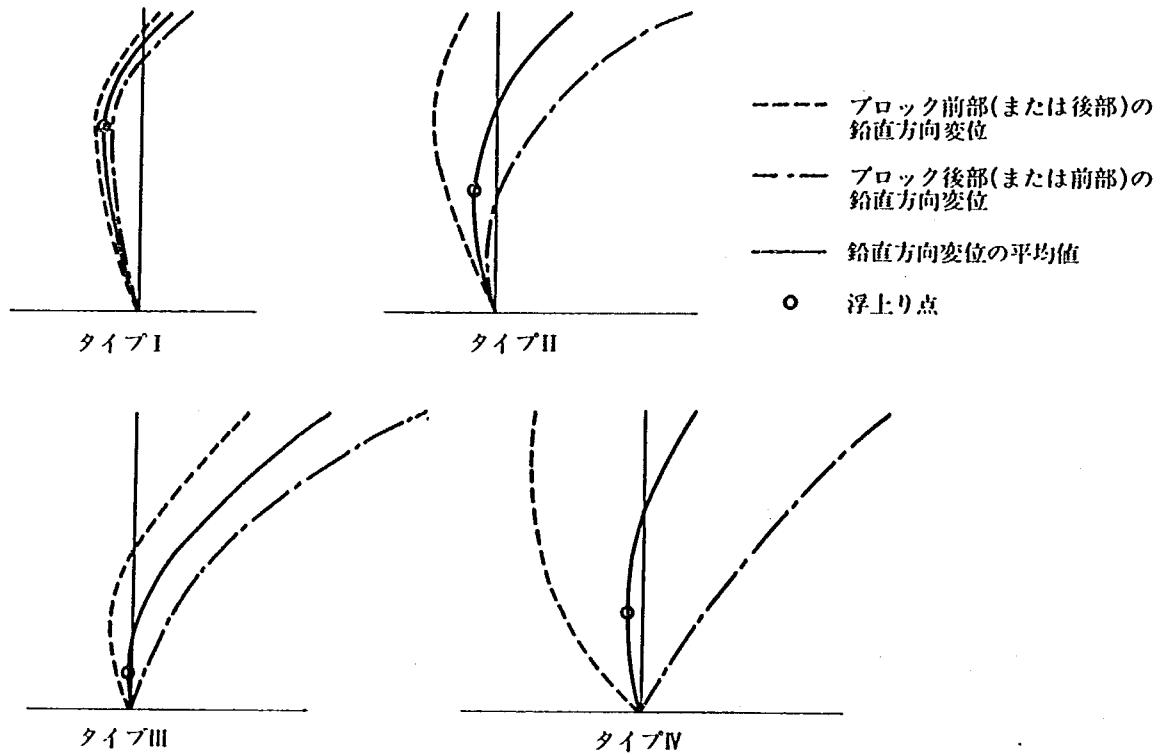
タイプI……………回転の少ないもの。

タイプⅡ……………最初はブロックの前部と後部が同じ方向（沈下）に変位するが、途中から回転運動を示すもの。

タイプⅢ……………試験の最初から回転運動を示すもの。

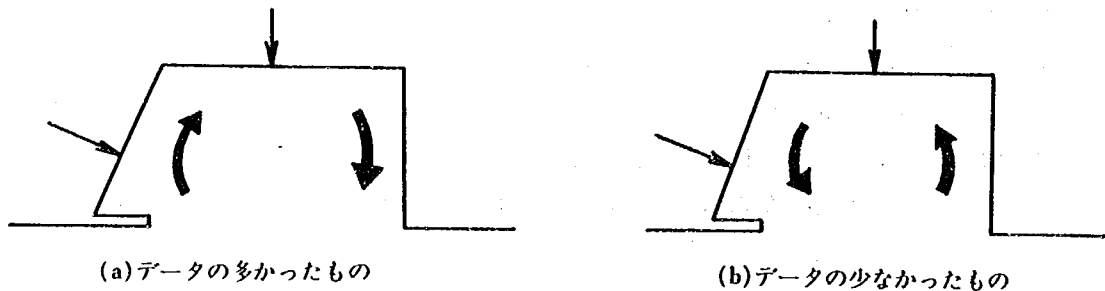
タイプⅣ……………タイプⅢの傾向の更に著しいもの。

タイプⅠ～Ⅳの鉛直方向の応力－変位曲線の模式図を図－8に示す。



図－8 鉛直方向変位の模型図

ブロックが回転運動を示すものについて、その回転方向を調査してみると、図－9に示す(a)の方向のものが圧倒的に多く、(b)の方向のものはごくわずかであった。



図－9 ブロックの回転方向

- ② 浮上り点の発生位置： 浮上り点の発生位置としては、せん断方向変位の変位急増点（PY点）とはほぼ一致するものであり、破壊点に対しては応力値で約60％前後で表われるものと考えられている。

ブロックの鉛直方向変位はブロックの4隅で測定されていることから、回転運動を示すブロックについては浮上り点の発生位置が各測定位置で異なることとなるが、以下に示す解析にお

いては各測定変位の平均値（つまりブロックの中央）が浮上りに転じる点を浮上り点としたものであり、破壊点に対する浮上り点のせん断応力百分率をタイプⅠ（回転していないもの）とタイプⅡ・Ⅲ・Ⅳ（回転しているもの）とに分けてプロットしたものを附図－10に示す。附図－10から分かるように、回転運動を示さないデータ（タイプⅠ）に比較して回転運動を示すデータ（タイプⅡ・Ⅲ・Ⅳ）の浮上り点の発生割合はそのほとんどが50%以下の小さなものとなっている。従って、これらをすべて同一に解析するのには無理があると思われたので、ブロックの挙動が最も理想的な変位を示していると考えられるタイプⅠに関してのみ、以下の解析を行ったものである。但し、破壊点に対する浮上り点の応力割合については、タイプⅠのみに着目しても30～80%とバラツキが大きく、岩盤の成因や岩盤分類のちがいによる傾向も明らかではない。

タイプⅠの浮上り点におけるせん断強度を附図－11に示す。浮上り点が岩盤破壊の一現象で

表－10 浮上り点でのせん断強度

(τ_0' : kg/cm², ϕ' : 角度)

成因別岩種区分		岩 盤 分 類								
		CH			CM			CL		
		τ_0'	ϕ'	f'	τ_0'	ϕ'	f'	τ_0'	ϕ'	f'
古・中生代堆積岩	平均	10	49	1.1	5.5	40	0.8	3	40	0.8
	上限	16	55	1.4	11	47	1.1	5.5	42	0.9
	下限	1	45	1.0	3.5	33	0.6	1.5	36	0.7
広域変成岩	平均	12	50	1.2	3	40	0.8	3.5	47	1.1
	上限	19	54	1.4	8.5	52	1.3	5	50	1.2
	下限	1	46	1.0	0.5	35	0.7	2.5	43	0.9
火成岩深成岩	平均	22	50	1.2	7.5	50	1.2	6.	50	1.2
	上限	32	53	1.3	16	54	1.3	11	54	1.3
	下限	5	45	1.0	2	49	1.1	1	49	1.1
火成岩火山岩	平均	(16)	(49)	(1.2)	9	45	1.0	1.5	39	0.8
	上限	(23)	(50)	(1.2)	15.5	50	1.2	3	41	0.9
	下限	(7.5)	(48)	(1.1)	3	39	0.8	0	34	0.7
火山性堆積岩 (第三紀以降)	平均	(15)	(48)	(1.1)	(14)	(48)	(1.1)			
	上限	(25)	(53)	(1.3)	(23)	(52)	(1.3)			
	下限	(6)	(45)	(1.0)	(5)	(41)	(0.9)			

表－11 破壊点に対する浮上り点のせん断強度の割合

成因別岩種区分	岩 盤 分 類					
	CH		CM		CL	
	τ_0'/τ_0	f'/f	τ_0'/τ_0	f'/f	τ_0'/τ_0	f'/f
古・中生代堆積岩	0.5	0.9	0.3	0.8	0.4	0.8
広域変成岩	0.5	1.0	0.2	0.8	0.6	1.1
火成岩深成岩	0.5	1.0	0.3	1.1	0.3	1.2
火成岩火山岩	(0.6)	(1.1)	0.5	1.0	0.2	1.0
火山性堆積岩	(0.7)	(1.0)	(0.7)	(1.0)		

あるとすれば、完全破壊点のせん断強度と同様にクーロンの破壊公式から τ_0 、 f を用いて浮上り点のせん断強度を表現することが可能であろう。このことより、附図-11から浮上り点の τ_0 、 $f(\phi)$ を推定したものを表-10に示す。また、 τ_0 及び f のそれぞれの値について破壊点での値に対する割合でみたものを表-11に示す。この表-11において注目すべきところは、破壊点のせん断強度に対する割合が τ_0 では30～60%と小さいのに対し、 f についてはほとんど変わらない値を示していることである。このことは、同一岩盤での破壊点の推定せん断強度曲線と浮上り点での推定せん断強度曲線とがほぼ平行な位置関係にあることとなり、これが正しいとすれば、破壊点に対する浮上り点のせん断応力の百分率は、初期垂直応力 σ_0 の大きさによって異ってくることになる。このことを確認する為に、破壊点に対する浮上り点のせん断応力百分率と初期垂直応力 σ_0 との関係を示したのが附図-12である。データのバラツキが意外に大きなために、それほど明確ではないが、 σ_0 が大きくなるに従い、破壊点に対する浮上り点のせん断応力百分率の値は高くなっていく傾向が認められる。

すなわち、浮上り点の発生位置は破壊点に対して図-10に示すような位置関係にあるものと推定され、破壊点に対する応力割合で評価する場合には、外的な要素として垂直応力(拘束力)の大きさが影響していることが考えられる。但し、今回の解析は、最も理想的な変位を示したタイプIについてのみ行ったにもかかわらず、データのバラツキは大きく、またデータ数も少ない為に、上記のような結果も推測に頼るところが大きく、岩盤の成因や岩盤分類のちがい等による差も明らかでない。

- ③ 点安全率と浮上り点との関係： 現在の、岩盤の局所点安全率には $m=2.0$ が用いられているが、この2.0の考え方は次の通りである。

原位置岩盤せん断試験から得られる岩盤強度は一般に破壊点の強度であるが、設計上は発生応力が弾性限度内であるべきである。せん断試験では破壊荷重の60～70%程度の荷重で変位の急増点が見られ、この特異点が岩盤の弾性限度であると考え、局所安全率が $1/0.6 \div 1.7$ のときにその箇所では特異点に達することとなり、これに解析方法や強度評価の不確かさを加味して、局所安全率の目安を2.0としているものである。

鉛直方向浮上り点と変位急増点とは互いに同様な意味を有する特異点と考えられており、これらが正しいとすれば、今回の浮上り点の解析結果から判断して、局所安全率の値は岩種や垂直応力(拘束力)の大きさなどの影響によって一様でない場合も有り得ることになる。但し、ここで注意すべきところは、今回調査したデータを見る限りにおいて、鉛直方

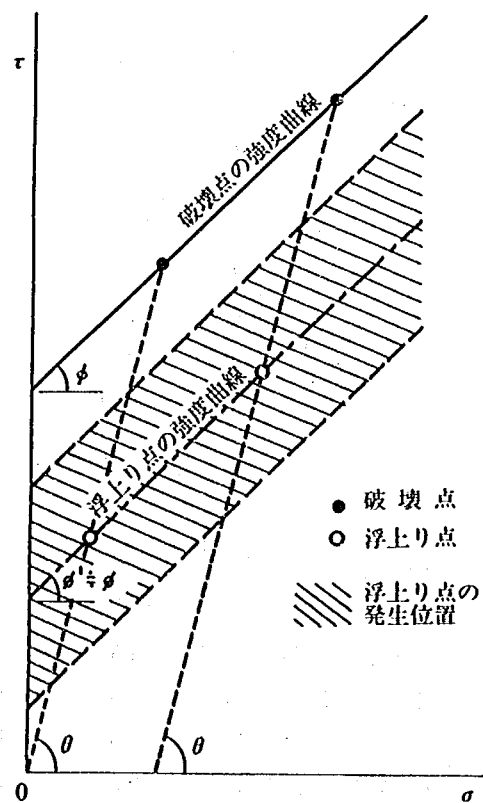


図-10 浮上り点の発生予想位置

向の浮上り点とせん断方向変位の急増点の発生位置が、必ずしも同時期であると判断しがたいデータがあることである。即ち、今回解析に用いた各試験値における浮上り点の値を、一般的によく言われる岩盤の弾性限度の値として考えて良いものかどうかという問題もあり、今後の課題として解明していく必要があると考える。

Ⅲ 原位置岩盤変形試験

Ⅲ－１ 岩盤変形試験法

アーチダムや、基礎岩盤内に大規模な破碎帯や断層等の地質的弱点を有するダムにおいては、岩盤の変形性がダムの安定に及ぼす影響が大きい為に、基礎岩盤の変形特性を把握することを目的とした原位置岩盤変形試験が実施されている。特に近年では、破碎風化の進んだ岩盤や新第三紀以降の軟岩を基礎に有するコンクリートダムが増えつつあり、原位置岩盤変形試験の重要性が高まっている。今回調査したデータは表－11に示す17ダム、225ヶ所の試験結果である。

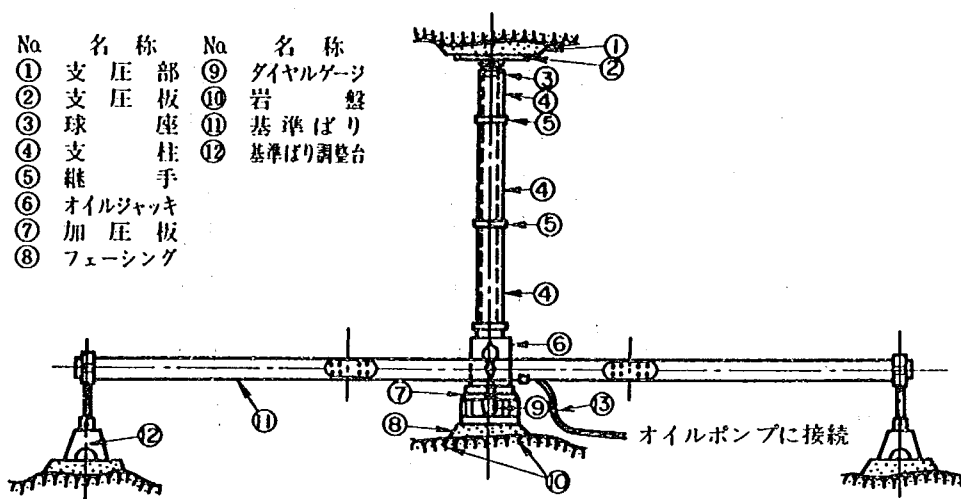
原位置岩盤変形試験とは、荷重伝達板を介在してオイルジャッキによって岩盤に荷重を加え、対応する変位量から岩盤の変形係数を測定するものであり、この荷重伝達板のちがいにによって2通りの方法がある。ダイアフラム（直径80cm）を用いて等分布载荷を行う方法と、剛体円盤（直径30cm）を用いて等変位载荷を行う方法である。ダイアフラムを用いる場合は、等分布荷重载荷となるので、剛体円盤を用いる場合に比して試験面の不陸による問題は少なく、また、試験面が大きいので岩盤特有のキレツをより広範囲に包含することができ、理想的である。しかし、装置の規模が大きい為に取扱いが不便であり、また、通常の調査横坑では拡張しないと試験が出来ないために経費が著しく嵩むこととなり、一般的には軽量で運搬移動も容易な剛体円盤を用いる方法が、広く用いられるようである。ダムアフラム及び剛体円盤による変形試験の試験装置を図－11に示す。

荷重の载荷法としては、一般的には階段荷重、最大繰り返し荷重、持続荷重の組合せから成るものであり、载荷方式の一例を図－12に示す。この载荷時の変位を測定することによって、図－13に示す様な応力－変位曲線が得られる。この応力－変位曲線については、収集した全データを別冊「ダム基礎岩盤原位置試験 ー資料編ー」に収録した。

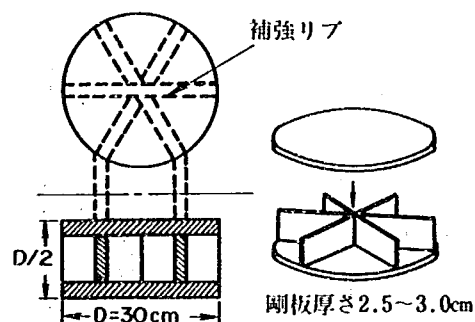
応力－変位曲線から変形係数、弾性係数を求める。ここで、変形係数は応力－変位曲線の処女曲線の包絡線から一率に求められるものであるが、弾性係数についてはその取り方によって、接線弾

表－12 解析対象ダムと試験箇數（変形試験）

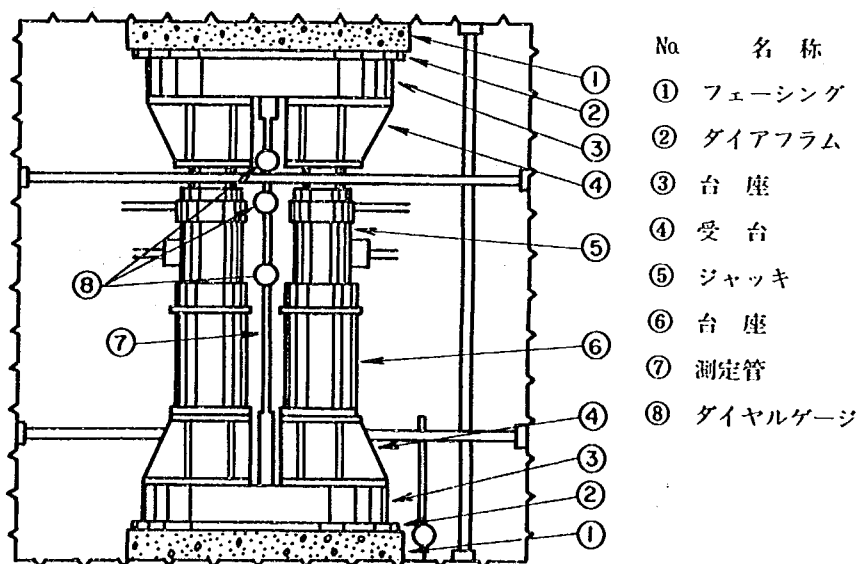
NO.	ダム名	実施時期	試験箇數		NO.	ダム名	実施時期	試験箇數	
			剛体円盤	ダムアフラム				剛体円盤	ダムアフラム
1	矢 作	S 41	5		11	野 村	S 47	4	
2	大 滝	S 51	4		12	大 町	S 49	12	
3	真名川	S 44		11			S 51	8	
4	草 木	S 48	16		13	大 川	S 49	17	
5	滝 沢	S 48		4	14	玉 川	S 52	4	
6	川辺川	S 46		28	16	長 島	S 51	12	5
7	川 治			3			S 52	7	
		S 46		4			S 54	6	
8	大 石	S 47	15		21	赤 川	S 53	4	
9	蓮	S 49	3				S 56	8	
10	弥 栄	S 49	38		22	温 井	S 54	7	



図一 11(a) 剛板載荷時の試験装置図 (等変位法)



図一 11(b) 剛板円形載荷板参考図



図一 11(c) ダムアフラムを用いた場合の試験装置図 (等分布荷重法)

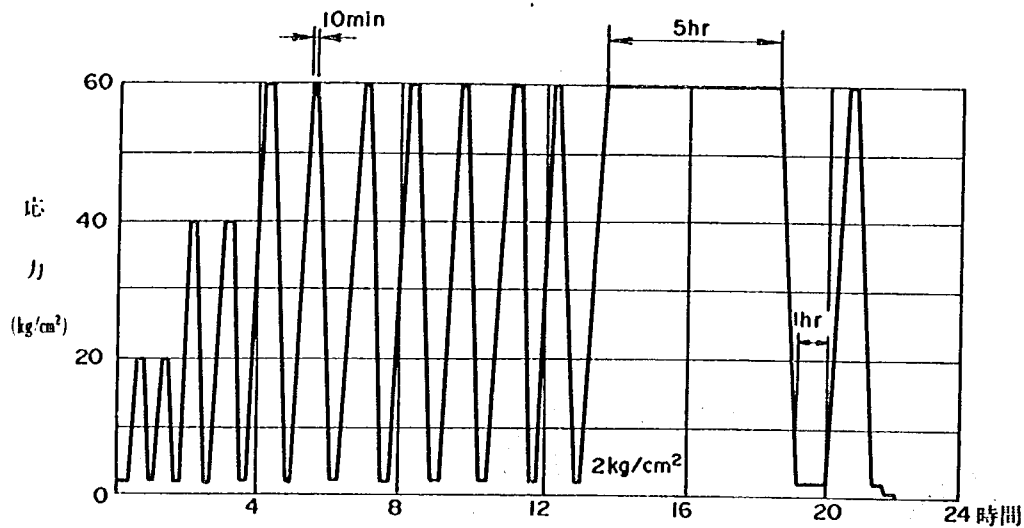


図-12 ローディングパターンの例

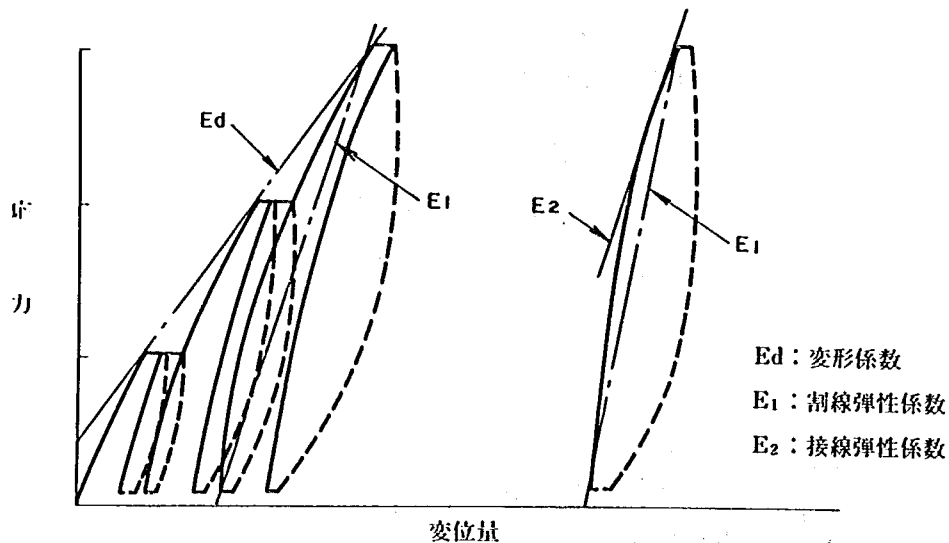


図-13 変形試験応力-変位曲線

性係数と割線弾性係数の2通りの考え方がある。今回の解析では、応力-変位曲線において最も非弾性的挙動の影響の少ないと考えられる最大载荷における最終サイクル時の直線部分の勾配（接線弾性係数）をもって、弾性係数とした。

弾性係数（E）及び変形係数（D）の算出は次式によって行うものである。

等変位载荷（剛体円盤）の場合：

$$D \text{ or } E = \frac{(1-\nu^2)}{2a} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta \delta} \quad \dots\dots\dots(2)$$

等分布载荷（ダイヤフラム）の場合：

$$D \text{ or } E = 2(r_1 - r_2) \cdot (1-\nu^2) \frac{\Delta P}{\Delta \delta} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに ν : 岩盤のポアソン比 (硬岩の場合には一般に $\nu = 0.2$ が用いられることが多い。)

a : 剛体円盤の半径 (cm)

r_1, r_2 : ダイアフラムの外半径, 内半径 (cm)

ΔF : 係数を求める区間の荷重増分 (kg)

ΔP : " " 応力増分 (kg/cm^2)

$\Delta \delta$: " " 変位増分 (cm)

III-2 岩盤変形特性

岩盤変形試験のデータを表-13に示す様に岩盤の成因別に分類して解析を行った。岩盤変形試験の応力-変位曲線から得られる弾性係数 (E), 変形係数 (D), 及び岩盤のゆるみの程度を示す係数として (変形係数/弾性係数) の値を求め, 岩盤の成因別に岩盤分類との対応をみたものを附図-13, 14, 15に示す。これらより, 各係数の岩盤分類に対する平均値及び上・下限値を推定したものを表-14に示す。

III-2-1) 弾性係数と変形係数

附図-13, 14を比較して分るように, 弾性係数 (E) と変形係数 (D) とは, 類似した分布傾向を示しているので, 岩盤の成因別の特徴について以下に一括して述べる。

弾性係数及び変形係数の岩盤分類との対応をみると, 明らかに岩盤の成因によって異なった傾向を示している。古・中生代堆積岩等のキレツ性岩盤においては, キレツ・ゆるみの少ない B, C_H 級で高い値を示すが, 低階級になるに従い極端な値の低下を示しており, 岩盤分類と係数との相関性は良いものとなっている。これに対し, キレツの発達のない深成岩等では, 岩盤分類による差は小さく, 低階級の岩盤でも比較的高い値を示すものもみられる。

深成岩において, 同一岩盤分類内での係数の上・下限値の幅が大きくでているが, これは深成岩のデータの大部分が花崗岩であり, 花崗岩は地域的に風化しやすい鉱物を含むことから, これがバラツキとして表われているものと推定される。

上載荷重の大きさによってその固結度が著しく異なるものとされている第三紀以降の火山性堆積岩については, キレツや岩のゆるみの少ないこともあるが, 弾性係数, 変形係数ともに意外に高い値を示しており, 火山性堆積岩のなかでも, 今回収集したデータは比較的高い固結度の高いものであったと推定される。

III-2-2) 岩盤のゆるみ

弾性係数と変形係数との比 (D/E) の値は, 岩盤のものゆるみの程度を表す係数となるものである。この係数にも, 岩盤の成因別の特徴がよく表れている。

古・中生代堆積岩のように, 岩片は極めて堅硬であるが, キレツのよく発達している岩盤での (D/E) の値は, キレツの比較的小さい B, C_H 級では 50~80% と高い値を示すが, キレツの多くなる低階級では極端に小さな値となり, ランクによって岩盤のものゆるみの程度が大きく異なっていることがわかる。これに対して, 深成岩などでは, 造岩鉱物自体の風化等の影響はあっても, もともとキレツの少ないことから, ランクの差によるゆるみの程度のちがいは,それほど明確なものとはならない。火山岩は, そのキレツの発達しやすい特性から, (D/E) の値は他の

表-13 ダム名と成因別岩種区分表(変形試験)

ダム名	タイプ	高さ(m)	岩 種 名	ダム名	タイプ	高さ(m)	岩 種 名
① 中・古生代堆積岩				③ 火成岩深成岩			
大 滝	G	100	粘板岩	矢 作	A	100	両雲母花崗岩
草 木	G	140	粘板岩	真名川	A	127	ひん岩, 花崗岩, 輝緑岩
滝 沢	G	140	粘板岩	大 石	G	87	角閃石黒雲母花崗岩
川辺川	A	107.5	砂岩, 粘板岩, 砂岩と粘板岩互層	大 町	G	107	黒雲母花崗岩
弥 栄	G	120	粘板岩, チャート	温 井	A	155	黒雲母花崗岩
野 村	G	60	砂岩, 粘板岩	川 治	A	140	閃緑岩
大 川	G	78	砂岩, 泥岩	④ 火成岩火山岩			
長 島	G	112	粘板岩, シャーゼン	大 川	G	78	流紋岩
② 広域変成岩				赤 川	G	125	安山岩, 自破碎溶岩
蓮	G	78	砂質片岩, 黒色片岩	⑤ 火山性堆積岩			
真名川	A	127	片麻岩	(第3紀以降)			
A:アーチ式, G:重力式				川 治	A	140	凝灰角礫岩
				玉 川	G	100	凝灰角礫岩
				赤 川	G	125	凝灰角礫岩

表-14 岩 盤 変 形 係 数

成因別岩種区分	係 数	弾性係数 E (kg/cm ²)			変成係数 D (kg/cm ²)			D/E (%)		
	岩盤分類	CH	CM	CL	CH	CM	CL	CH	CM	CL
古・中生代堆積岩	平 均	130,000	30,000	14,000	77,000	12,500	5,000	52	39	32
	上 限	250,000	45,000	30,000	130,000	40,000	10,000	80	70	55
	下 限	40,000	15,000	5,500	10,000	4,000	1,000	25	25	15
広 域 変 成 岩	平 均	—	42,000	—	—	15,000	—	—	35	—
	上 限	—	55,000	—	—	21,000	—	—	40	—
	下 限	—	35,000	—	—	8,500	—	—	25	—
火 成 岩 深 成 岩	平 均	97,000	62,000	35,000	56,000	33,000	19,000	57	49	48
	上 限	180,000	190,000	120,000	110,000	110,000	70,000	70	70	70
	下 限	55,000	9,000	6,000	22,000	3,000	1,700	30	30	30
火 成 岩 火 山 岩	平 均	—	31,000	17,000	—	13,000	8,000	—	41	45
	上 限	—	50,000	22,000	—	23,000	12,000	—	70	55
	下 限	—	14,000	12,000	—	4,000	6,000	—	25	40
火 山 性 堆 積 岩 (第三紀以降)	平 均	—	64,000	—	—	29,000	—	—	44	—
	上 限	—	90,000	—	—	66,000	—	—	75	—
	下 限	—	45,000	—	—	13,000	—	—	25	—

岩に比較して小さく出るものと予想されたが、結果はそれほどでもなく、他の岩盤とほとんど同程度の値を示した。これは、キレッツの頻度が岩盤分類にうまく表わされているためと考えられる。これに対して、比較的 (D/E) の値の小さかったのは広域変成岩であったが、データ数が少なく、これが変成岩の特性であるかどうかは、判断し難いものである。 (D/E) の一般的な値としては、 C_M 級で 30~50% 程度である。

IV 二次元弾性算計によるせん断試験の解析

IV-1 目的

原位置岩盤せん断試験においては、「II-2-4) ③ブロックの回転による影響」の項や「II-3-2) ①ブロックの回転」の項でも述べたように、せん断ブロックが上下方向に回転しようとする現象が、その傾向の強弱はあるにしても、かなりの割合のブロックにおいて観測されており、この特性が、岩盤の不均一性や施工性のみならず、現在のせん断試験法そのものに起因している可能性もある。従って、二次元弾性計算によりブロックの変位や応力分布状態を求め、その特性について検討したものである。

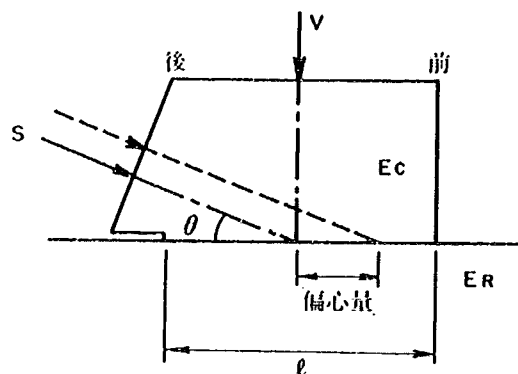
また、岩盤の弾性係数のちがいによるブロックからの応力伝達状況のちがい等についてもあわせて検討した。

IV-2 解析条件

解析モデルとしては、実際に行われたブロックせん断試験箇所と定数を揃えて行ったものであり、岩盤の弾性係数の異なるものを3ケースと、せん断ジャッキの据え付けミスによって偏心载荷となった場合を想定したものを1ケース選んだ。各ケースの試験体の物理的定数を表-15に示す。実際の試験ブロックと定数を揃えた為に、各ケースの荷重条件やブロック寸法等が異なるものとなり、数値上での比較は出来ないものであるが、今回の解析の主な目的は、せん断ブロックの変位特性や、弾性係数のちがいによる応力伝達機構の変化の傾向をつかむものであるので、荷重の大きさや寸法のちがいによる影響はさほど問題にはならないと考える。尚、今回の解析では、主にせん断荷重に

表-15 計 算 条 件

No	ケース名	弾性係数		荷重条件				ブロック寸法 ℓ (cm)
		E_C (kg/cm ²)	E_R (kg/cm ²)	S * (kg/cm)	θ 。	偏心量 (cm)	V * (kg/cm)	
1	NAGASHIMA DAM BLOCK 3	250,000	20,000	1,435.4	18	—	140	70
2	AKAGAWA DAM BLOCK 4	"	70,000	3,900	15	—	66.7	60
3	NUKUI DAM (AL2-2) *A*	"	180,000	3,190	15	—	79.2	60
4	NUKUI DAM (AL2-2) *B*	"	"	"	"	23 ***	"	"



* 2次元計算なので、厚さ1 cmあたりの载荷重の値に換算して計算を行ったものである。

*** No 4の偏心荷重が作用したケースは、せん断荷重 (S) が着岩面で前方へ23 cm 偏心しているものである。

よる影響をみる為に、せん断荷重 (S) に対する鉛直荷重 (V) の割合が $1/10$ 以下のものを対象として選んだものである。

IV-3 解析結果

IV-3-1) ブロックの変位

各ケースのブロックの変位を附図-16に示す。弾性計算であることから、実際の試験で表われるような浮上り現象は示さないが、4 ケースとも同様にブロック後部よりも前部の沈下量が大きく、ブロック全体が前のめりの状態となっており、この傾向は実際に観測される現象とよく一致するものである。この様な変位が起こる原因としては、せん断荷重に対してコンクリートブロックと岩盤とが一体となって挙動することにより、モデル全体としてみれば曲げモーメントが作用することになる為である。但し、今回の解析は二次元で行ったものであり、実際の試験の場合にはブロック周辺の岩盤による三次元的な変位の拘束があるものと考えられ、この点については、実際のせん断試験において周囲の岩盤の変位を観測することにより、興味ある結果が得られるであろう。

また、荷重の載荷位置がブロック中心より前方に偏心すれば、前記の変位傾向は一層著しくなる結果が出ており、載荷位置の偏心を防ぐ為に、ジャッキの据え付け位置、据え付け角度はもとより、載荷板の位置や形状、反力台の作製等にも充分留意する必要があるであろう。

IV-3-2) ブロック内の応力分布

コンクリートブロック内の荷重の伝達機構を見る為に、第一主応力の等圧線を描いたものを附図-17に示す。これより明らかな様に、岩盤の弾性係数によって応力分布の傾向が異ってくる。弾性係数の高い部分に大きな応力が作用することから、岩盤の弾性係数が低い場合には、コンクリートブロック内を伝わってブロック前部の岩着面から岩盤へ伝達される荷重の割合が比較的大きい。これに対して岩盤の弾性係数が高くなると、しだいにブロック後部～中央部にかけての着岩面からの荷重伝達の割合が大きくなり、ブロック前部の応力値は相対的に小さくなっていく。

これらの応力分布を着岩面でみたものを附図-18に示すが、弾性係数のちがいによる応力分布の差は一層明らかである。垂直応力 (σ_v) の分布は、載荷位置が偏心しない限りブロックの前・後部ではほぼ対称な分布を示し、ブロック端部で大きく中央で小さい。この傾向は岩盤の弾性係数 E_R が大きい程著しい変化を示している。因みに $E_R = 180,000 \text{ kg/cm}^2$ 程度になるとブロック中央部での垂直応力はほとんど0に近いものとなっている。これに対して、せん断応力 (τ_{xy}) の分布についてみると、ブロックの端部で大きな値を示しているのは σ_v と同様であるが、弾性係数の大きさによってその分布の形状が異なっている。即ち、 $E_R = 20,000 \text{ kg/cm}^2$ 程度ではブロックの前・後ではほぼ対象な分布形状を示すが、 E_R が大きくなるに従いブロック後部で受けもつせん断応力の割合が大きくなるものである。この傾向は、前記した主応力の分布状況 (附図-17) から理解出来る。

IV-3-3) 点安全率分布と浮上り現象

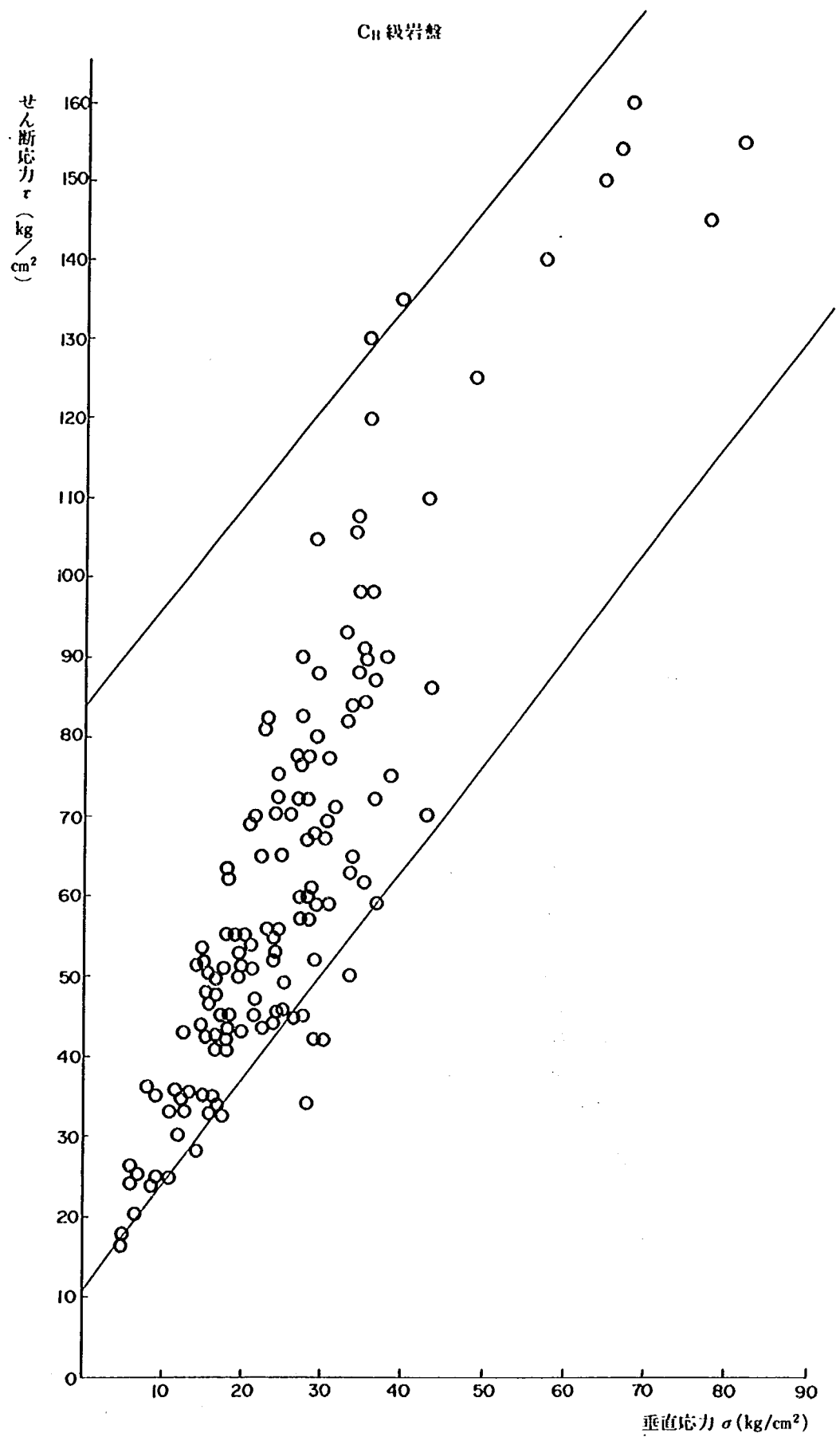
附図-18には、応力分布の他に実際の試験から得られたせん断強度をもとに算出した着岩面の点安全率の分布も合わせて示してある。これによると、ケース1の $E_R = 20,000 \text{ kg/cm}^2$ 程度の岩盤であれば、ブロック着岩面の前部と後部とではほぼ同程度の点安全率分布となるが、 E_R が大き

くなるに従い、ブロック着岩面後部での点安全率がブロック前部に比較して著しく低下することとなり、せん断破壊はブロックの後部から進行していくことが予想される。このことは、ブロックの浮上り現象が破壊の発端であるとするならば、ブロック後部が前部よりも早く浮上ることとなり、この傾向は実際の試験中によく現われる現象と一致するものであった。

参 考 文 献

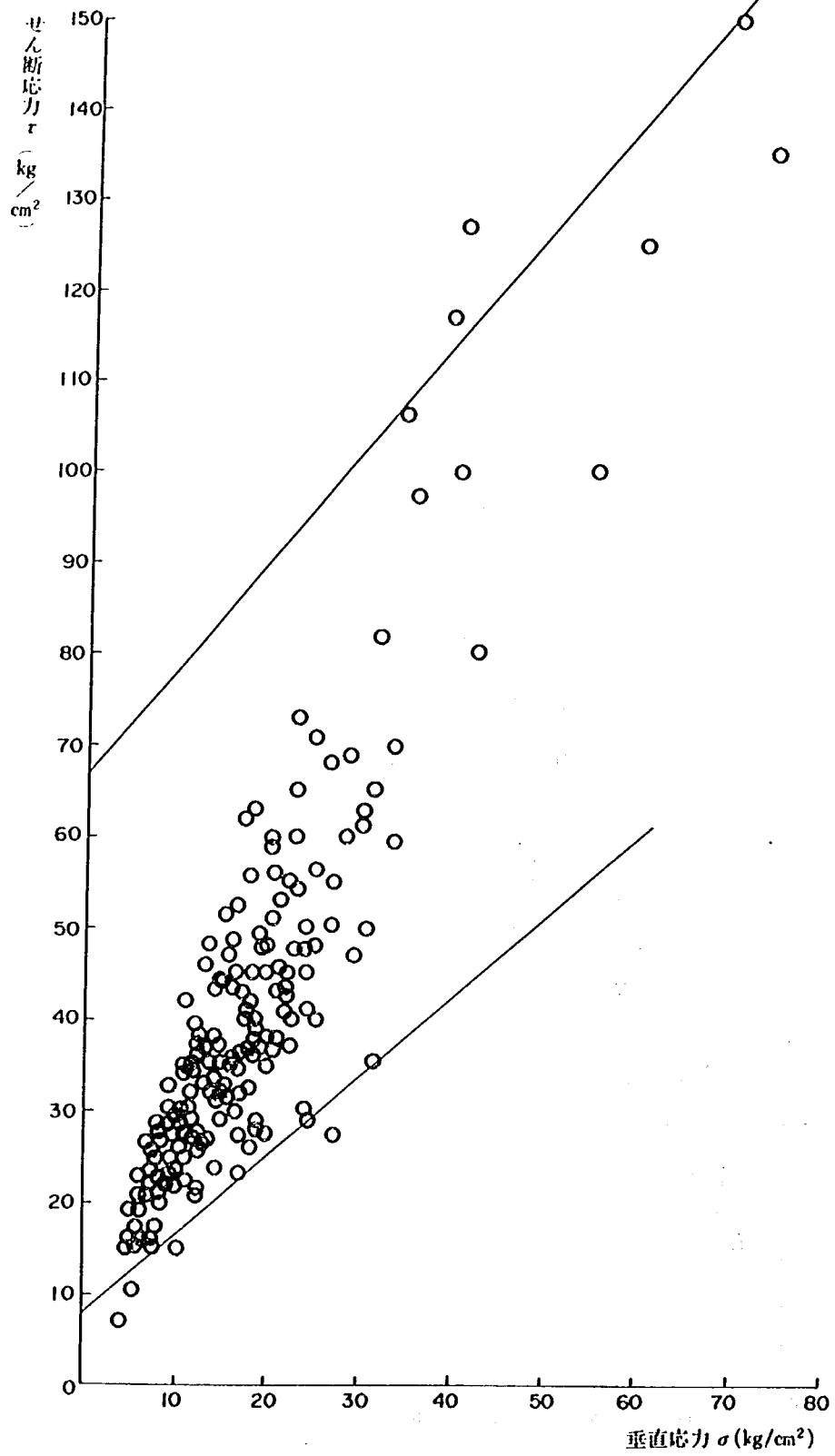
- 1) 土木学会岩盤力学委員会第三分科会「岩盤の変形およびせん断特性に関する調査報告」
土木学会誌 57 巻 9 号 1972 年
- 2) 土木学会岩盤力学委員会第三分科会「原位置岩盤のせん断試験—指針と解説—」 1979 年
- 3) 土木学会岩盤力学委員会第三分科会「原位置岩盤の変形試験—指針と解説—」 1981 年
- 4) 建設省土木研究所「ダム基礎岩盤の原位置試験に関する調査とその検討(1)」
土木研究所資料第 1419 号
- 5) 建設省土木研究所「ダム基礎岩盤原位置試験—資料編—」
土木研究所資料第 1891 号
- 6) 建設省河川局「多目的ダムの建設—第 1 巻—第 9 章ダムの地質調査」
「多目的ダムの建設—第 3 巻—第 27 章基礎岩盤の設計」

付 図



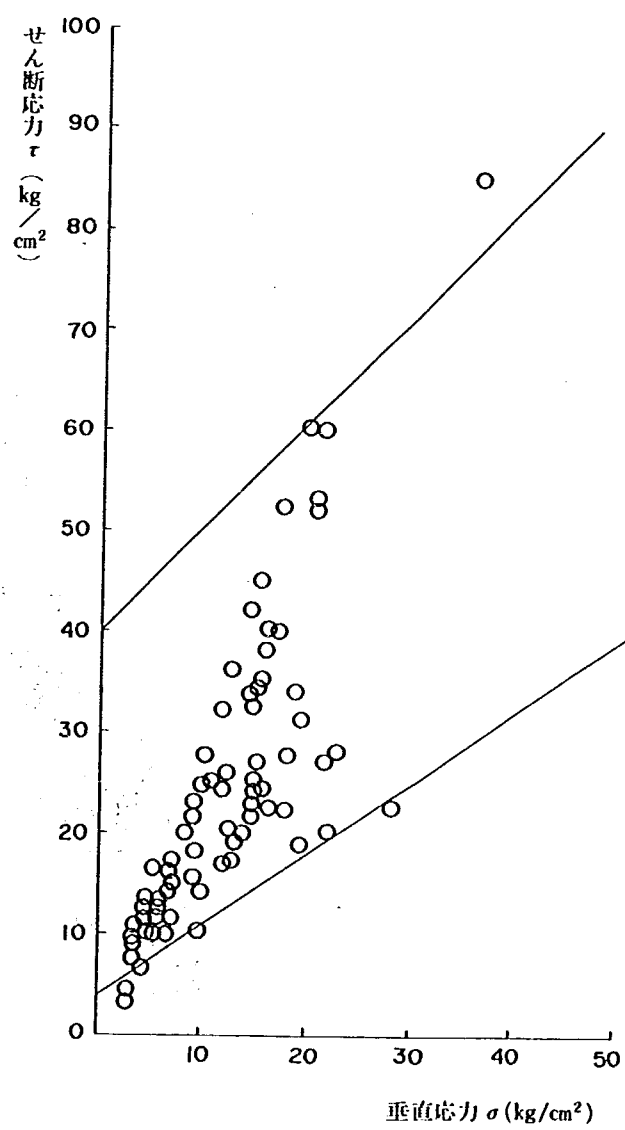
附図一 1-(1) 岩盤分類別せん断強度

C_M級岩盤



附図— 1 —(2) 岩盤分類別せん断強度

C₁級岩盤

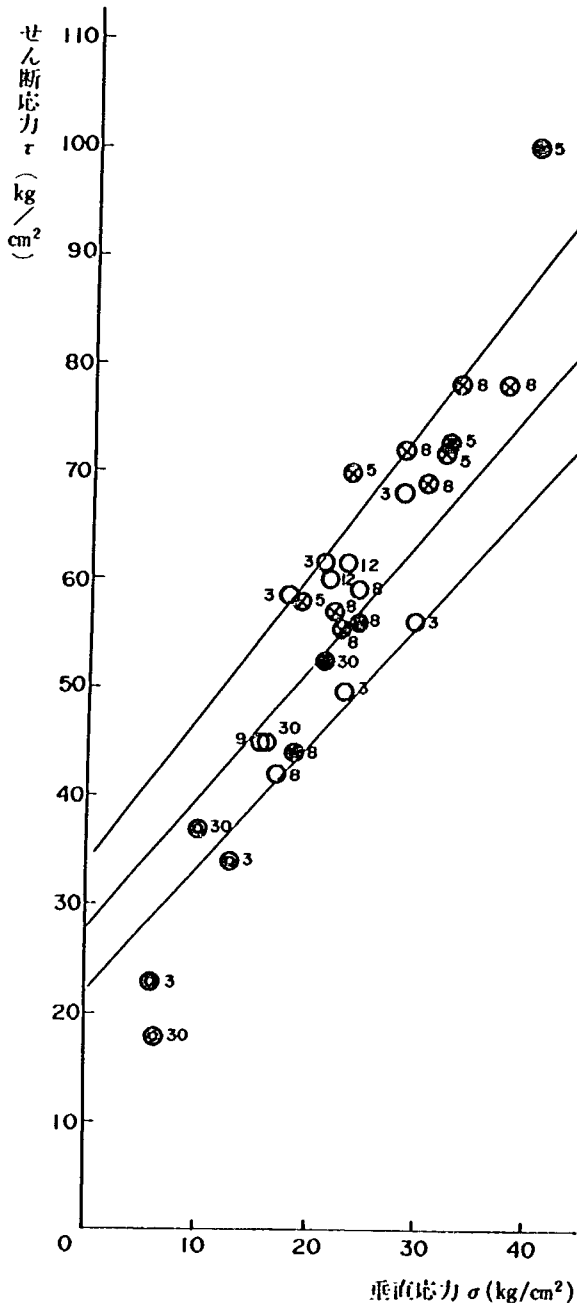


附図—1—(3) 岩盤分類別せん断強度

- | | |
|--------------|--------|
| 凡例 | 3. 大滝 |
| □ ロックせん断試験 | 5. 草木 |
| ○ ブロックせん断試験 | 6. 大渡 |
| ⊗ 回転現象 | 8. 滝沢 |
| ⊗ コンクリート内せん断 | 9. 川辺川 |
| | 12. 弥栄 |
| | 22. 長島 |
| | 27. 一庫 |
| | 30. 平取 |

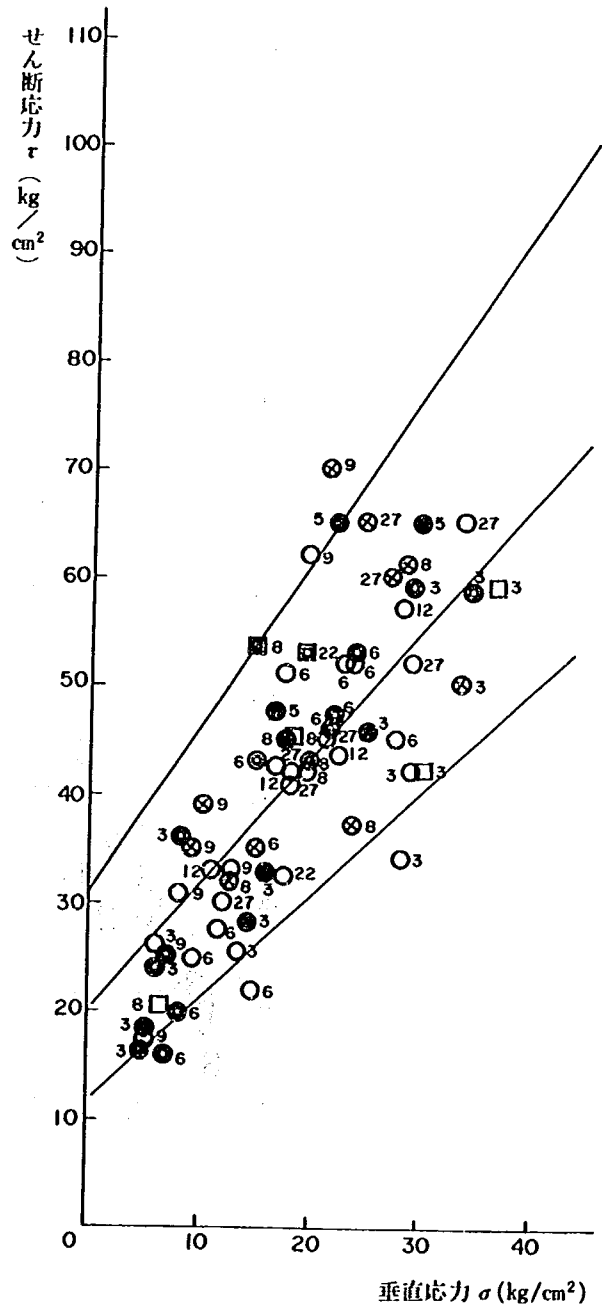
古・中生代堆積岩

B級 (C_{II}~B級を含む)



古・中生代堆積岩

C_{II}級 (C_M~C_{II}級を含む)



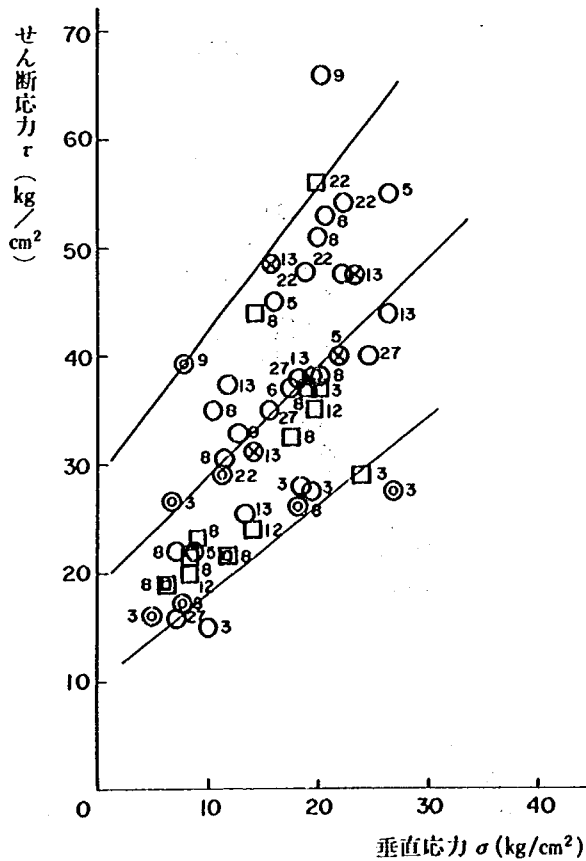
附図-2-(1), (2) 岩盤成因別にみたせん断強度

凡例

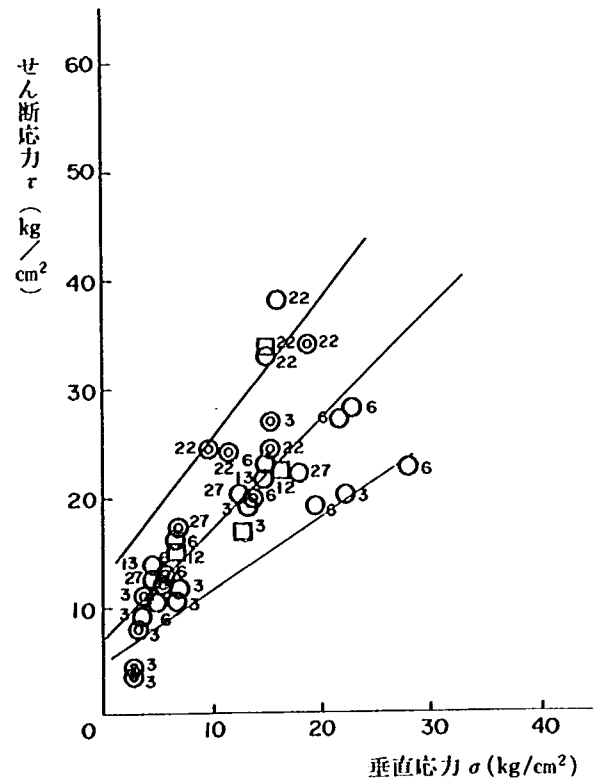
- ロックせん断試験
- ブロックせん断試験
- ⊗ 回転現象
- ⊠ コンクリート内せん断

- 3. 大滝
- 5. 草木
- 6. 大渡
- 8. 滝沢
- 9. 川辺川
- 12. 弥栄
- 13. 野村
- 22. 長島
- 27. 一庫

古・中生代堆積岩
C_M級 (C_L～M級を含む)

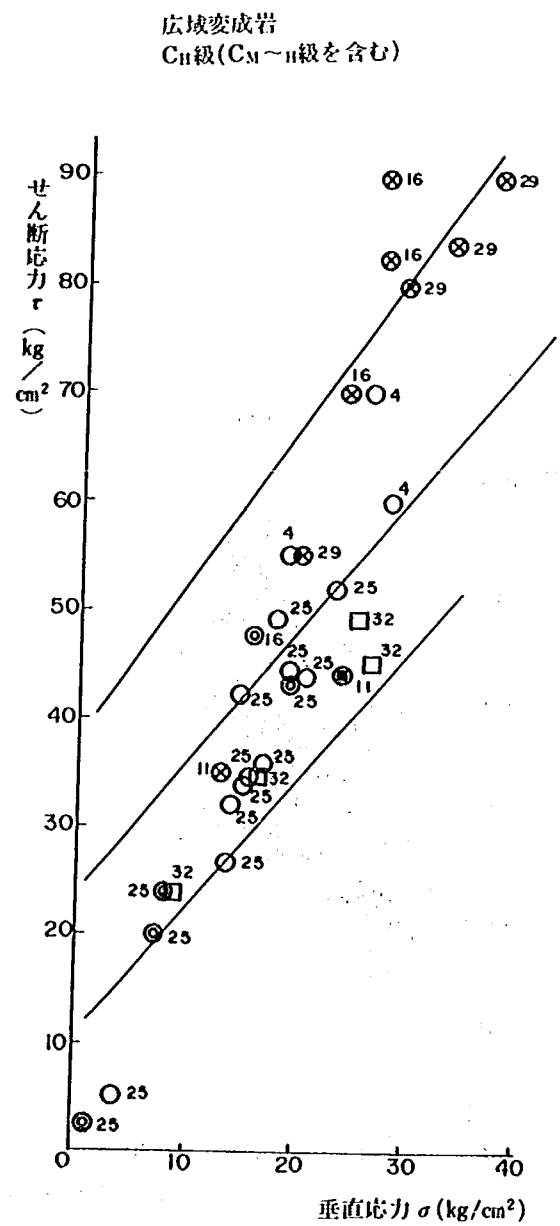
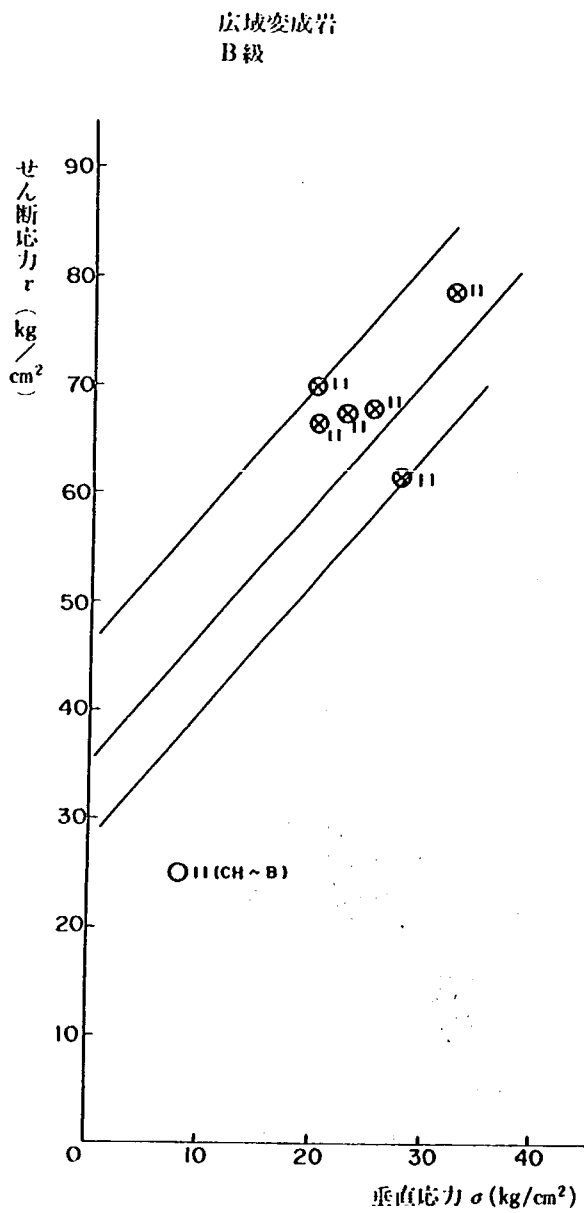


古・中生代堆積岩
C_L級



附図一2-(3), (4) 岩盤成因別にみたせん断強度

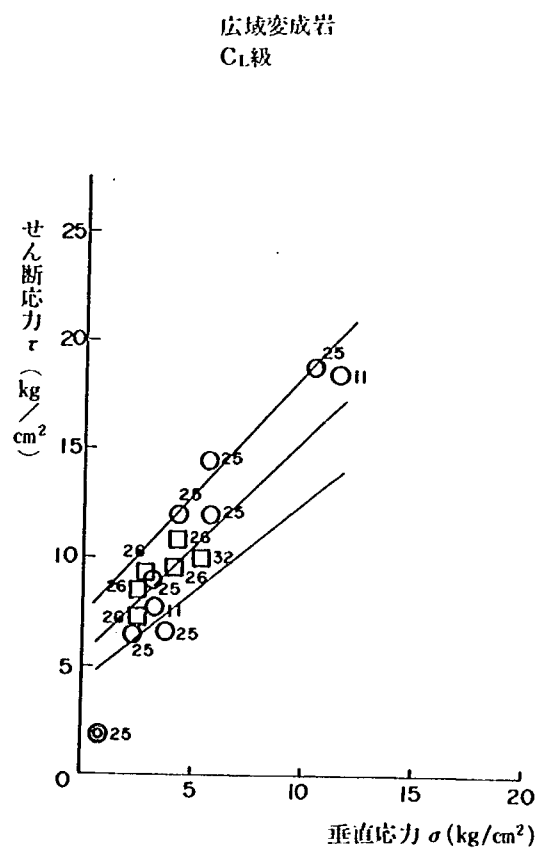
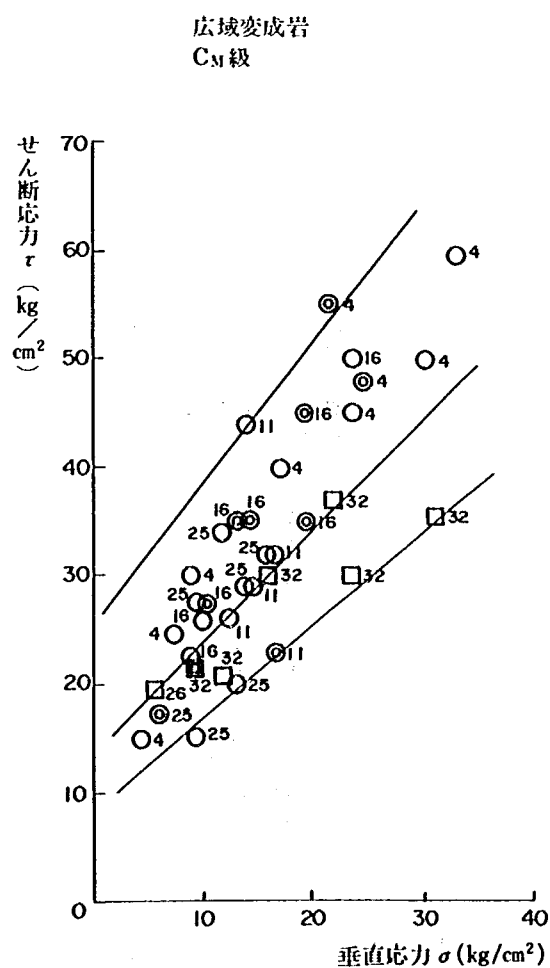
- 凡例
- | | | | |
|---|------------|-----|---------------------|
| □ | ロックせん断試験 | 4. | 真名川 |
| ○ | ブロックせん断試験 | 11. | 蓮 |
| ⊗ | 回転現象 | 16. | 蔵木 |
| ⊗ | コンクリート内せん断 | 29. | 富郷 |
| | | 32. | 島地川 |
| | | 25. | 安波(C ₁) |



附図-2-(5), (6) 岩盤成因別にみたせん断強度

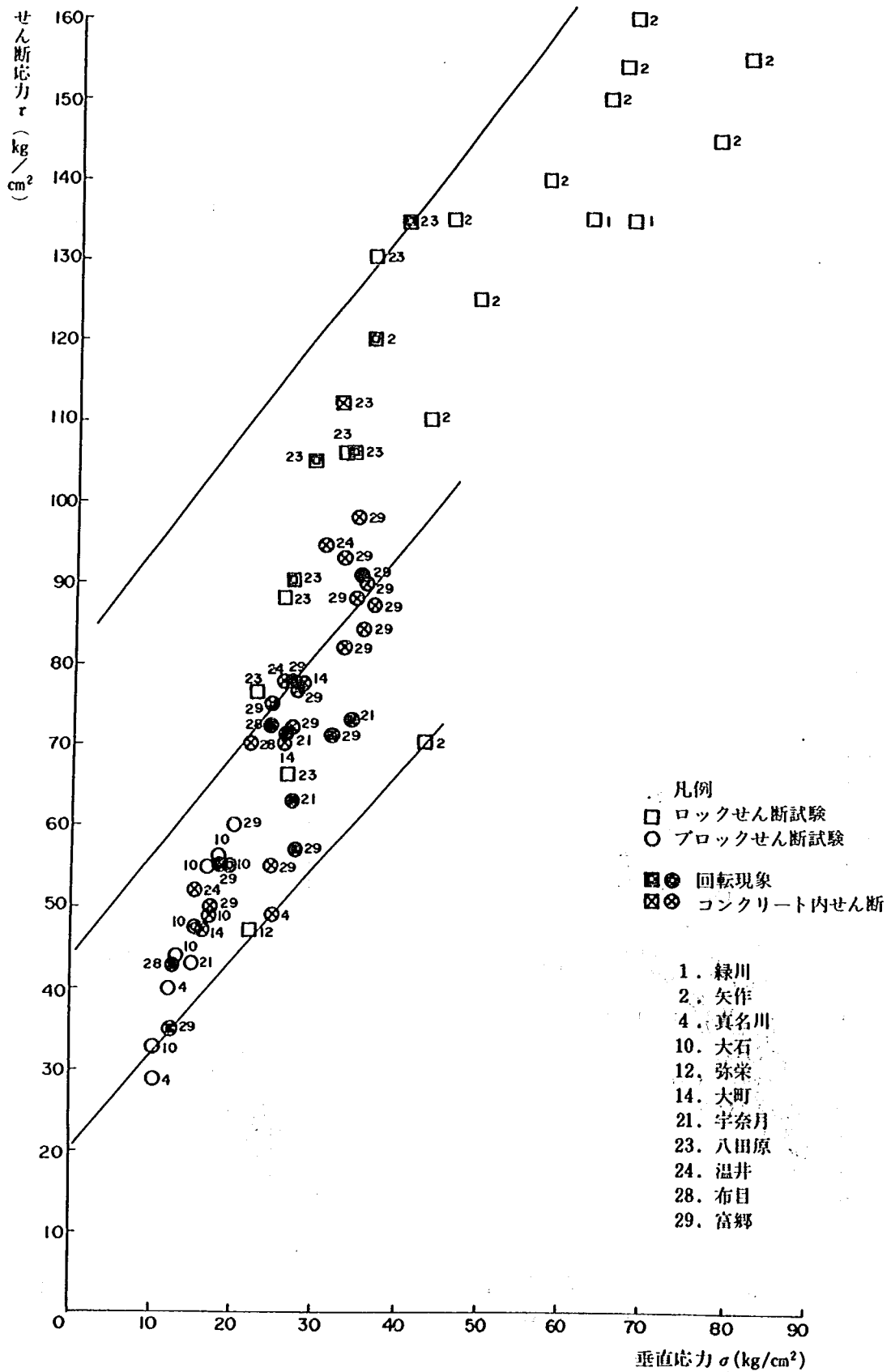
- 凡例
- ロックせん断試験
 - ブロックせん断試験
 - ⊗ 回転現象
 - ⊗ コンクリート内せん断

4. 真名川
11. 蓮
16. 巖木
32. 島地川
25. 安波(C₁~C₂)
26. 普久川(C₁~C₂)



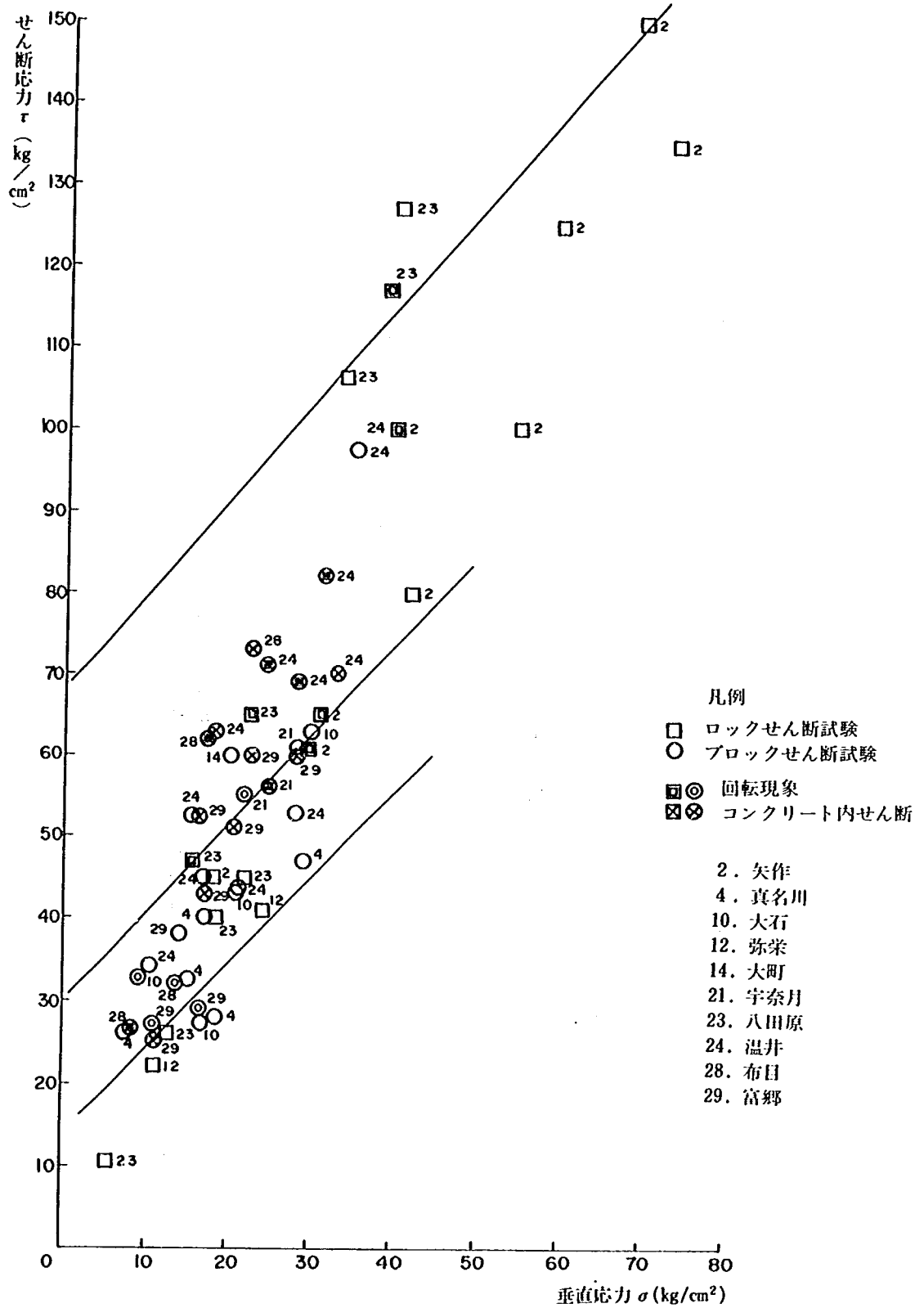
附図一 2-(7), (8) 岩盤成因別にみたせん断強度

火成岩、深成岩
C_{II}級(C_{II}~B、C_M~II級を含む)

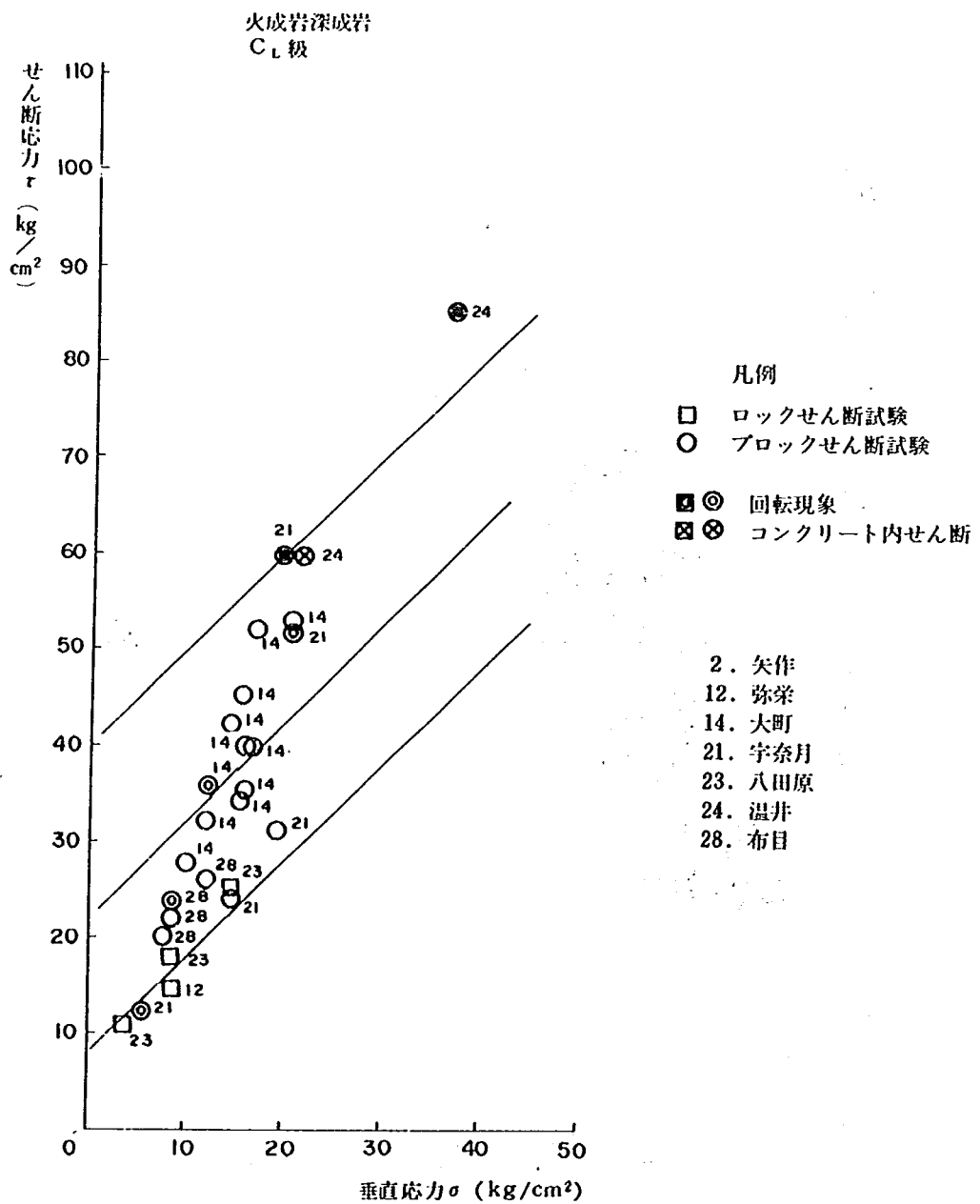


附図-2-(9) 岩盤成因別にみたせん断強度

火成岩深成岩
C_M 級 (C_L ~ M 級を含む)



附図-2-(10) 岩盤成因別にみたせん断強度



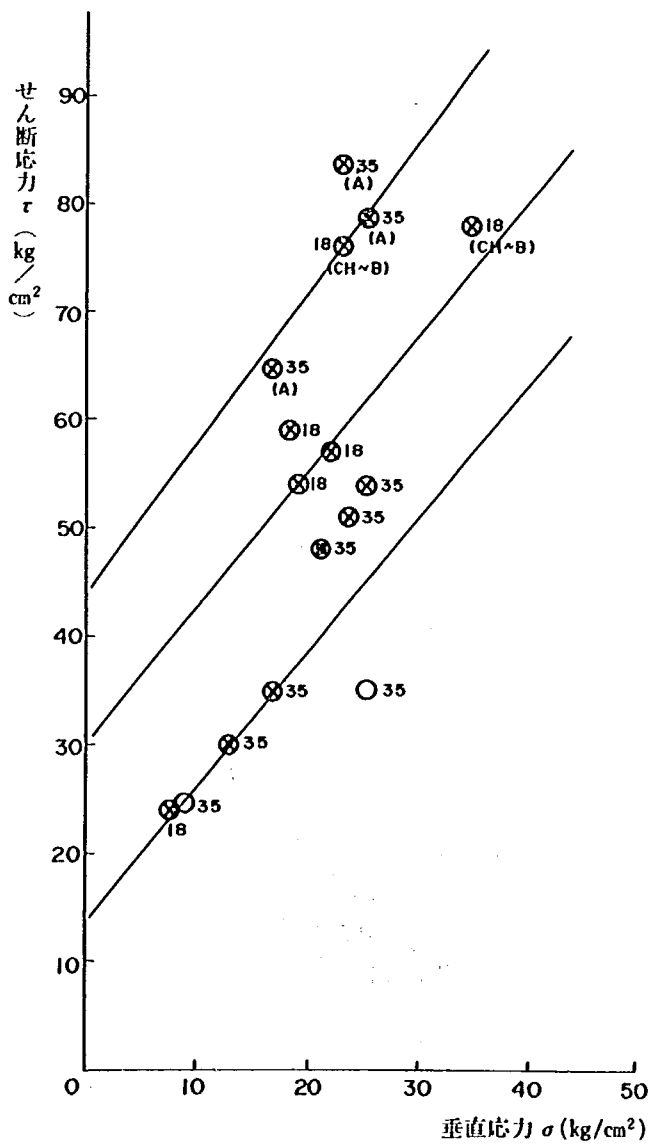
附図-2-(11) 岩盤成因別にみたせん断強度

凡例

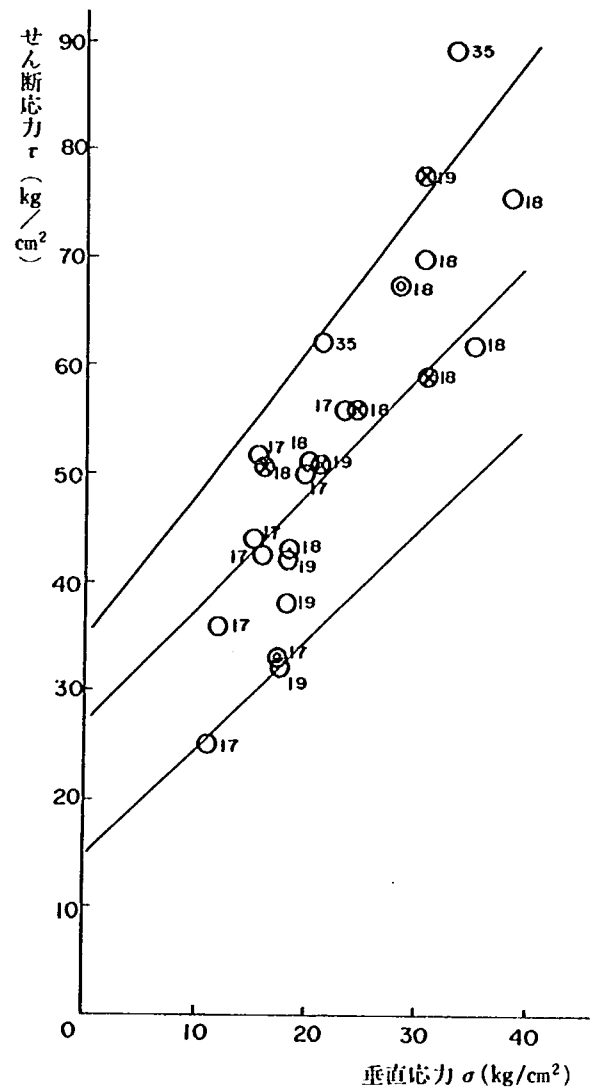
- ロックせん断試験
- ブロックせん断試験
- ⊗ 回転現象
- ⊗ ⊗ コンクリート内せん断

- 17. 玉川
- 18. 定山溪
- 19. 浅瀬石川(一部C₁級)
- 35. 鹿の子(C₁級)

火成岩、火山岩
B級(A級、C_{II}~B級を含む)



火成岩、火山岩
C_M級

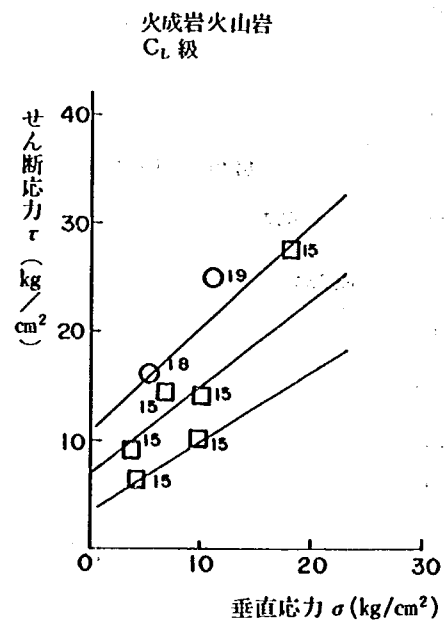
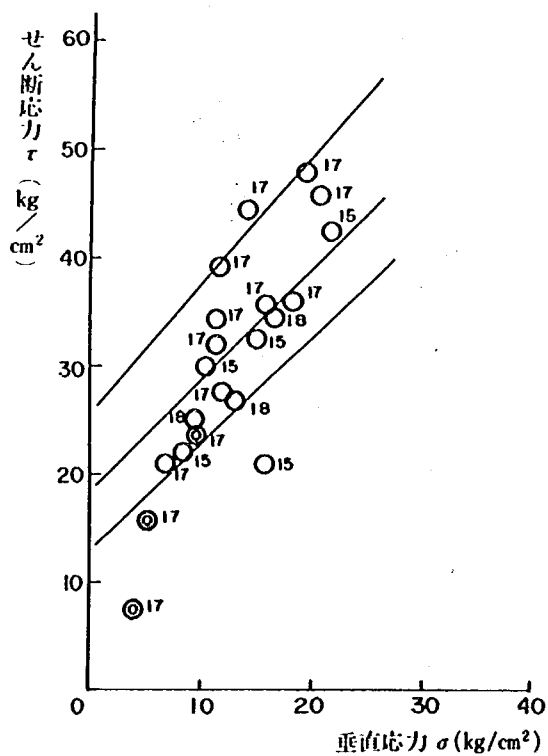


附図一 2-(12), (13) 岩盤成因別にみたせん断強度

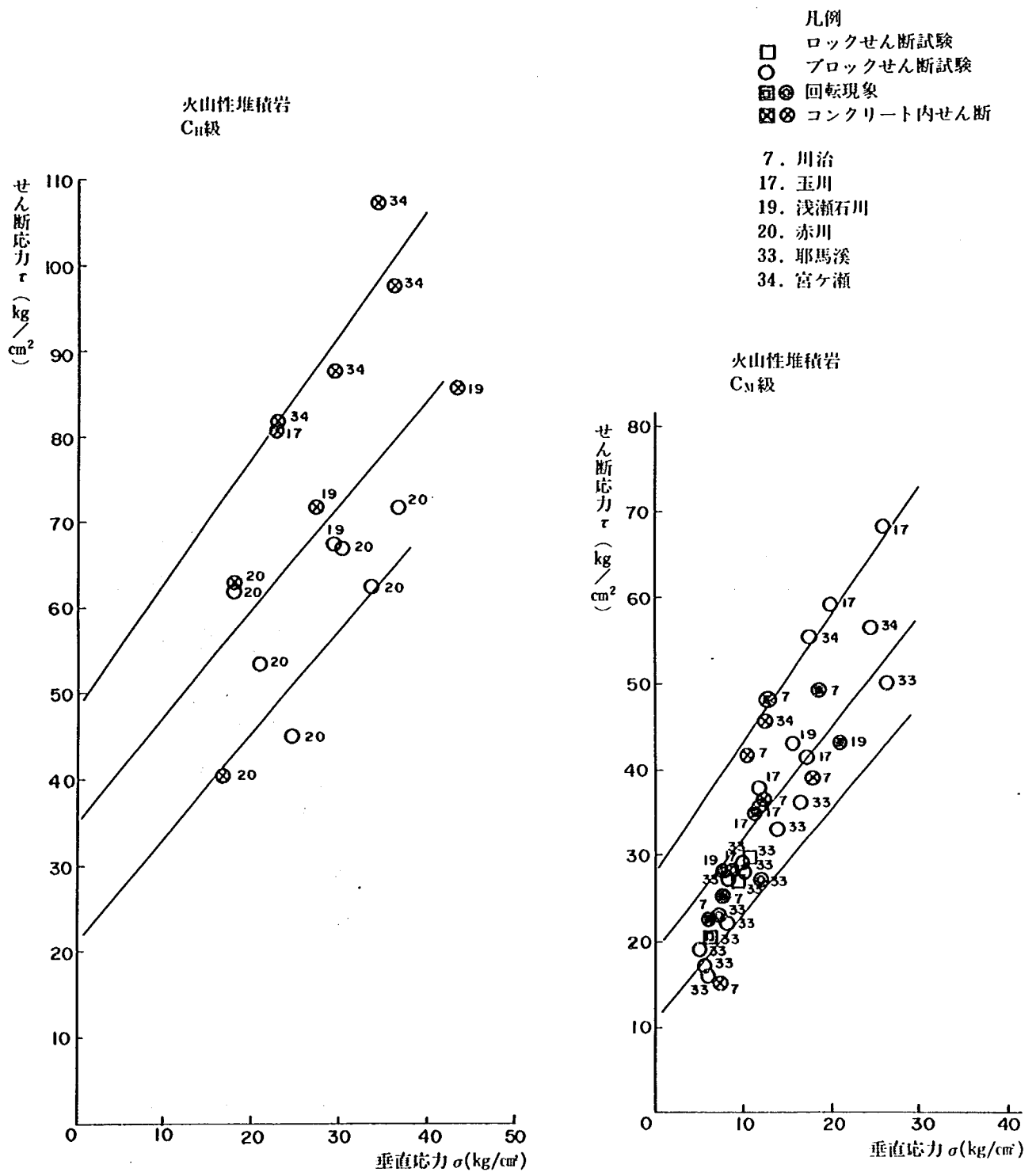
- 凡例
- ロックせん断試験
 - ブロックせん断試験
 - ⊗ 回転現象
 - ⊠ ⊗ コンクリート内せん断

- 15. 大川
- 17. 玉川
- 18. 定山溪
- 19. 浅瀬石川

火成岩、火山岩
C_M級(C_L～M級を含む)



附図-2-(14), (15) 岩盤成因別にみたせん断強度



附図-2-(16), (17) 岩盤成因別にみたせん断強度

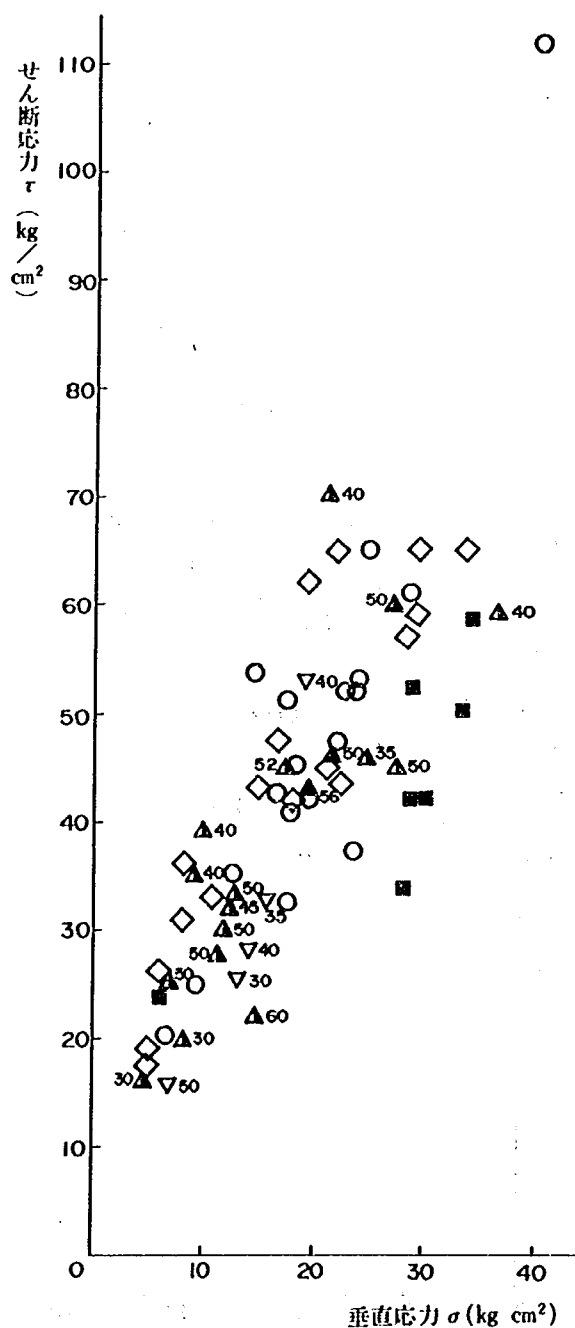
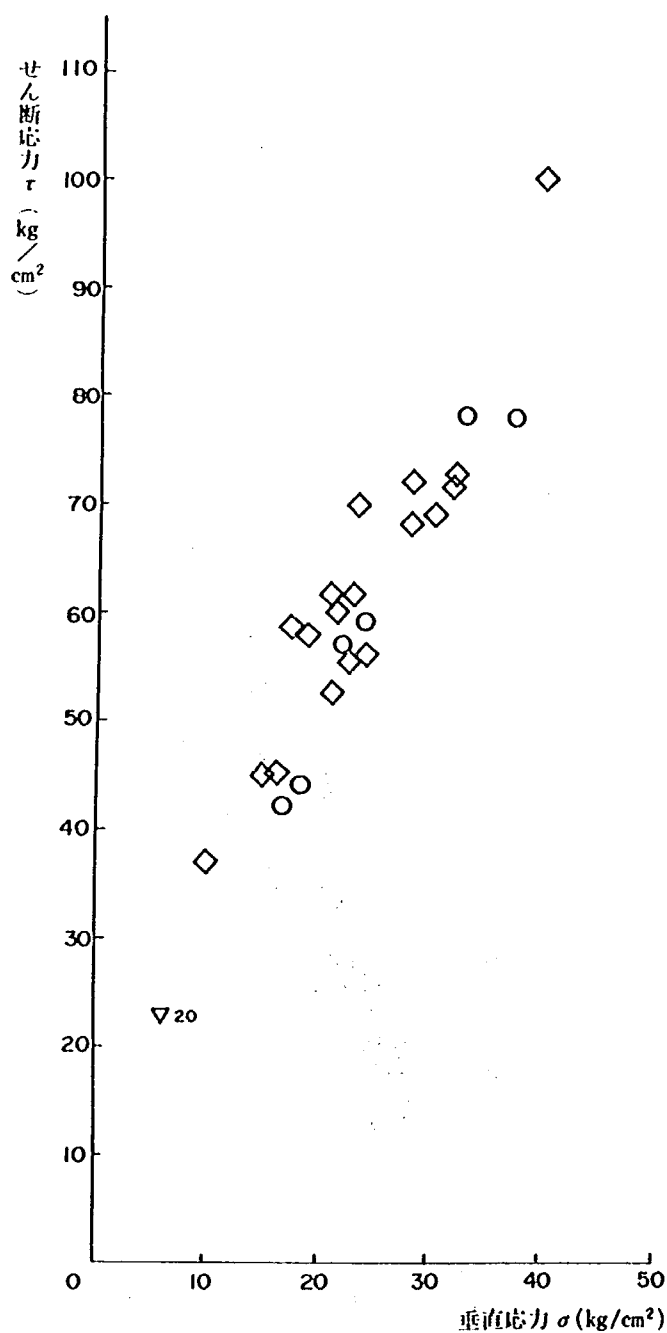
凡例

- ▽ Aタイプ
- Bタイプ
- △ Cタイプ
- Dタイプ
- ◇ Eタイプ

数字：傾斜角

古中生代堆積岩
B級(C_{II}～B級を含む)

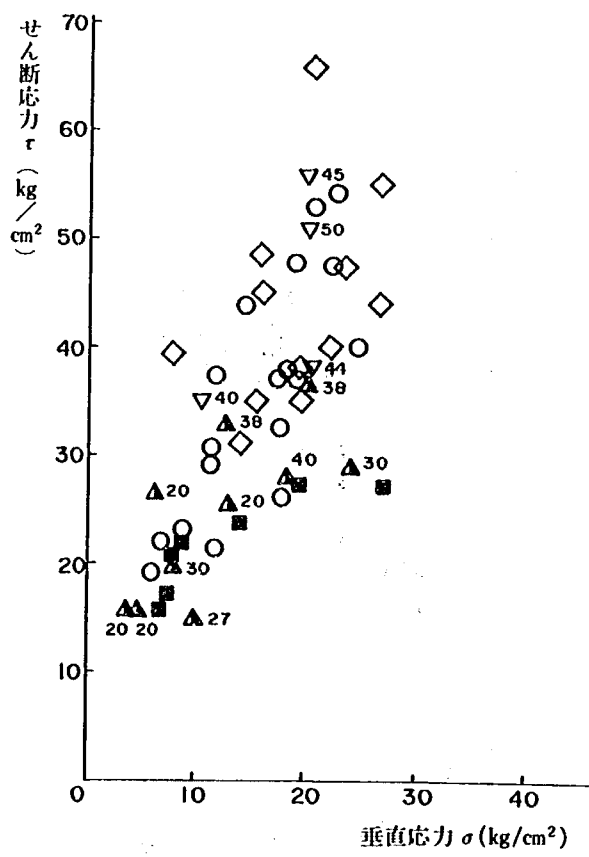
古中生代堆積岩
C_{II}級(C_M～C_{II}を含む)



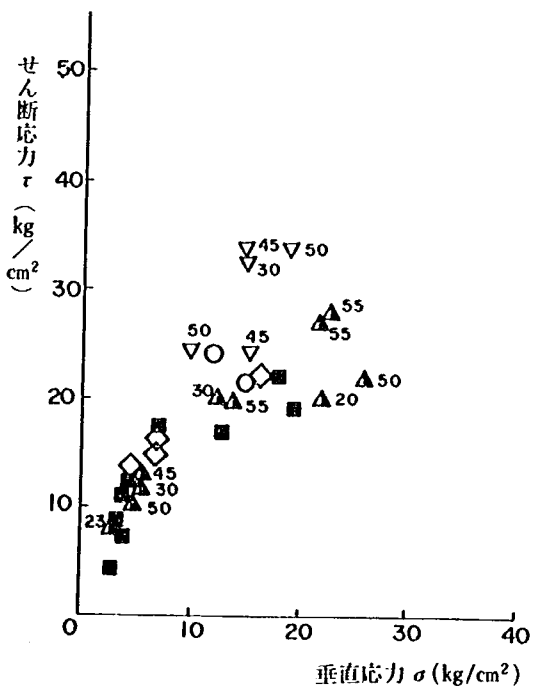
附図一3-(1), (2) 層理面の方向とせん断強度(堆積岩)

- 凡例
- ▽ Aタイプ
 - Bタイプ
 - ▲ Cタイプ
 - Dタイプ
 - ◇ Eタイプ
- 数字：傾斜角

古中生代堆積岩
C_M級(C_L～M級を含む)



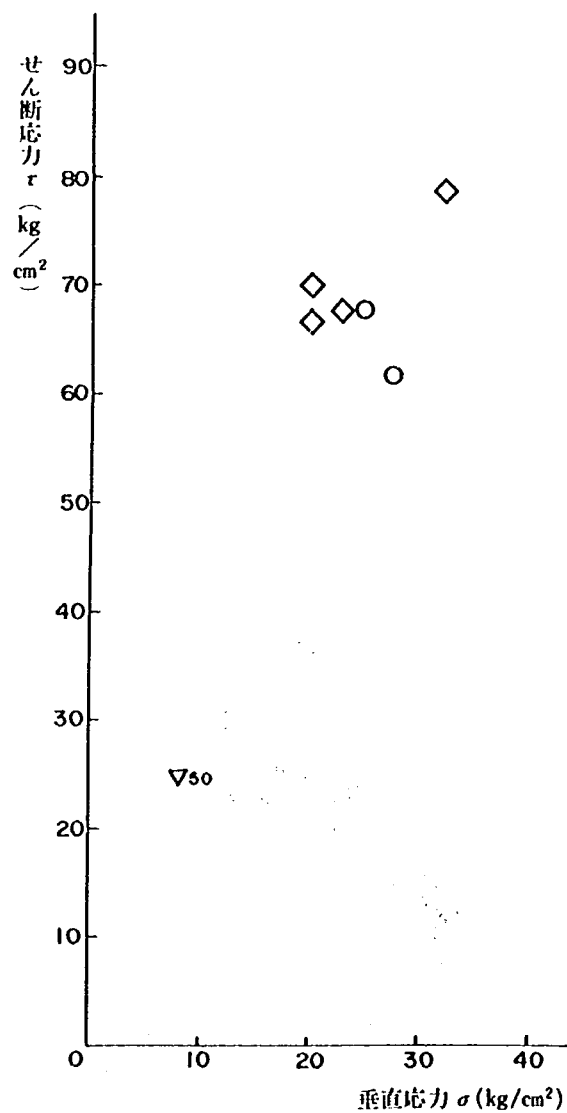
古中生代堆積岩
C_L級



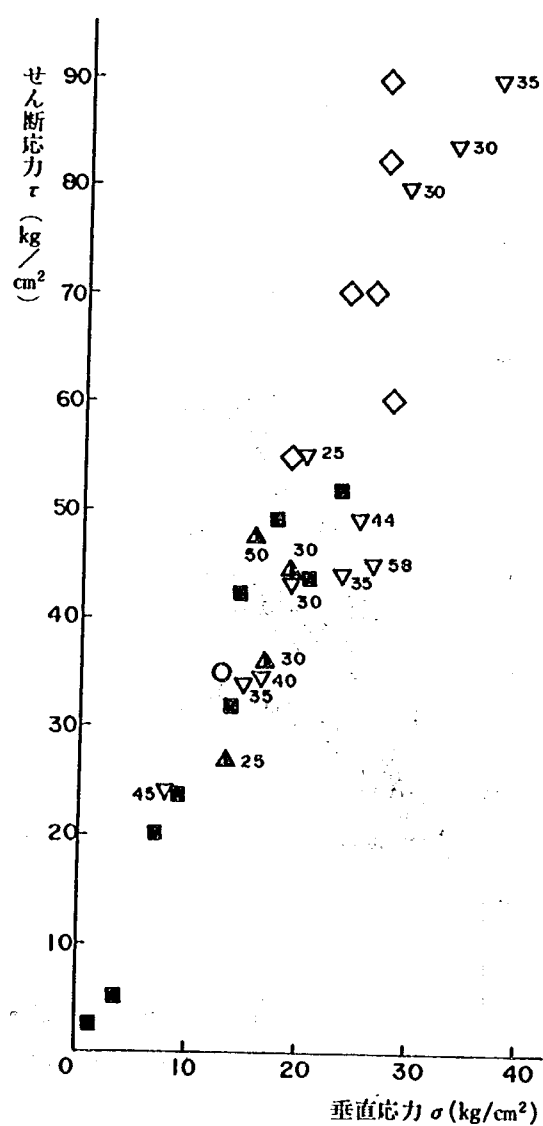
附図一 3-(3), (4) 層理面の方向とせん断強度(堆積岩)

- 凡例
- ▽ Aタイプ
 - Bタイプ
 - ▲ Cタイプ
 - Dタイプ
 - ◇ Eタイプ
- 数字：傾斜角

広域変成岩
B級

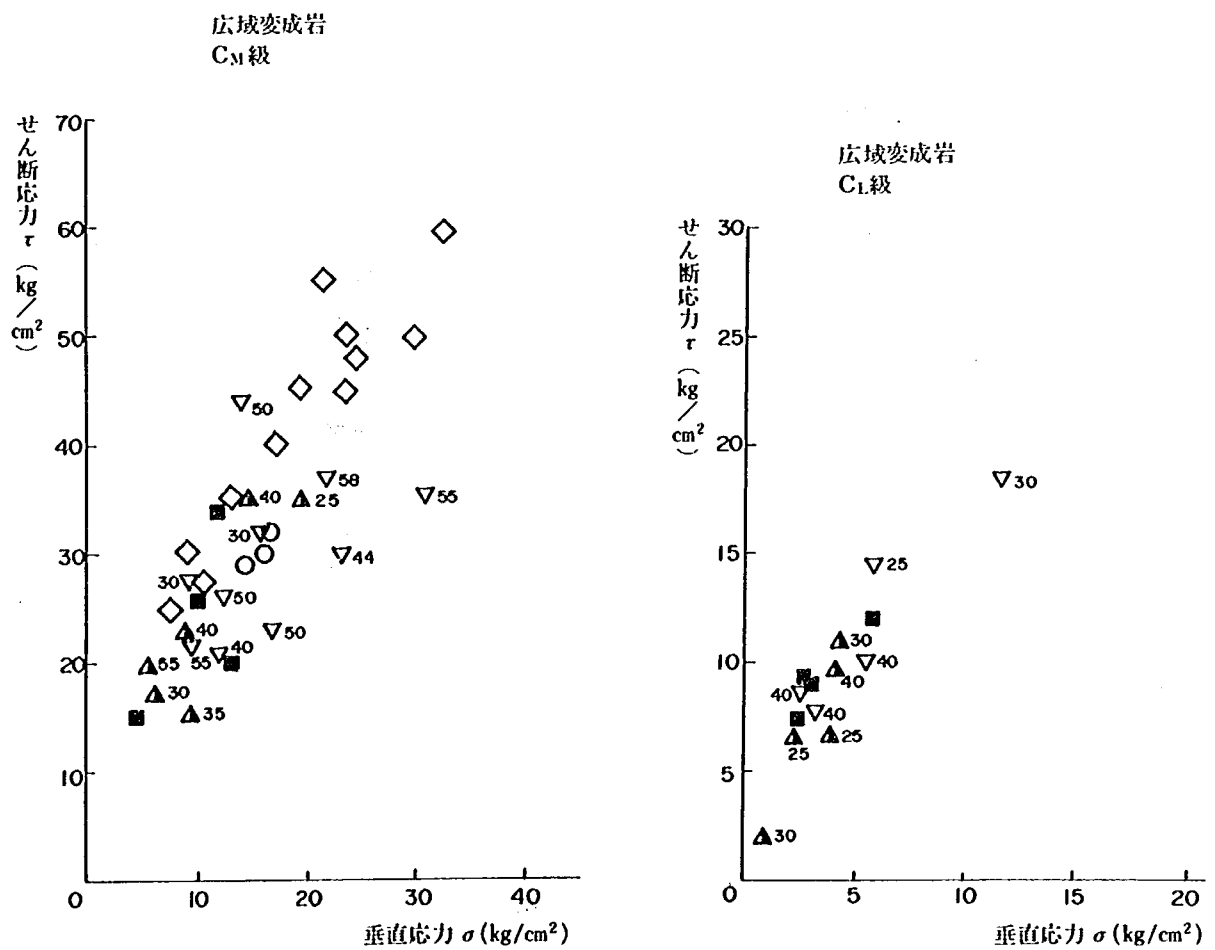


広域変成岩
CII級



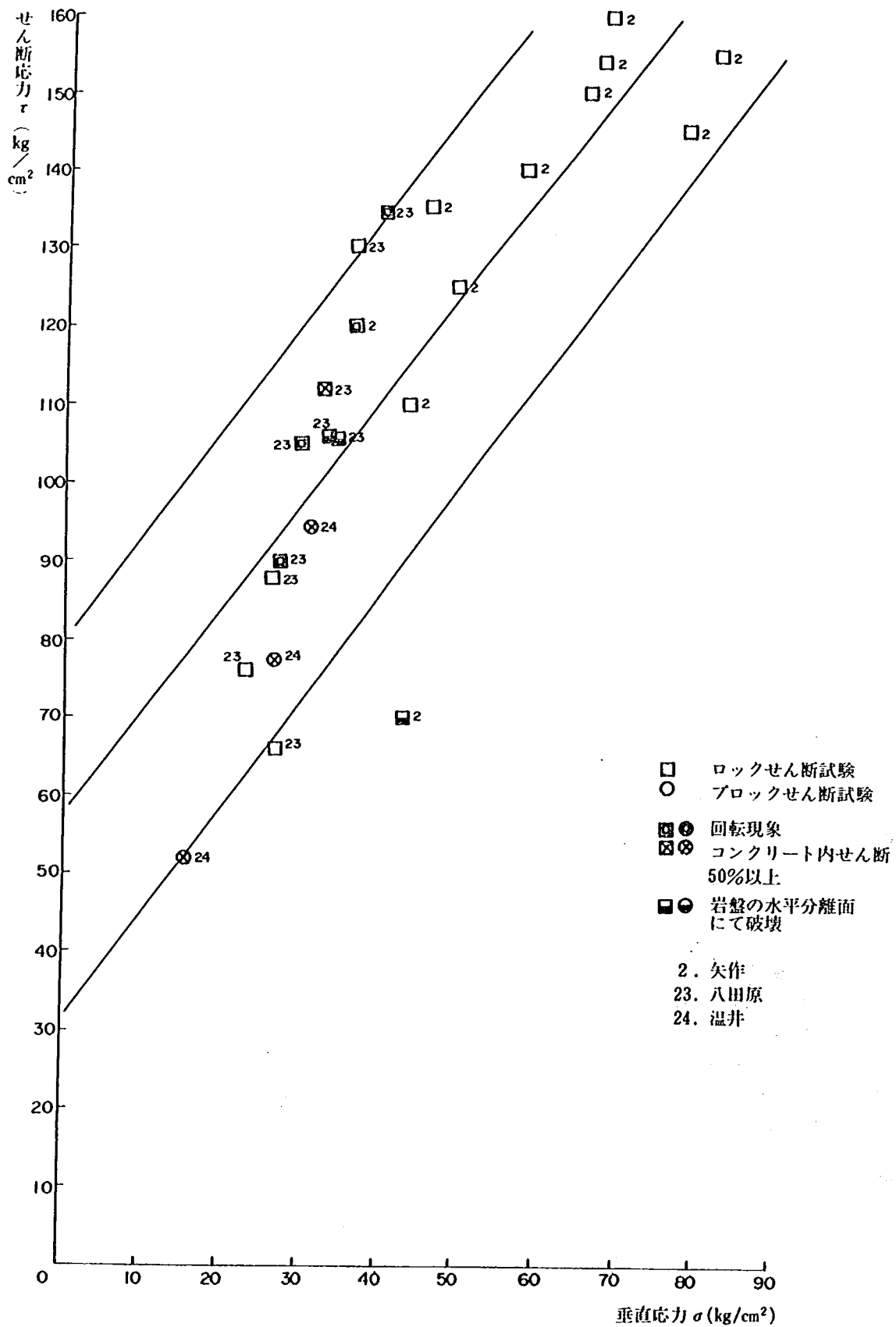
附図一 4 -(1), (2) 片理面の方向とせん断強度 (変成岩)

- 凡例
- ▽ Aタイプ
 - Bタイプ
 - ▲ Cタイプ
 - Dタイプ
 - ◇ Eタイプ
- 数字：傾斜角



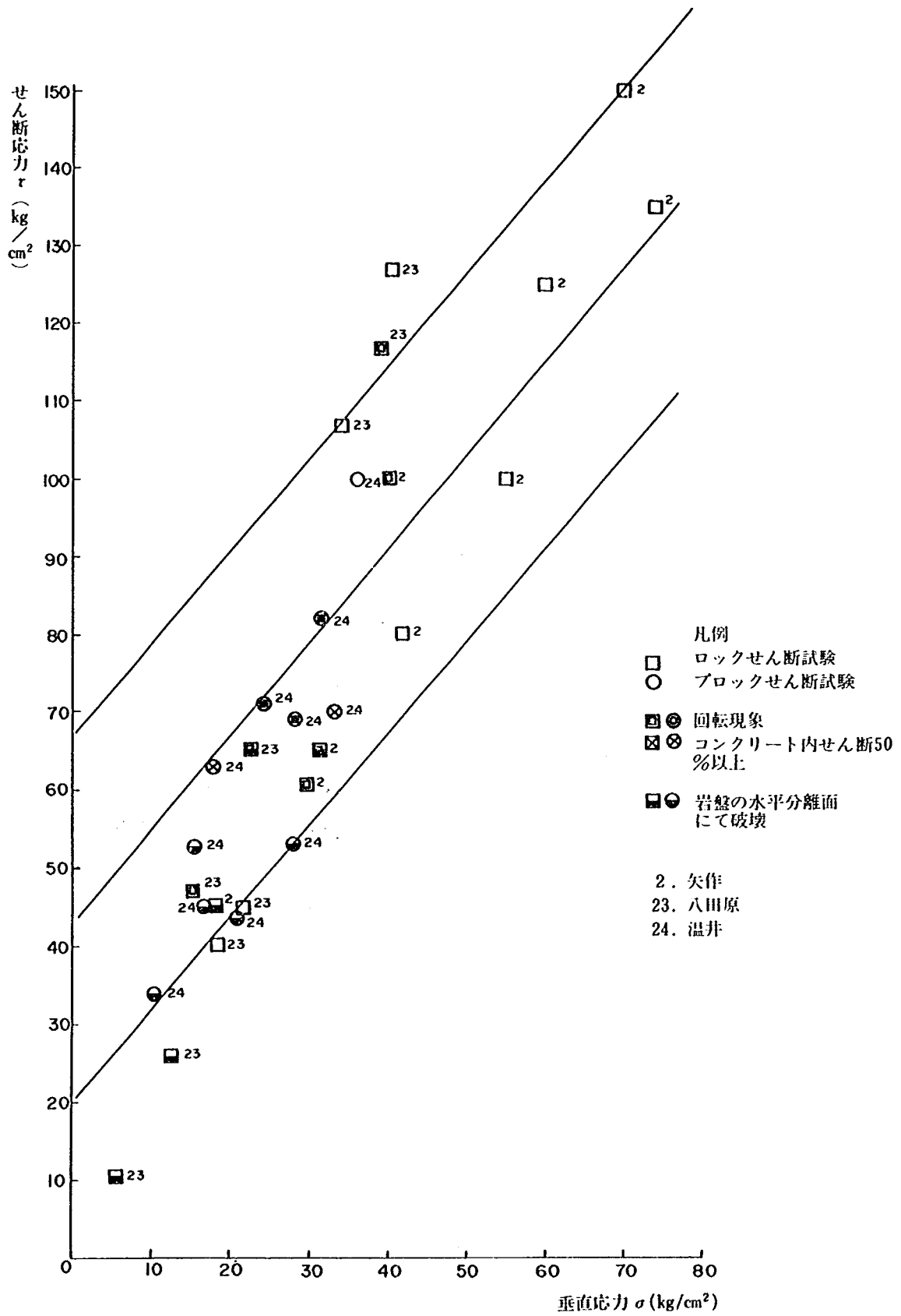
附図一 4 -(3), (4) 片理面の方向とせん断強度 (変成岩)

中粒花崗岩C_{II}級



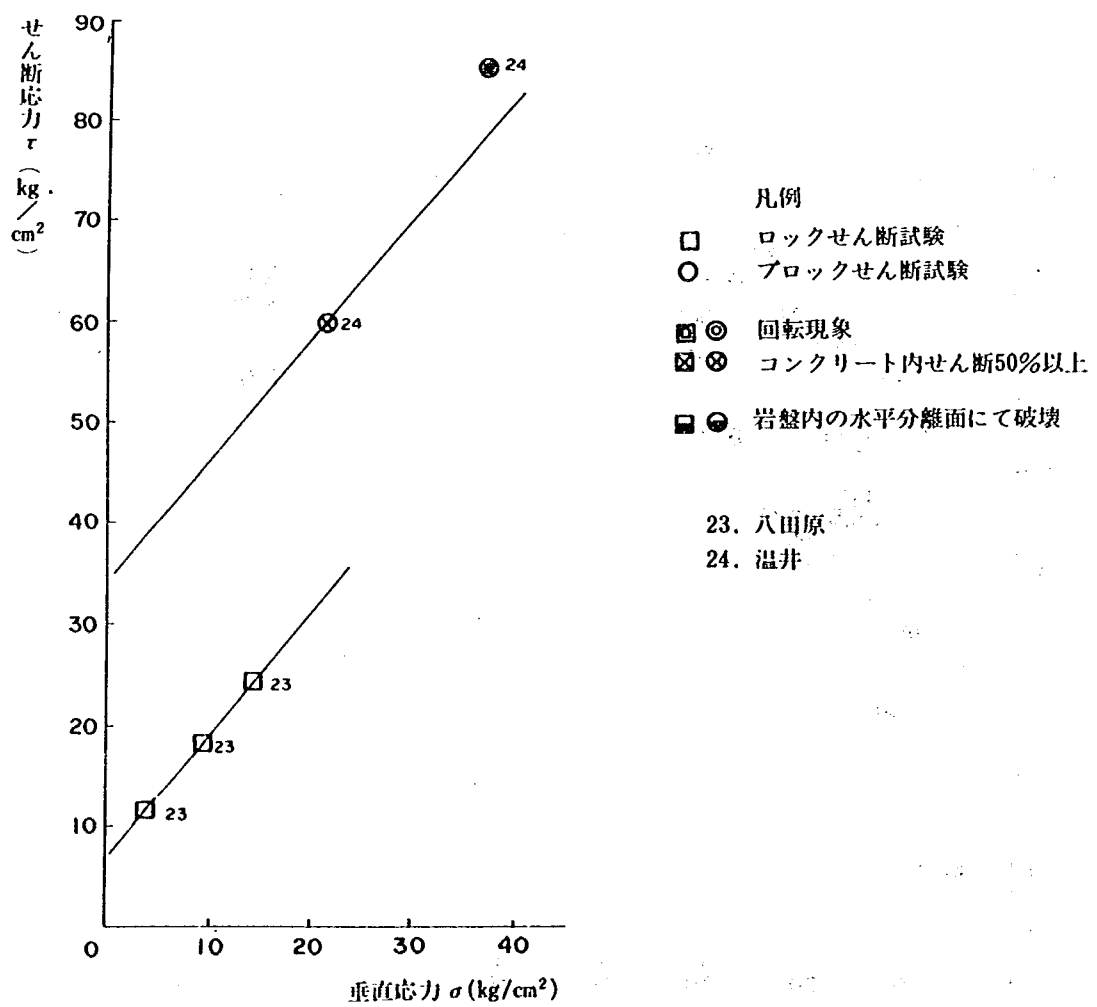
附図一五(1) 岩種別にみたせん断強度(深成岩)

中粒花崗岩C_M級

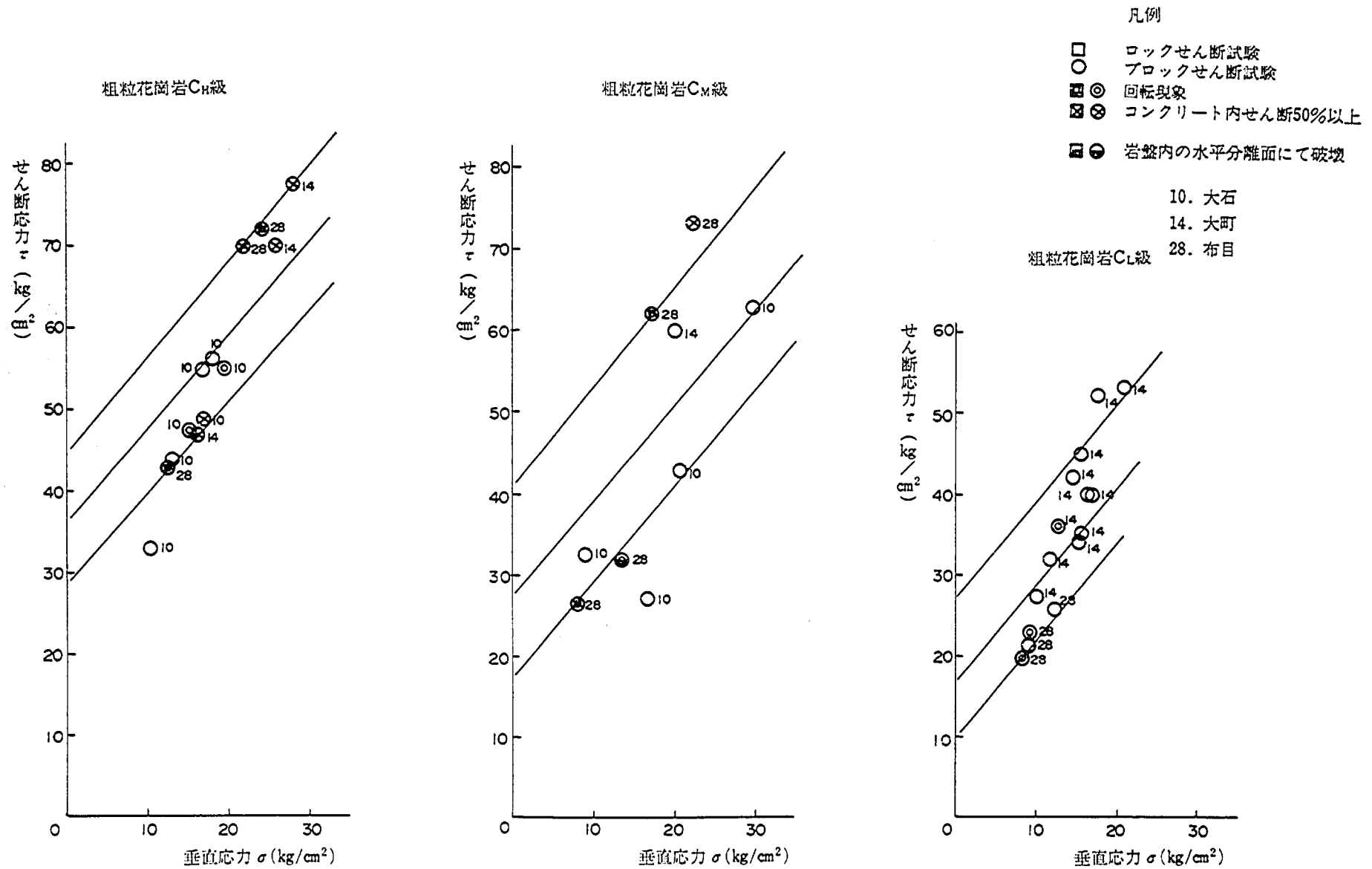


附図一5-(2) 岩種別にみたせん断強度(深成岩)

中粒花崗岩C₁級

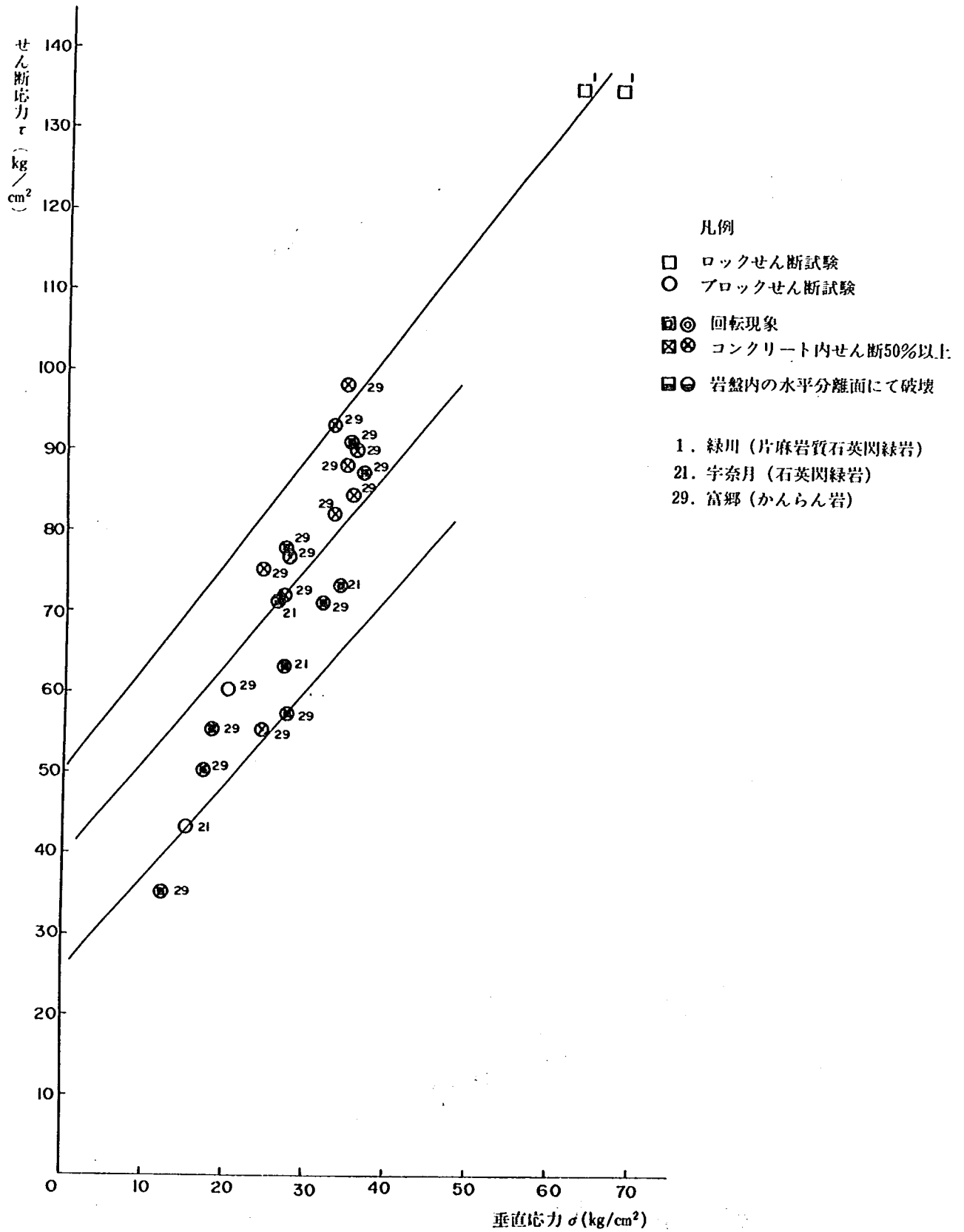


附図一五(3) 岩種別にみたせん断強度(深成岩)

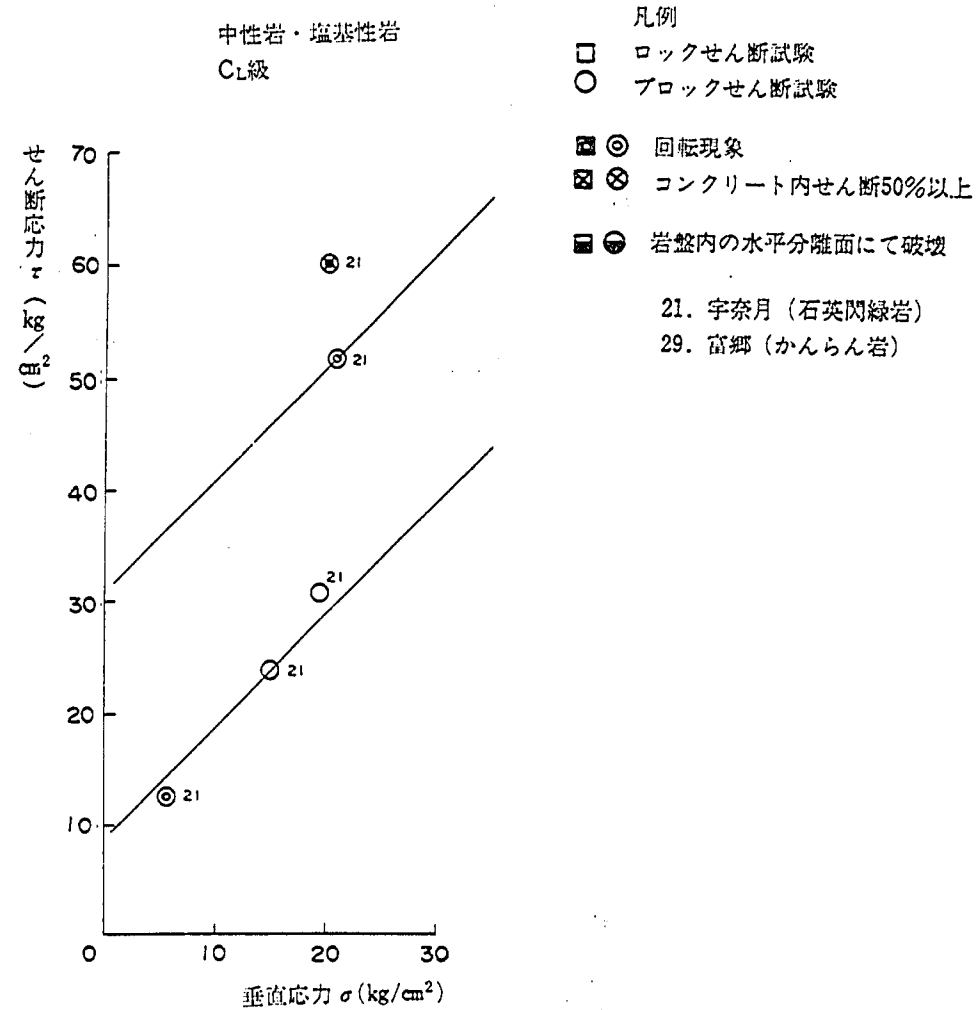
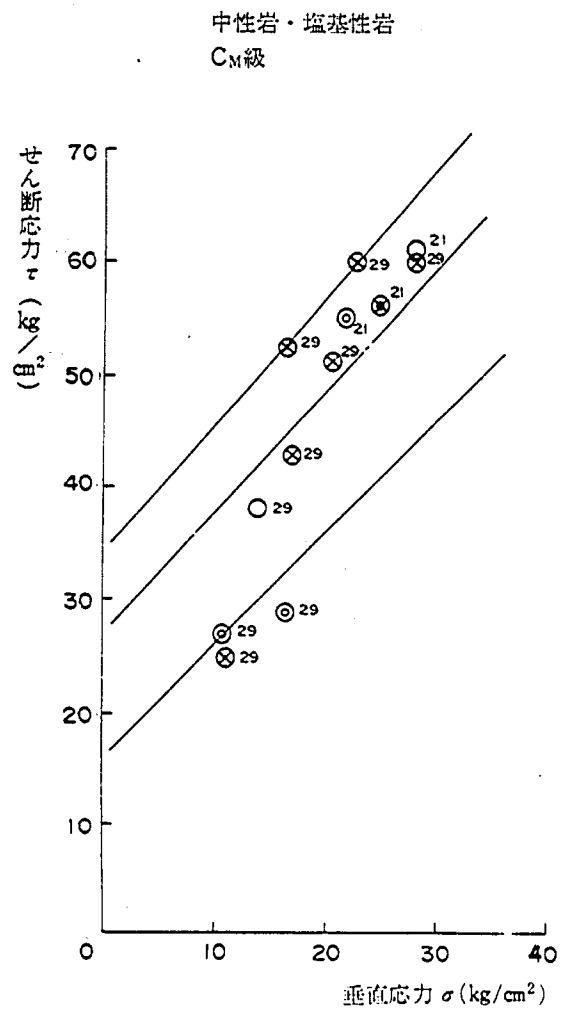


附図—5—(4), (5), (6) 岩種別にみたせん断強度 (深成岩)

中性、塩基性岩CII級

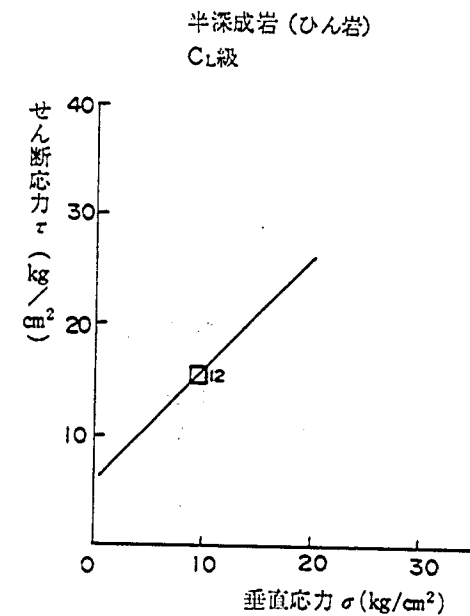
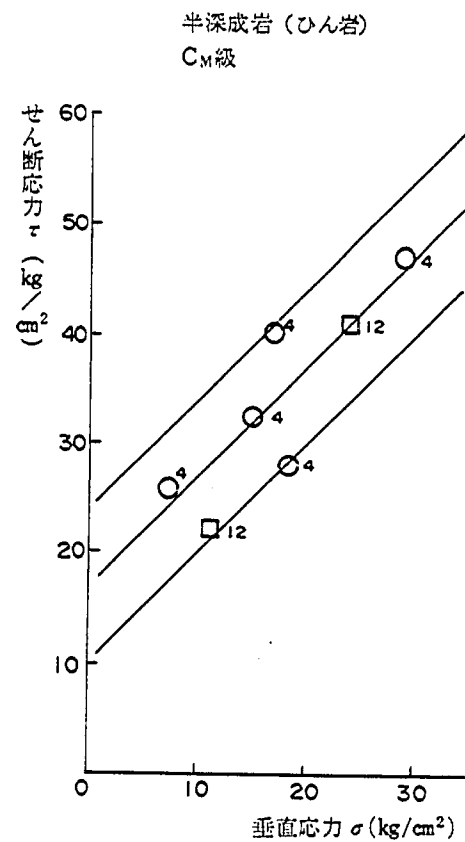
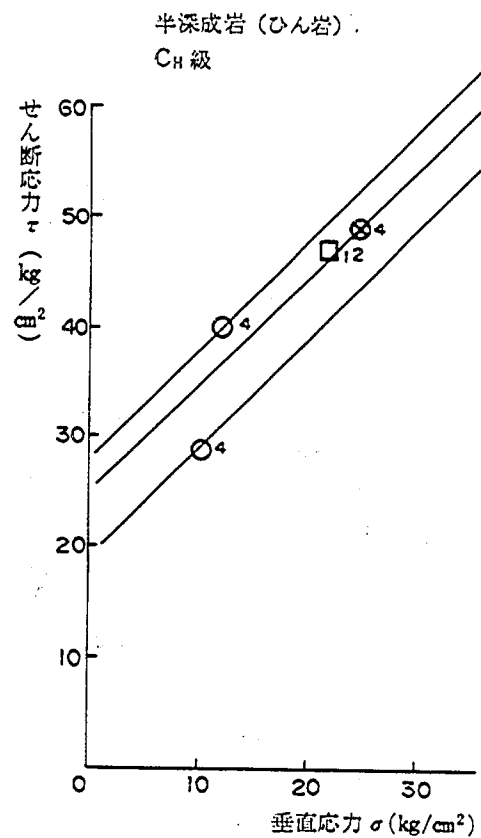


附図-5-(7) 岩種別にみたせん断強度 (深成岩)



- 凡例
- ロックせん断試験
 - ブロックせん断試験
 - ⊗ ⊙ 回転現象
 - ⊗ ⊙ コンクリート内せん断50%以上
 - ⊗ ⊙ 岩盤内の水平分離面にて破砕
21. 宇奈月 (石英閃緑岩)
29. 富郷 (かんらん岩)

附図-5-(8), (9) 岩種別にみたせん断強度 (深成岩)

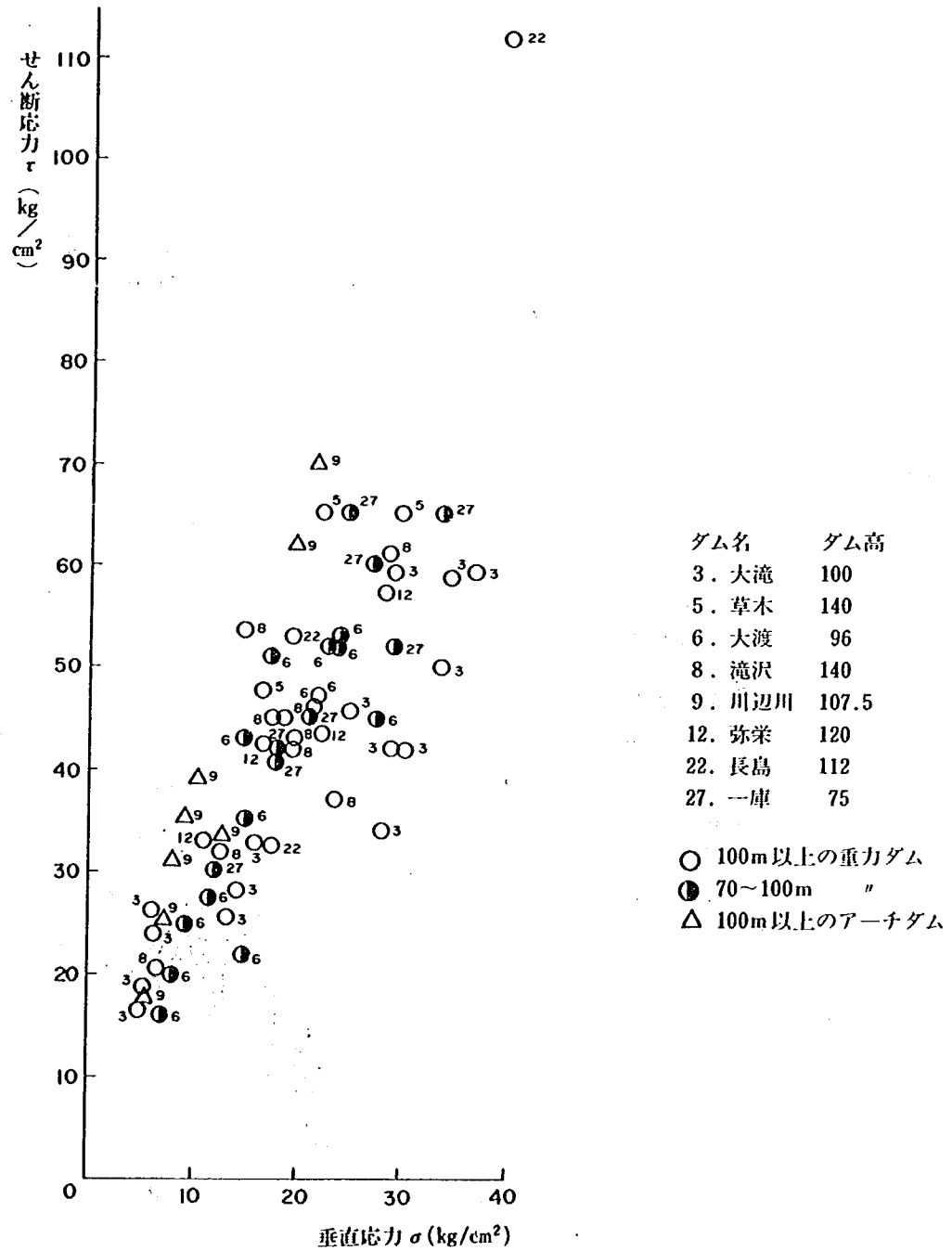


- 凡例
- ロックせん断試験
 - ブロックせん断試験
 - ⊗ 回転現象
 - ⊗ ⊗ コンクリート内せん断50%以上
 - ● 岩盤内の水平分離面にて破壊

4. 真名川
12. 弥栄

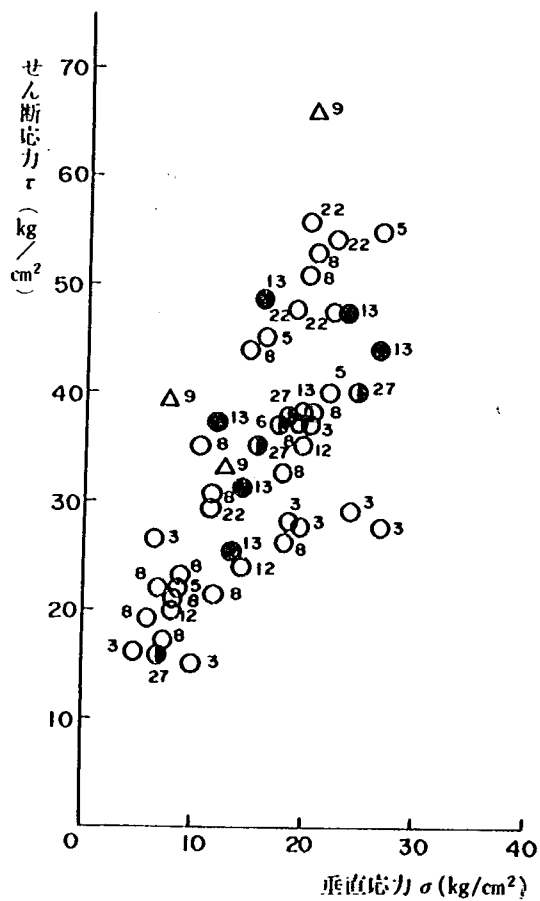
附図—5—(10), (11), (12) 岩種別にみたせん断強度（深成岩）

古・中生代堆積岩
C_{II}級



附図一6一(1) ダムの型式・規模とせん断強度

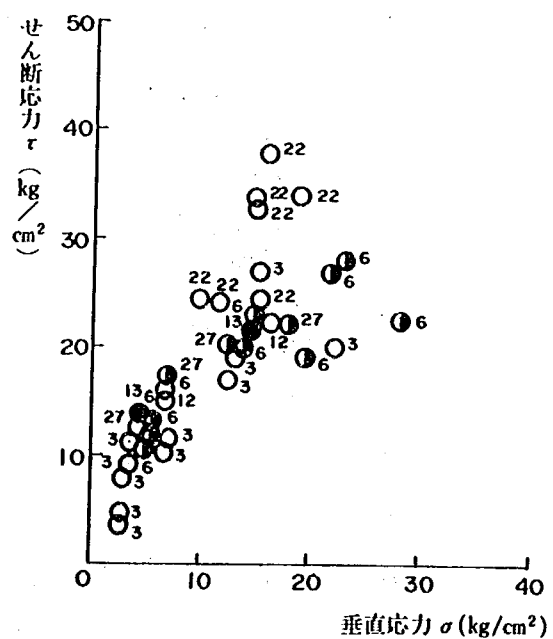
古・中生代堆積岩
C_M級



ダム名	ダム高
3. 大滝	100
5. 草木	140
6. 大渡	96
8. 滝沢	140
9. 川辺川	107.5
12. 弥栄	120
13. 野村	60
22. 長島	112
27. 一庫	75

- 100 m以上の重力ダム
- 70~100 m "
- 70m以下 "
- △ 100 m以上のアーチダム

古・中生代堆積岩
C_L級

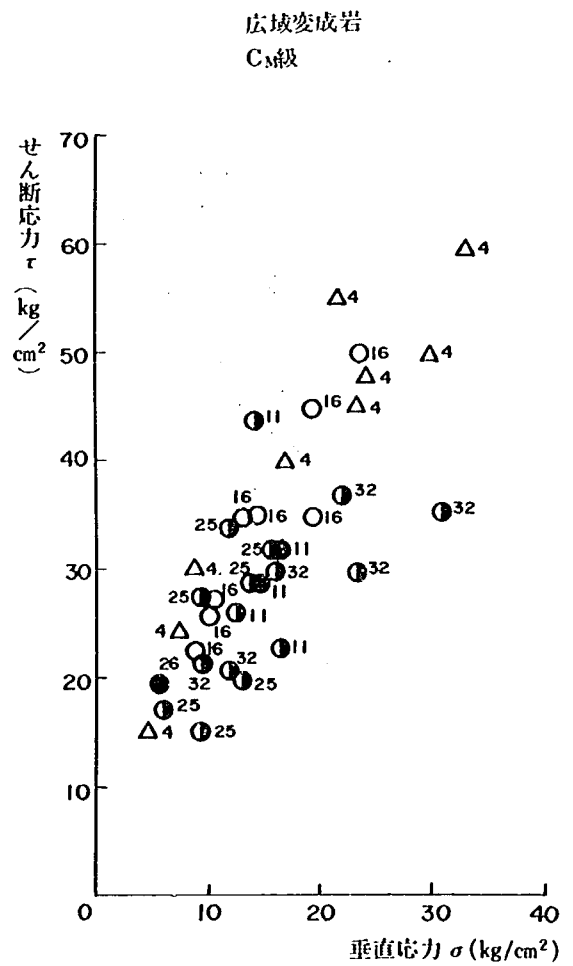
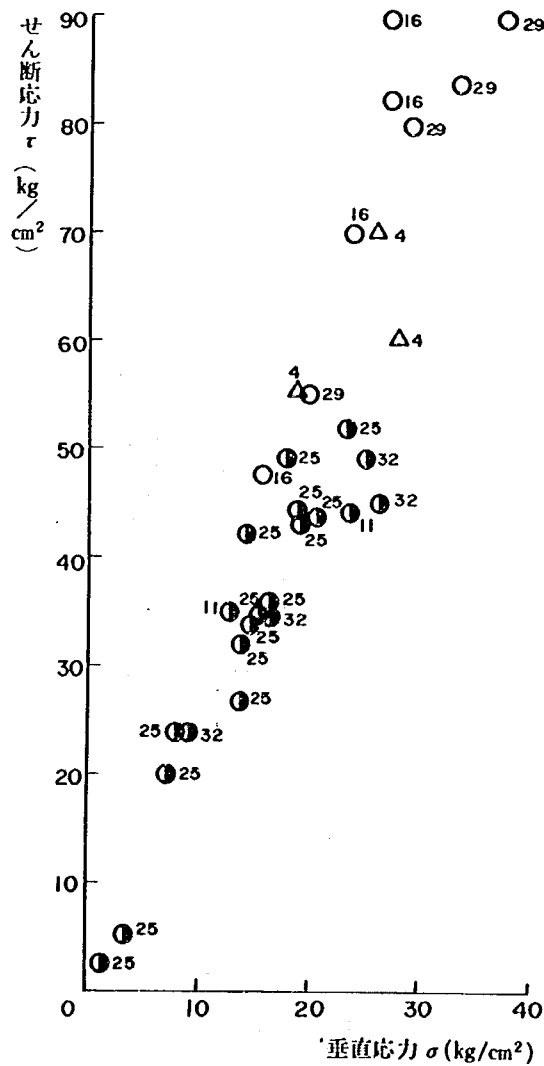


附図一 6 --(2), (3) ダムの型式・規模とせん断強度

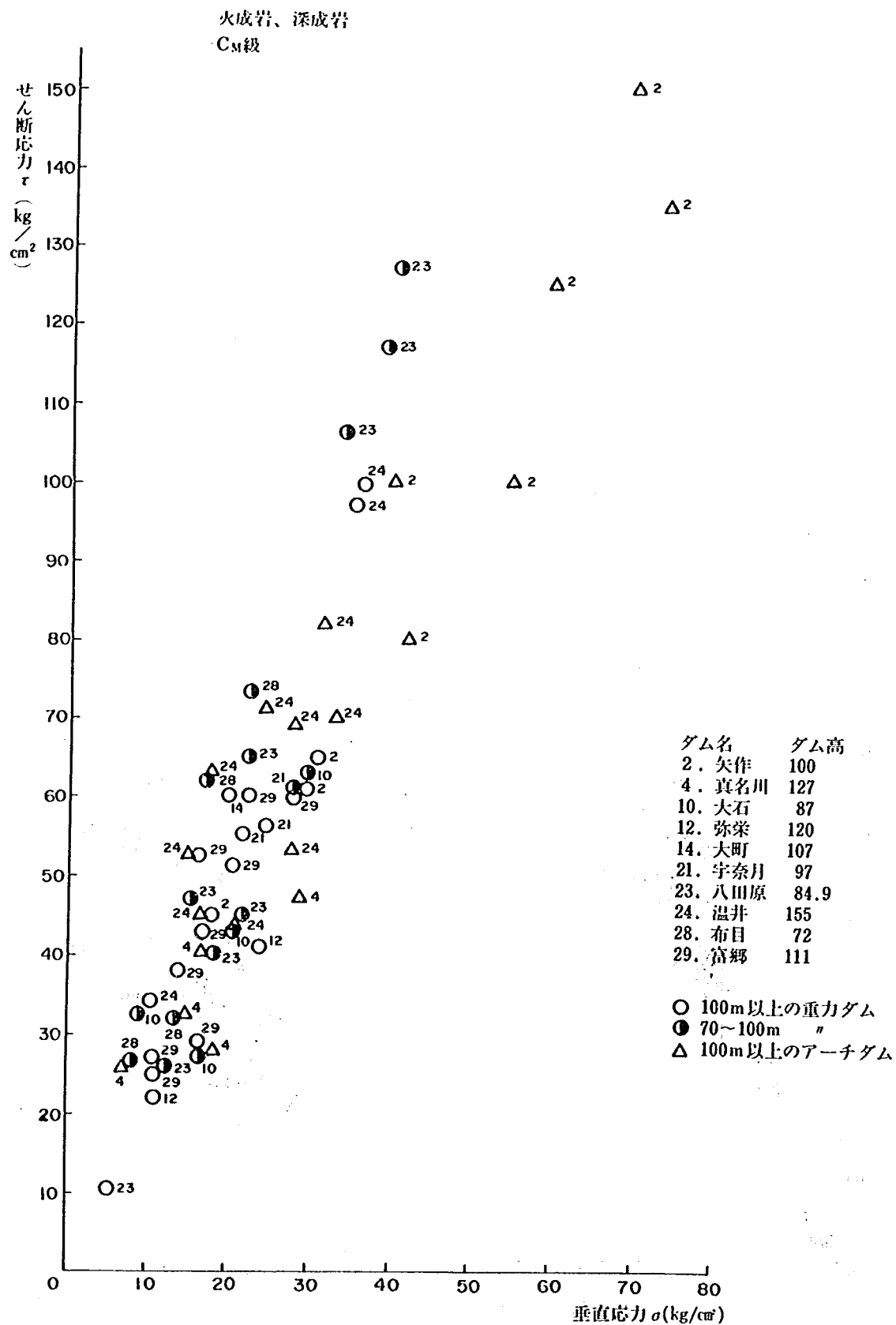
ダム名	ダム高
4. 真名川	127
11. 蓮	78
16. 巖木	117
25. 安波	86
26. 昔久川	41.5
29. 富郷	111
32. 島地川	88

- 100m以上の重力ダム
- 70~100m "
- 70m以下 "
- △ 100m以上のアーチダム

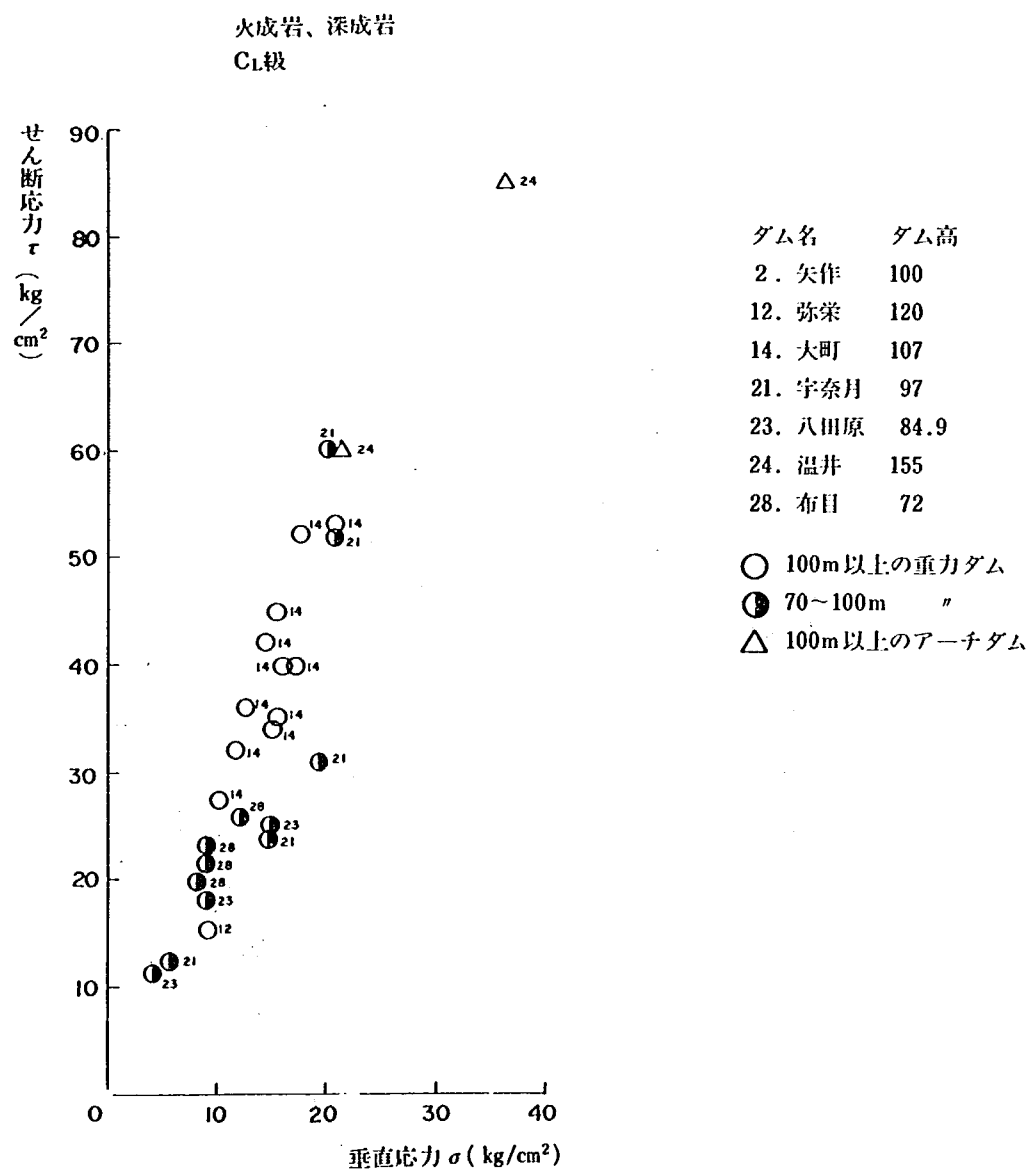
広域変成岩
Cn級



附図一六(4), (5) ダムの型式・規模とせん断強度



附図一 6 -(6) ダムの型式・規模とせん断強度

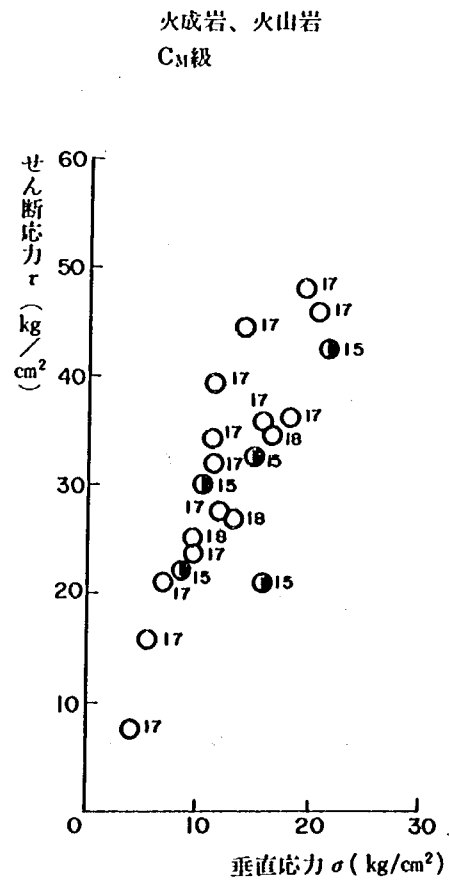
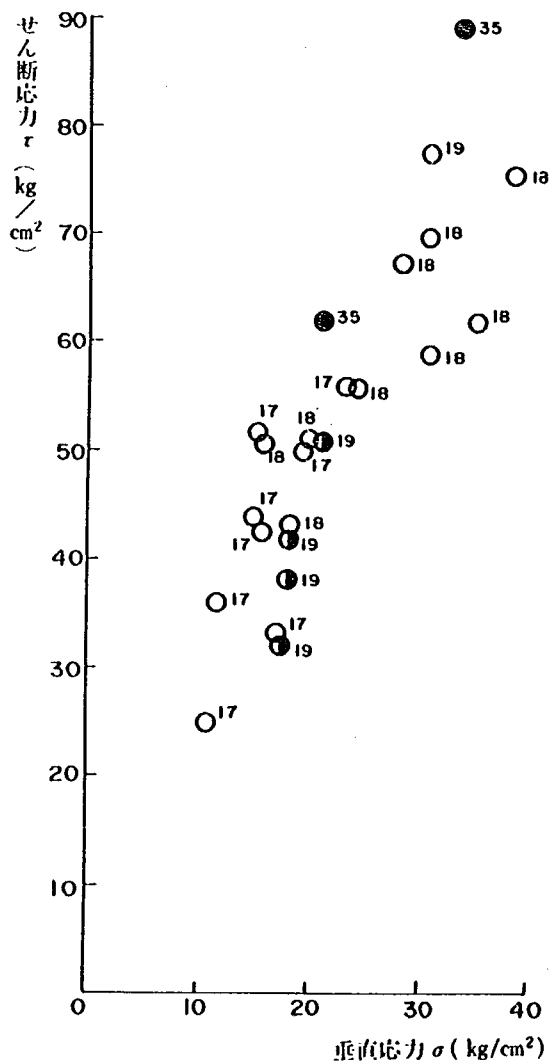


附図-6-(7) ダムの型式・規模とせん断強度

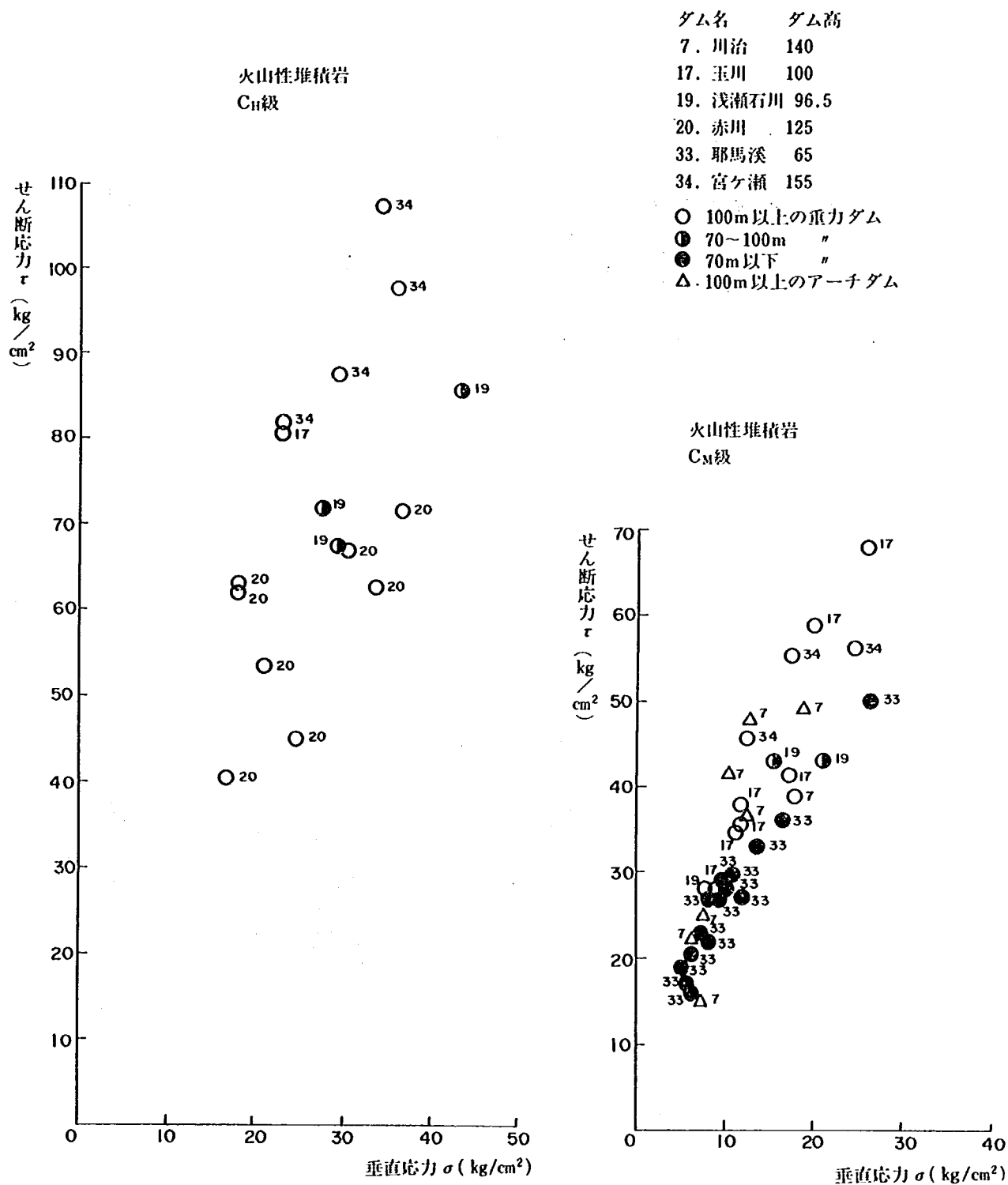
ダム名	ダム高
15. 大川	78.5
17. 玉川	100
18. 定山溪	112.5
19. 浅瀬石川	96.5
35. 鹿ノ子	55.5

火成岩、火山岩
C_{II}級

- 100m以上の重力ダム
- 70~100m "
- ⊙ 70m以下 "

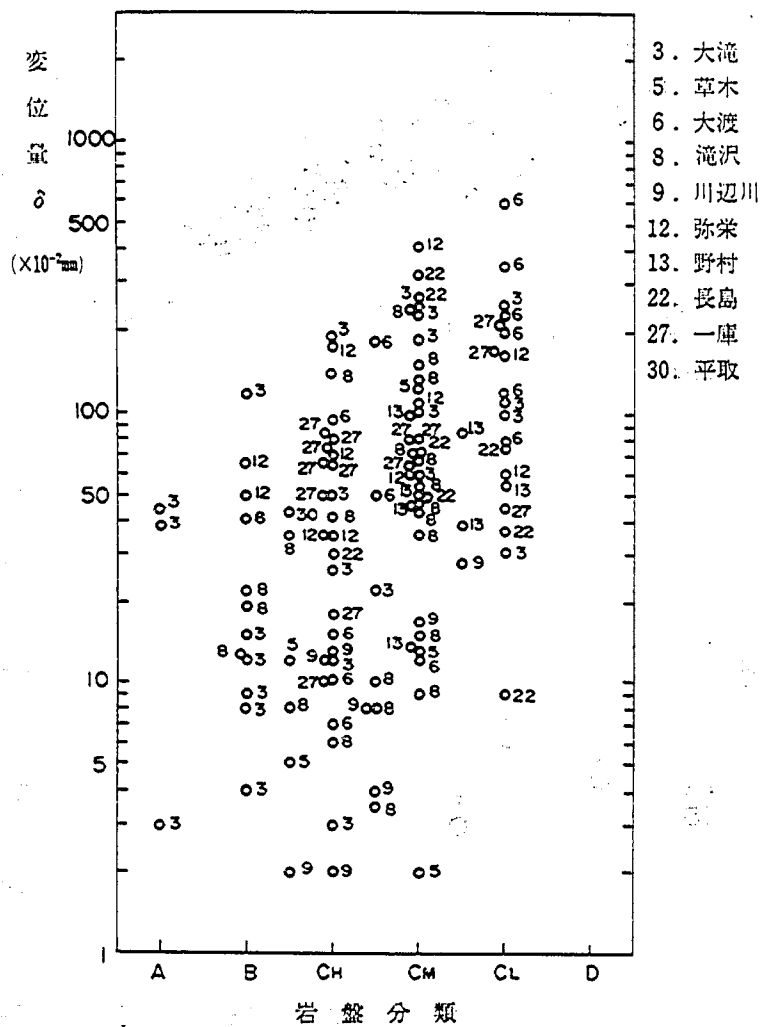


附図一 6-(8), (9) ダムの型式・規模とせん断強度

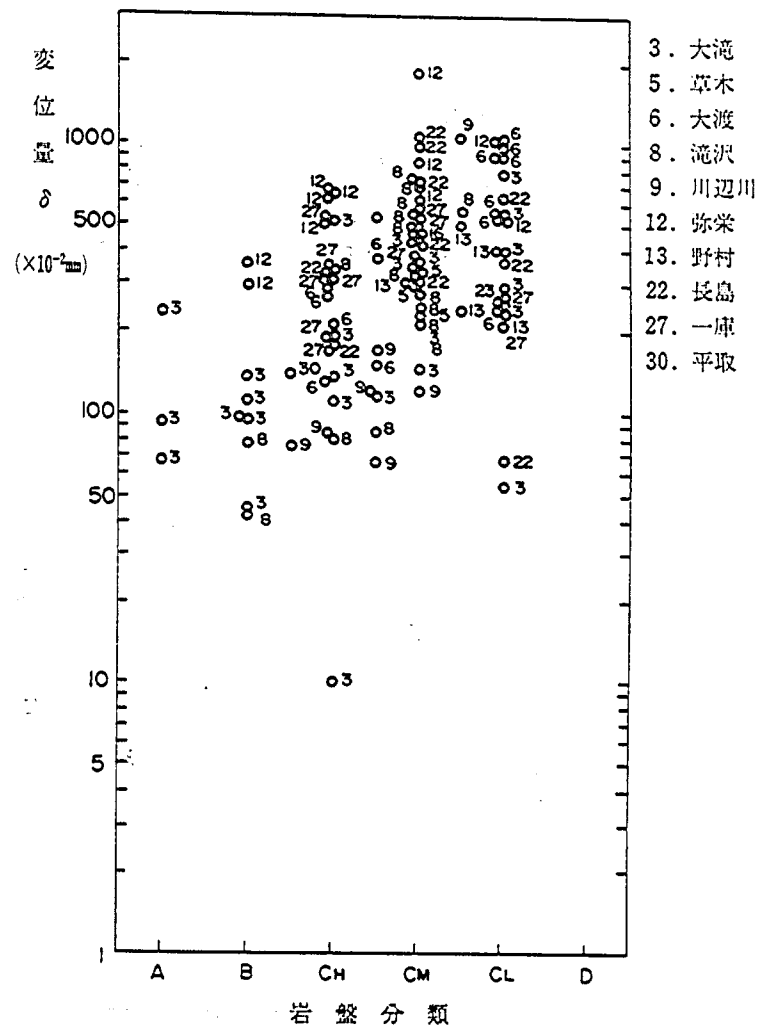


附図-6-(10), (11) ダムの型式・規模とせん断強度

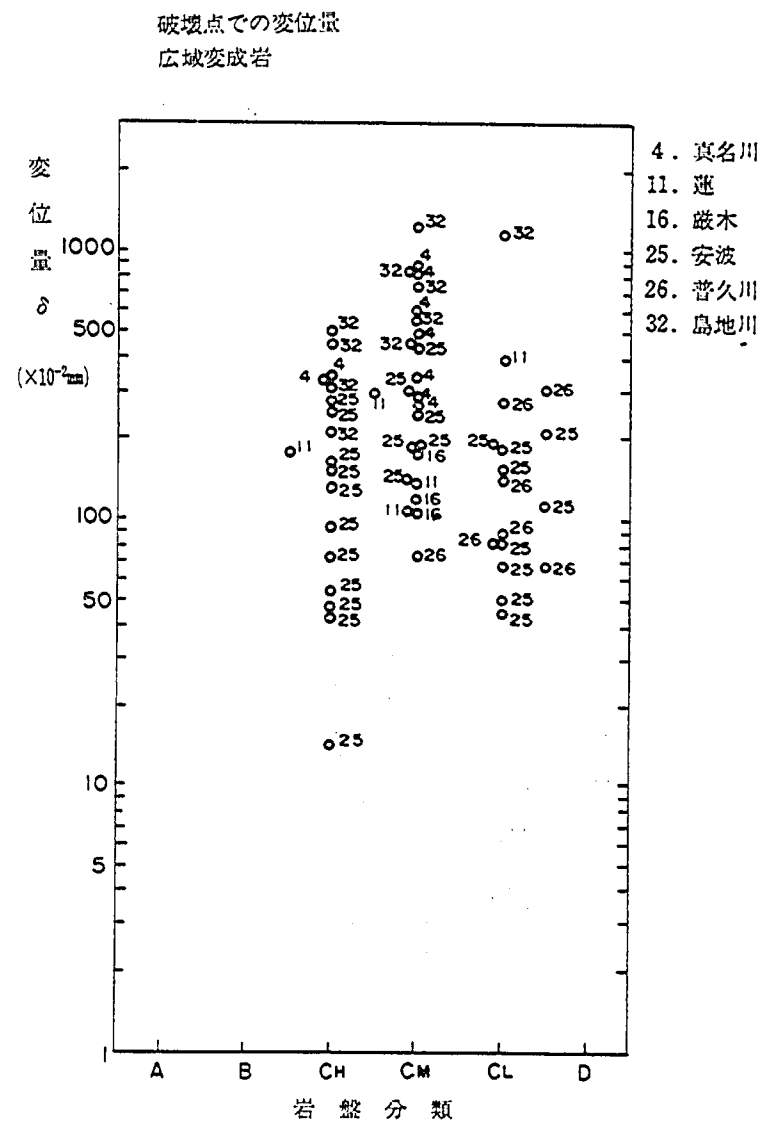
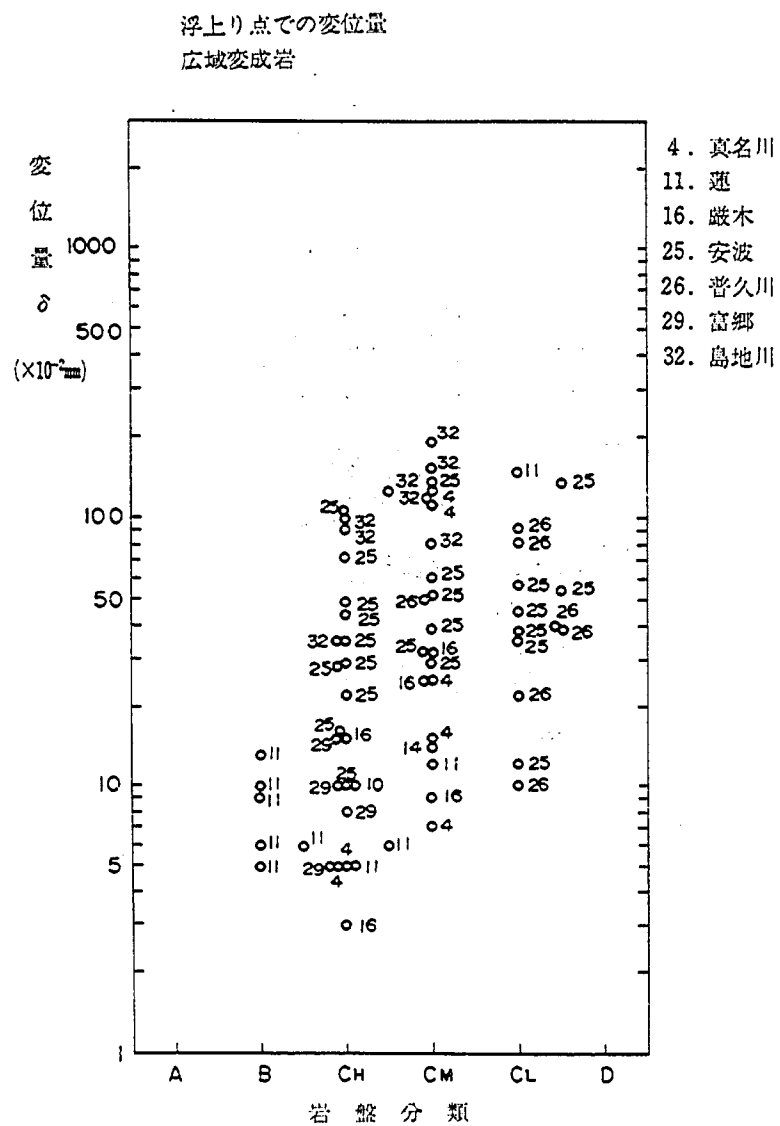
浮上り点での変位量
古・中生代堆積岩



破壊点での変位量
古・中生代堆積岩

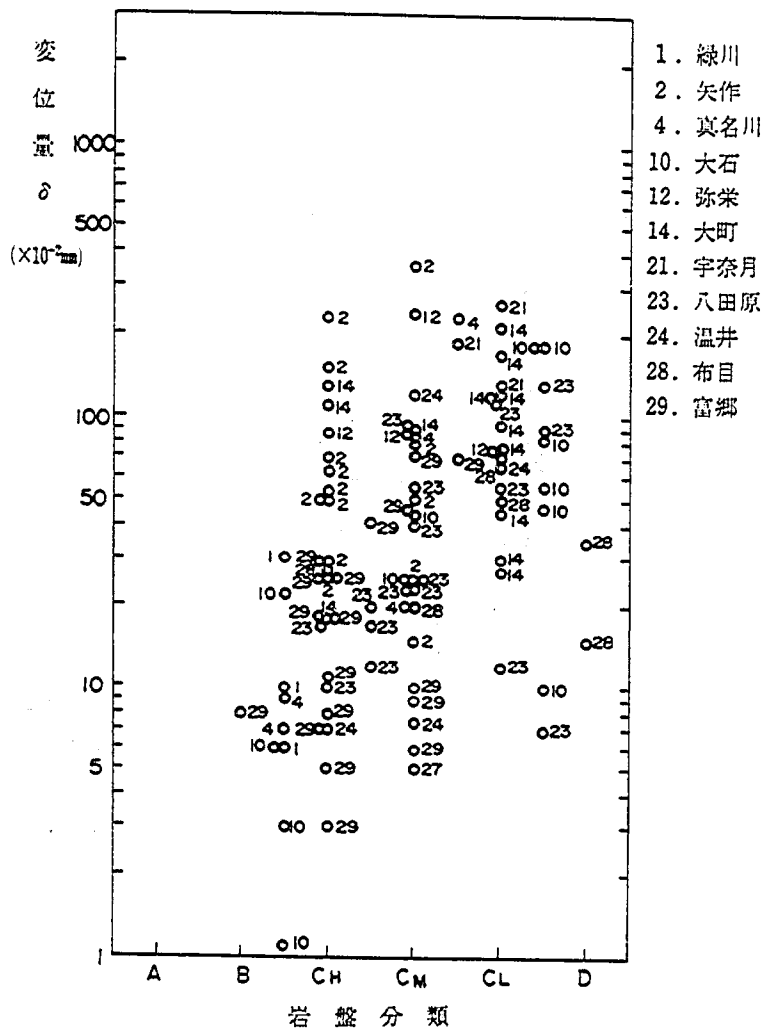


附図-7-(1), (2) せん断方向変位量

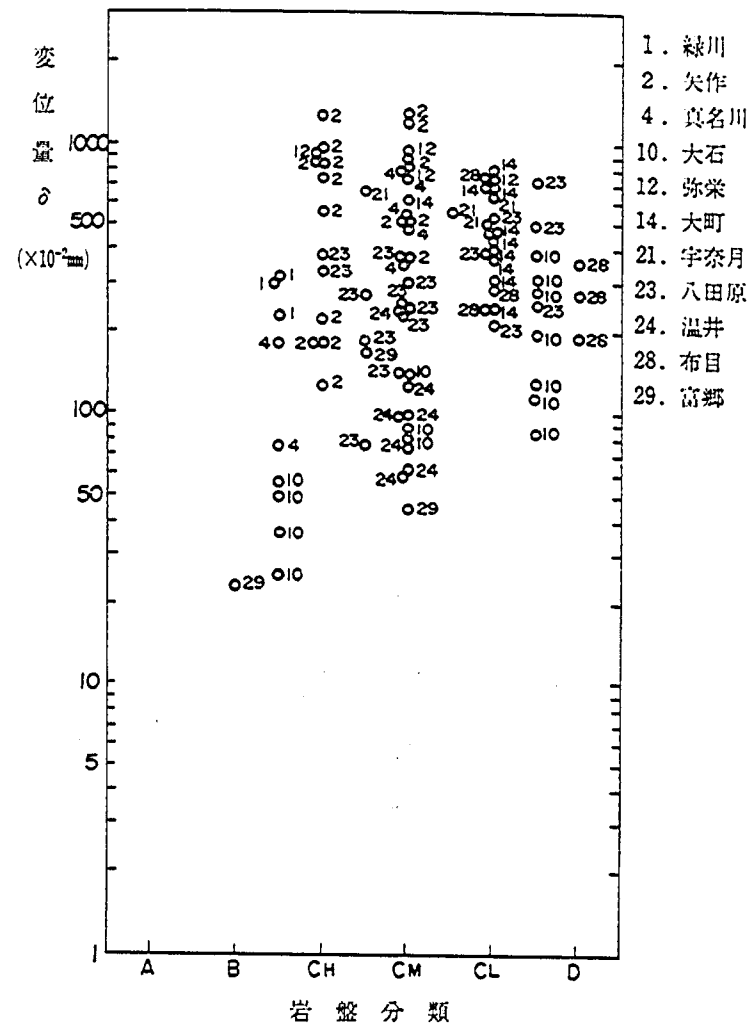


附図-7-(3), (4) せん断方向変位量

浮き上り点での変位量
火成岩、深成岩

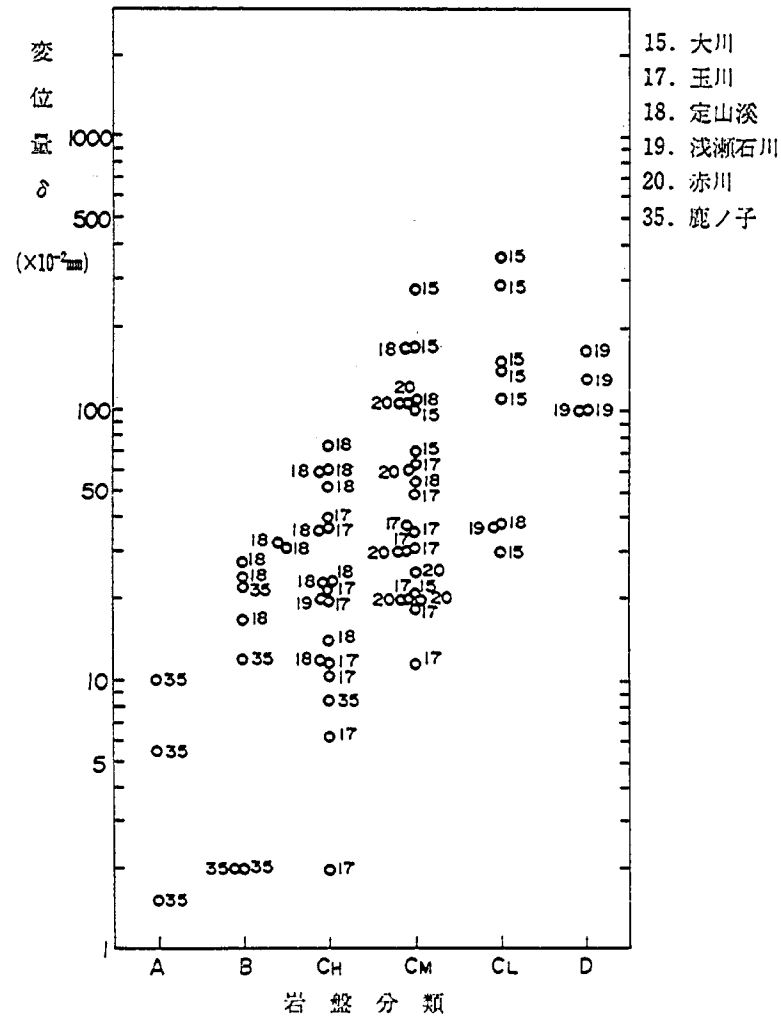


破壊点での変位量
火成岩、深成岩

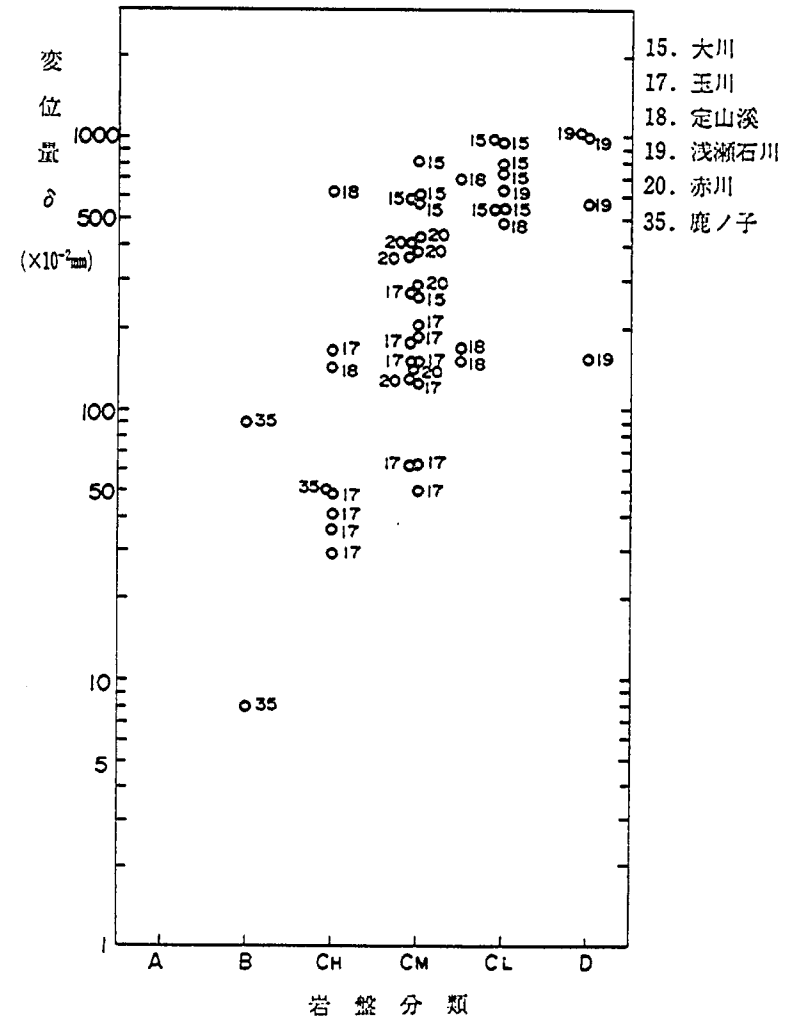


附図-7-(5), (6) せん断方向変位量

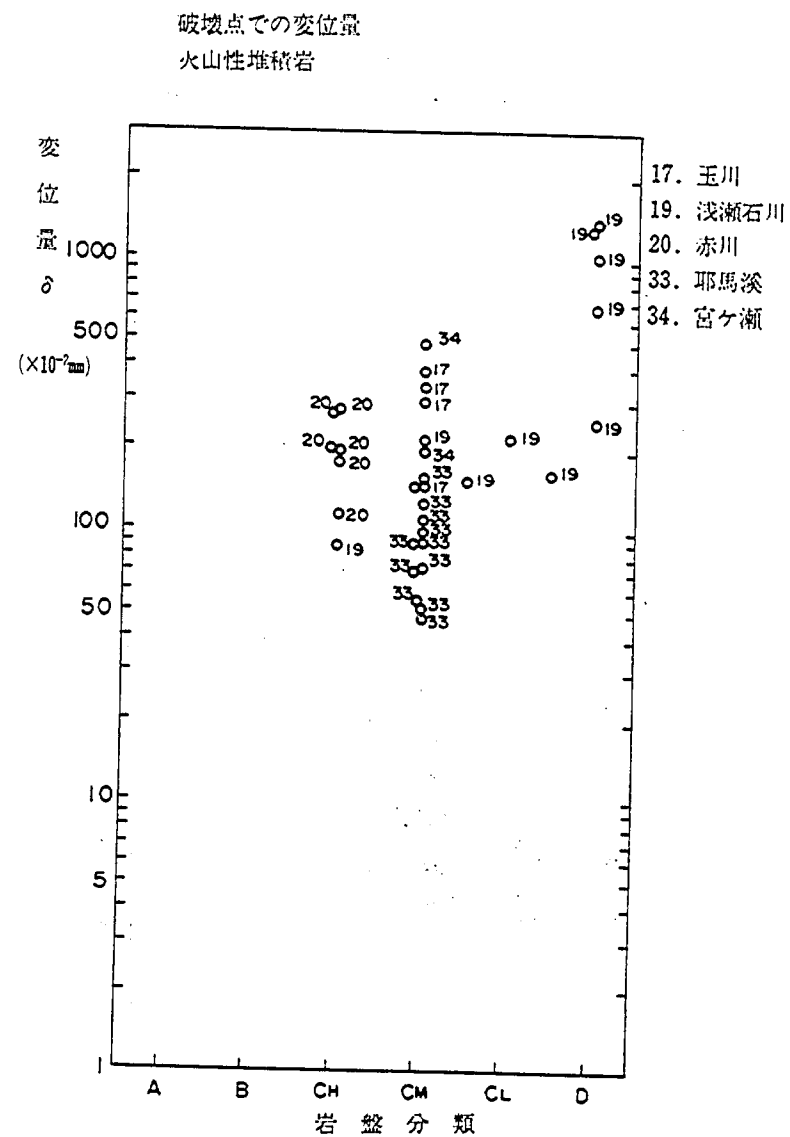
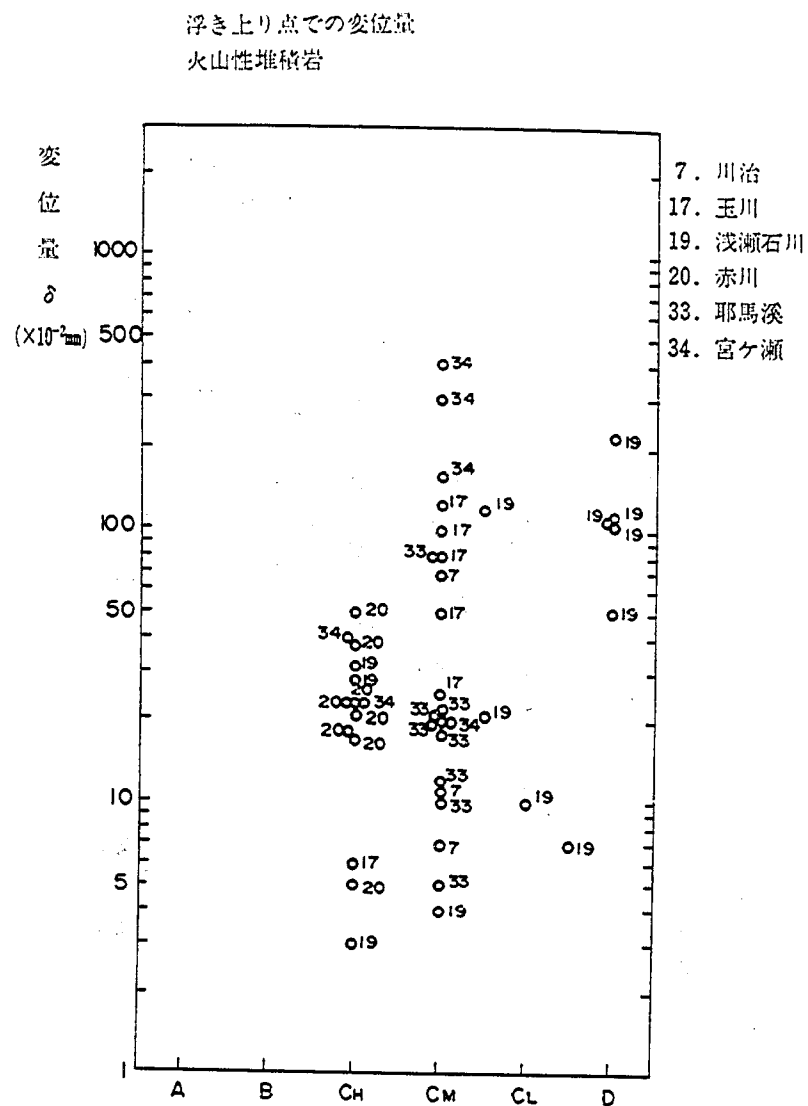
浮き上り点での変位量
火成岩、火山岩



破壊点での変位量
火成岩、火山岩

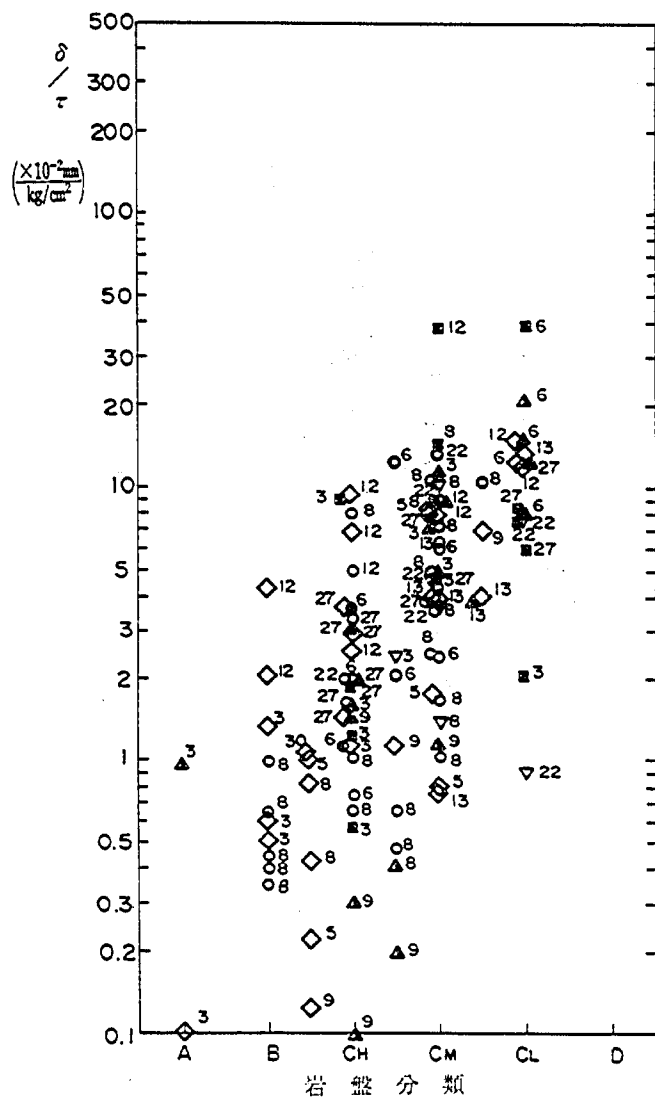


附図-7-(7), (8) せん断方向変位量

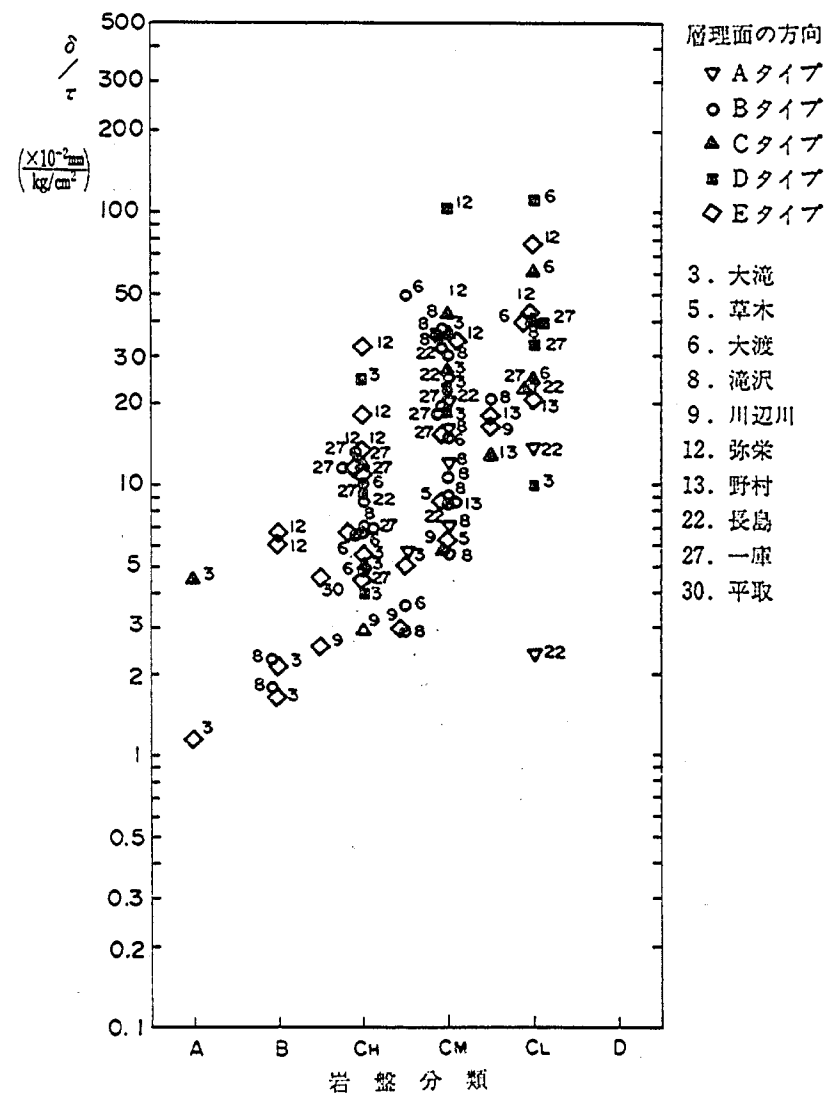


附図-7-(9), (10) せん断方向変位量

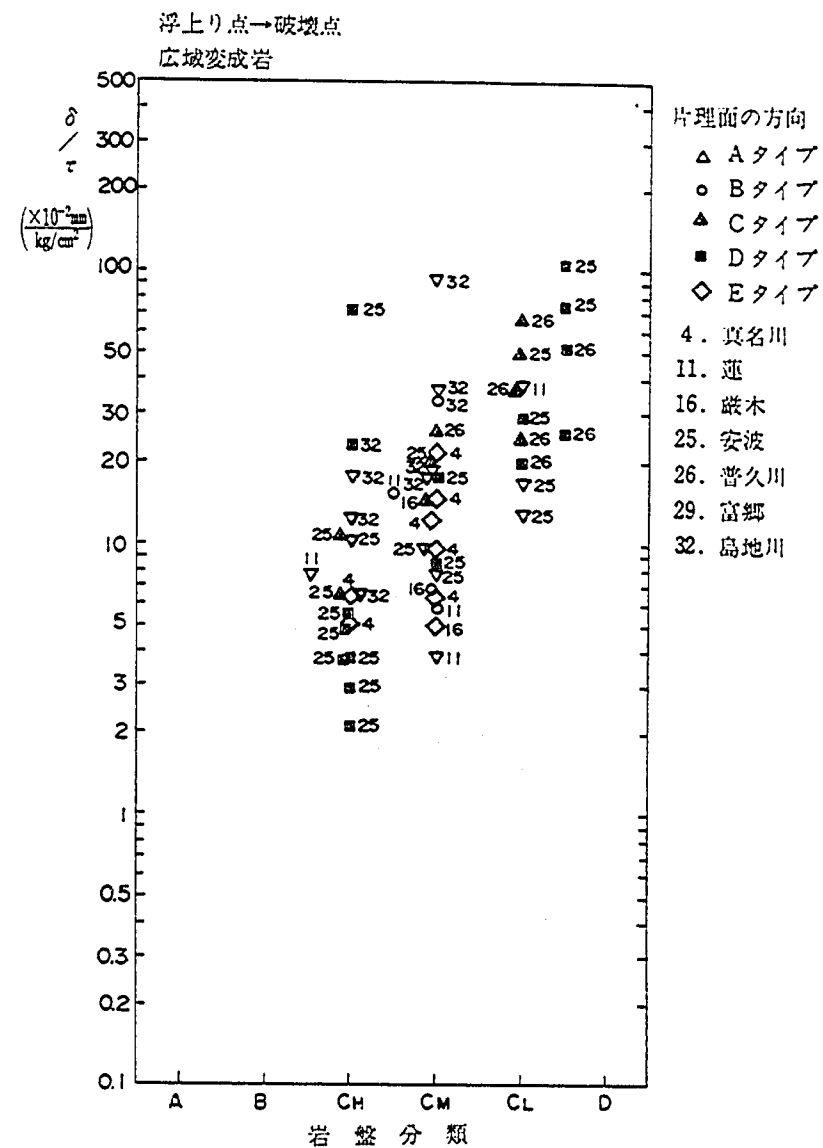
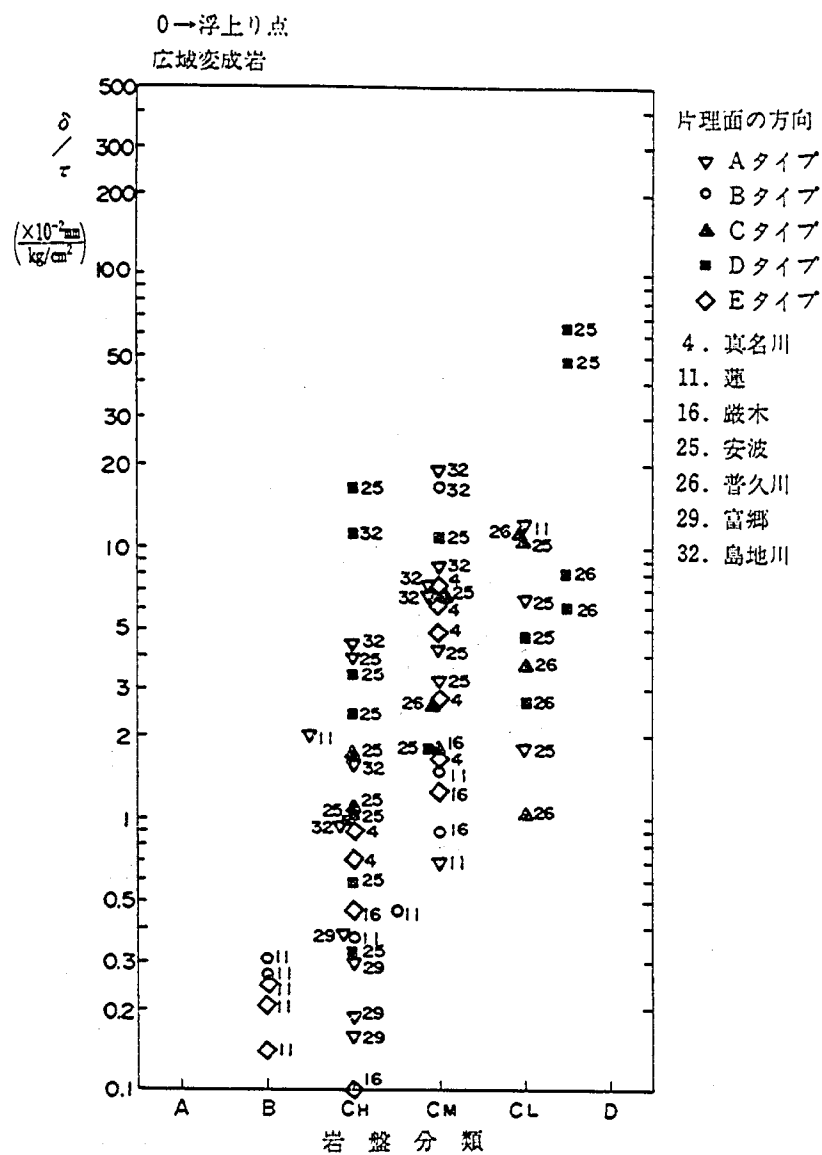
0 → 浮上り点
中・古生代堆積岩



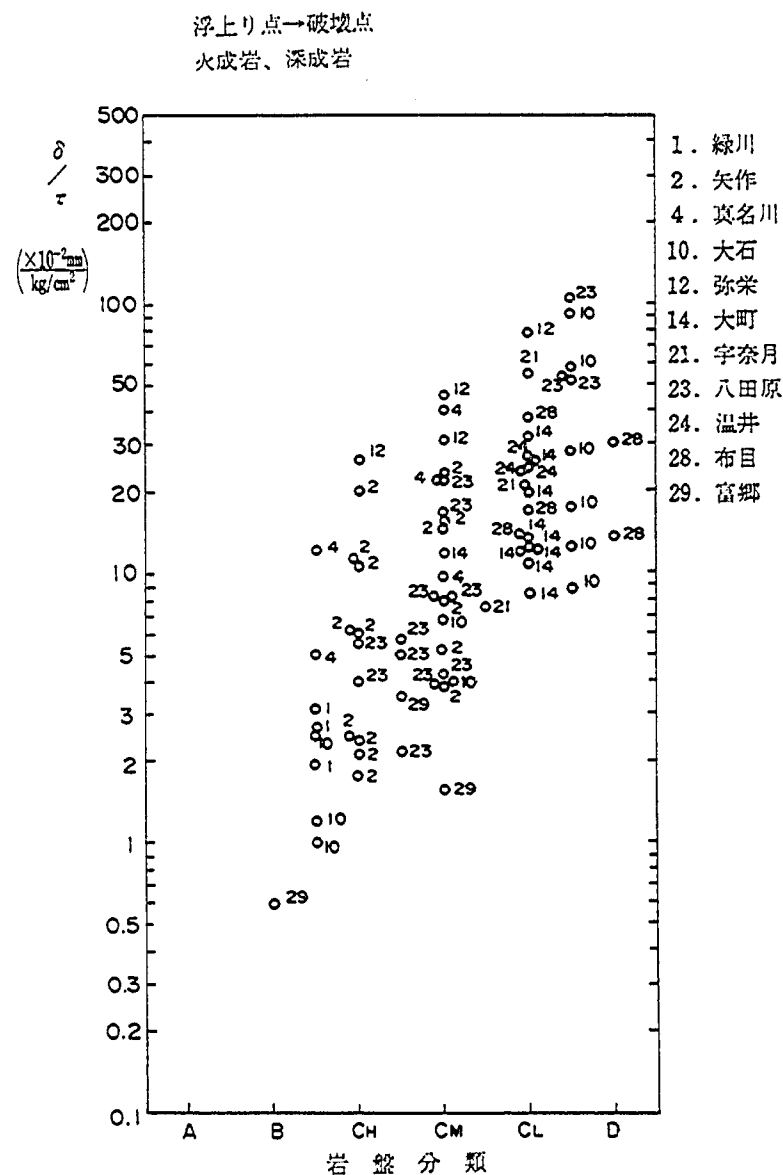
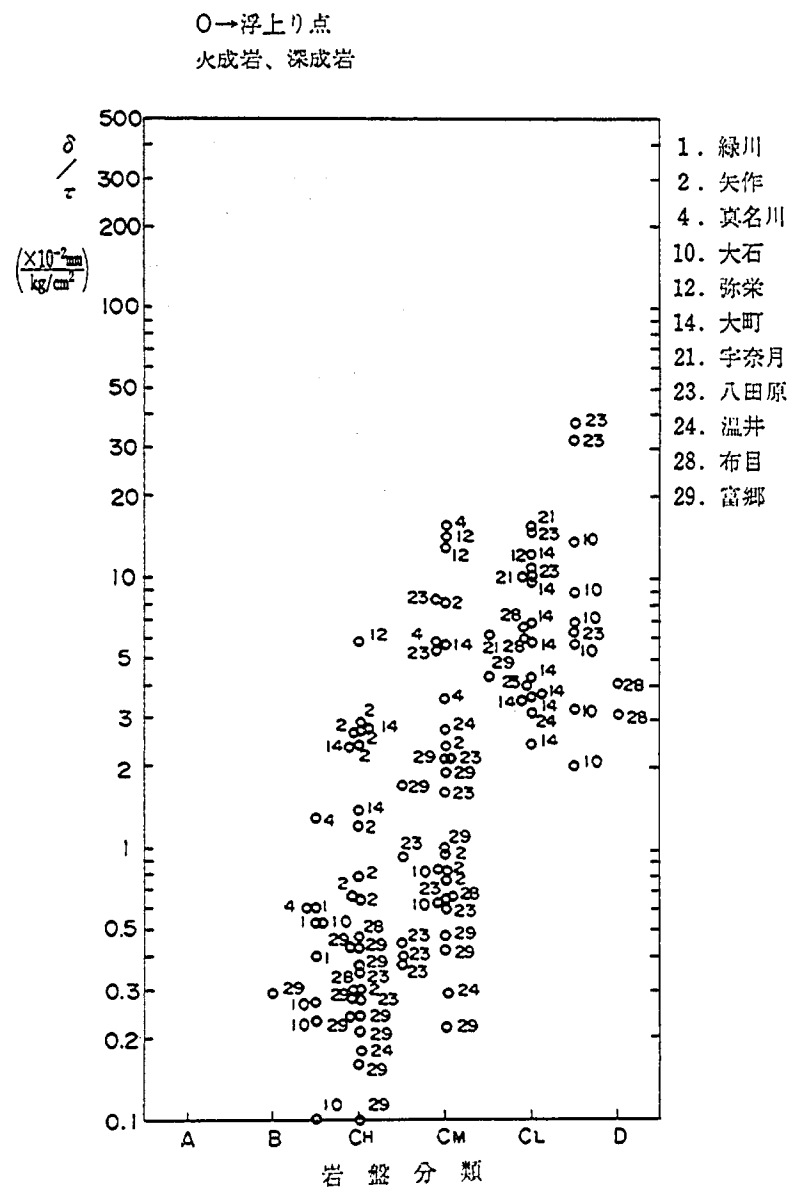
浮上り点 → 破壊点
中・古生代堆積岩



附図-8-(1), (2) 単位荷重当りのせん断変位増分

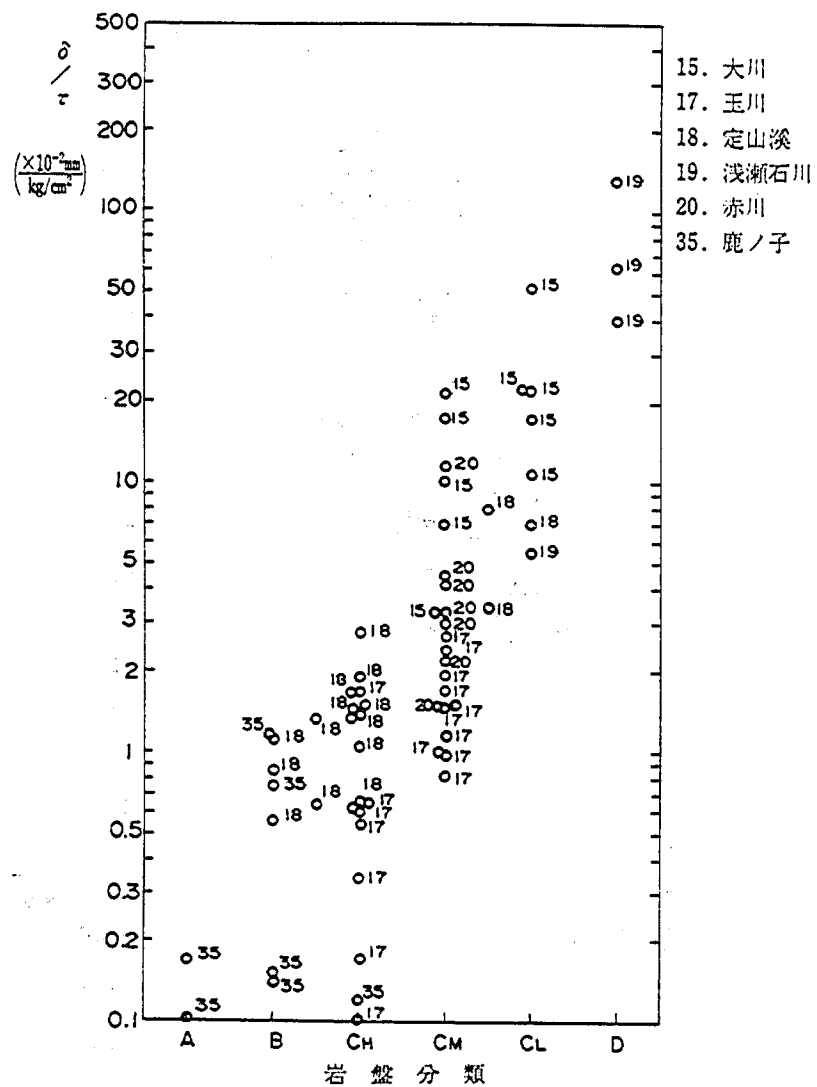


附図-8-(3), (4) 単位荷重当りのせん断変位増分

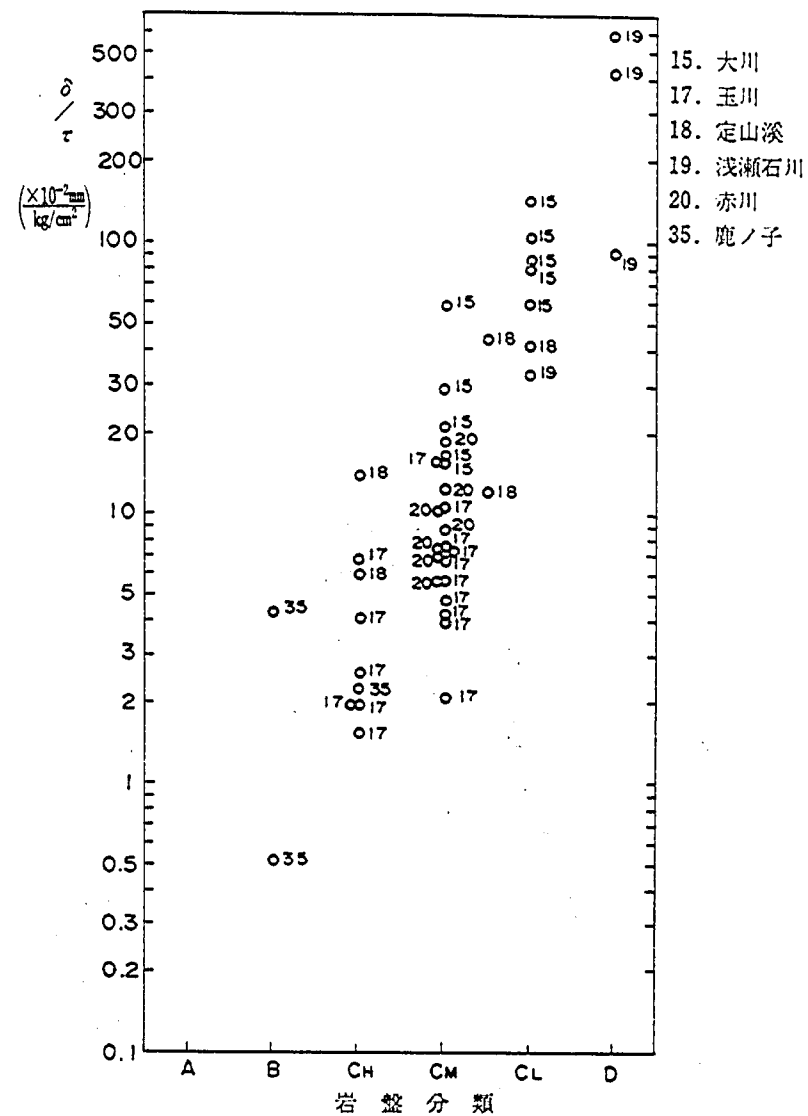


附図-8-(5), (6) 単位荷重当りのせん断変位量

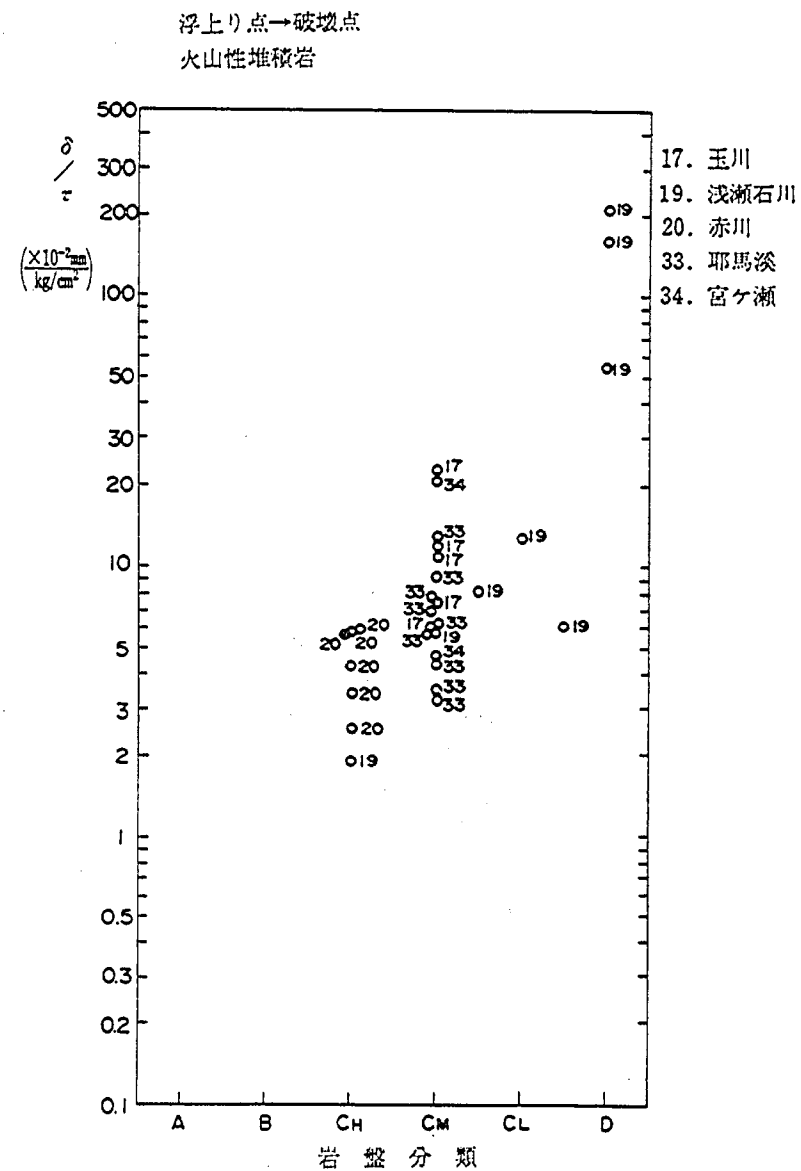
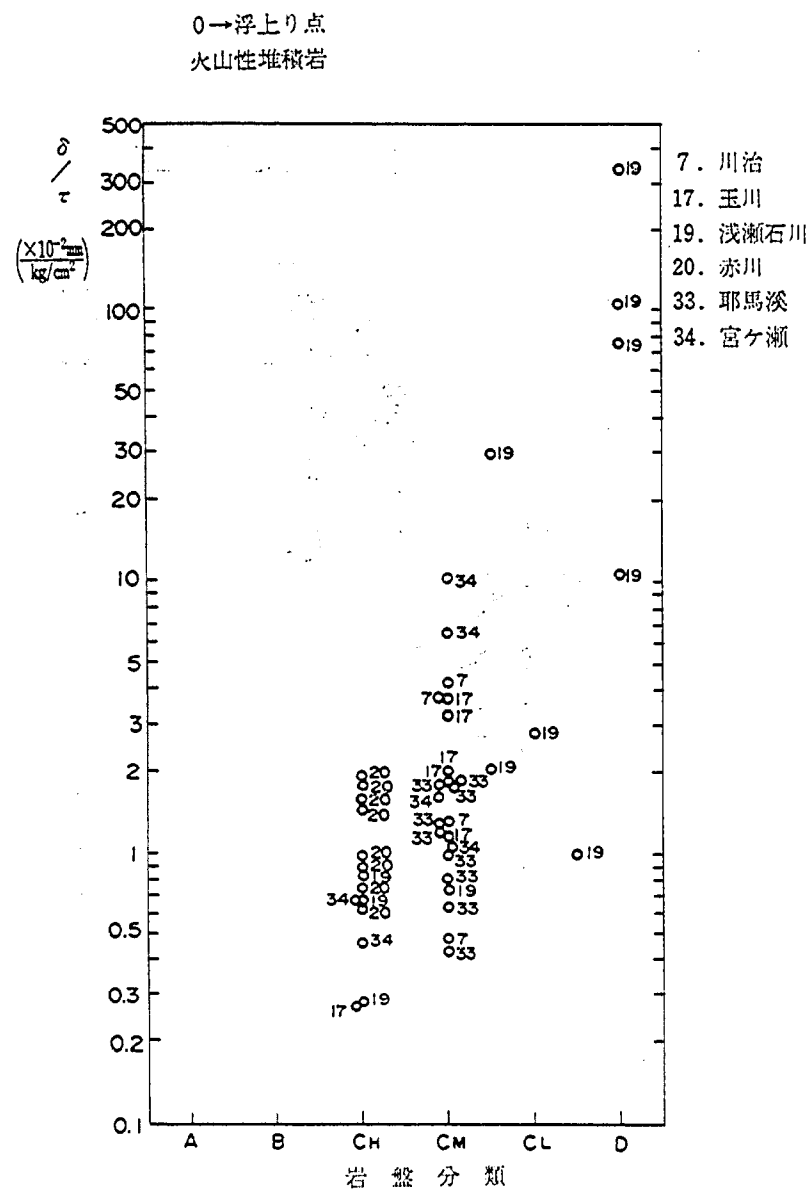
0 → 浮上り点
火成岩、火山岩



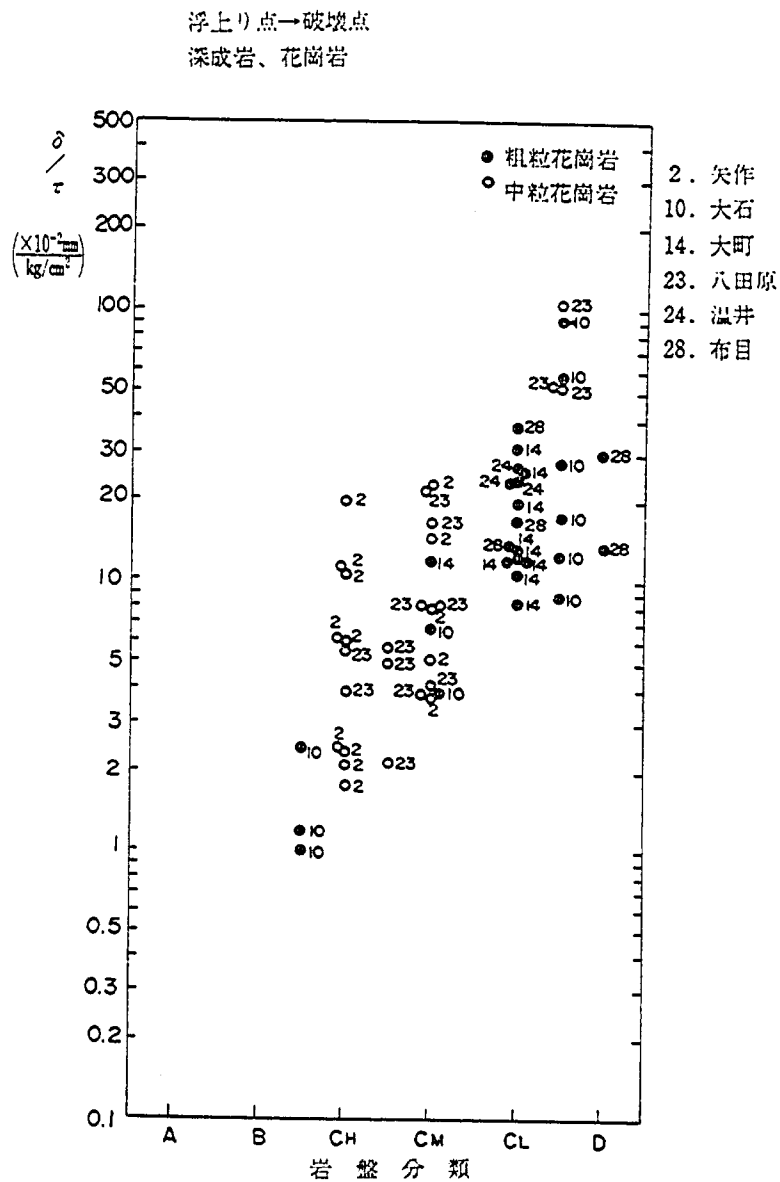
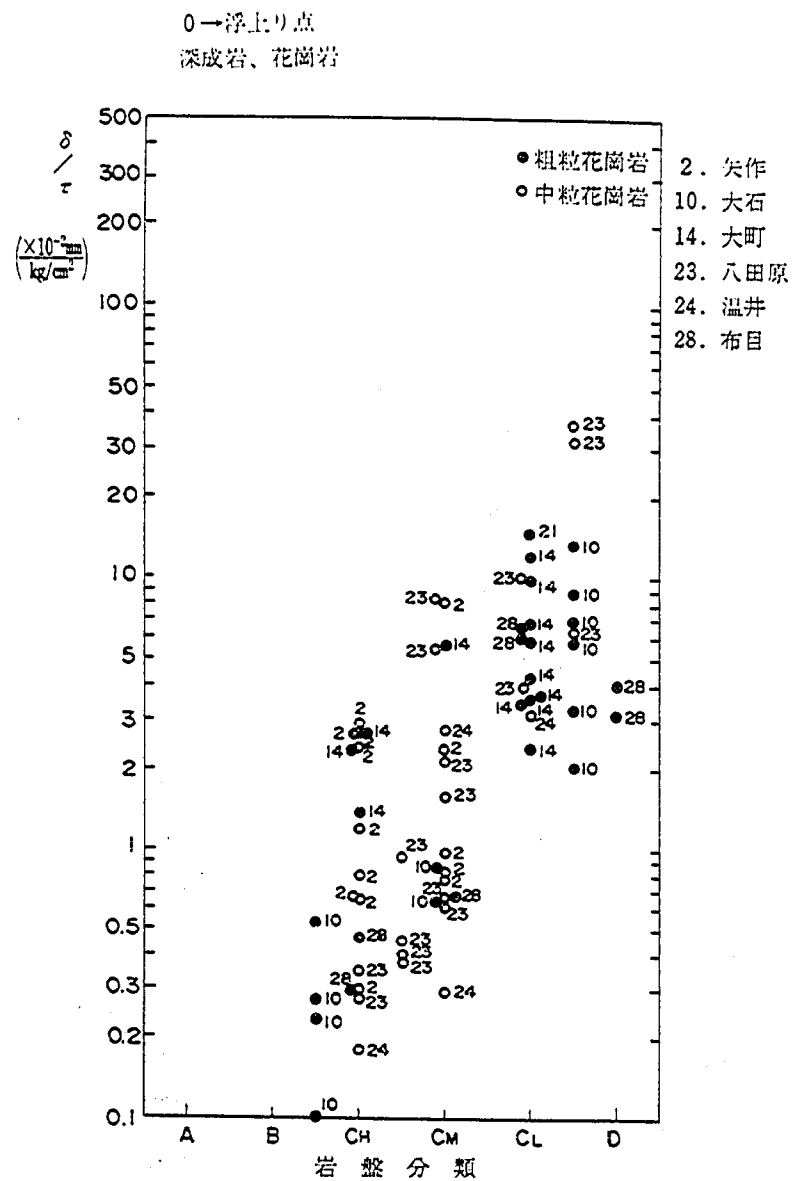
浮上り点 → 破壊点
火成岩、火山岩



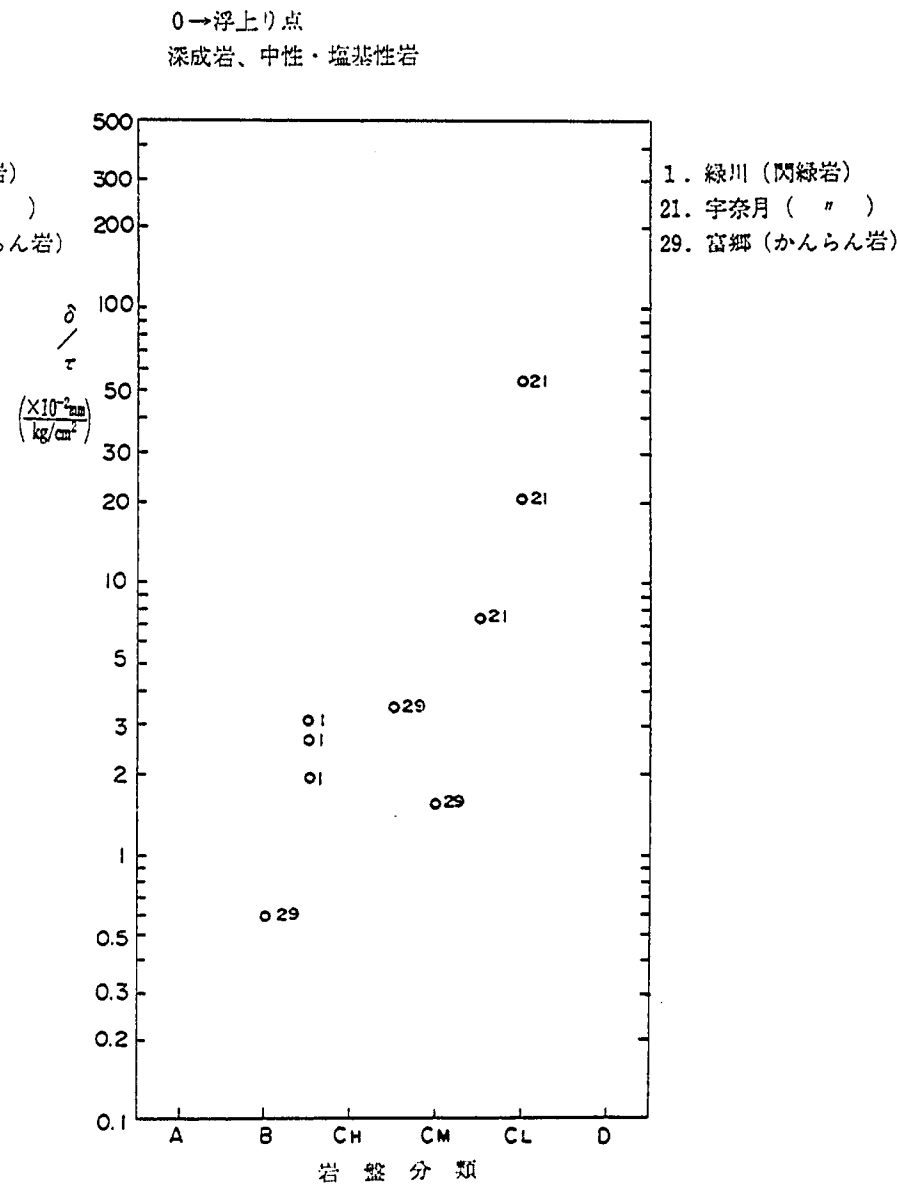
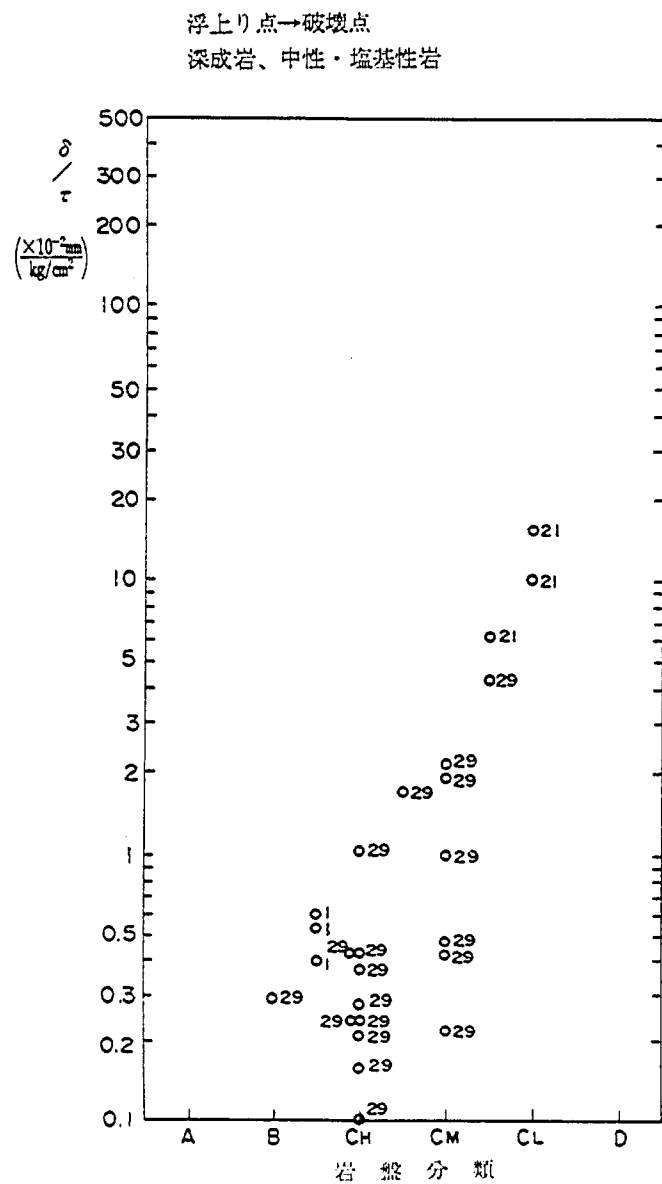
附図-8-(7), (8) 単位荷重当りのせん断変位増分



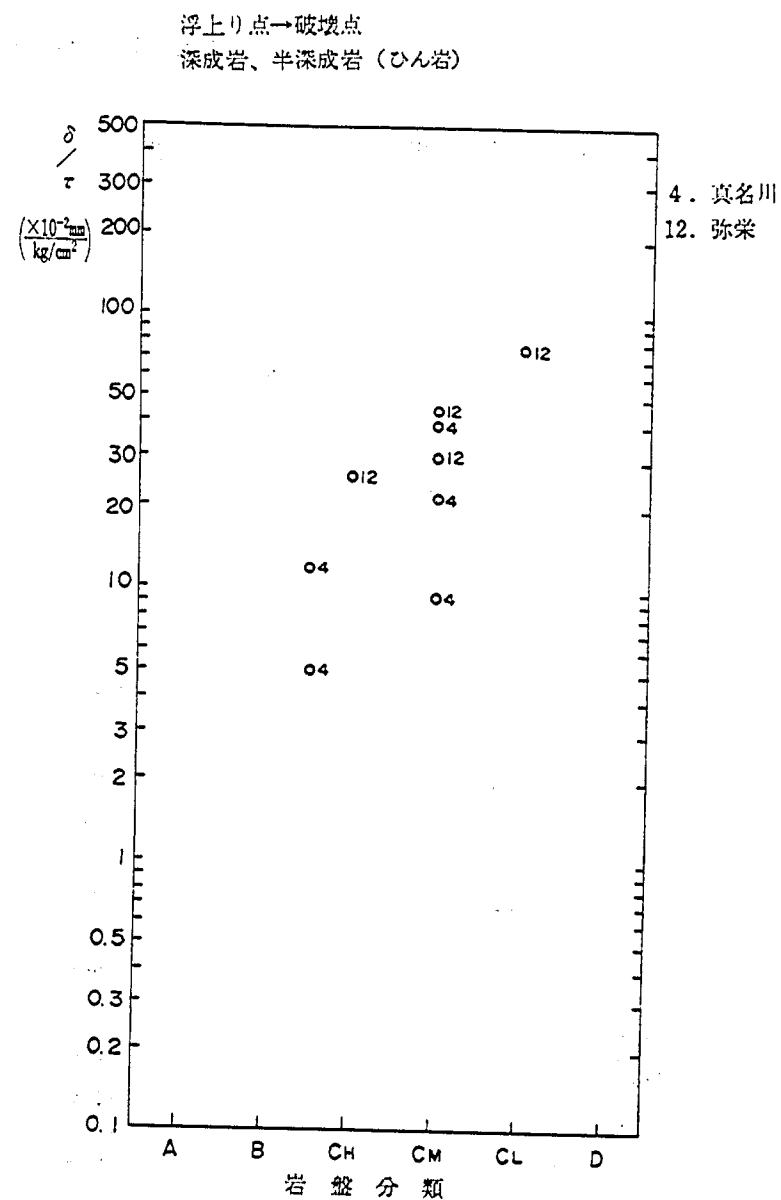
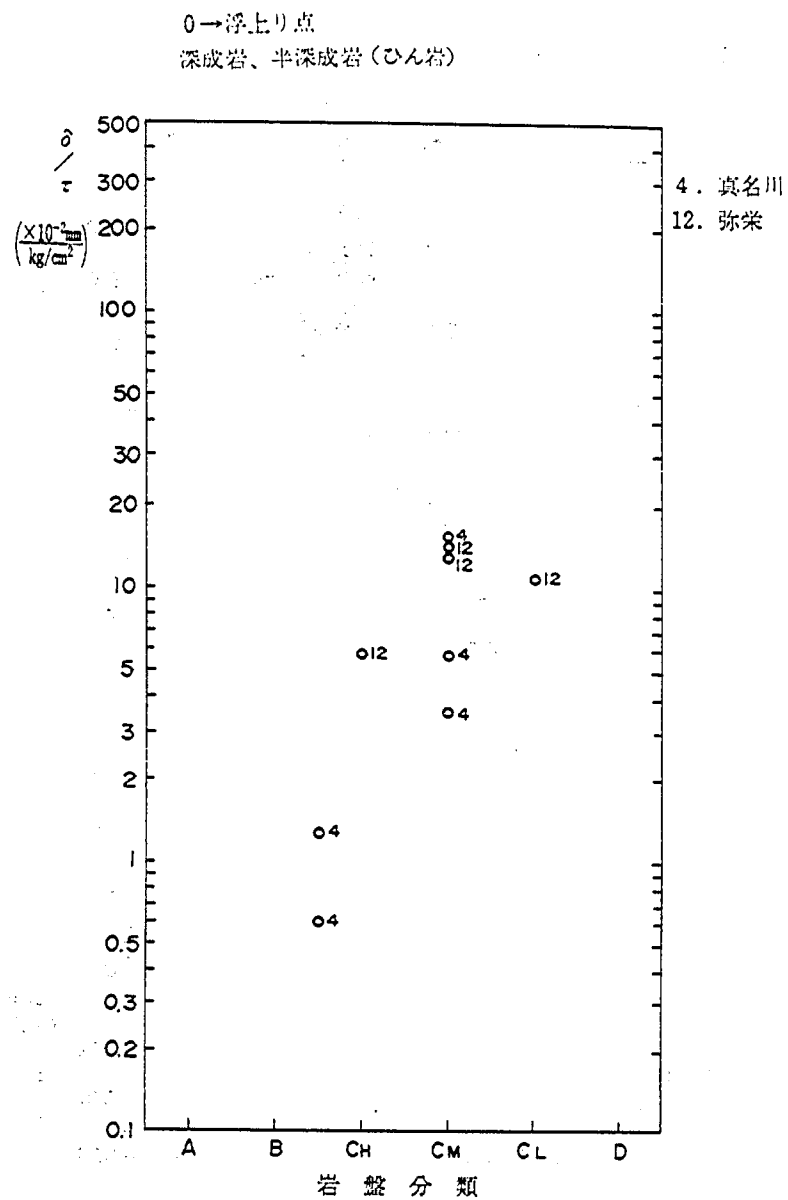
附図-8-(9), (10) 単位荷重当りのせん断変位増分



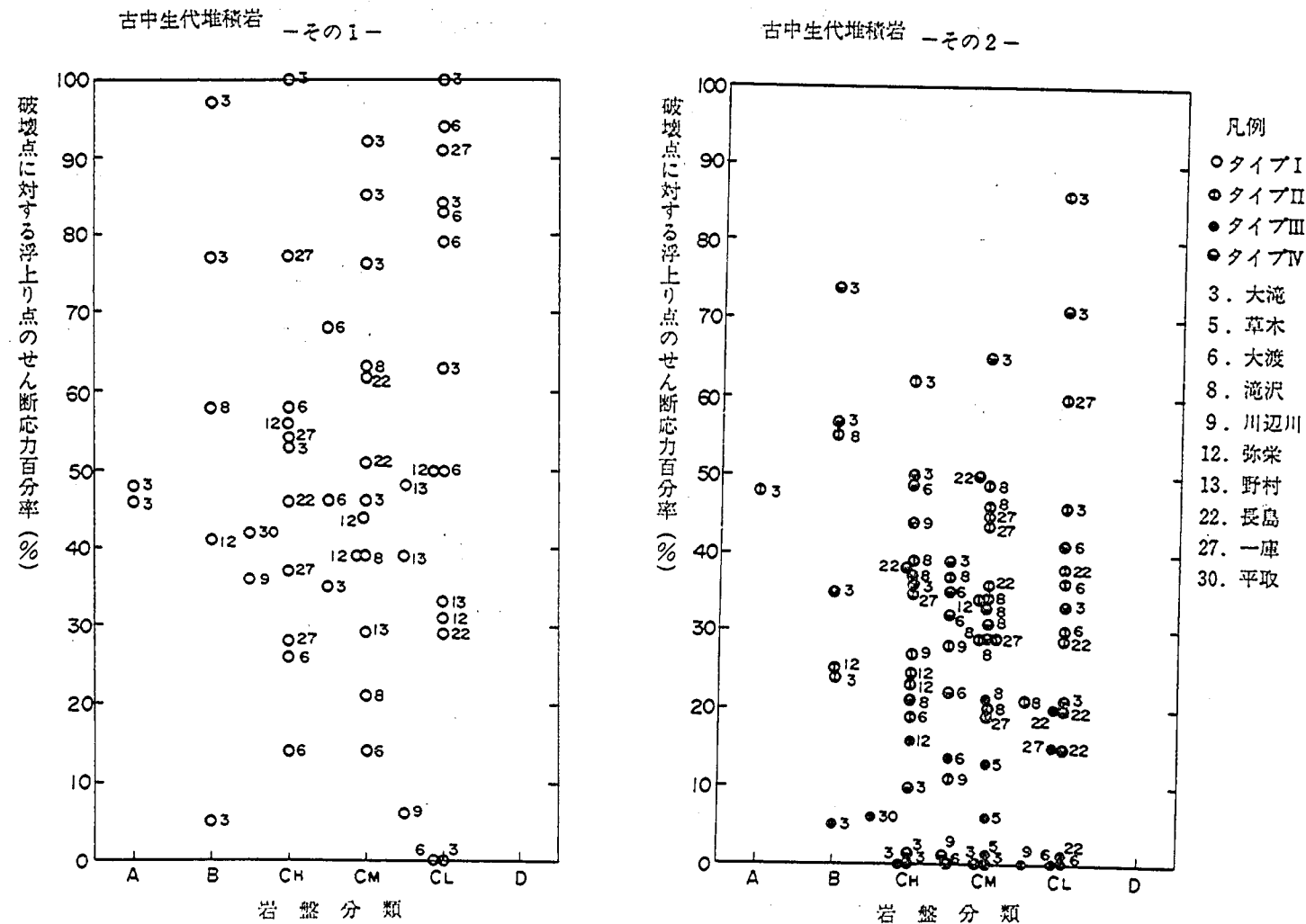
附図-9-(1), (2) 岩種別にみた単位荷重当りのせん断変位増分 (深成岩)



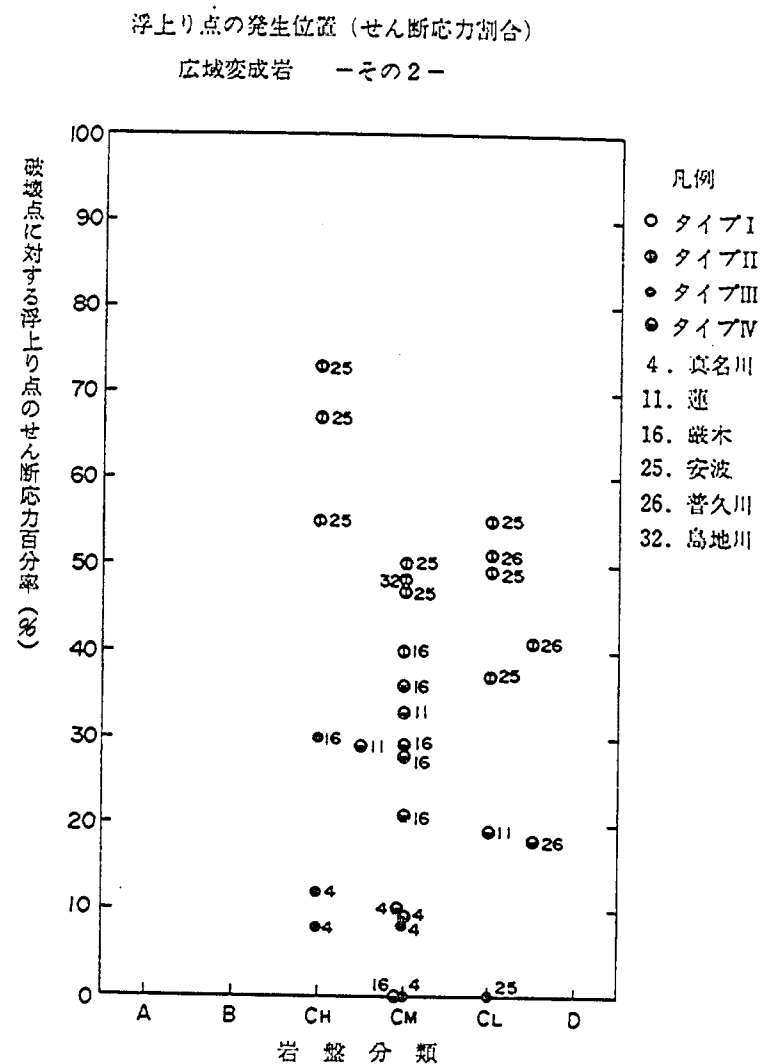
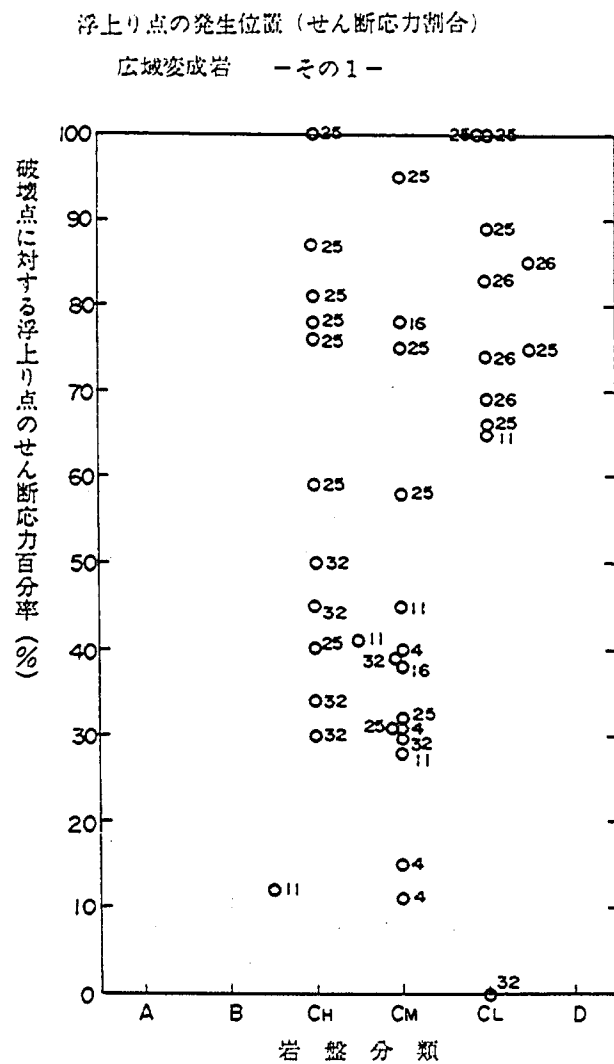
附図-9-(3), (4) 岩種別にみた単位荷重当りのせん断変位増分 (深成岩)



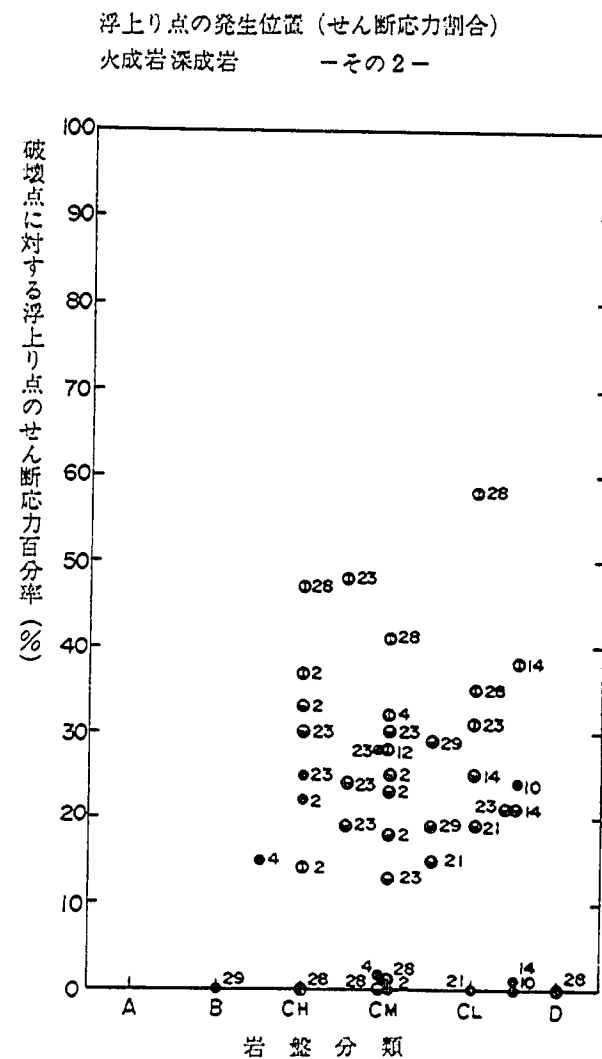
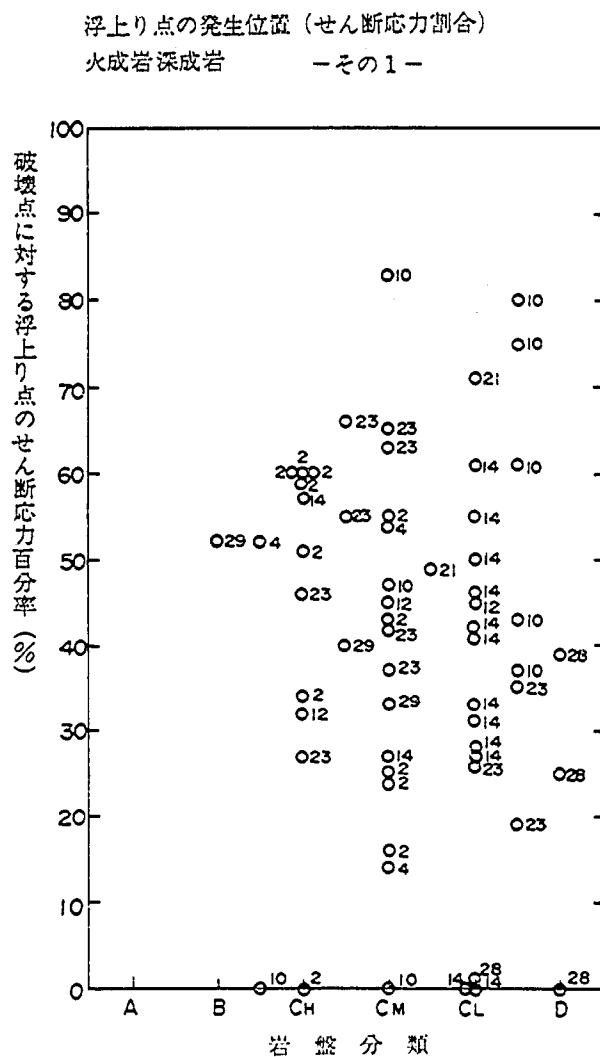
附図—9—(5), (6) 岩種別に見た単位荷重当りの変位増分（深成岩）



附図-10-(1), (2) 浮上り点応力の破壊応力に対する割合

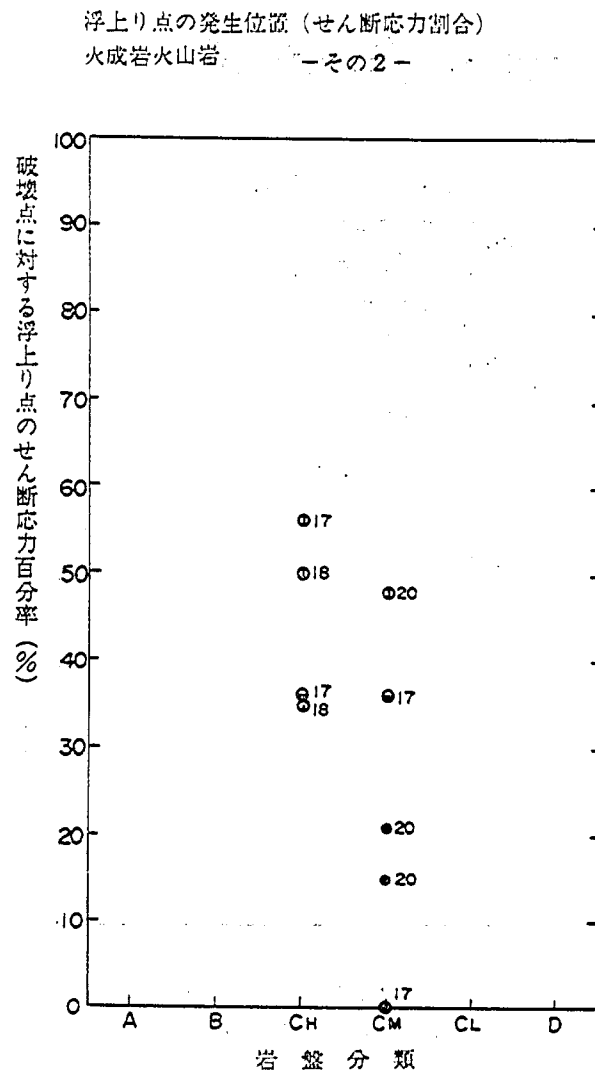
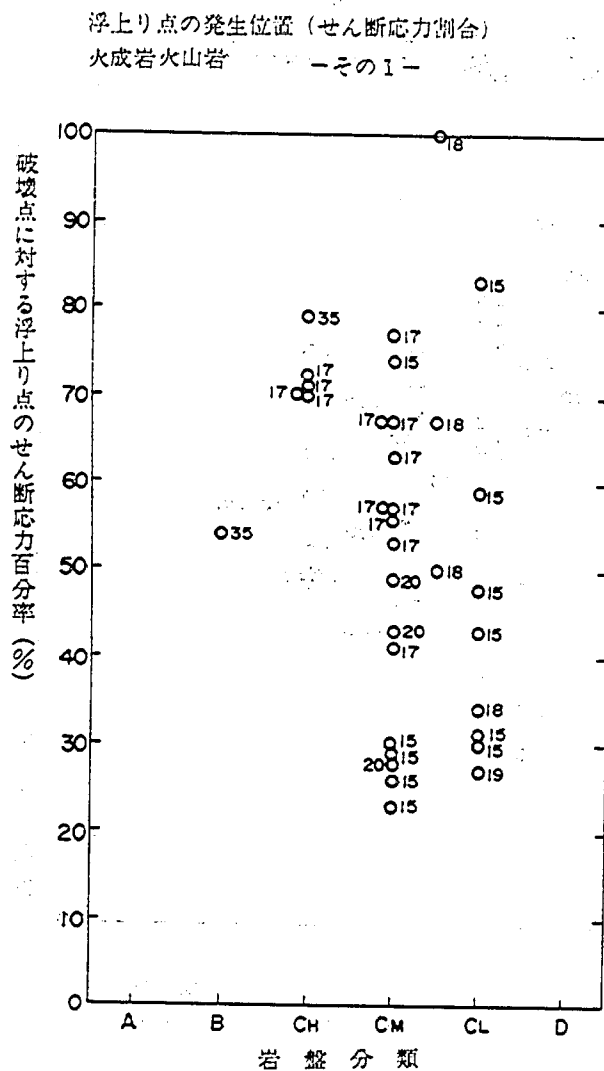


附図—10—(3), (4) 浮上り点応力の破壊応力に対する割合



- 凡例
- タイプ I
 - タイプ II
 - タイプ III
 - タイプ IV
 - 2. 矢作
 - 4. 真名川
 - 10. 大石
 - 12. 弥栄
 - 14. 大町
 - 21. 宇奈月
 - 23. 八田原
 - 28. 布目
 - 29. 富郷

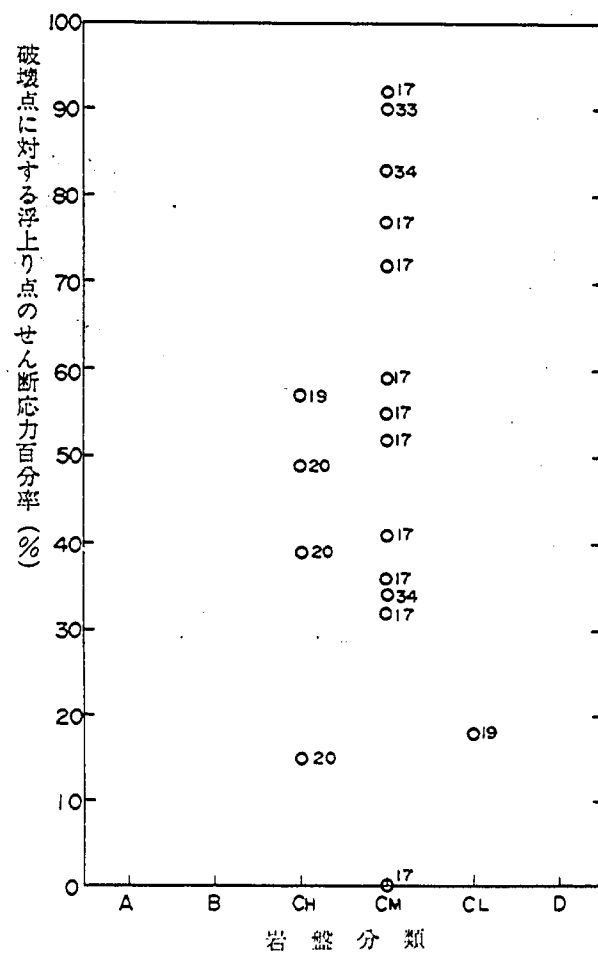
附図-10-(5), (6) 浮上り点応力の破壊応力に対する割合



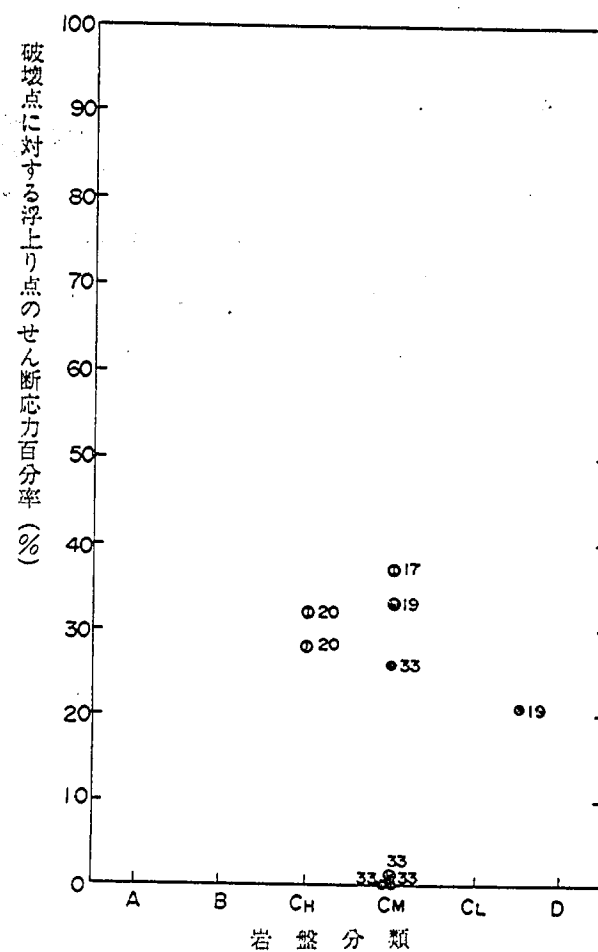
- 凡例
- タイプI
 - ⊙ タイプII
 - タイプIII
 - ⦿ タイプIV
15. 大川
17. 玉川
18. 定山溪
19. 浅瀬石川
20. 赤川
35. 鹿ノ子

附図-10-(7), (8) 浮上り点応力の破壊応力に対する割合

火山性堆積岩 - その 1 -



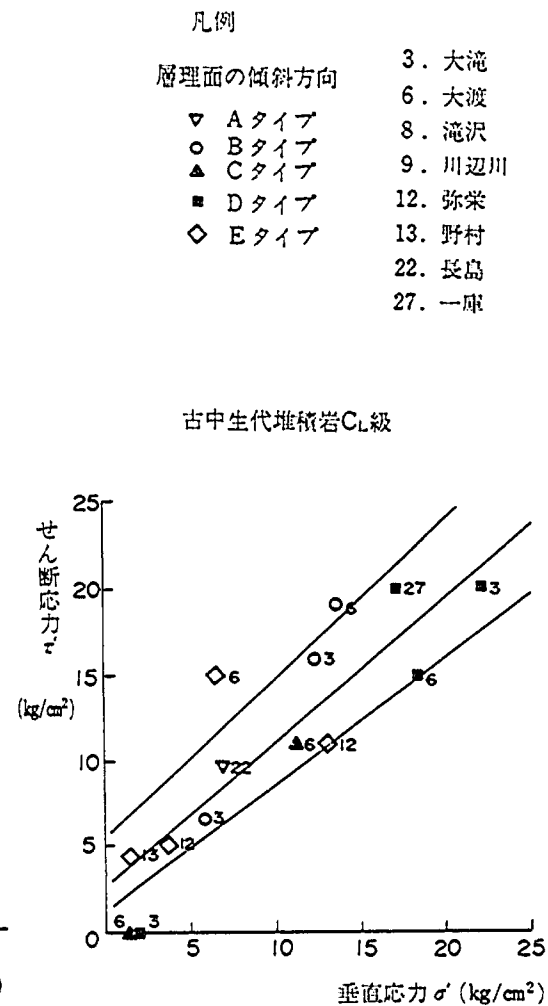
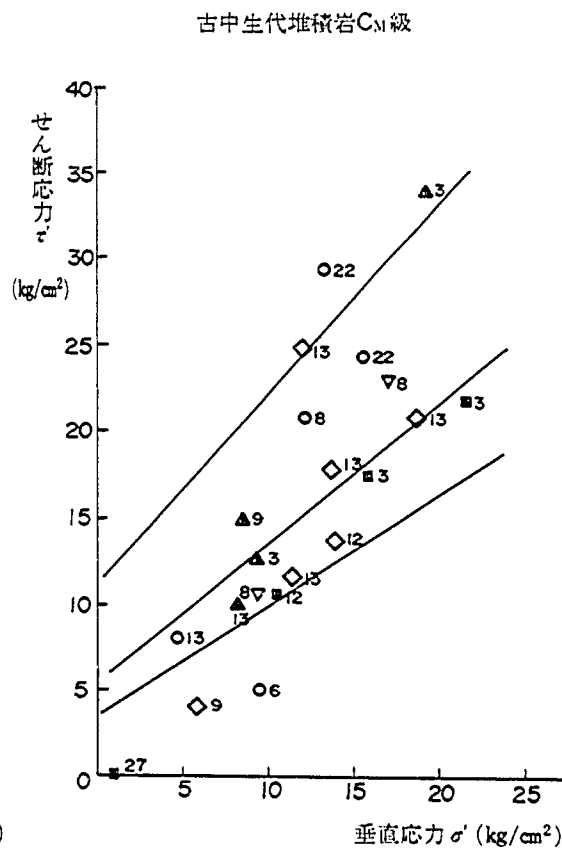
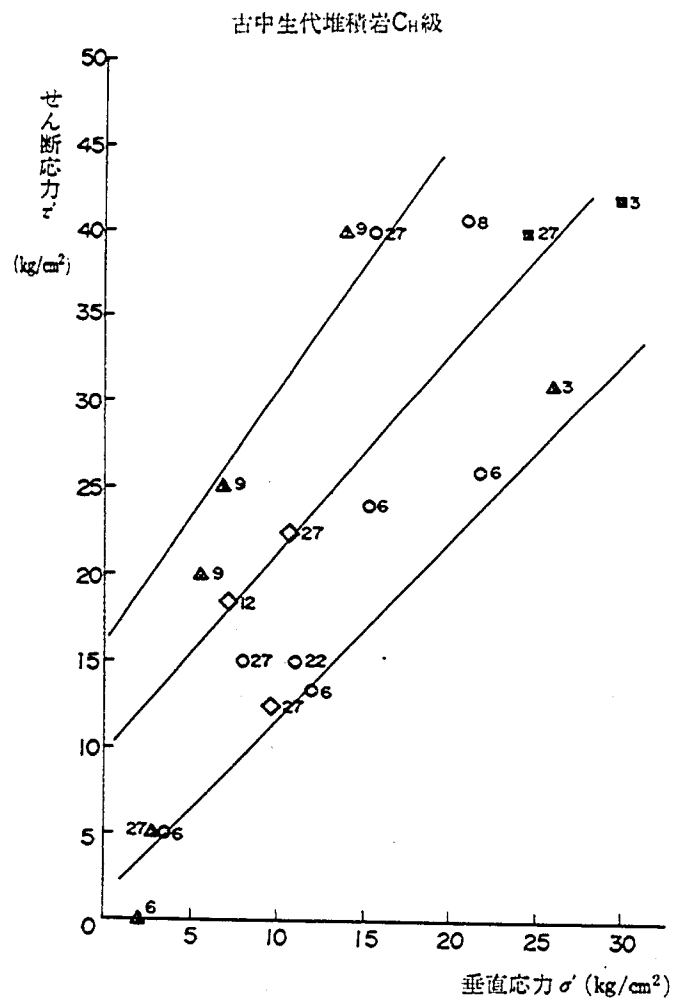
浮上り点の発生位置（せん断応力割合）
火山性堆積岩 - その 2 -



凡例

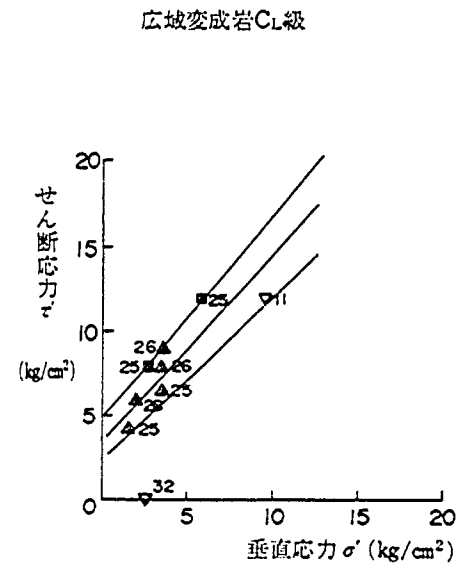
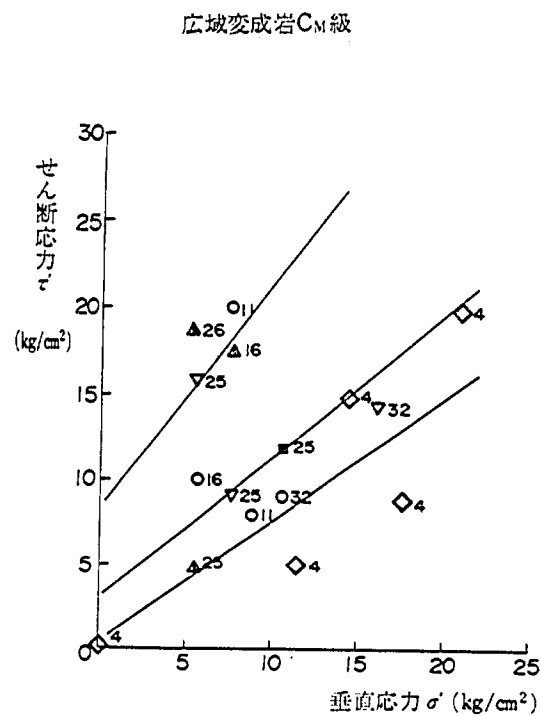
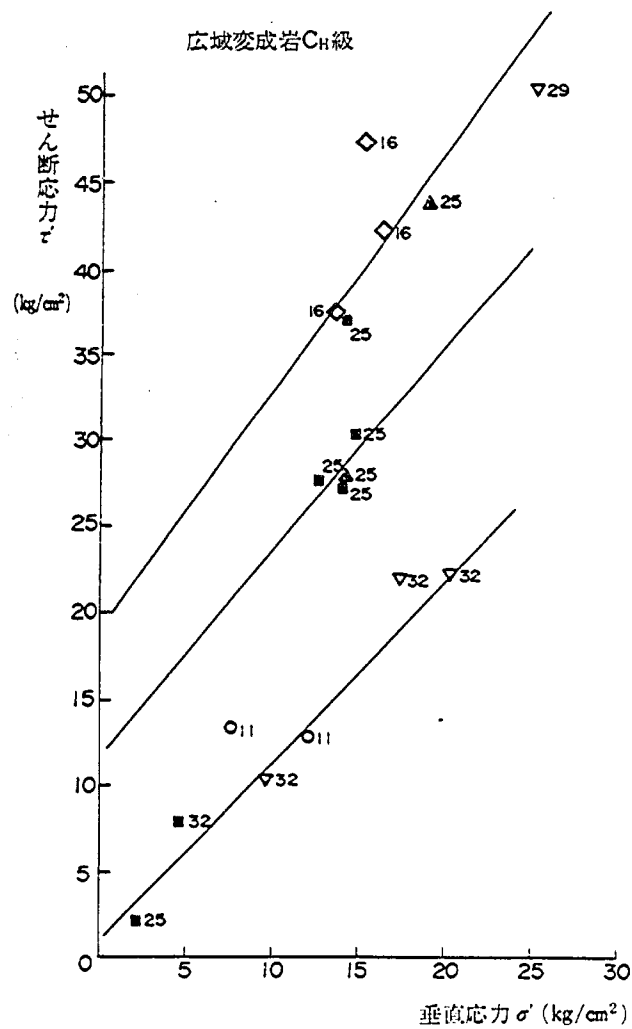
- タイプⅠ
 - タイプⅡ
 - タイプⅢ
 - タイプⅣ
17. 玉川
19. 浅瀬石川
20. 赤川
33. 耶馬溪
34. 宮ヶ瀬

附図-10-(9), (10) 浮上り点応力の破壊応力に対する割合



- 凡例
- 層理面の傾斜方向
- ▽ Aタイプ
 - Bタイプ
 - △ Cタイプ
 - Dタイプ
 - ◇ Eタイプ
- 3. 大滝
 - 6. 大渡
 - 8. 滝沢
 - 9. 川辺川
 - 12. 弥栄
 - 13. 野村
 - 22. 長島
 - 27. 一庫

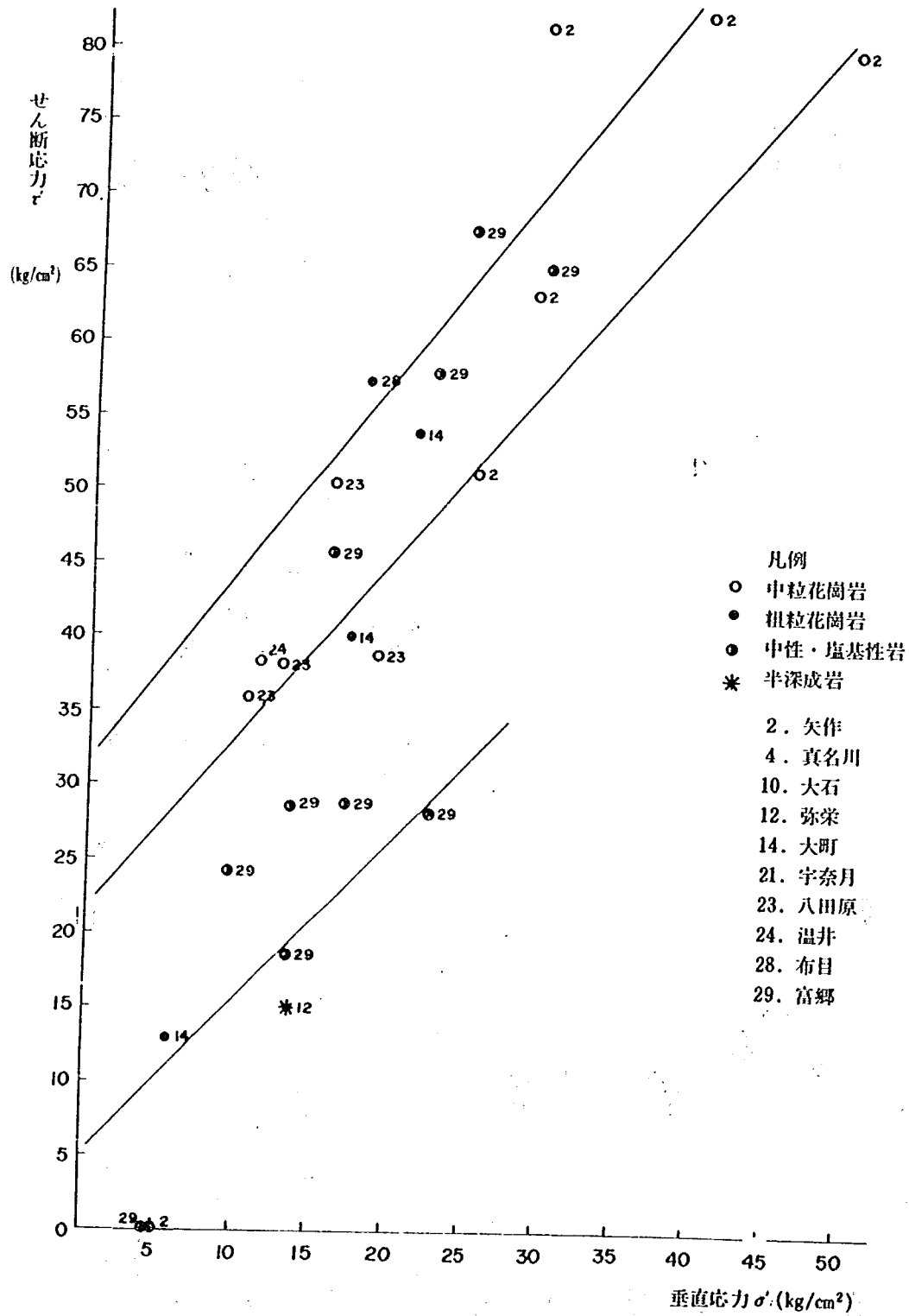
附図-11-(1), (2), (3) 浮上り点でのせん断強度



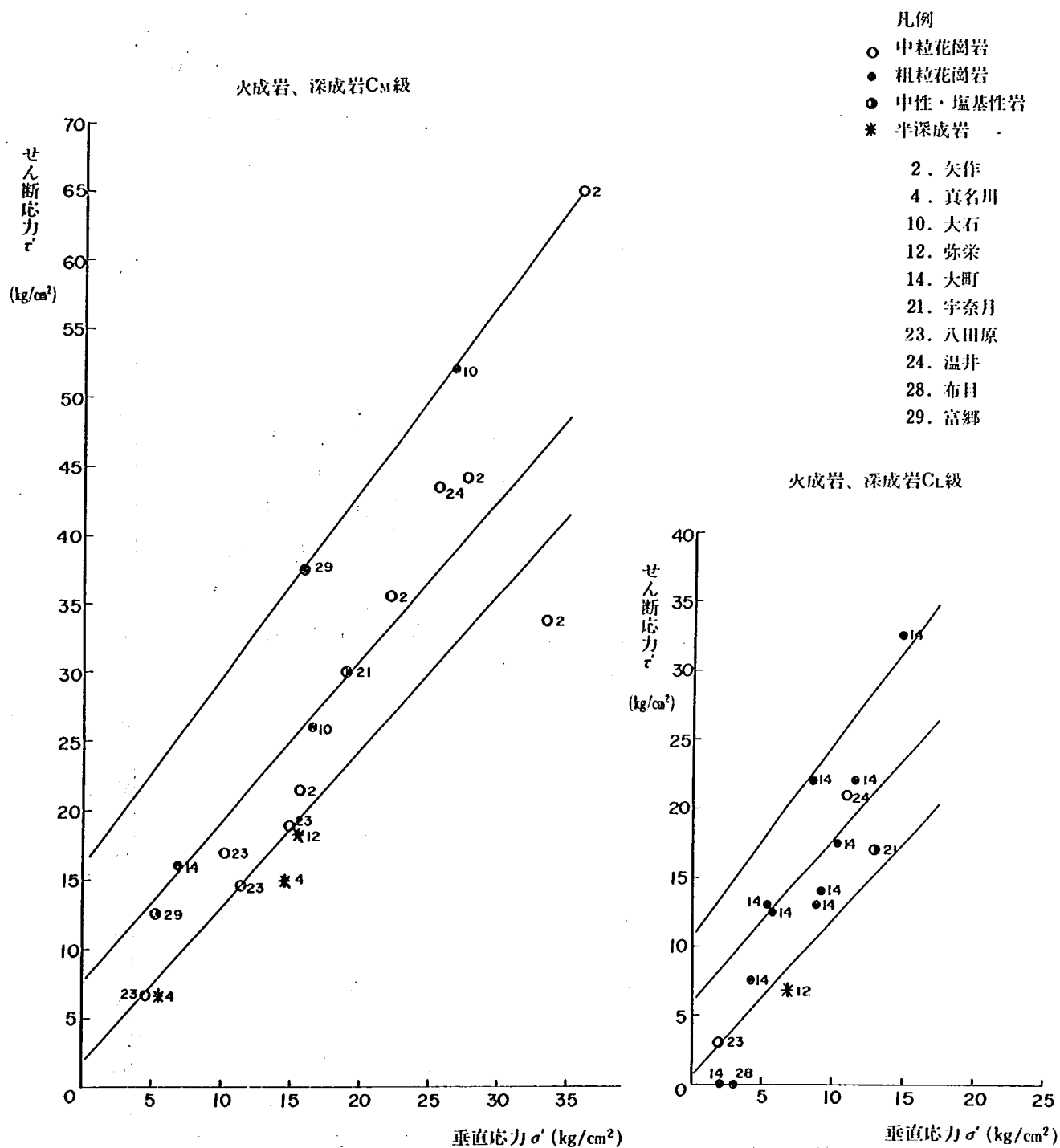
- 凡例
- 片理面の傾斜方向
- ▽ Aタイプ
 - Bタイプ
 - △ Cタイプ
 - Dタイプ
 - ◇ Eタイプ
- 4. 真名川
 - 11. 速
 - 16. 巖木
 - 25. 安波
 - 26. 普久川
 - 29. 富郷
 - 32. 島地川

附図-11-(4), (5), (6) 浮上り点でのせん断強度

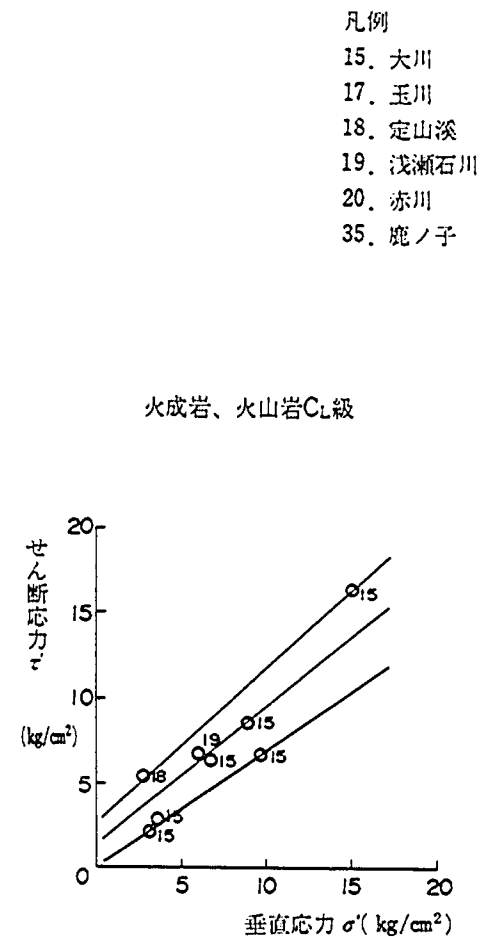
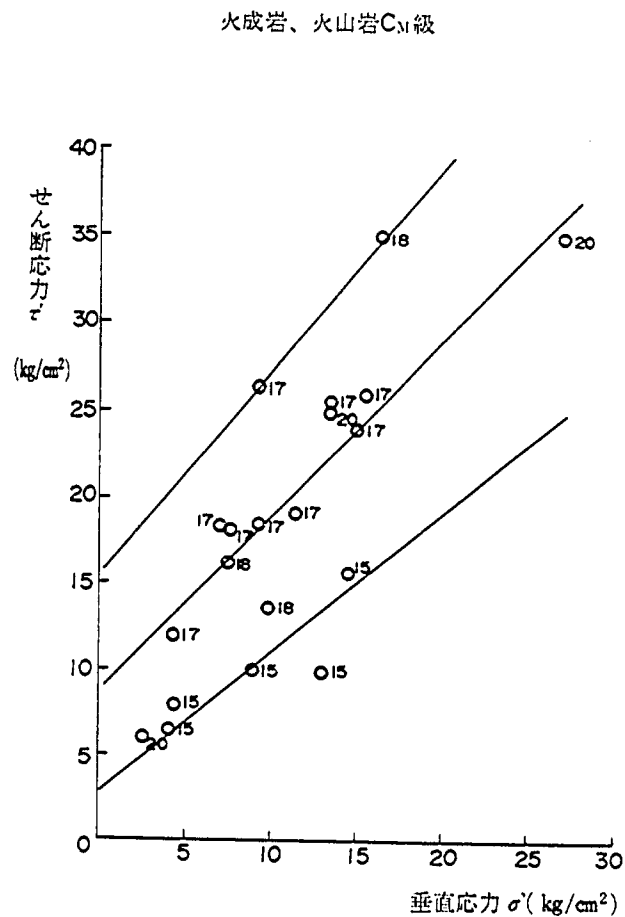
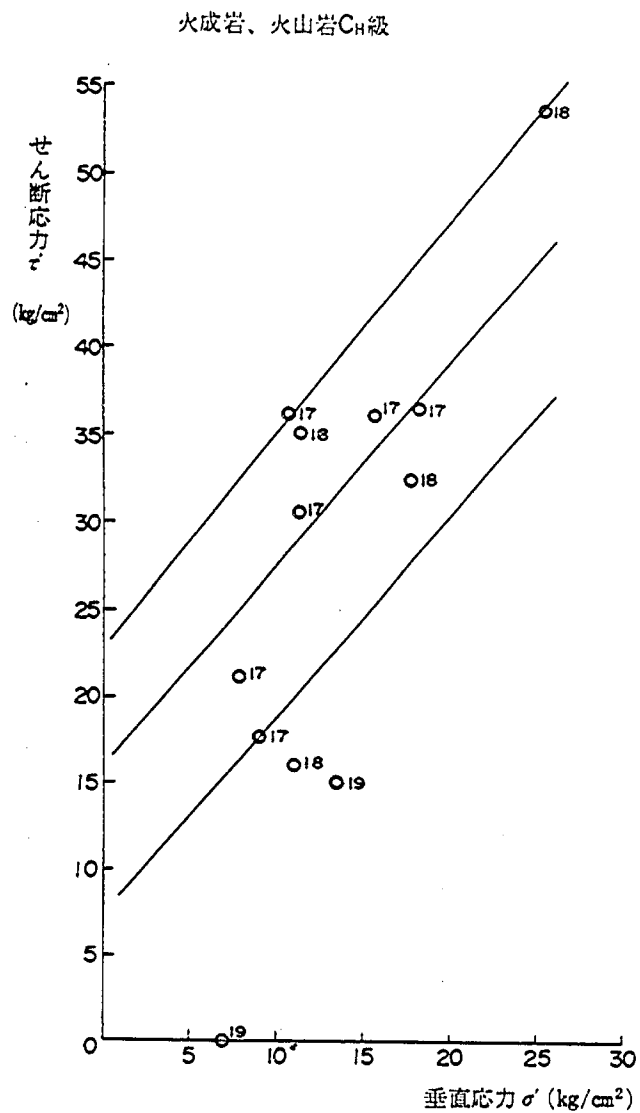
火成岩、深成岩C_{II}級



附図一 11-(7) 浮上り点でのせん断強度

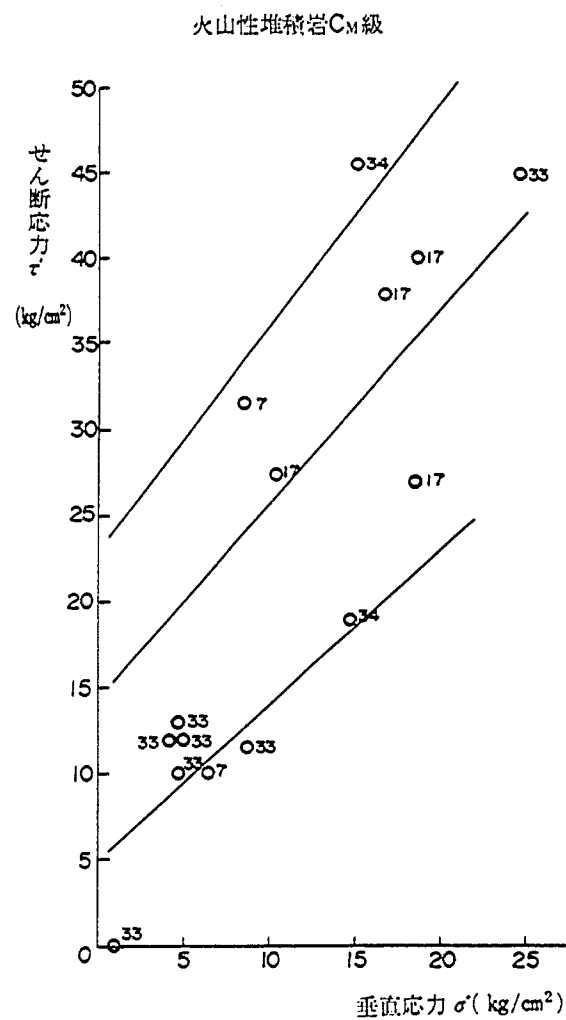
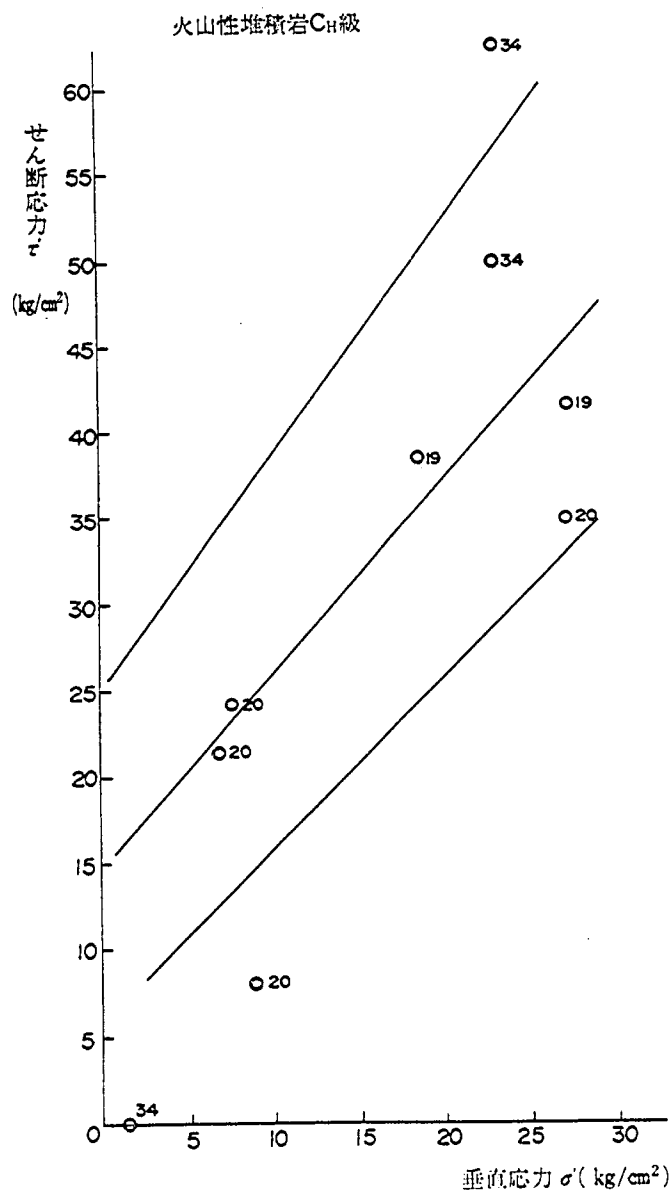


附図一11-(8), (9) 浮上り点でのせん断強度



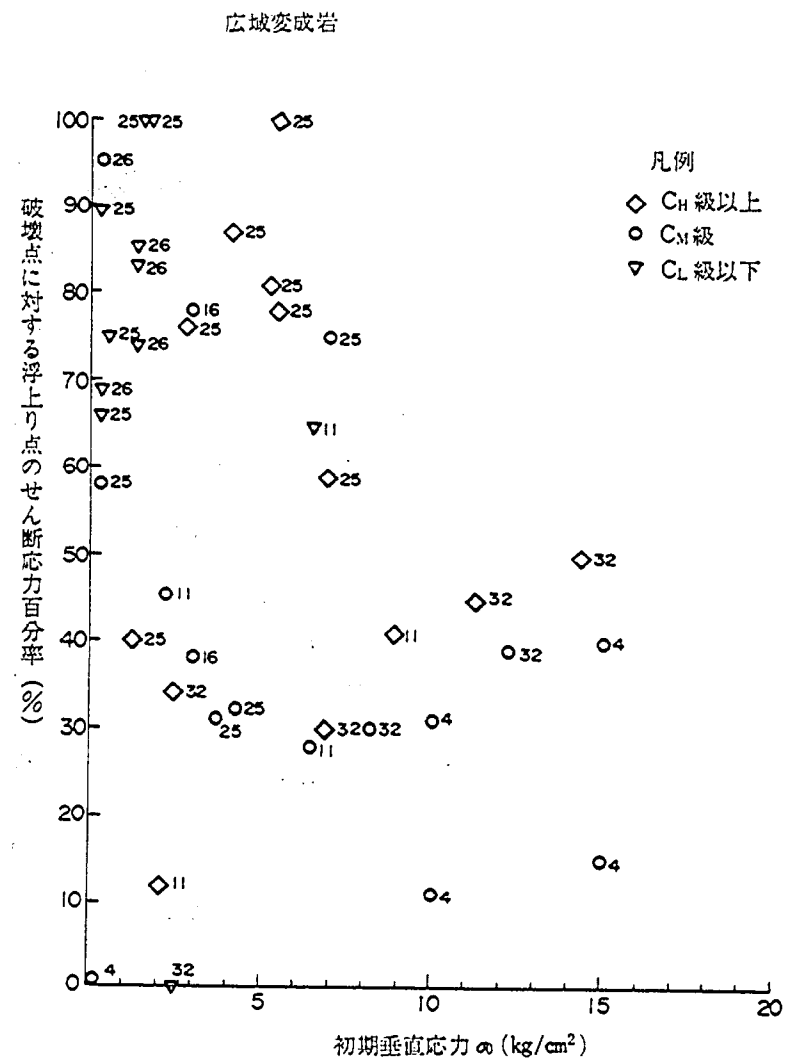
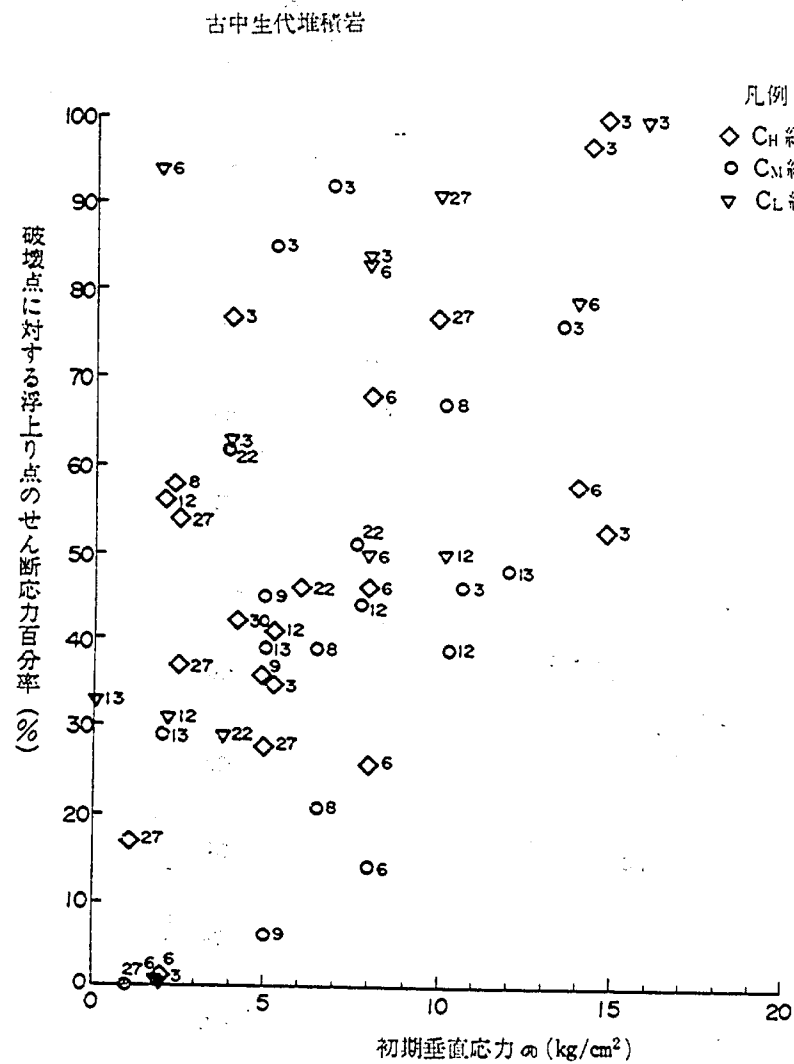
- 凡例
- 15. 大川
 - 17. 玉川
 - 18. 定山溪
 - 19. 浅瀬石川
 - 20. 赤川
 - 35. 鹿ノ子

附図—11—(10), (11), (12) 浮上り点でのせん断強度

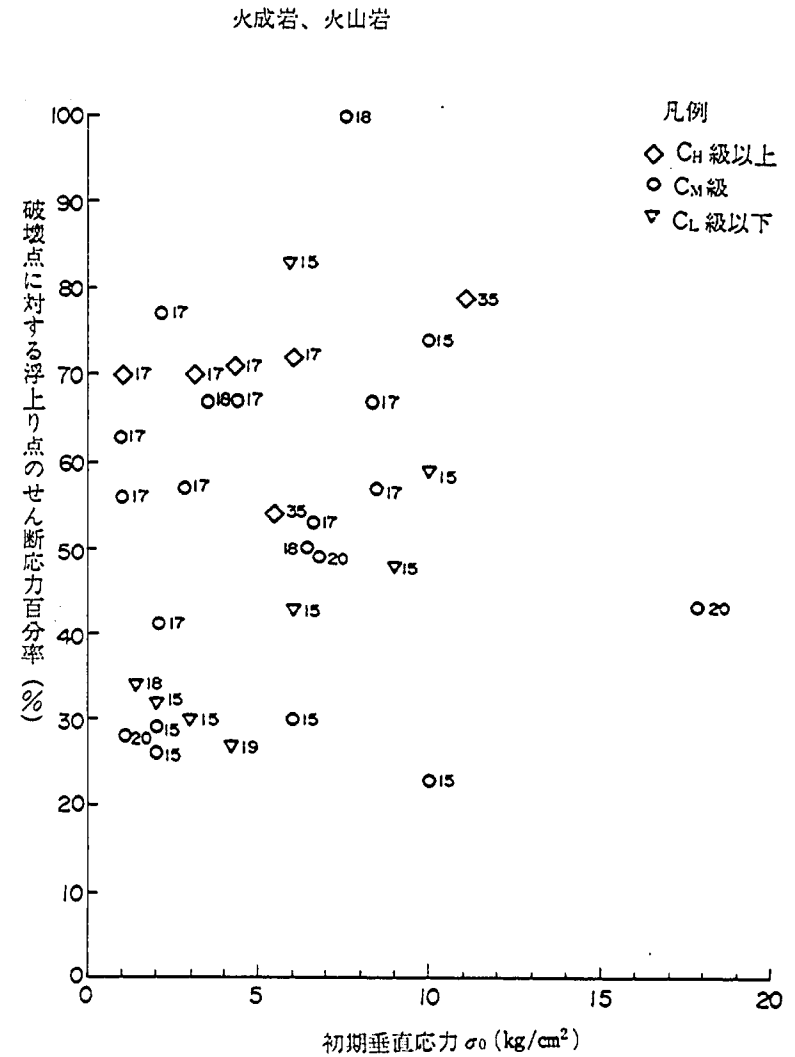
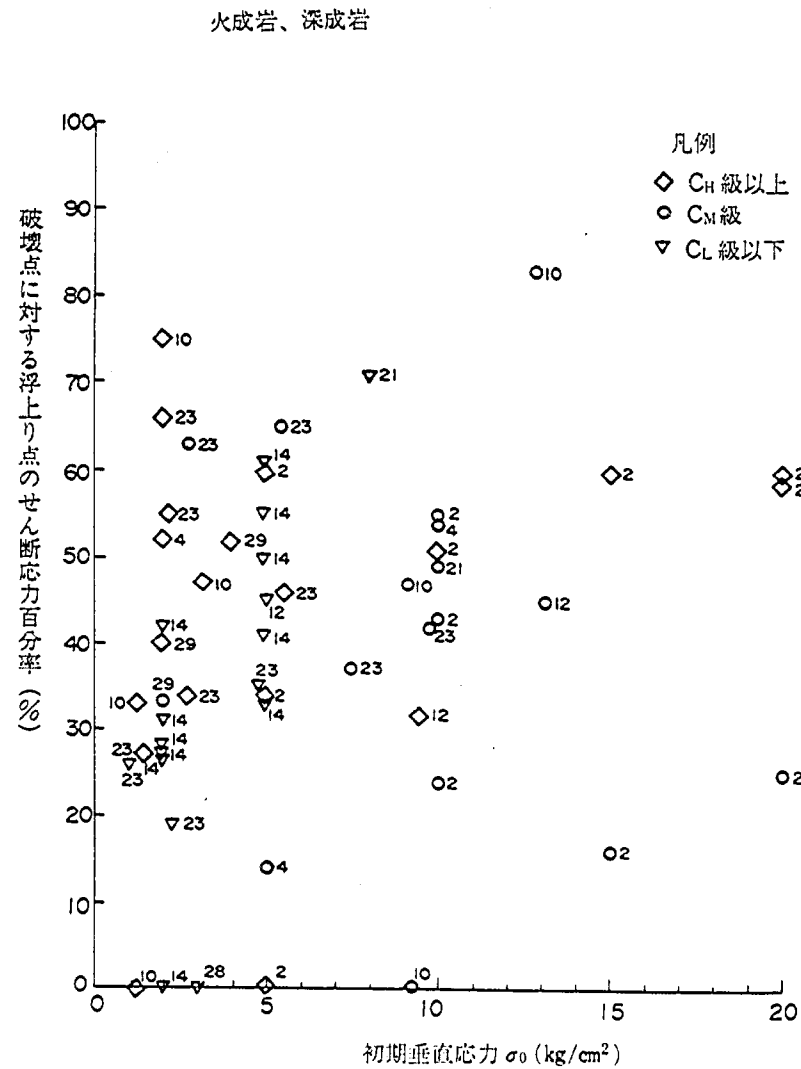


- 凡例
- 7. 川治
 - 17. 玉川
 - 19. 浅瀬石川
 - 20. 赤川
 - 33. 耶馬溪
 - 34. 宮ヶ瀬

附図-11-(13), (14) 浮上り点でのせん断強度

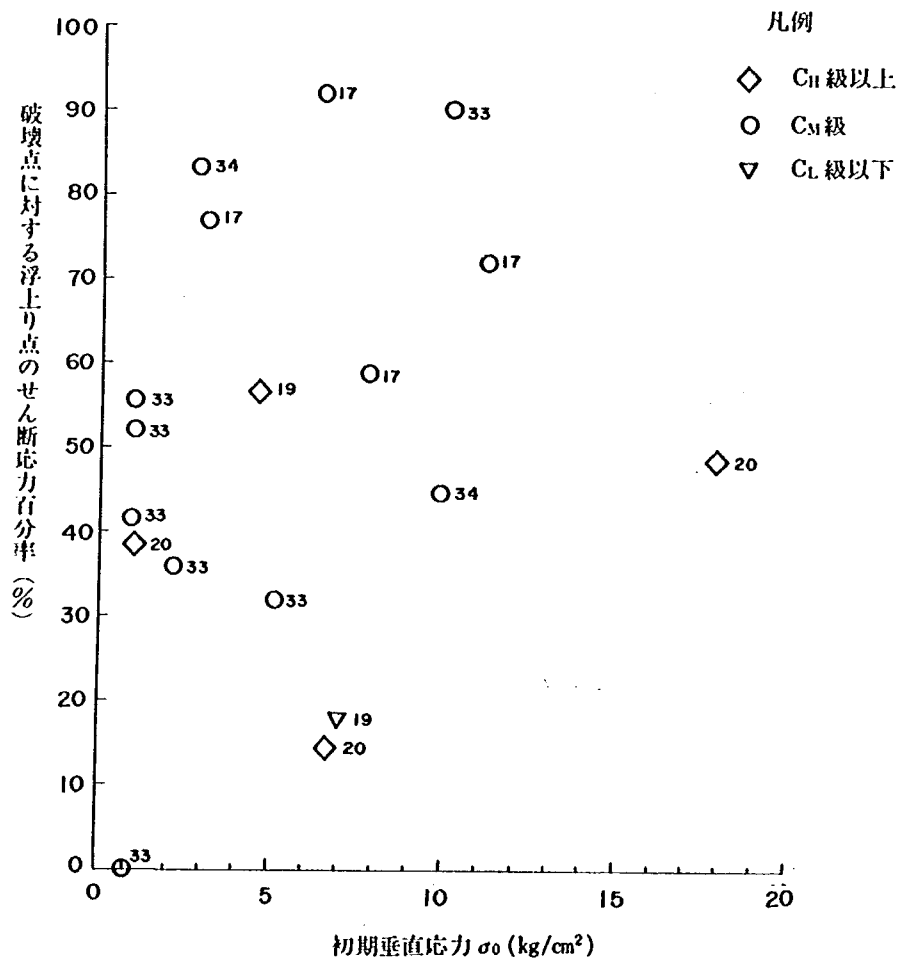


附図—12—(1), (2) 浮上り点応力の破壊応力に対する割合と初期垂直応力 σ_0 との関係



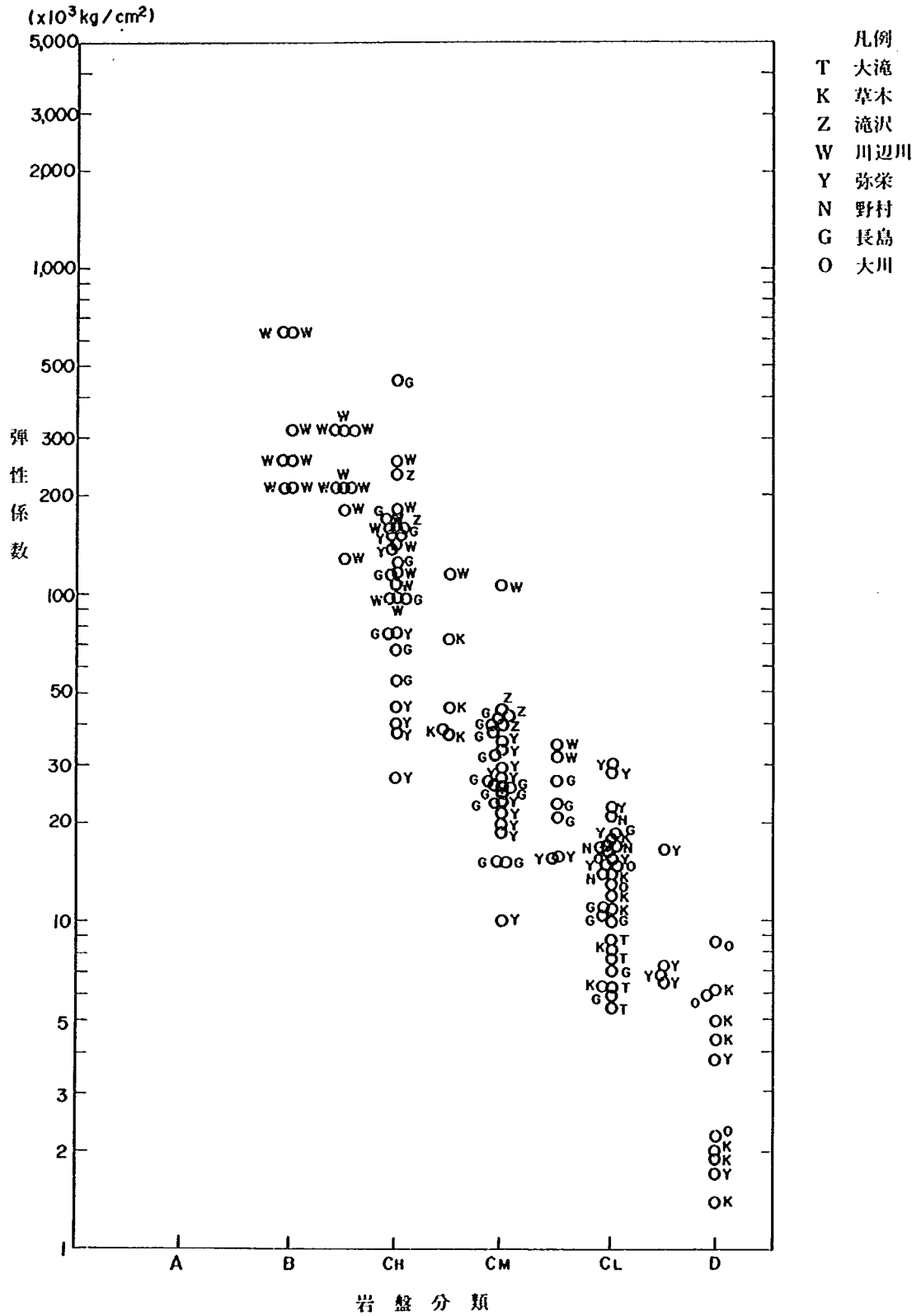
附図-12-(3), (4) 浮上り点応力の破壊応力に対する割合と初期垂直応力 σ_0 との関係

火山性堆積岩



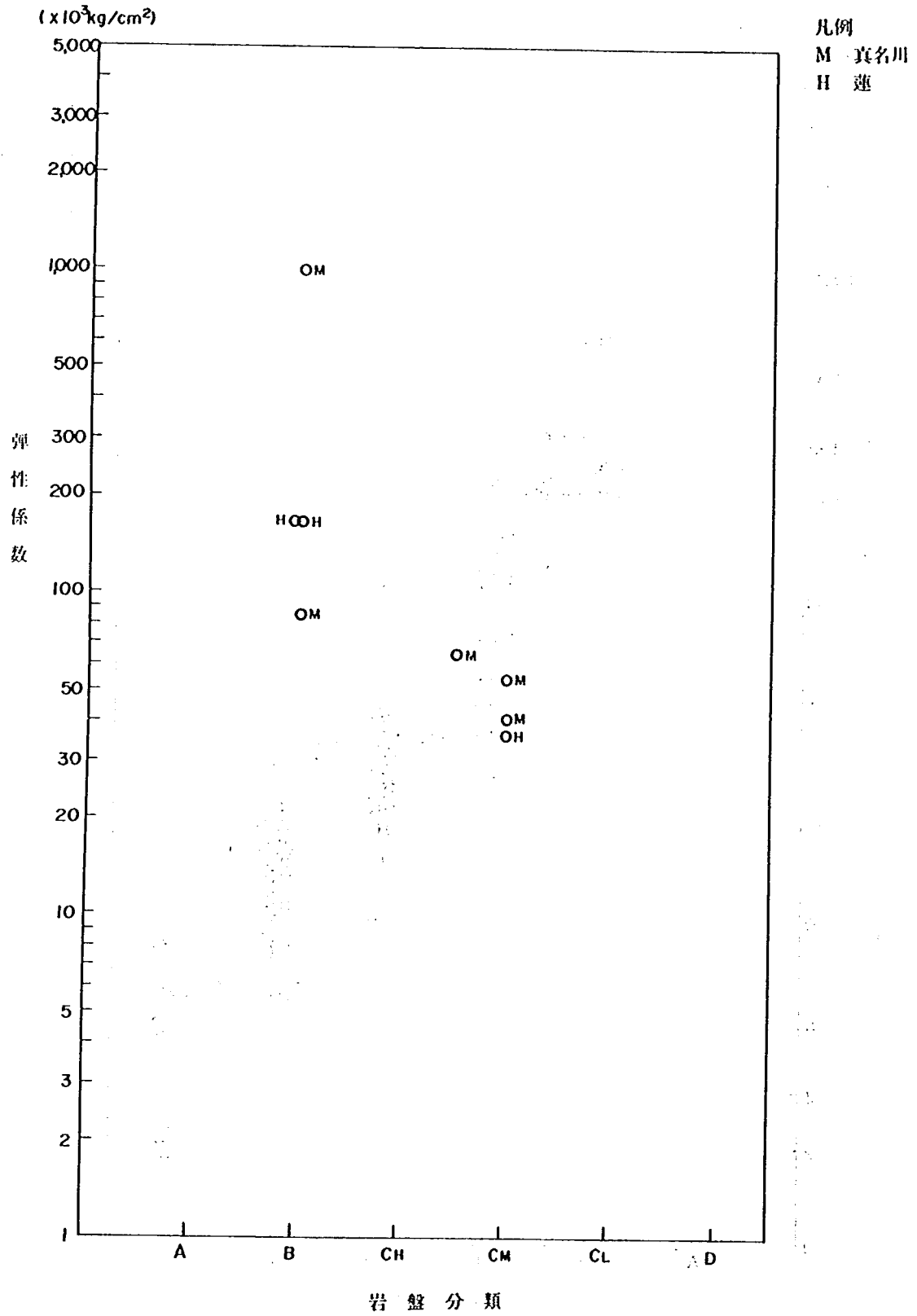
附図一12一(5) 浮上り点応力の破壊応力に対する割合と初期垂直応力 σ_0 との関係

古・中生代堆積岩



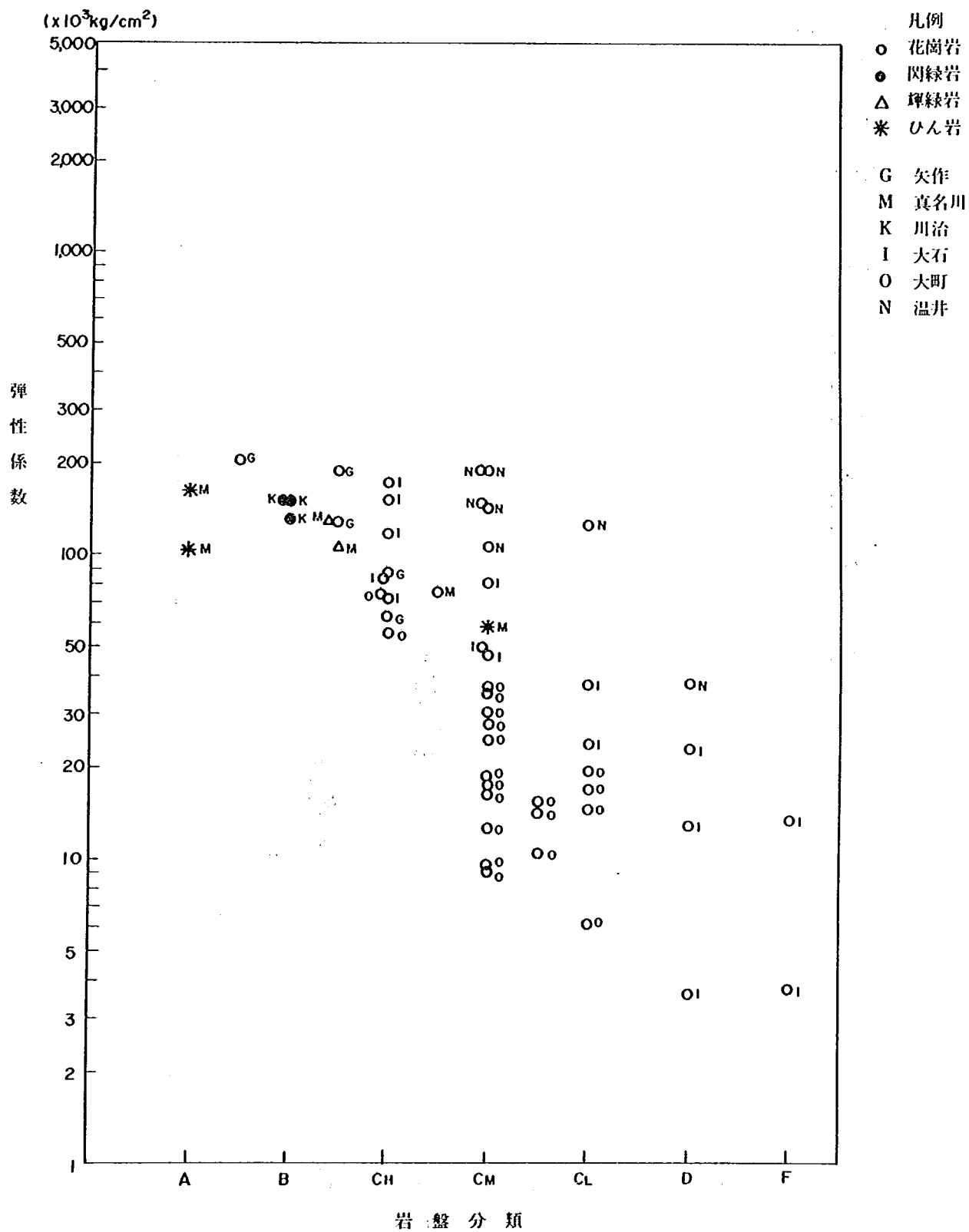
附図一13-(1) 弾性係数

広域変成岩



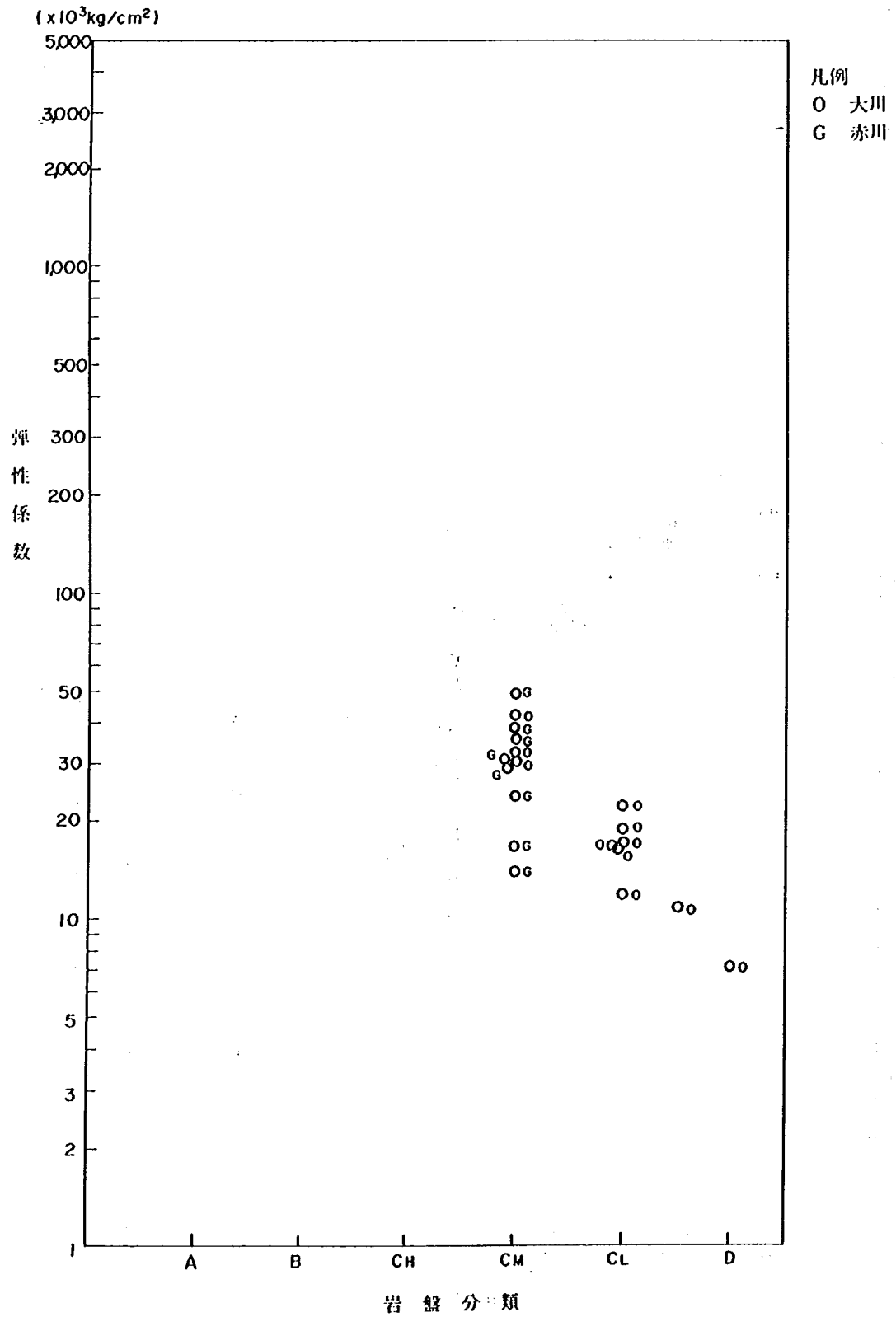
附図-13-(2) 弾性係数

火成岩、深成岩



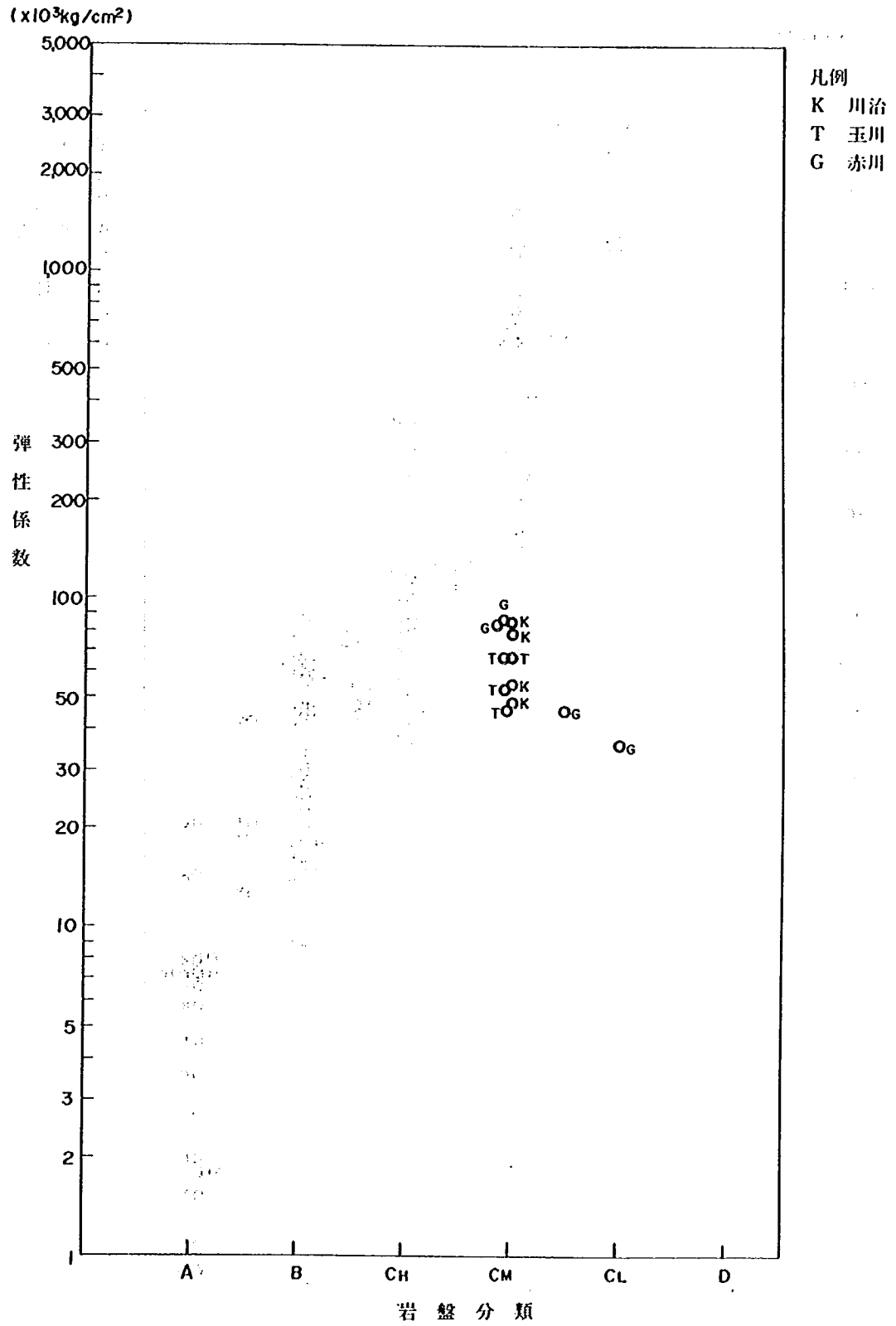
附図-13-(3) 弾 性 係 数

火成岩、火山岩



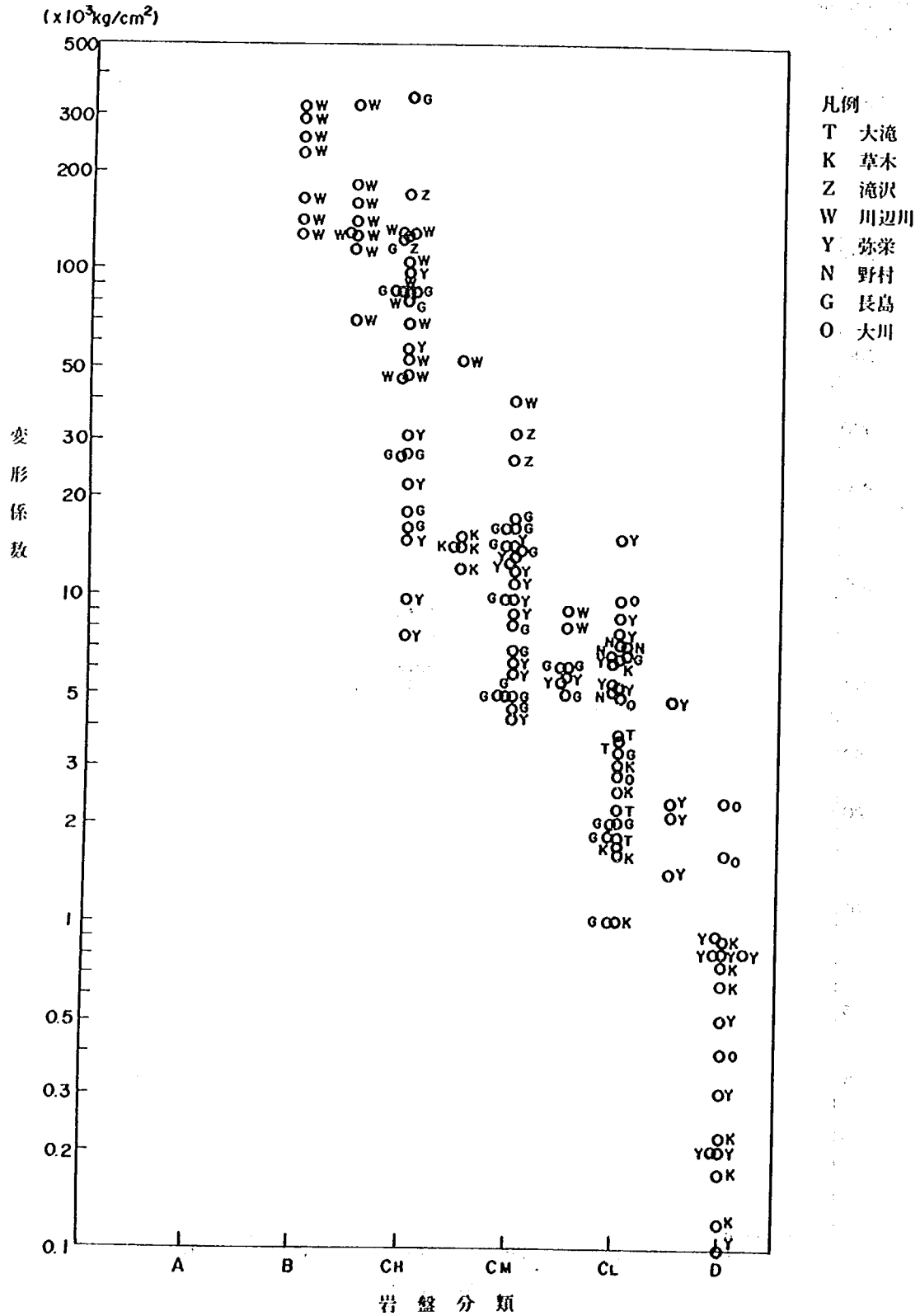
附圖-13-(4) 弹性系数

火山性堆積岩（第三紀以降）



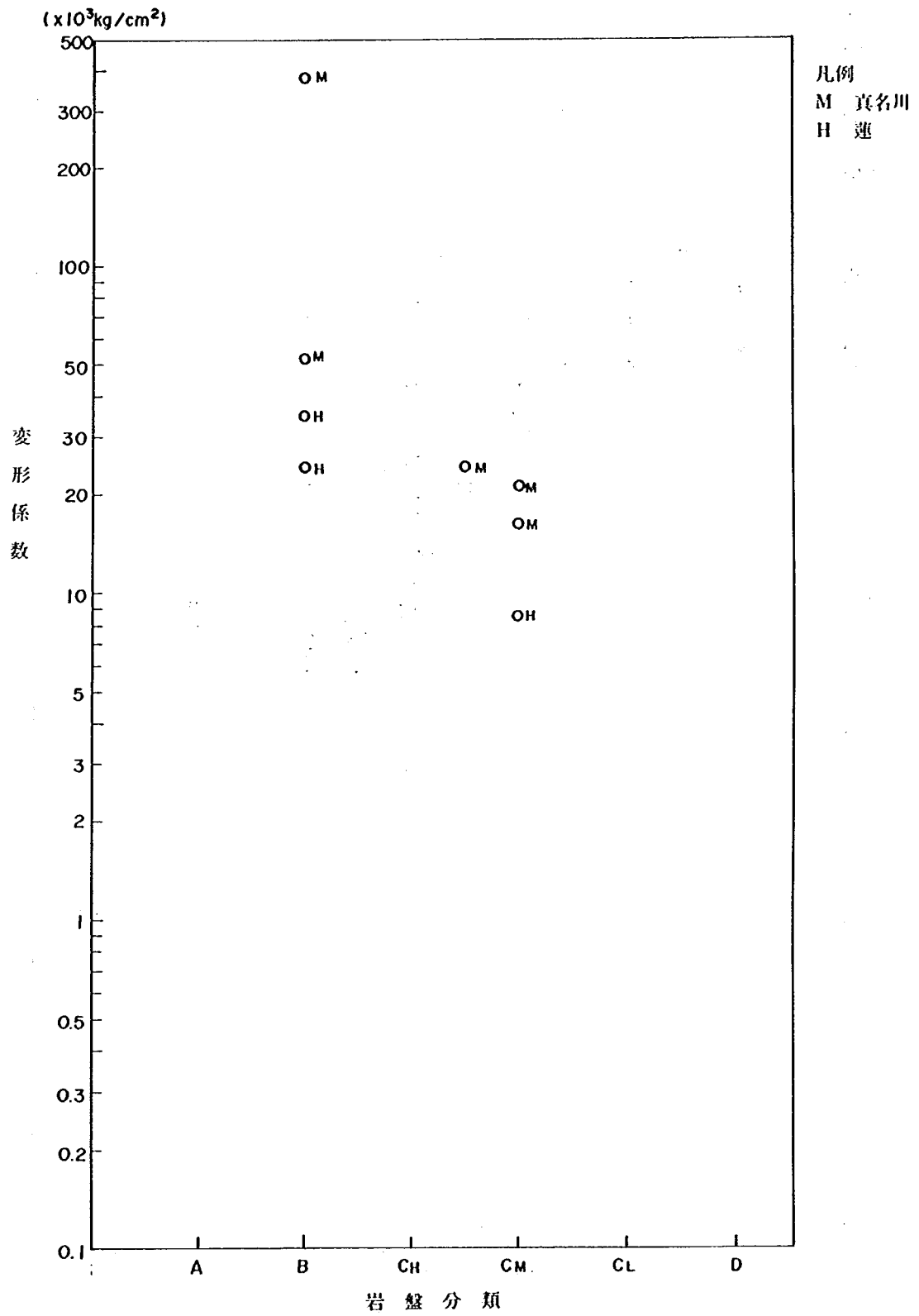
附図一13-(5) 弾 性 係 数

古・中生代堆積岩



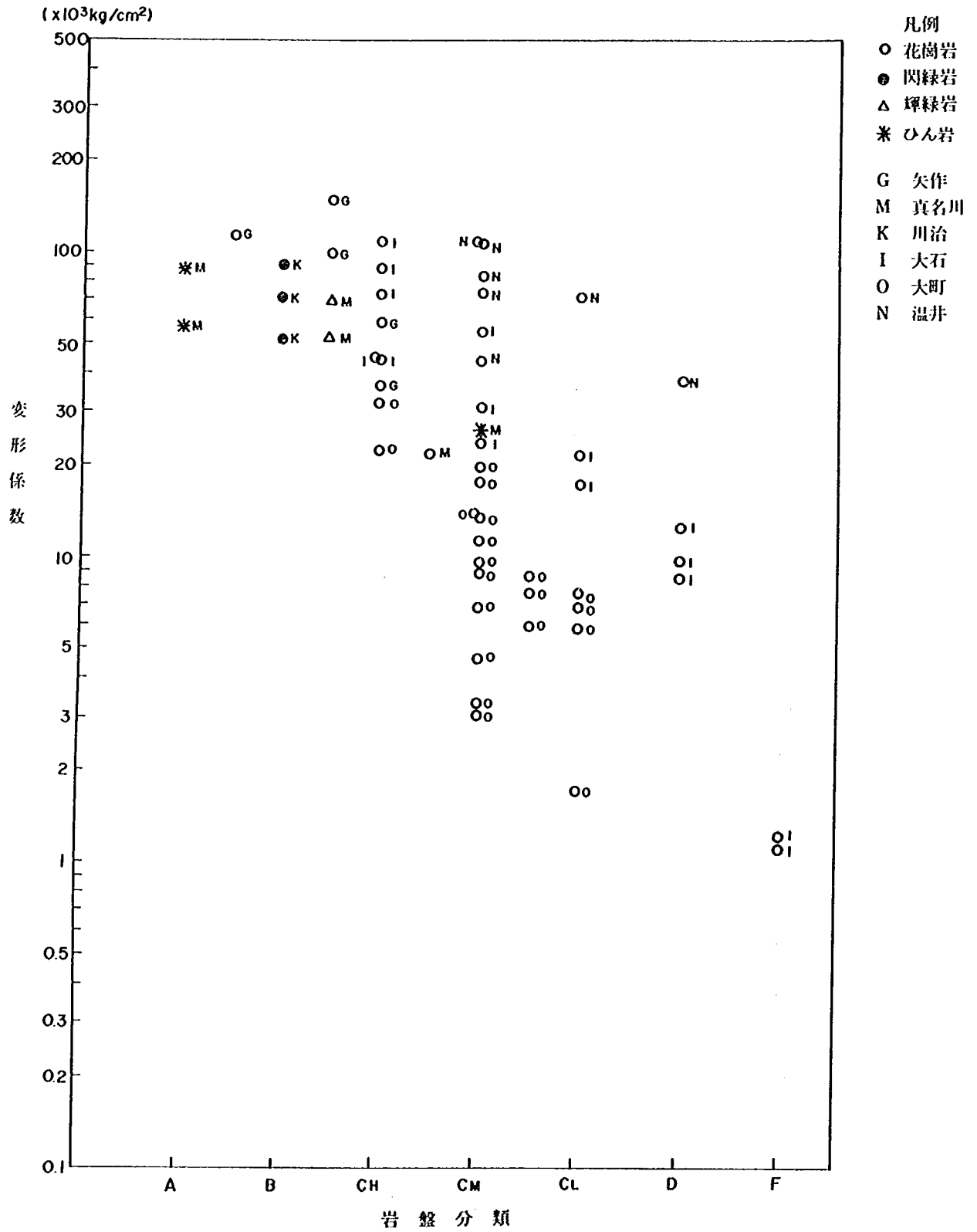
附圖-14-(1) 變形係數

広域変成岩



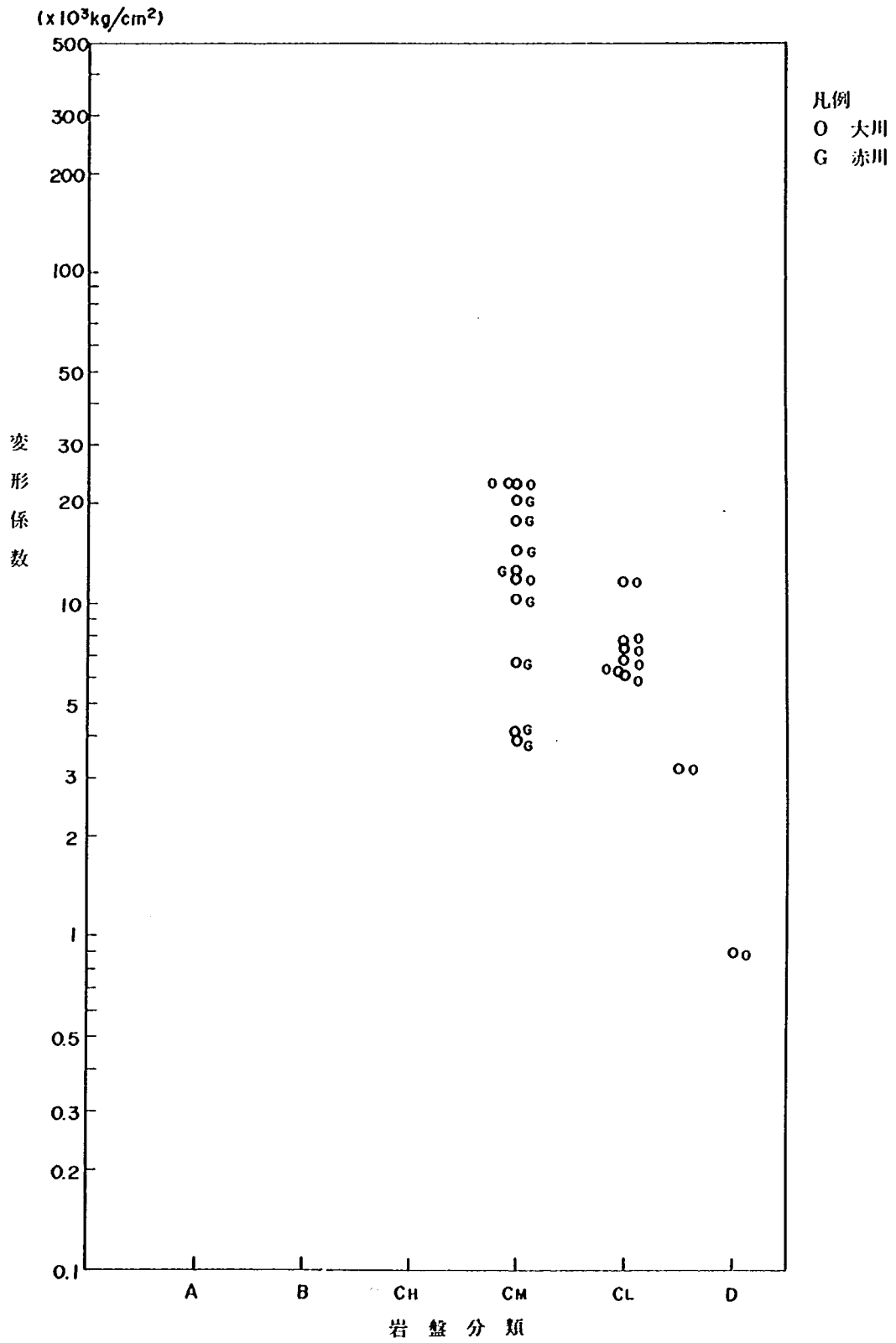
附図-14-(2) 変形係数

火成岩、深成岩



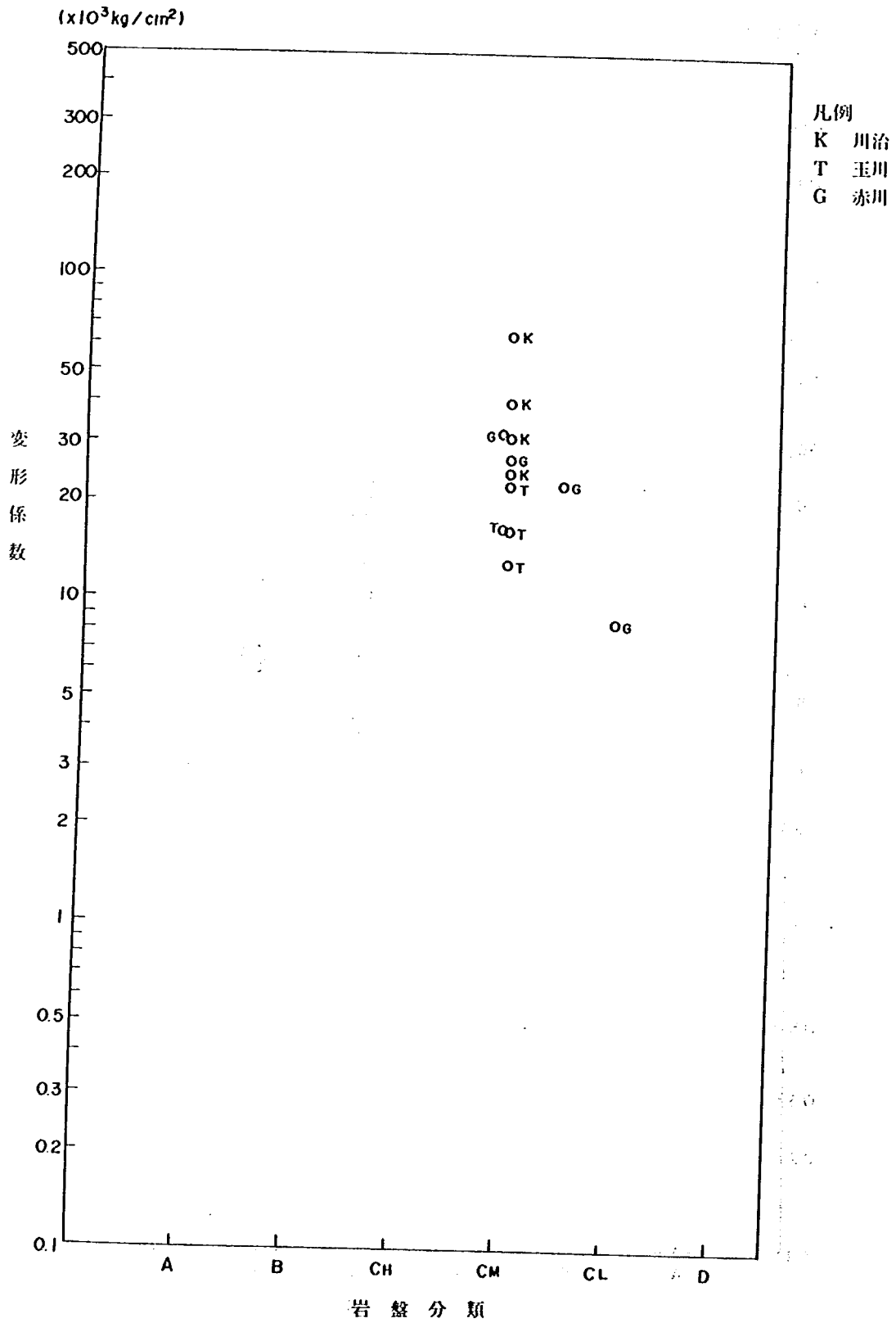
附図一14-(3) 変形係数

火成岩、火山岩

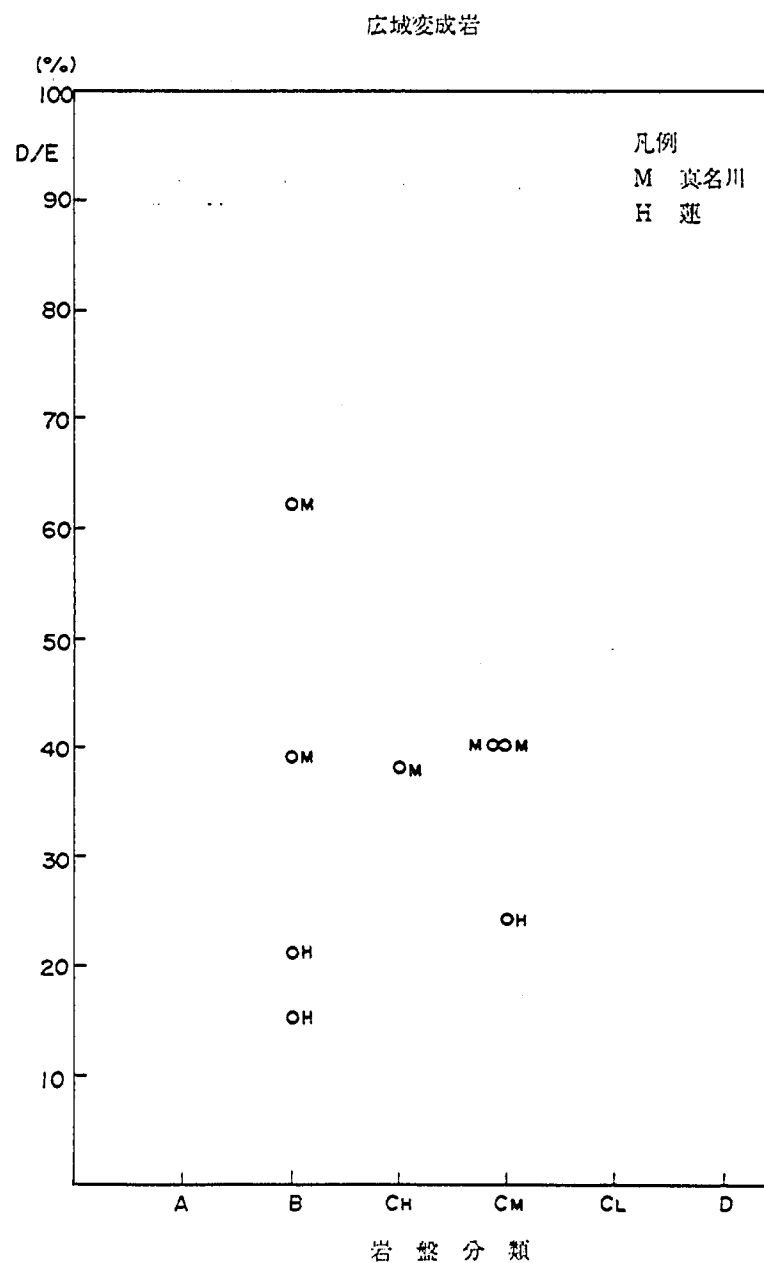


附圖-14-(4) 變形係數

火山性堆積岩（第三紀以降）

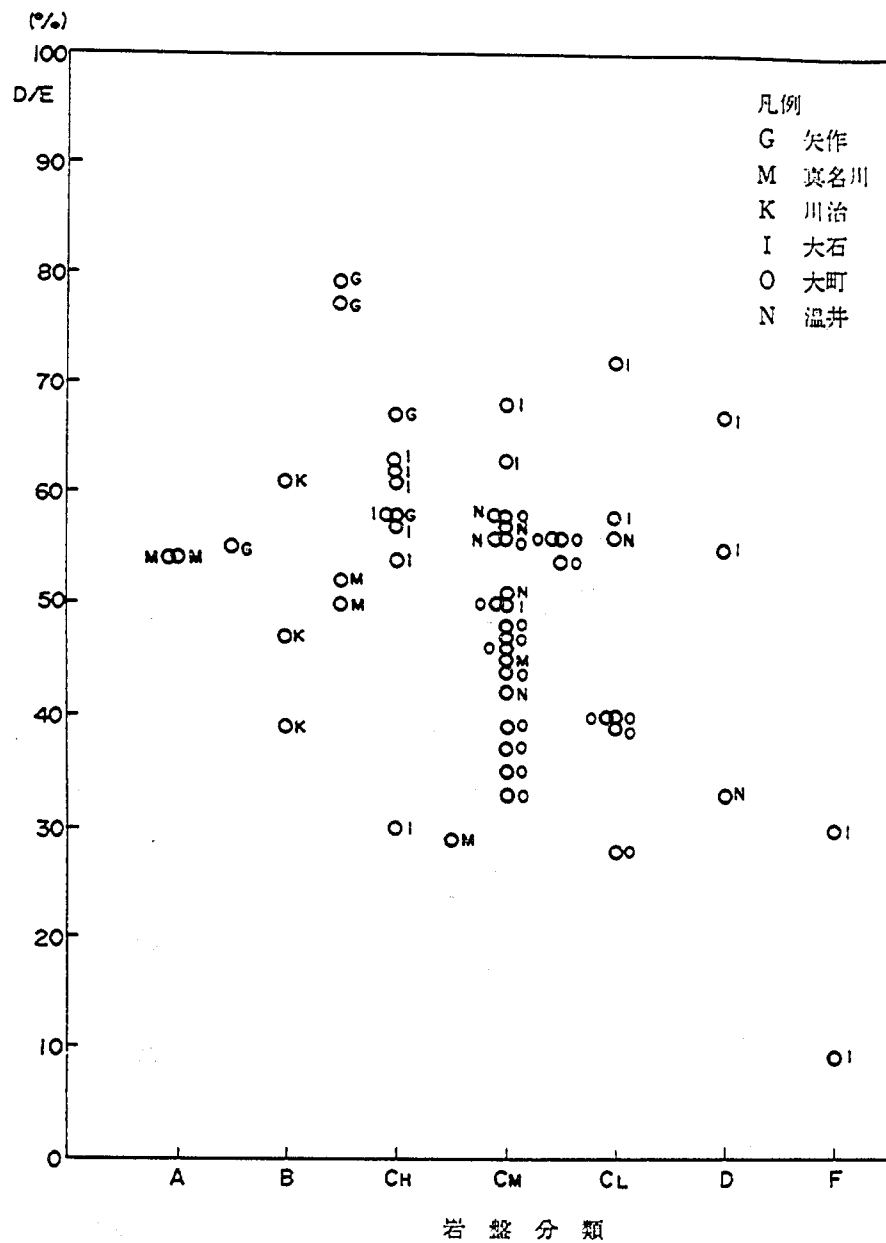


附圖-14-(5) 變形係數

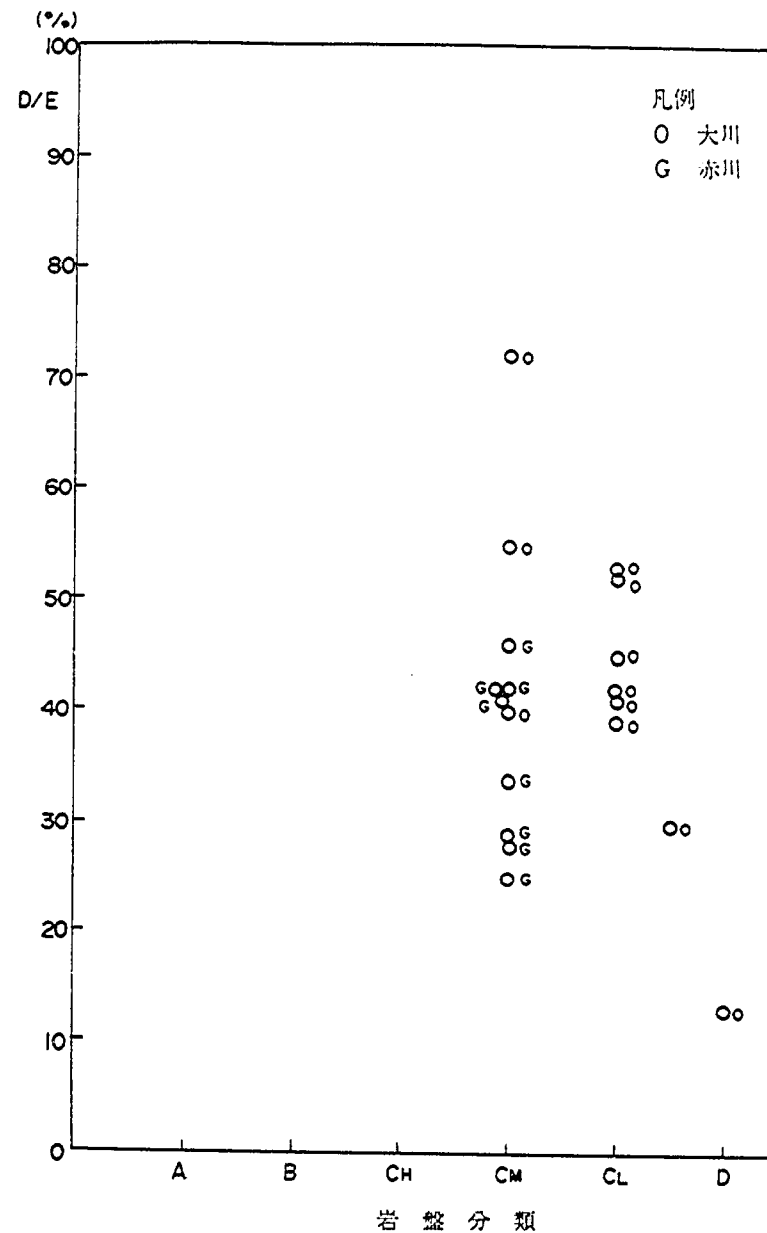


附図-15 -(1), (2) 弾性係数に対する変形係数の割合

火成岩 深成岩

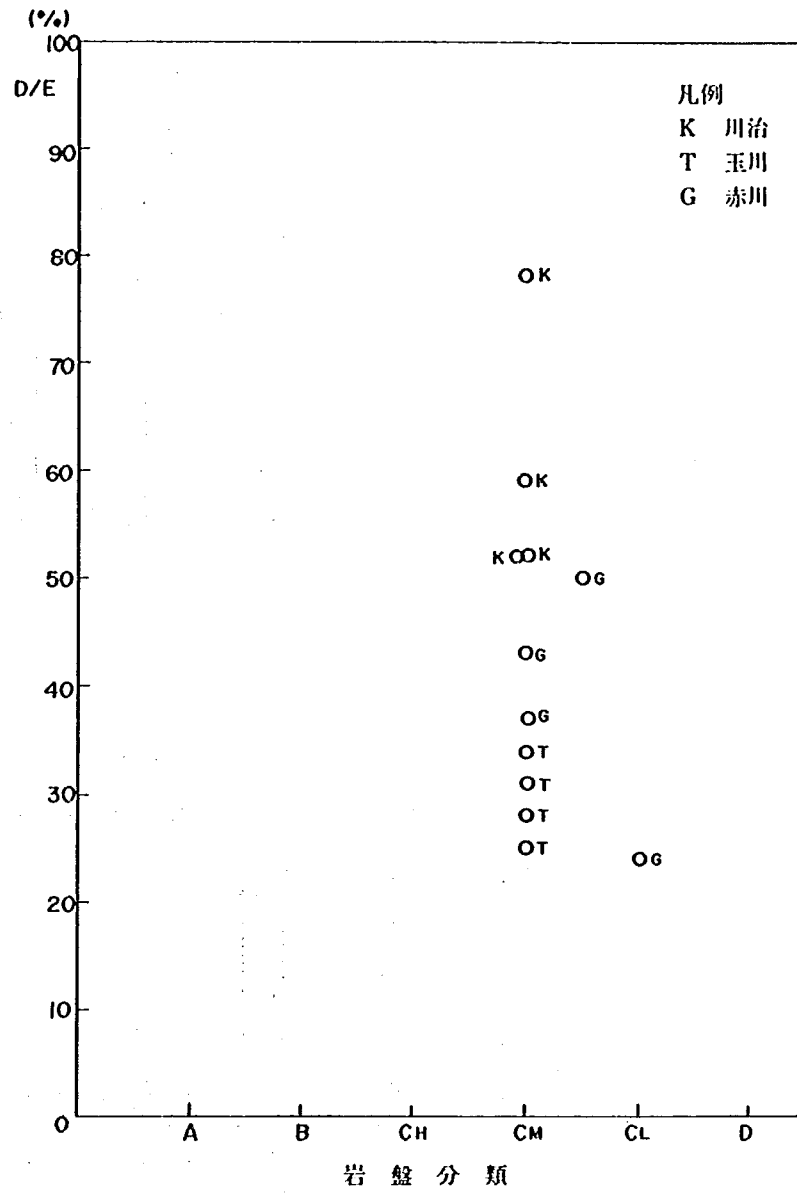


火成岩 火山岩

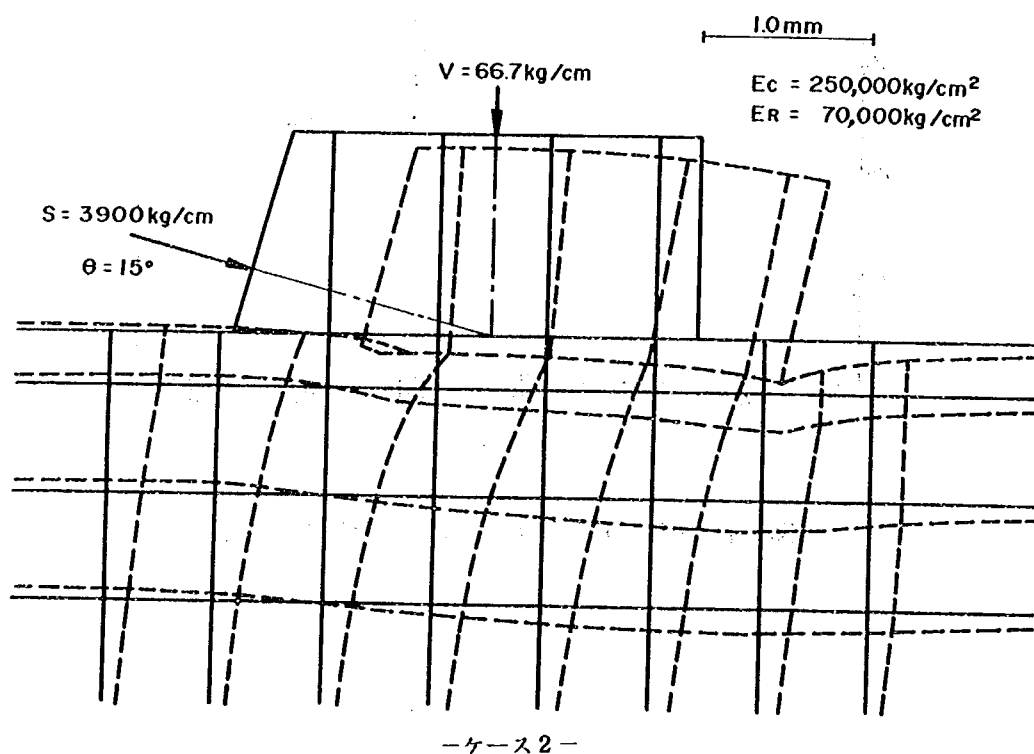
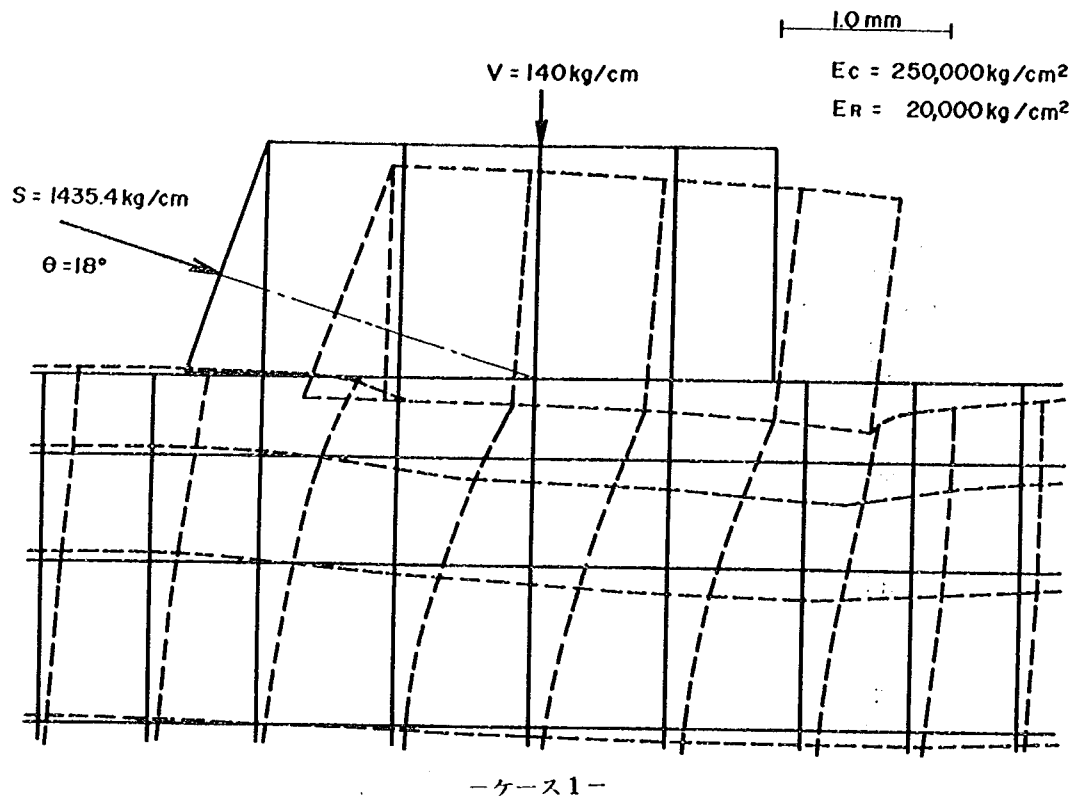


附図-15-(3), (4) 弾性係数に対する変形係数の割合

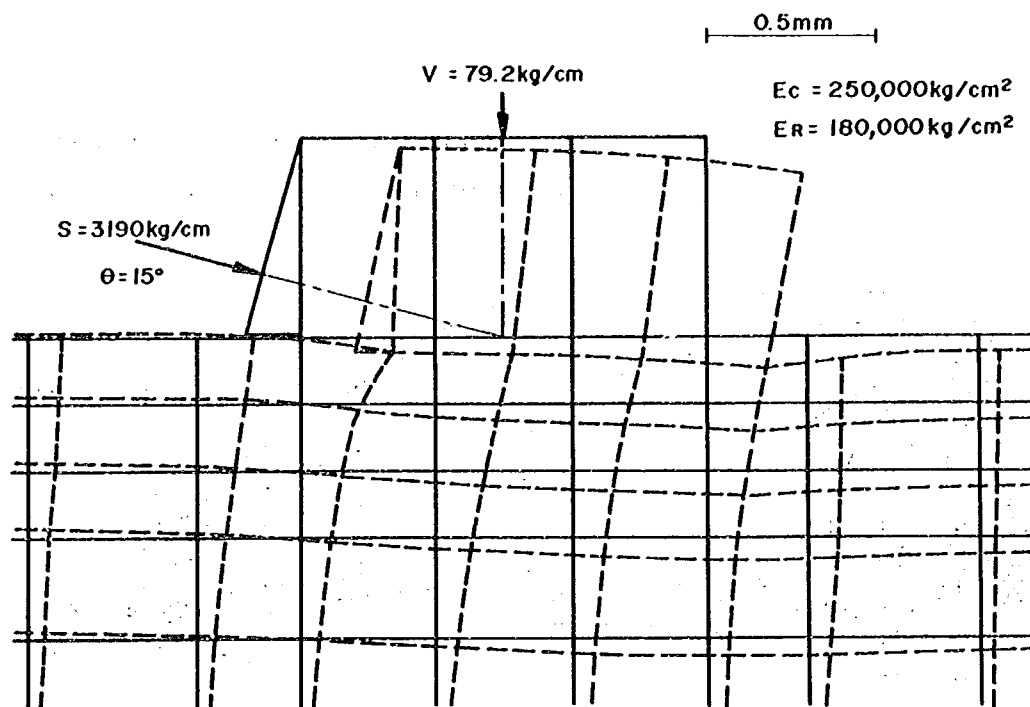
火山性堆積岩（第三紀以降）



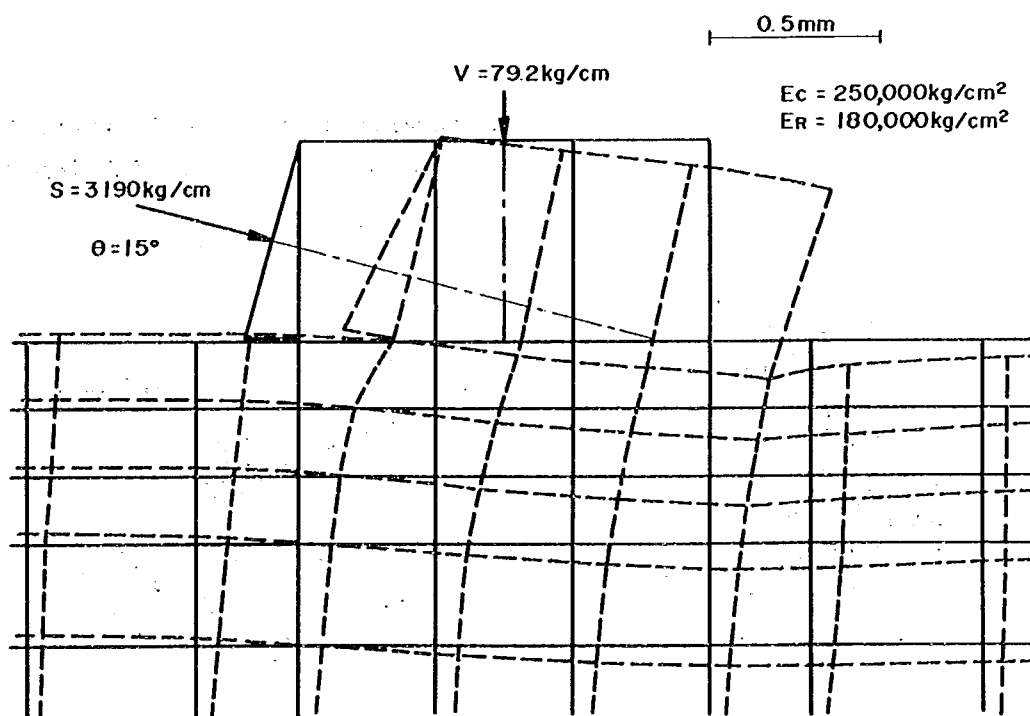
附図—15—(5) 弾性係数に対する変形係数の割合



附図-16-(1), (2) 二次元弾性計算によるせん断ブロックの変位



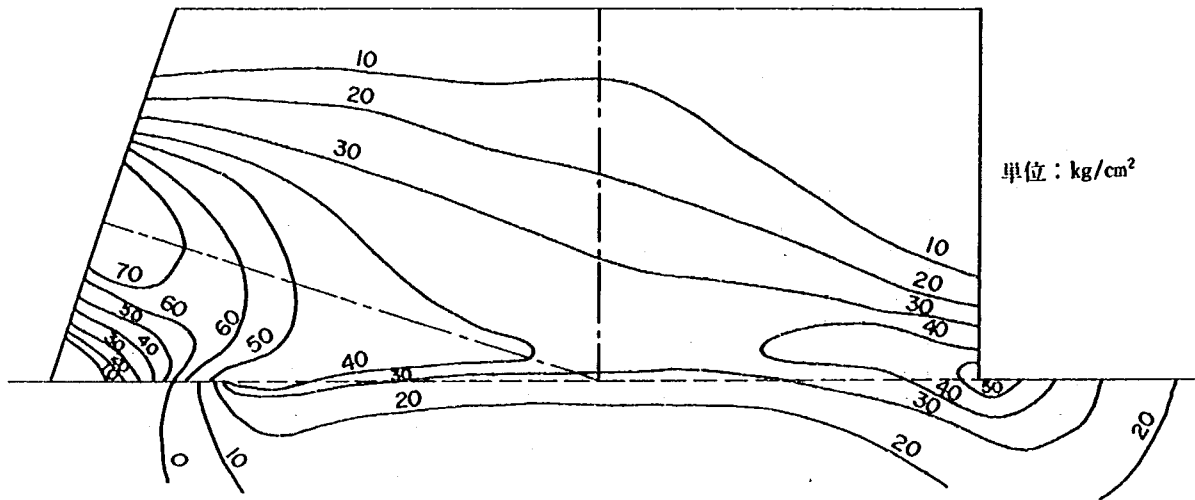
— ケース 3 —



— ケース 4 —

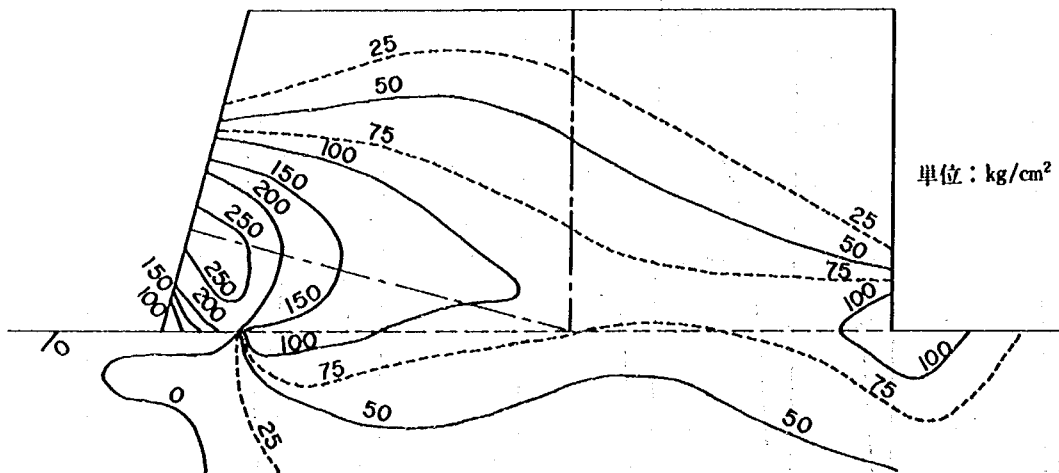
附図-16-(3), (4) 三次元弾性計算によるせん断ブロックの変位

$S = 1,435.4 \text{ kg/cm}$ $\theta = 18^\circ$ $E_c = 250,000 \text{ kg/cm}^2$
 $V = 140 \text{ kg/cm}$ $E_R = 20,000 \text{ kg/cm}^2$



— ケース 1 —

$S = 3,900 \text{ kg/cm}$ $\theta = 15^\circ$ $E_c = 250,000 \text{ kg/cm}^2$
 $V = 66.7 \text{ kg/cm}$ $E_R = 70,000 \text{ kg/cm}^2$

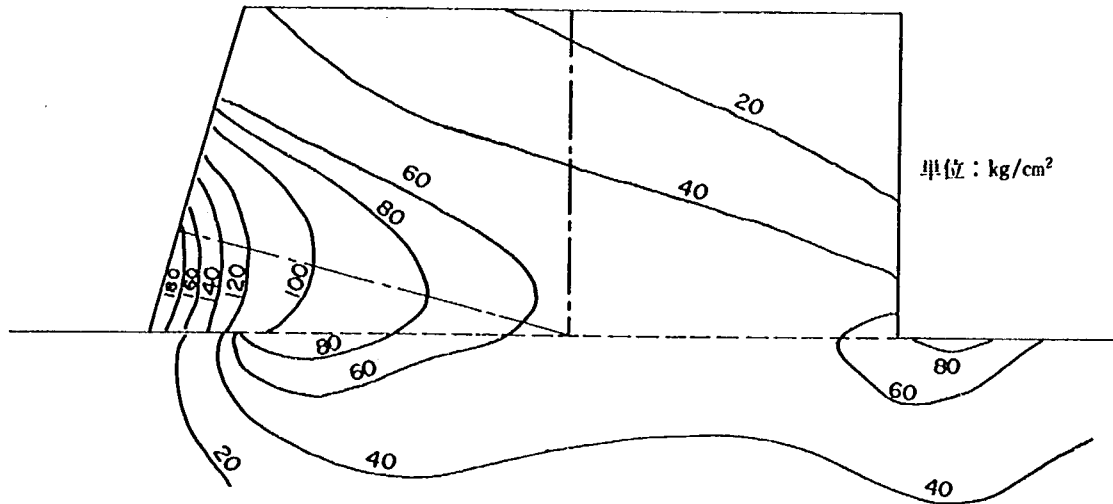


— ケース 2 —

附図一 17-(1), (2) 二次元弾性計算によるせん断ブロックの第一主応力分布

$$S = 3,190 \text{ kg/cm} \quad \theta = 15^\circ \quad E_c = 250,000 \text{ kg/cm}^2$$

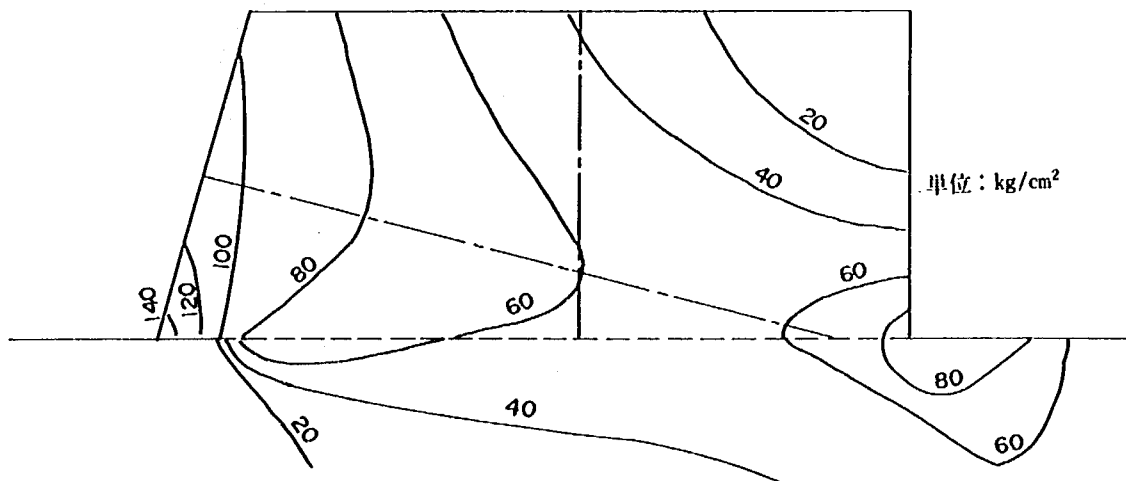
$$V = 79.2 \text{ kg/cm} \quad E_R = 180,000 \text{ kg/cm}^2$$



—ケース 3—

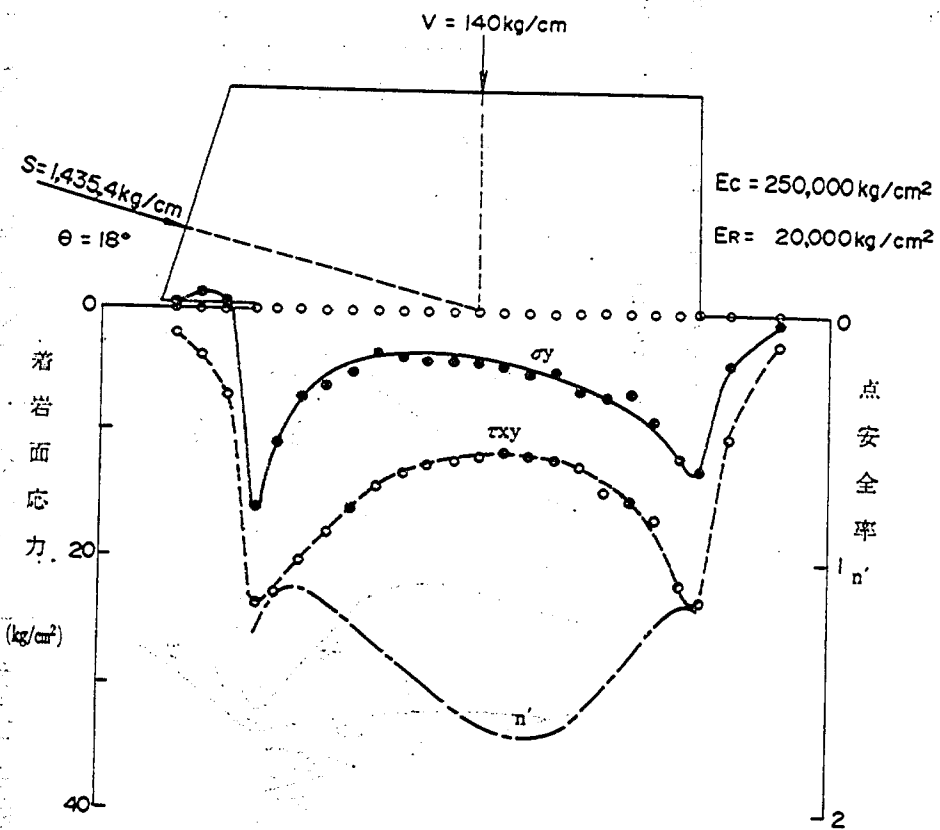
$$S = 3,190 \text{ kg/cm} \quad \theta = 15^\circ \quad E_c = 250,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$V = 79.2 \text{ kg/cm} \quad E_R = 180,000 \text{ kg/cm}^2$$

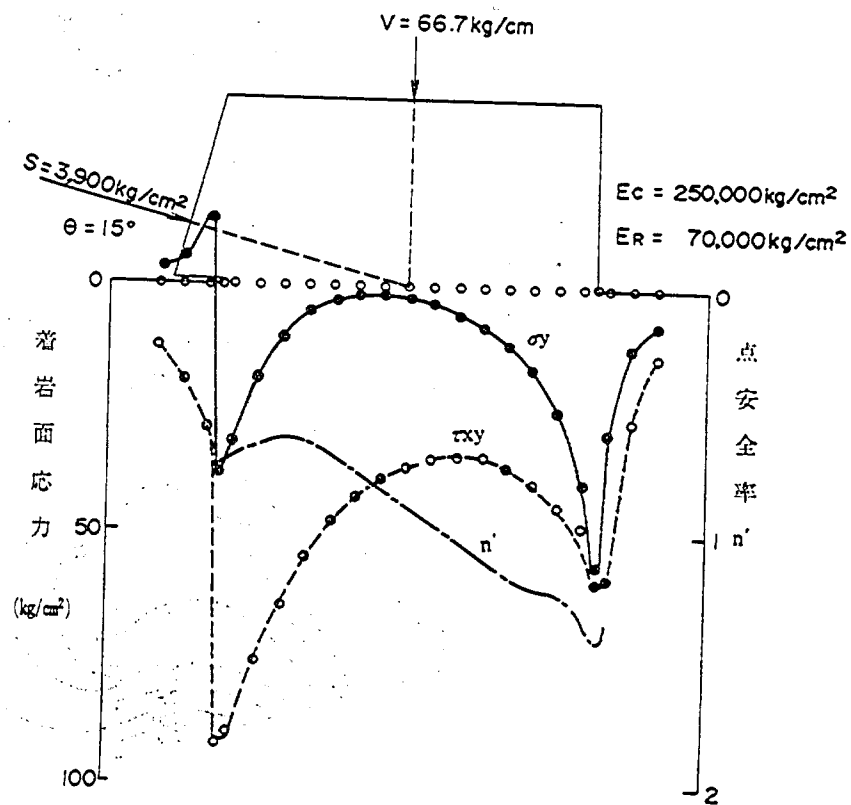


—ケース 4—

附図-17-(3), (4) 二次元弾性計算によるせん断ブロックの第一主応力分布

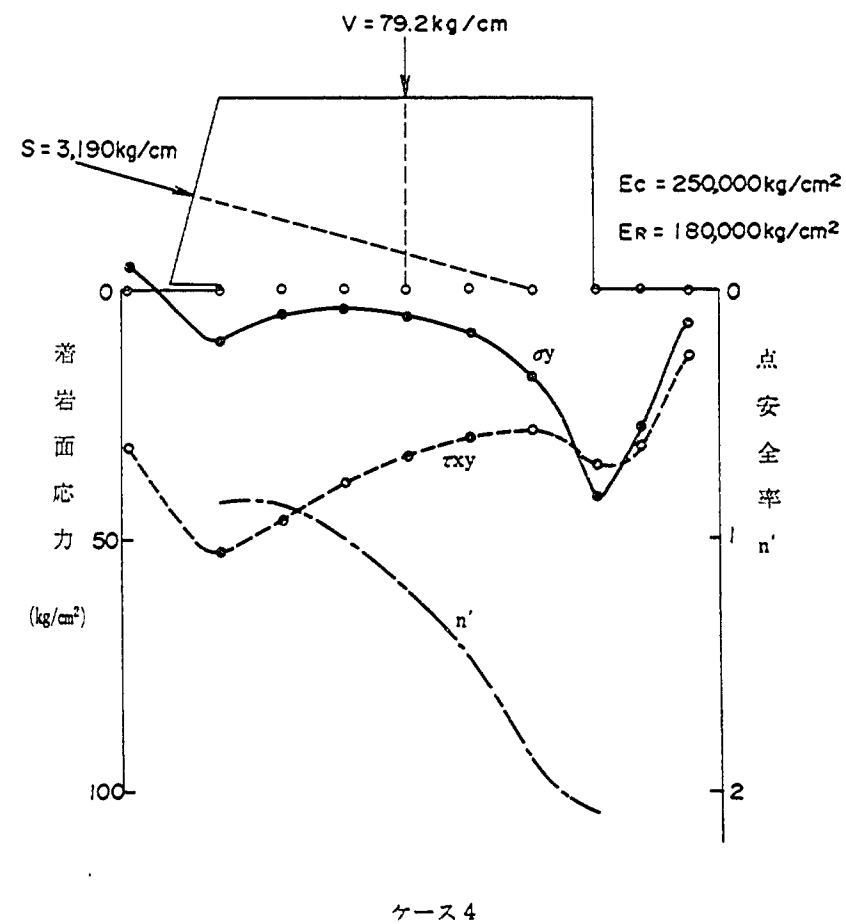
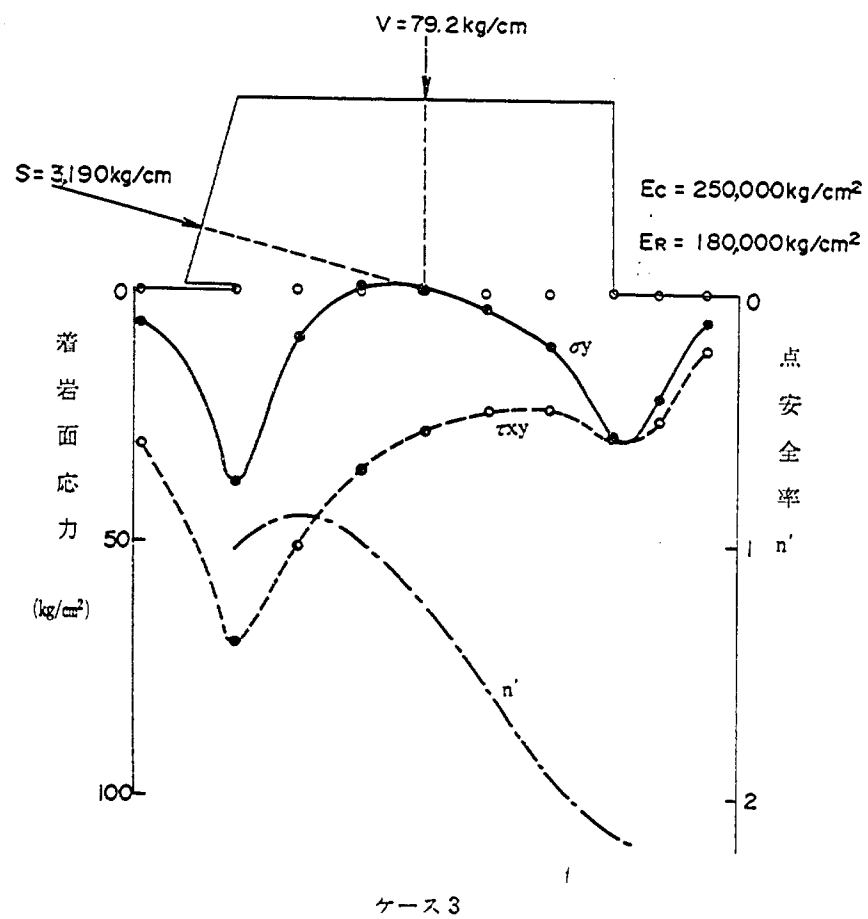


ケース 1



ケース 2

附図-18-(1), (2) 二次元弾性計算によるせん断ブロック着岩面の応力分布



附図-18-(3), (4) 二次元弾性計算によるせん断ブロック着岩面の応力分布

ダム基礎岩盤の原位置試験に
関する諸検討と考察

ISSN 号
土木研究所資料第1899号
昭和58年1月(1983)

ダム構造研究室
斎藤孝三, 片平 博

コンクリートダム, 基礎岩盤, 岩盤分類, 岩盤せん断
試験, 岩盤変形試験, せん断強度, 弾性係数, 変形係
数, FEM 2次元弾性計算

要旨 ダム基礎岩盤原位置試験の試験結果を整理し, 岩盤分類
との相関性, 地質別の力学的な評価上の問題点等について,
検討, 考察を行ったものである。

郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

305-□□

建設省土木研究所
ダム構造研究室 御中

茨城県筑波郡
豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1899号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印