

は し が き

本州四国連絡橋基礎地盤の応力解析を行なうための光弾性実験材料として、コンクリート、軟岩および砂礫のヤング率の相似条件を満たす材料を開発するため、特殊法人理化学研究所に業務委託をして以下の実験を実施した。

本報告書は、昭和38年度に実施した理化学研究所の実験報告を中心に纏めたものである。

基礎研究室

室長 吉田 巖

研究員 駒田 敬一

昭和42年1月

目

次

1. 緒 言	3
2. 試験の目的	3
3. 樹脂の概括的調査	4
4. 岩石相当樹脂の試験	6
4.1 試験材料	7
4.2 実験	9
4.3 測定結果	10
4.4 結果の検討	12
5. 土相当樹脂の試験	37
5.1 試験材料	38
5.2 実験および測定結果	38
5.3 結果の検討	39
6. ポアソン比の測定	39
7. その他の性質	39
7.1 熱膨張係数	39
7.2 加工性	48
7.3 接着性	48
8. 結 言	50

附 録

1 光弾性写真

1. 緒言

土木工学において、コンクリート、岩石、土よりなる三相構造物について応力解析する目的で光弾性実験を試みようとする場合、この三相構造物に対する光弾性実験用の模型を製作することが先決の問題となる。普通光弾性実験用に供される模型材料は光弾性感度が高く、かつ弾性的な性質を示す透明な人工樹脂であるが、本調査の目的には以上の条件のほかに、実験の相似を保つためにヤング率が三相のそれぞれの比と同様な三種類の樹脂材料が必要である。

この試験では、以上の必要を満たす樹脂材料の探索を目的として、可能性ある樹脂についてその機械的・光学的性質を調べ、このような三相構造物の光弾性実験が行ない得るか否か、行ないうるときはどのような注意のもとに行なわねばならないかを究明する。

2. 試験の目的

コンクリート、岩石、土の三相に対するヤング率はそれぞれ次のような値である。

コンクリート	$E_c = 200,000 \text{ Kg/cm}^2$ 程度
岩石	$E_r = 20,000$ 〃
土	$E_g = \text{数}100 \sim \text{数}1000$ 〃

これに対して現在光弾性材料として広く用いられているのはエポキシ樹脂、DAP（ジアリルフタレート）樹脂などであるが、それらのヤング率および光弾性感度は表一のごとくである。

表 一

材 料 名	ヤング率 (Kg/mm^2)	光弾性感度 (mm/Kg)
フエノライト	200 ~ 400	0.9 ~ 1
D A P	250 ~ 400	0.7 ~ 1
エ ポ キ シ	300 ~ 400	0.9 ~ 1

表一でヤング率および光弾性感度がともに確定した値となっていないのは、一般に樹脂材料では重合に関与する硬化剤の量、重合時の熱処理のいかによつて相当違ったヤング率と光弾性感度を示すことによる。一般に硬化剤が

少ないほどヤング率が低く、光弾性感度は高い。また熱処理としてエポキシ樹脂は120℃、DAP樹脂は65~70℃程度の炉内で長時間焼き込むことにより、光弾性感度はいくぶん低下するが、ヤング率は次第に高くなる。しかし硬化剤もある限度以上入れることは意味がないばかりでなく、かえって性質の劣化を招くし、熱処理もあまり長時間すぎると化学変化を起して黒褐色に変質し、この処理にもおのずから限界がある。

したがってこれらの光弾性樹脂材料で望み得る最高のヤング率は約400 Kg/mm^2 程度と考えられ、これをコンクリート部の材料として用いて所望のヤング率比をもたすためには岩石および土相当のものとして、これの1/10 および1/200~1/2000程度のヤング率のもの、すなわち20~40 Kg/mm^2 、および2~0.2 Kg/mm^2 程度のヤング率をもつ材料が必要である。

さらに光弾性実験を行なうためには、この実験法が弾性域内の応力解析に用いられるのが普通であるから、単に柔軟でヤング率が低いという条件のほかに弾性的であることが望ましく、また透明で光弾性効果をもつこと、加工、接着が容易に行ない得ることなどが必要である。

3. 樹脂の概括的調査

前述の性質を備えるものとして、これまでの知識をもとにつぎに挙げる三系統のものについて、主として試験を行なった。

- (1) エポキシ系可燃性付与剤添加樹脂
- (2) 不完全重合DAP樹脂
- (3) 人造ゴム

最近エポキシ樹脂は広範囲の分野において利用されているが、それぞれの用途に応じて、適当な添加剤を加えてその性質を改善したものが多種市場に提供されている。(1)はこの中の可燃性をとくに大きくするため添加剤を加えたものである。試験したのはエポキシ基材としてエビコート828につぎのものをそれぞれ共重合させたものである。すなわち

- (a) ポリサルファイド
- (b) ポリアミド
- (c) アデカレジン EP-1000
- (d) エビコート 871

エポキシ系としては以上4種類の樹脂を製作した。

(2)は理化学研究所においてしはじは使用しているDAP樹脂が不完全に重合した場合、その機械的性質が本調査の目的に適するものと思われるので試験に供した。硬化剤の量を加減し、適当な熱処理を行えばヤング率の広範囲に変つたものが得られ、すでに理化学研究所では 100 Kg/mm^2 程度のものは光弾性実験に用いて良い結果を得ている。

以上(1)、(2)は岩石相当のヤング率をもつものとして取上げたが、土相当のヤング率をもつものとしては、ヤング率が $2 \sim 0.2 \text{ Kg/mm}^2$ という低い値をもちしかも弾性的であるものはゴム弾性体であろう。これに対応するものとして次の二種類の人工ゴムを取り上げて、試験を行なつた。

(a) ポリウレタンゴムPU-3 (理研計器製)

(b) ポリヴィニールクロライドPVC ()

試験としては、以上各種樹脂を製作し、この中透明で柔軟しかも変形の回復性がある程度あり、これらの概括的な知見から使用し得るとされる数種につき、短冊型の試験片を製作して、曲げ試験あるいは引張り試験を行ない、ヤング率を求めた。また一方同じ試験片を同時に光弾性実験を行ない、現れる等色線縞次数を観測して光弾性感度を求めた。

これら一連の実験から、岩石相当の樹脂はいずれも機械的、光学的にクリープの性質を示し、荷重後時間の経過とともに変形および光弾性縞次数が増大することが確認された。

またゴム弾性体として採り上げた(3)の人工ゴムも、ヤング率を少し高い値にするとクリープの性質がでてくる。すなわち弾性的挙動を示すものはガラス状の硬い樹脂かあるいは非常に柔いゴム体かのいずれかで、中程度のヤング率をもつような樹脂ではクリープが大きい。このような事情から、ヤング率 $20 \sim 40 \text{ Kg/mm}^2$ 程度の岩石相当樹脂では現在のところ、クリープのない完全に弾性的な樹脂を求めることは困難のように思われる。

したがつてこの範囲のものについては、クリープの存在は止むを得ないものとして容認して、光弾性実験の方法を変える外ないと思われる。すなわち光弾性実験の際には、荷重後一定時間を経過したのちに、等色線縞写真を撮影する方法を採ることとする。

しからばこのような実験を行なうには試験片材料の樹脂はどのような性質をもたねばならないだろうか、それには

(i) 荷重一定で、一定時間のクリープを許したとき、歪量が一義的にきまること。すなわち歪の再現性があることが必要である。

(ii) またこのようにクリープしたのちの応力と歪間に直線関係があることが望ましい。しかしこの点については応力-歪曲線がその材料およびクリープ時間である一定の曲線が求められて、あらかじめ知れておれば直線関係があることは必ずしも必要ではない。

(iii) 同様に繰り回数についても再現性があり、応力-繰り回数曲線も一義的にきまることが絶対に必要であつて、さらにその関係が直線的であることが望ましい。

以上の性質をもつならば、一応上述のような光弾性実験の試験片材料として使用できると考えられる。

このように観点を变えて前述の各種の樹脂を眺めてみると、岩石相当樹脂としては、つぎのものが使用の可能性がある。

(1) 可撓性付与剤添加樹脂のうち

(a) ポリサルファイド

(b) エピコート 871

および

(2) 不完全重合 DAP 樹脂

また(3)のゴム弾性体についてはクリープを容認すればいずれも使用可能と思われる。

これらについてその機械的、光弾性の性質、またクリープの挙動をつぎに述べる試験方法で詳細に研究した。

4. 岩石相当樹脂の試験

つぎに述べるようなクリープ試験を行なつた。すなわち四点荷重で曲げ試験を行ない、一定の荷重を加えてのち撓み量が時間の経過とともにどの通りに変化してゆくかを3時間にわたつて測定した。ついで除荷して変形の恢復を待ち(20時間位)、あらためて荷重を変えて同様の測定を行ない、その荷重のときのクリープ曲線を求め、いくつかの荷重についてそれぞれのクリ

ープ曲線を求める。なお一定荷重時のクリープ曲線が再現性があるか否かを調らべるため、同一荷重で二度クリープ曲線を求めてその一致するか否かを調べた。以上の撓み測定と同時に等色線縞を観測し、繰りかえしの荷重後の時間経過による変化（光学的クリープ）を調べ、両者の測定からそれぞれ応力—繰りかえし曲線を荷重後の経過時間をパラメーターとして求めた。

4.1 試験材料

試験した樹脂材料の組成、重合の処理方法、出来上りの外観等を表-2に示す。その中試験片No.1はDAP樹脂の普通使用されているヤング率の高いもので、他と比較のために試験した。また試験片No.5, No.6は共にエポキシ、ポリサルファイド共重合体であつてNo.5は当研究室で製作のもの、No.6は比較のため調べられた理研計器製フレキシラバーである。

☆ 前報での曲げ試験では荷重をつぎつぎと加えていつてクリープ曲線を求めたが、つぎの荷重時には前回のクリープの影響を受けていて、こゝで行なう光弾性実験におけるように試験片の各点が種々の荷重状態で同時に出発する場合とは事情が異なり、性格の曖昧なものとなる。またクリープがある材料では、歪と繰りかえし数が比較的一定値に落ち着くまで待つて測定する方がよく、これには前報の測定は、荷重後の経過時間も短かすぎるように思われる。

表 - 2

試験片番号	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
組 成 (重量比)	D A P単量体 (100) 過酸化ベンゾイル (2)	D A P単量体 (100) 過酸化ベンゾイル (15)	D A P単量体 (100) 過酸化ベンゾイル (15)	エビコート828 (30) エビコート871 (70) n-AEP (14)	エビコート828 (100) チオールLP-3 (100) DTA (16)	フレキシラバー 理研計器製
処 理 方 法	82~85℃で 2時間攪拌、 ガラス板中に キャスト、 65~70℃ 30時間後 離型	82~85℃で 2.5時間攪拌、 ガラス板中に キャスト、 65~67℃で 6時間に保ち、 離型、 その後50℃で 60時間熱処 理	№2と同じ 離型後50℃で 35時間熱処理	30℃前後で 攪拌 15℃で、40 時間後125~ 130℃で2.5時 間熱処理	40℃で エビコート、 チオールを 混和し、 DTAを加え る 65℃で 10時間 熱処理	
外 観	無色・透明 ガラス状	無色・透明 柔軟	無色・透明 柔軟	黄褐色・透明 柔軟	黄色・透明 柔軟	黄色・透明 柔軟 厚さ1.99mm

n-AEP：ノルマル-アミノエチルピペラジン

DTA：デエチレントリアミン

4.2 実験

前記試験材料より矩形断面の梁を製作し、四点荷重により曲げ試験を行なう。試験片の中心に毛描き線を刻み、光弾性実験装置の中で曲げ、一定荷重下での撓み量および光弾性縞の変化を知るため写真乾板上に図-1のごときスリット部だけの明視野光弾性写真を時間経過毎に撮影した。このようにして得られた写真上で毛描き線の基準線からの距離を測り、撓み量を、また両縁における光弾性縞次数を読み取る。

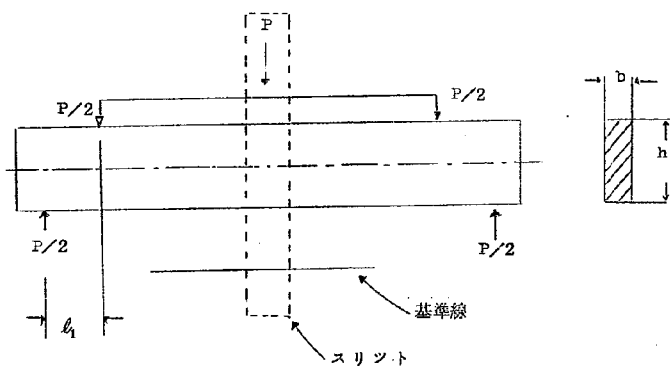


図 - 1

得られた写真は別冊に示すが、表-3に示す各場合である。表における $\sigma_{\max}$ は梁が弾性理論にしたがつて曲げられているとして、次式により計算された縁における最大応力を示す。

表 - 3

No. 1			No. 2			No.
DAP E=400kg/mm ² $\ell_1 = 50\text{mm}$ $b = 5.9\text{mm}$ $\ell_2 = 150\text{mm}$ $h = 19.8\text{mm}$			DAP E=29kg/mm ² $\ell_1 = 50\text{mm}$ $b = 5.6\text{mm}$ $\ell_2 = 150\text{mm}$ $h = 19.7\text{mm}$			DPA $\ell_1 = 50\text{mm}$ $\ell_2 = 150\text{mm}$
Photo%	$\sigma_{\max}(\text{kg/mm}^2)$	P' (kg)	Photo%	$\sigma_{\max}(\text{kg/mm}^2)$	P' (kg)	Photo%
1-1	0.198	0.5	2-1	0.076	0.25	3-1
1-2	0.296	1	2-2	0.152	0.5	3-2
1-3	0.601	2	2-3	0.228	0.75	3-3
1-4	0.902	3	2-4	0.304	1	3-4
1-5	1.202	4				3-5
						3-6

ただし E : ヤング率 $P = P' \times 4.4$

すなわち

$$\sigma_{\max} = \frac{3P\ell_1}{bh^2}$$

ただし P : 荷重、 ℓ_1 : 荷重点の距離

b : 試験片の厚さ、 h : 梁の高さ

なお試験片 No. 6 (フレキシラバー) は板の厚さが約 2 mm で曲げ試験を行なうには適当でないので、引張り試験を行なった。

4.3 測定結果

測定された撓み δ_1 から図-2 の δ_2 を求め中側荷重点間では一様に変曲しているとして梁の両縁における最大歪 $\epsilon_{\max}$ を求めると次式のごとくなる

3	4				5			
$E=15Kg/mm^2$	エビコート 871				フレキシラマー			
$b=56mm$	$E=27Kg/mm^2$							
$h=195mm$	$\ell_1=50mm \quad b=77mm$				$\ell_1=50mm \quad b=58mm$			
	$\ell_3=150mm \quad h=195mm$				$\ell_3=150mm \quad h=202mm$			
$\sigma_{max}(Kg/mm^2)$	$P'(Kg)$	Photo%	$\sigma_{max}(Kg/mm^2)$	$P'(Kg)$	Photo%	$\sigma_{max}(Kg/mm^2)$	$P'(Kg)$	
0.030	0.10	4-1	0.124	0.5	5-1	0.140	0.5	
0.078	0.25	4-2	0.124	0.5	5-2	0.140	0.5	
0.078	0.25	4-3	0.247	1.0				
0.155	0.50	4-4	0.371	1.5				
0.233	0.75	4-5	0.495	2.0				
0.310	1							

(2)

$$\sigma_{max} = \frac{8\delta_2 h}{\ell_2^2 + 4\delta_2^2} \div \frac{8\delta_2 h}{\ell_2^2}$$

$$\text{ただし } \delta_2 = \frac{1}{1 + 4\left(\frac{\ell_1}{\ell_2}\right) + \frac{8}{3}\left(\frac{\ell_1}{\ell_2}\right)^2} \delta_1$$

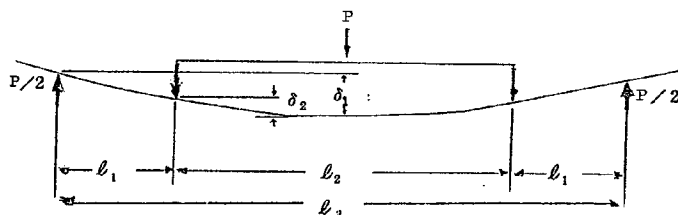


図 - 2

写真より荷重 P のときの撓み δ を経過時間 t ごとに読み取り(1)および(2)式より $\sigma_{\max}$ 、 $\epsilon_{\max}$ を求める。

また写真より梁の両縁における縞次数 N を読み取り試験片の厚み当りの次数 n に換算する。これから各試験片について

$\epsilon_{\max}$ t 曲線 ($\sigma_{\max}$: parameter)

n t 曲線 ($\sigma_{\max}$: ")

の機械的および光学的クリーブ曲線を求め、これらの曲線を元にして

$\sigma_{\max}$ $\epsilon_{\max}$ (t : parameter)

$\sigma_{\max}$ n (t : ")

n $\epsilon_{\max}$ (t : ")

をそれぞれ画いて整理したのがつぎの図である。これらを図-3および図-4とするが、見易いよう表-4のように図番号を附して一括整理する。

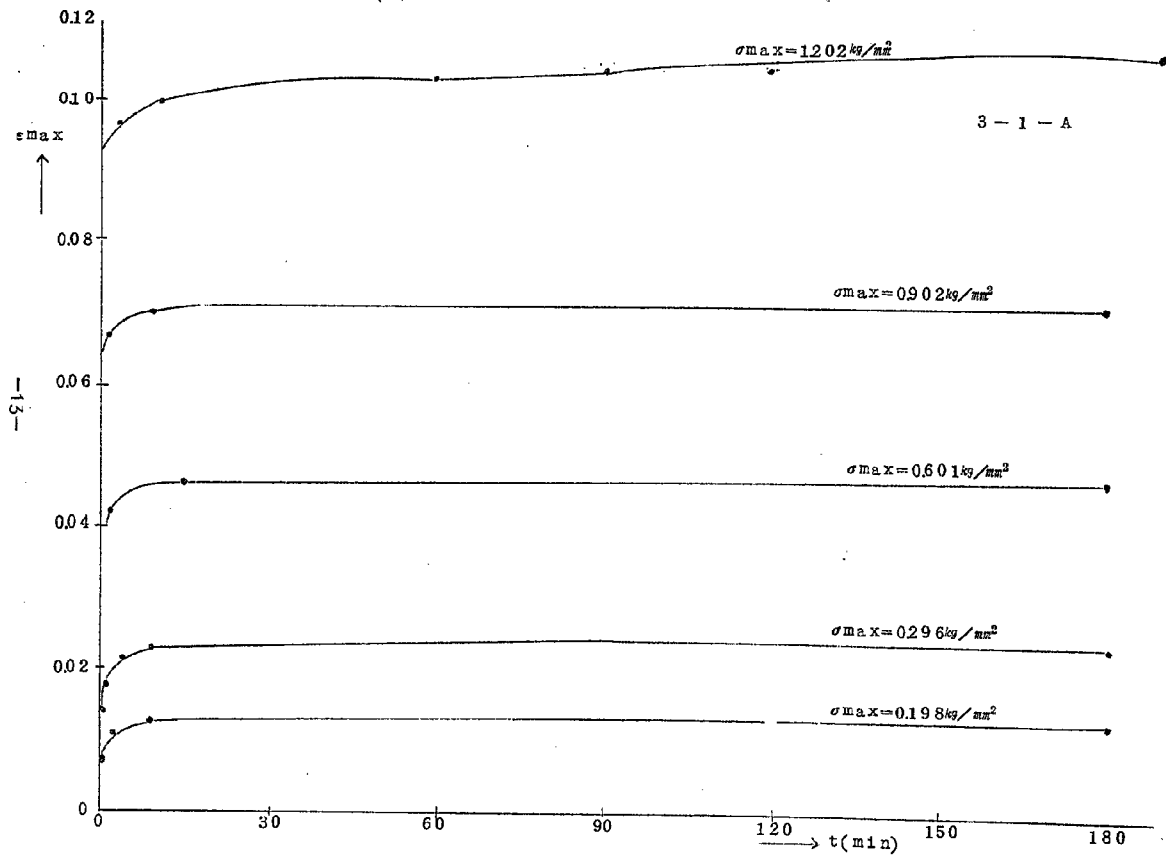
表-4 図-3および図-4 一覧表

図 試験片	図 1	図 2	図 3	図 4	図 5	図 6
$\epsilon_{\max}-t$	3-1-A	3-2-A	3-3-A	3-4-A	3-5-A	3-6-A
$n-t$	3-1-B	3-2-B	3-3-B	3-4-B	3-5-B	3-6-B
$\sigma_{\max}-\epsilon_{\max}$	4-1-C	4-2-C	4-3-C	4-4-C		
$\sigma_{\max}-n$	4-1-D	4-2-D	4-3-D	4-4-D		
$n-\epsilon_{\max}$	4-1-E	4-2-E	4-3-E	4-4-E		

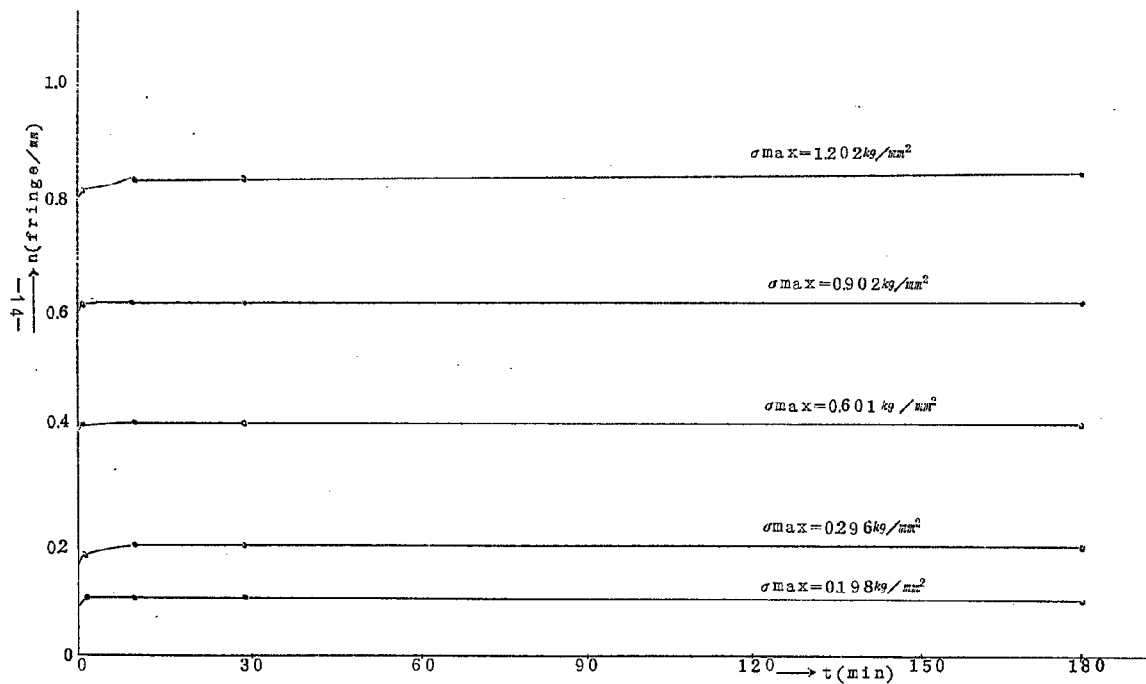
4.4 結果の検討

DAP樹脂 クリーブ曲線 $\epsilon_{\max}-t$ (3-1-A, -2-A, 3-3-A の各図) に見られるように同一荷重で二回試験を行なった結果は、クリーブ曲線はほぼ同じになり、再現性が非常によいことを示している。

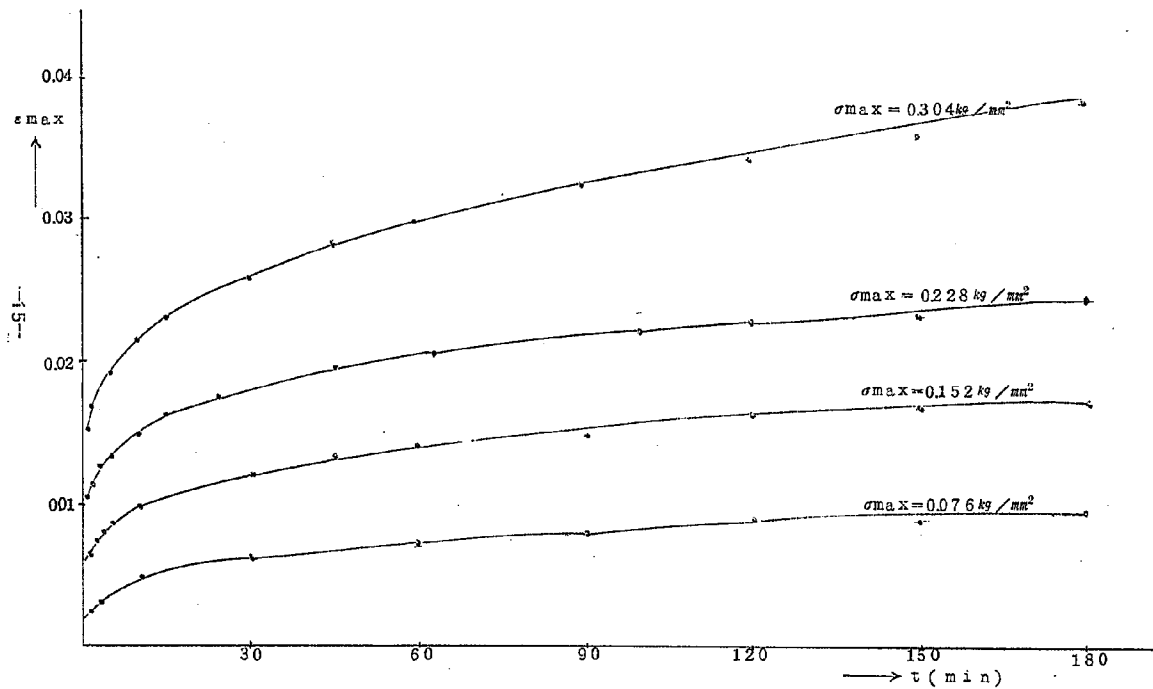
また応力 歪曲線 $\sigma_{\max}-\epsilon_{\max}$ (4-1-C, 4-2-C, 4-3-C 図) はヤング率低いものほど直線関係にある部分が少なく、また荷重後の経過時間によつて大きく影響される。



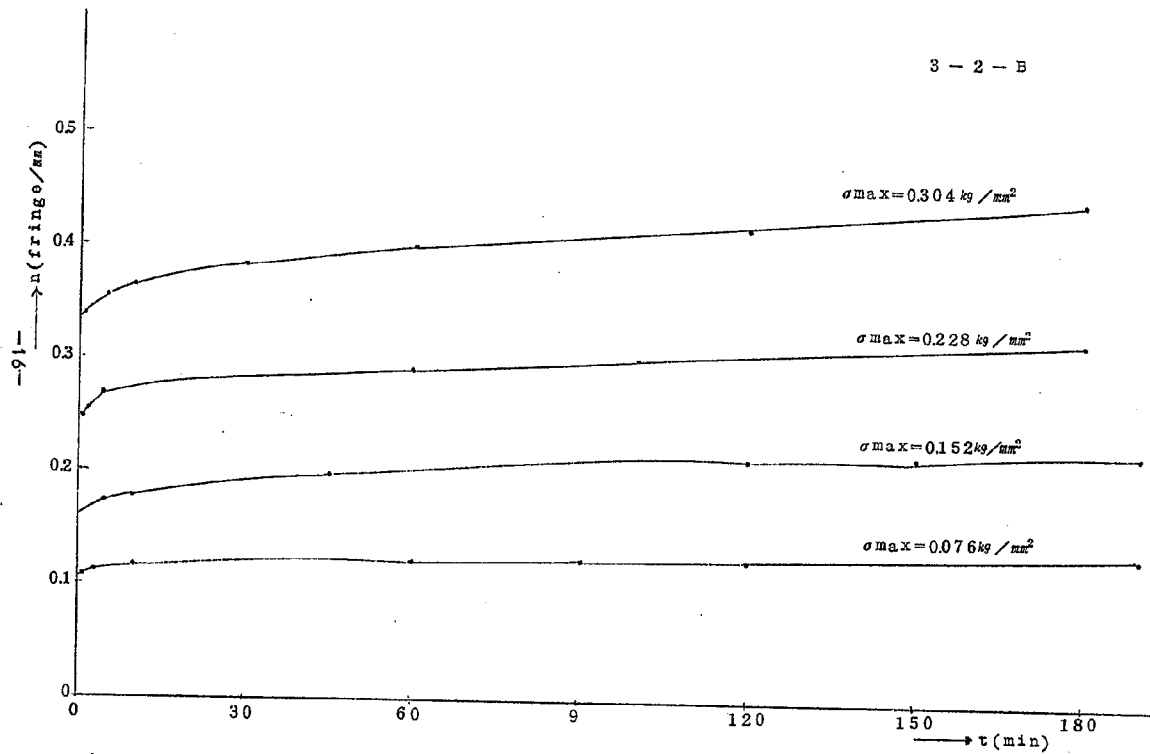
3-1-D



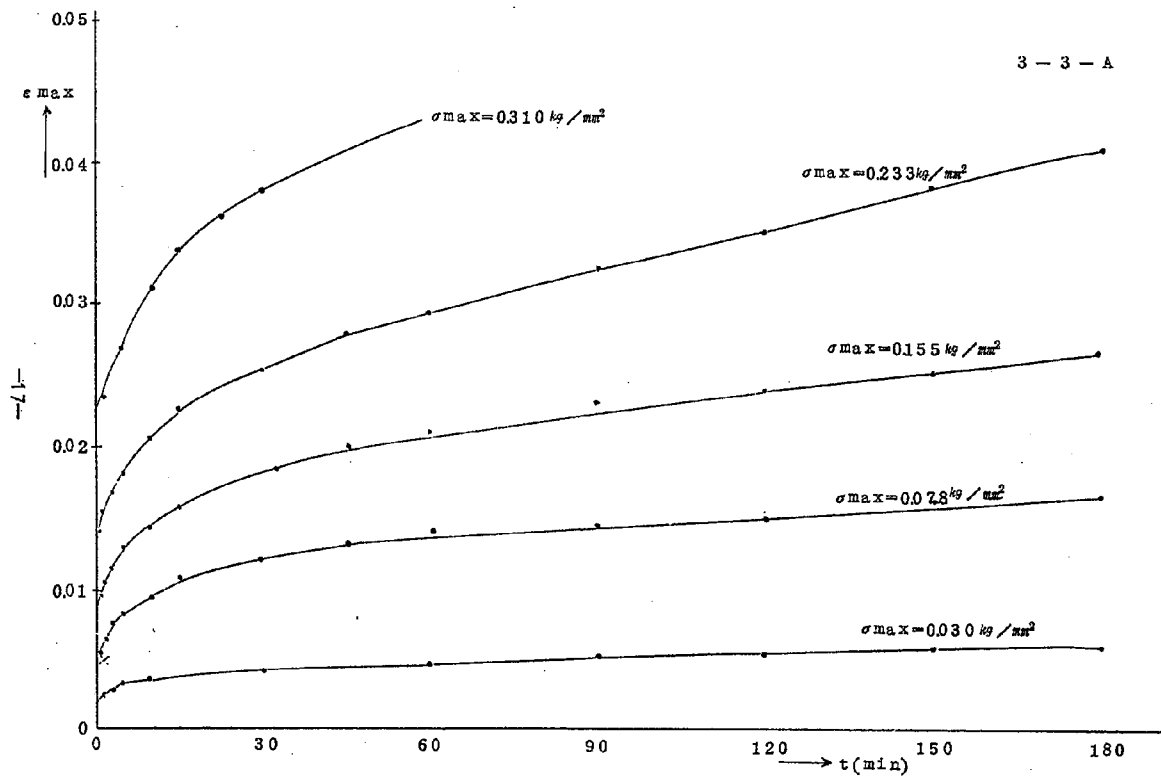
3 - 2 - A

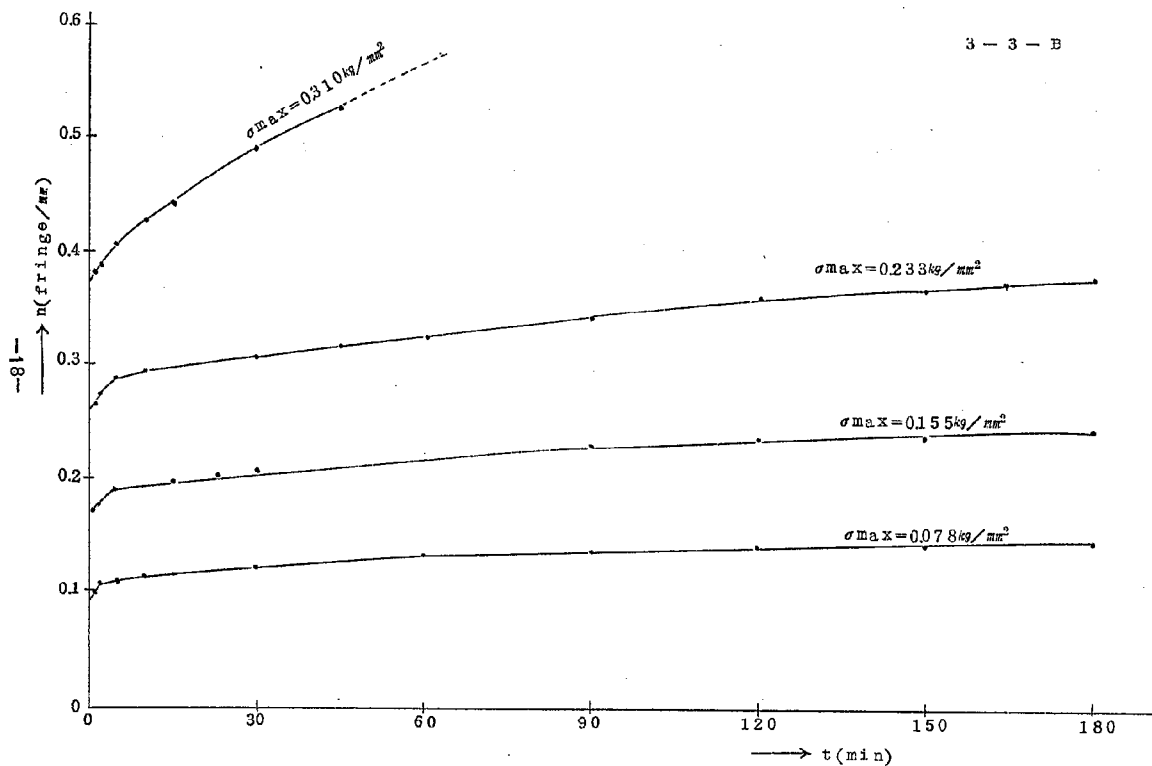


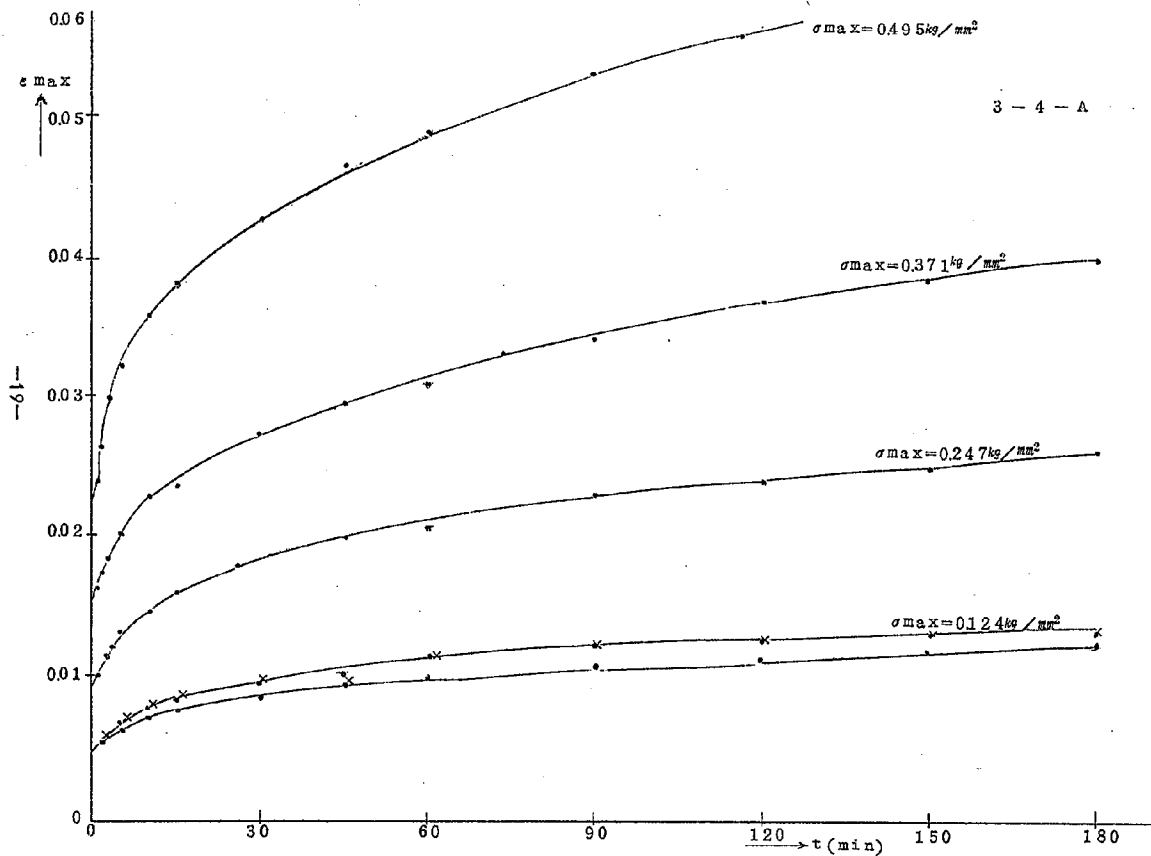
3 - 2 - B



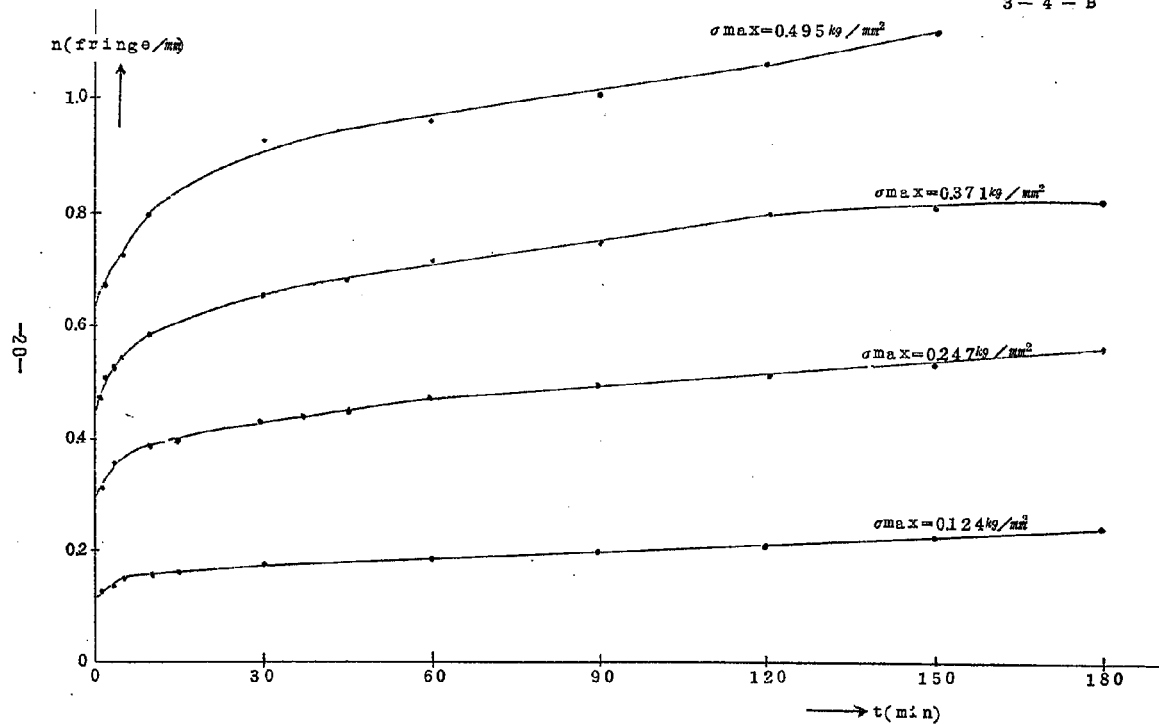
3 - 3 - A



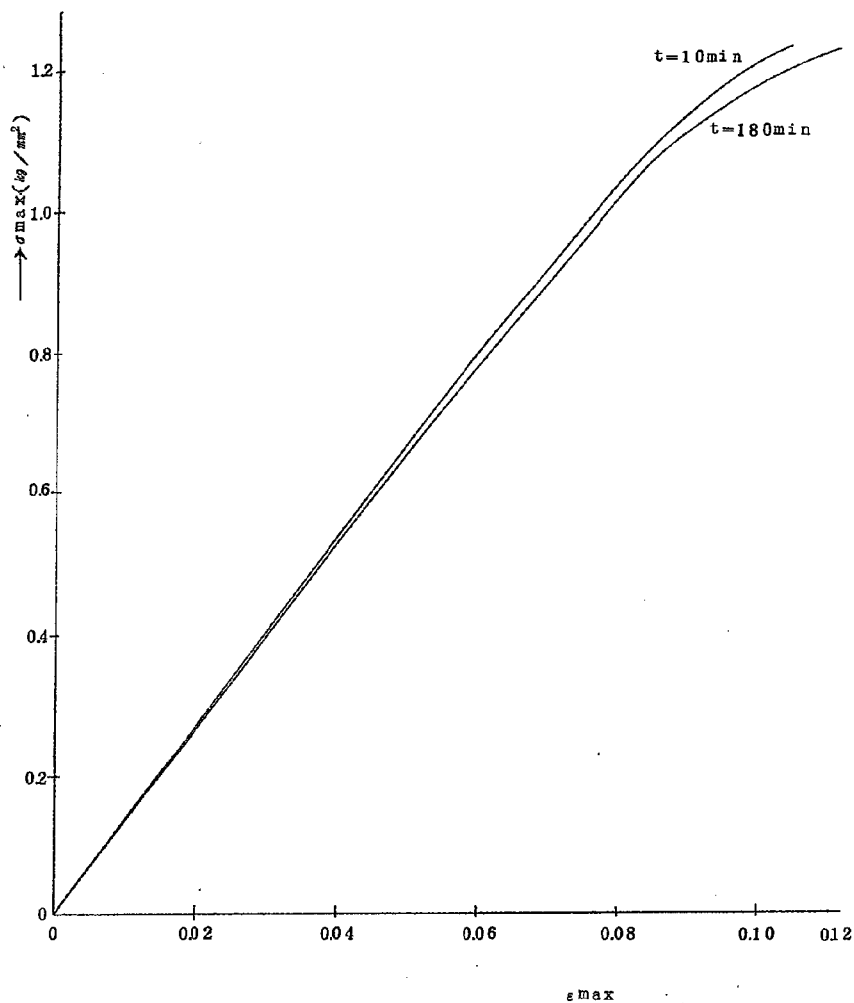




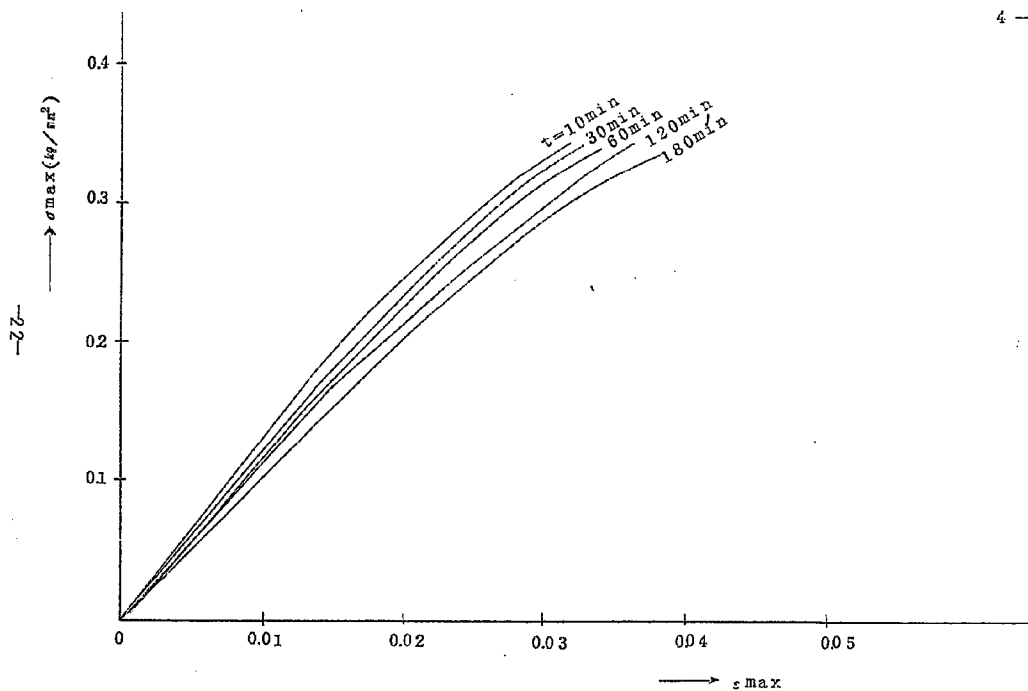
3-4-B



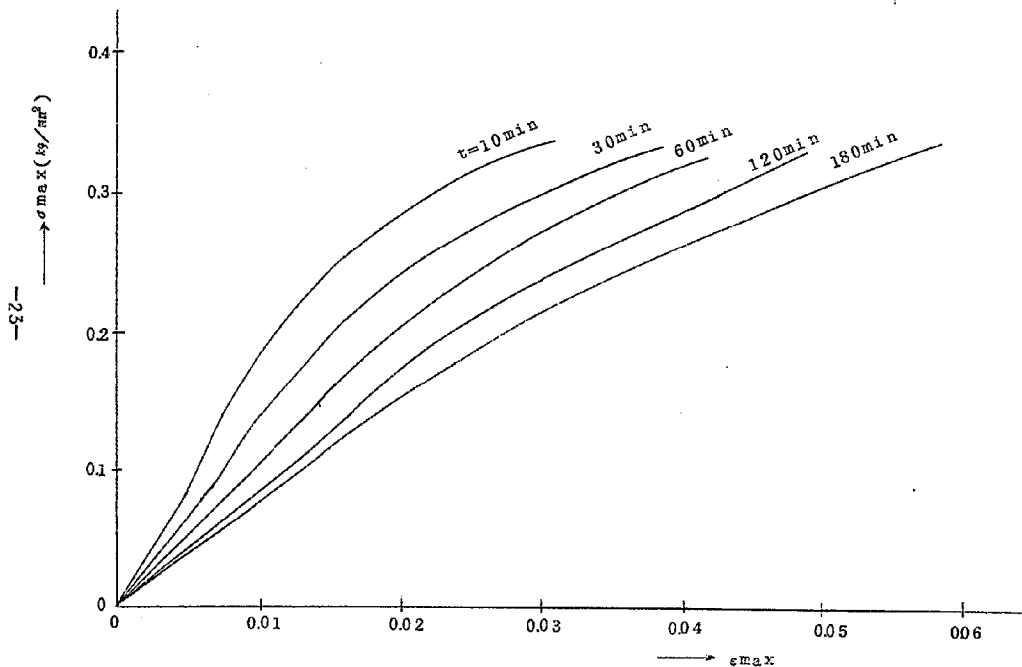
4-1-C

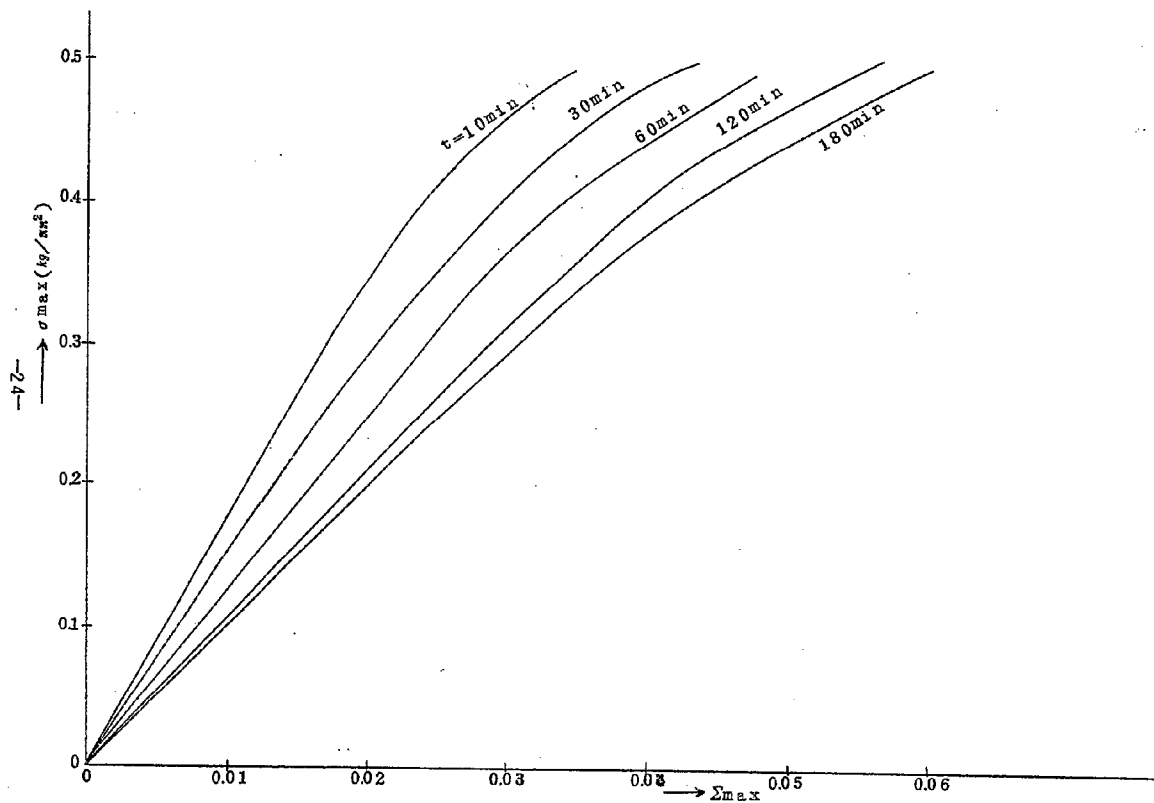


4 - 2 - c

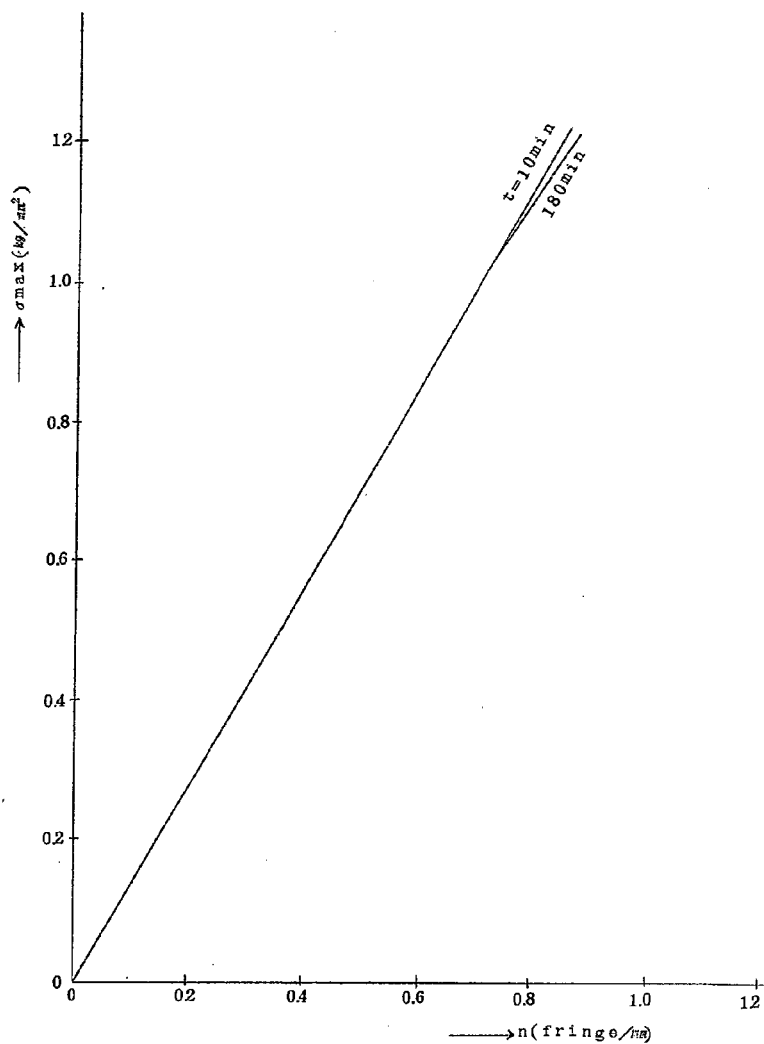


4 - 3 - c

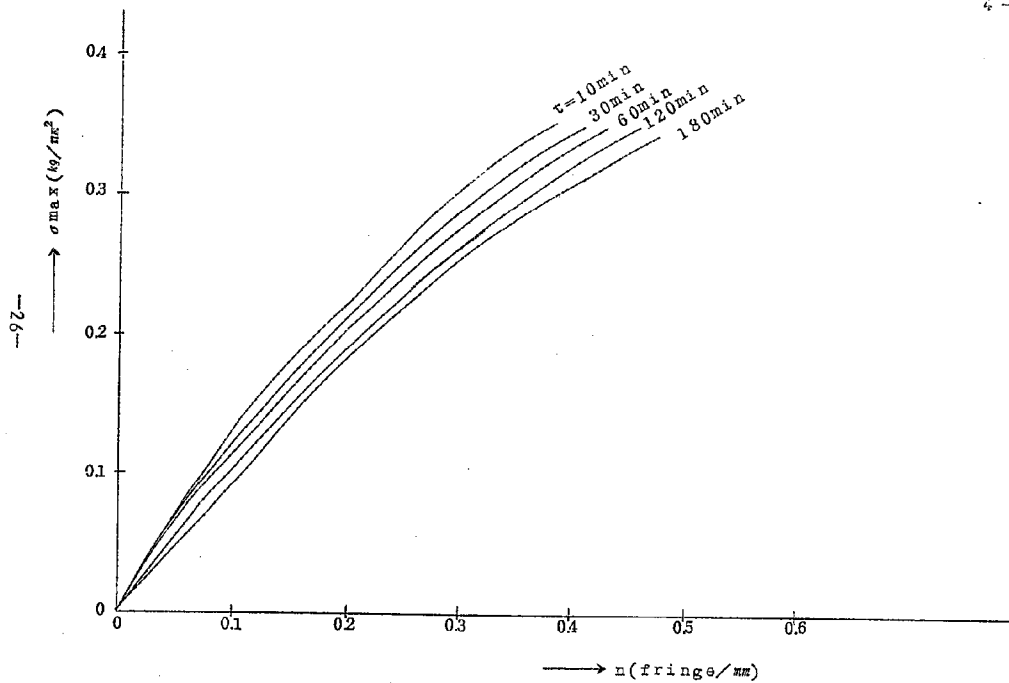




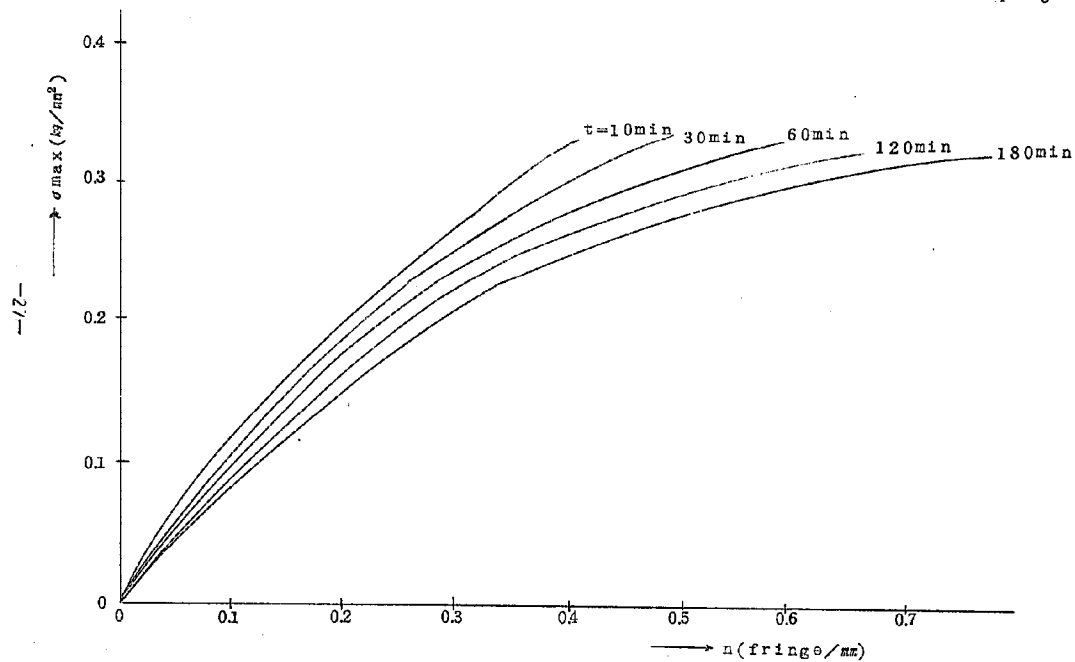
4 - 1 - D



4 - 2 - D

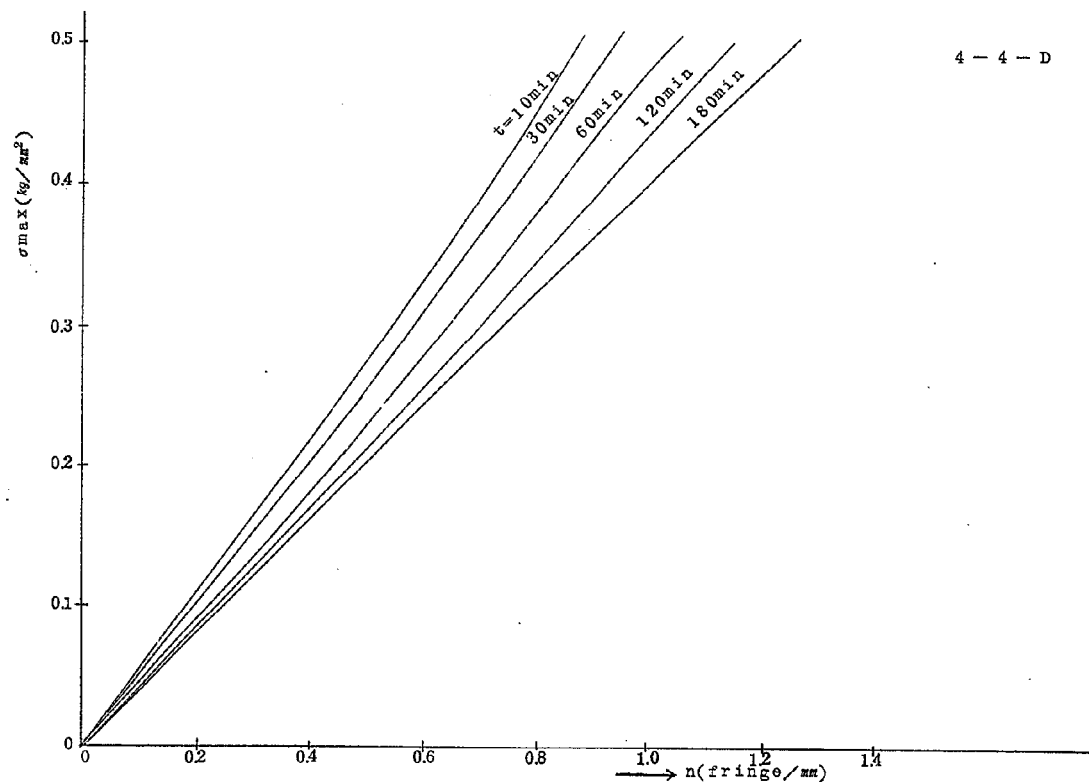


4 - 3 - D

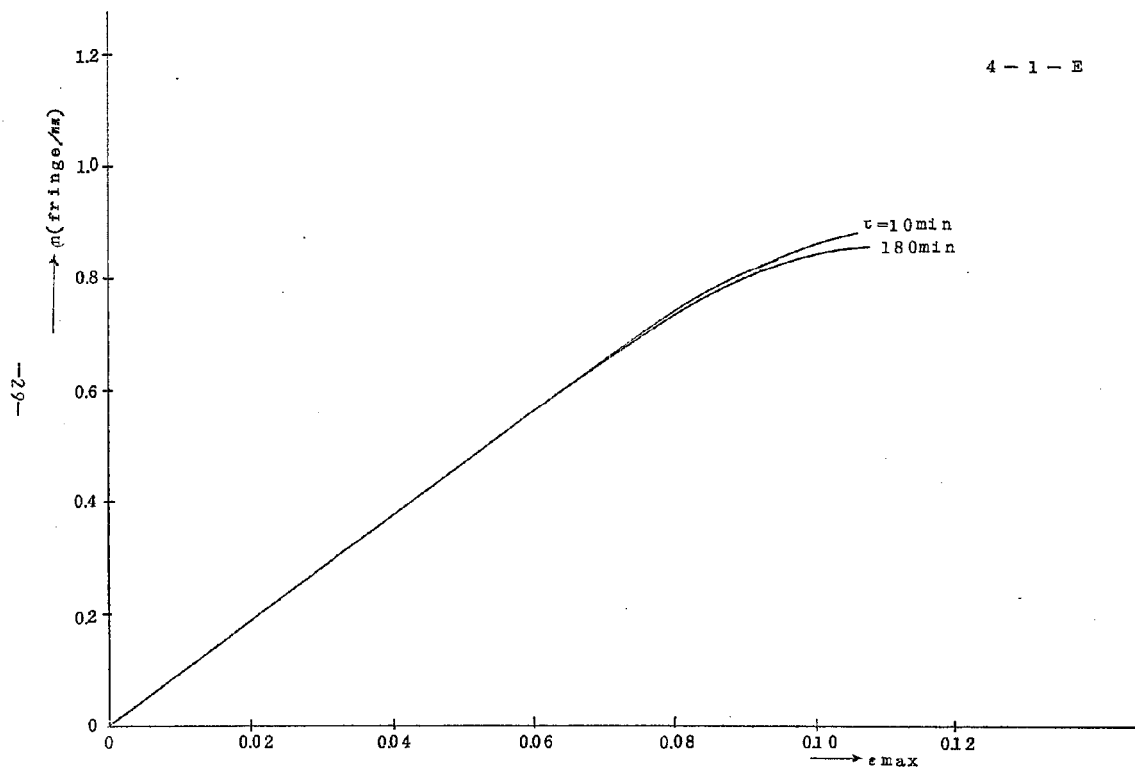


4 - 4 - D

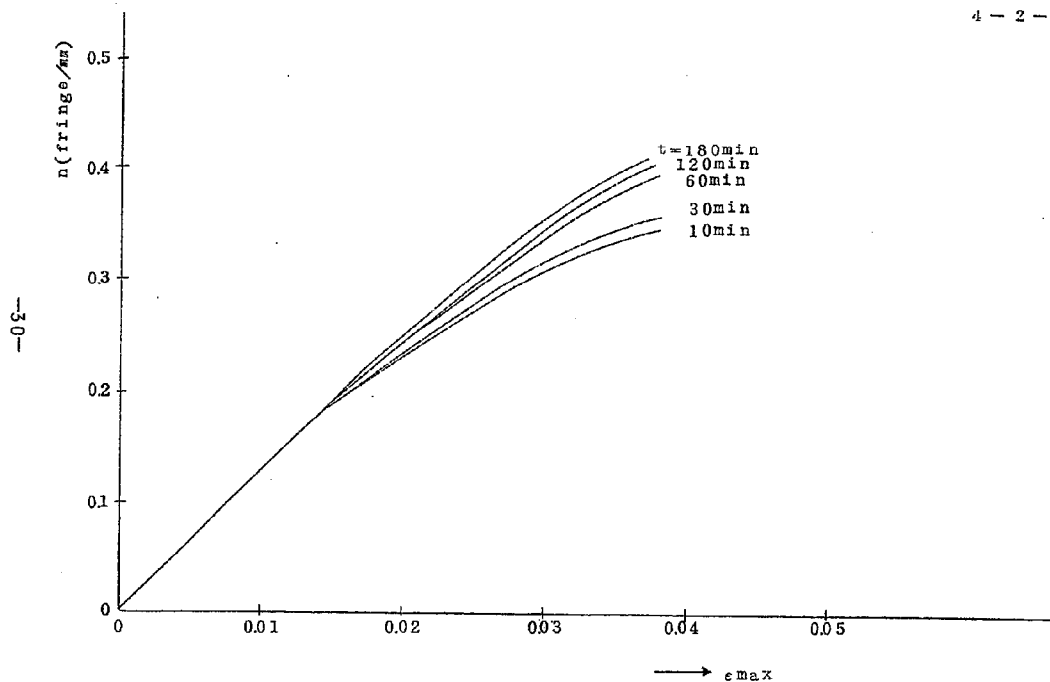
—28—

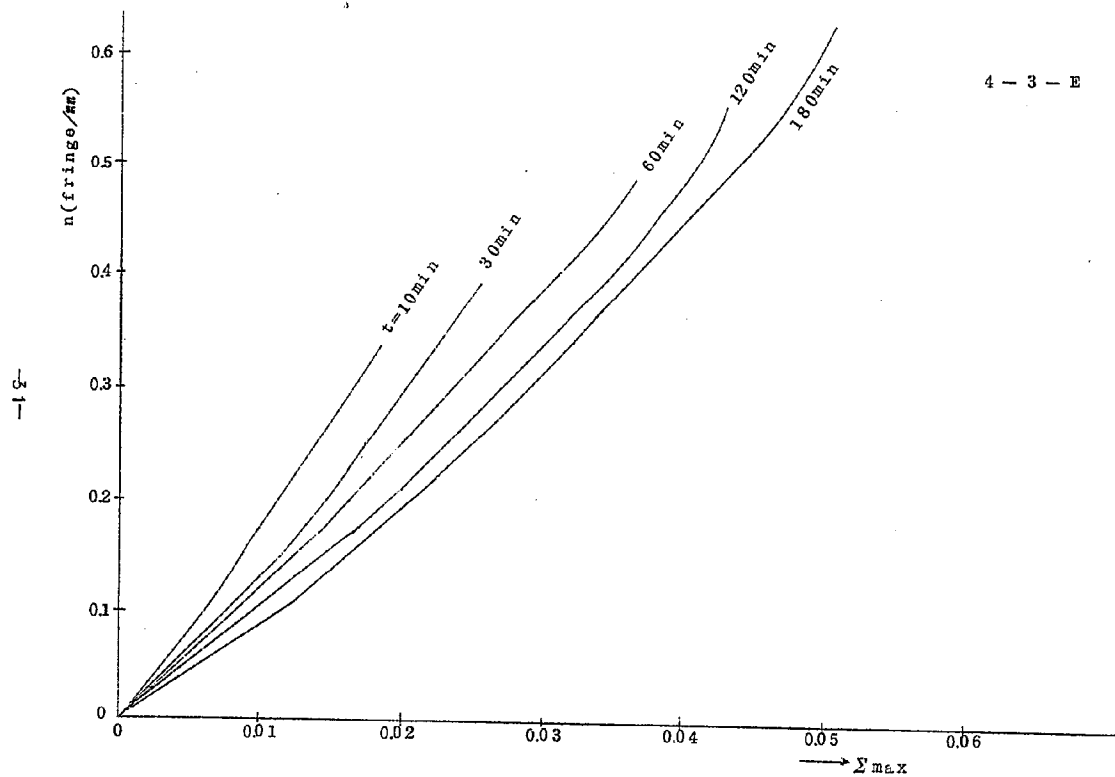


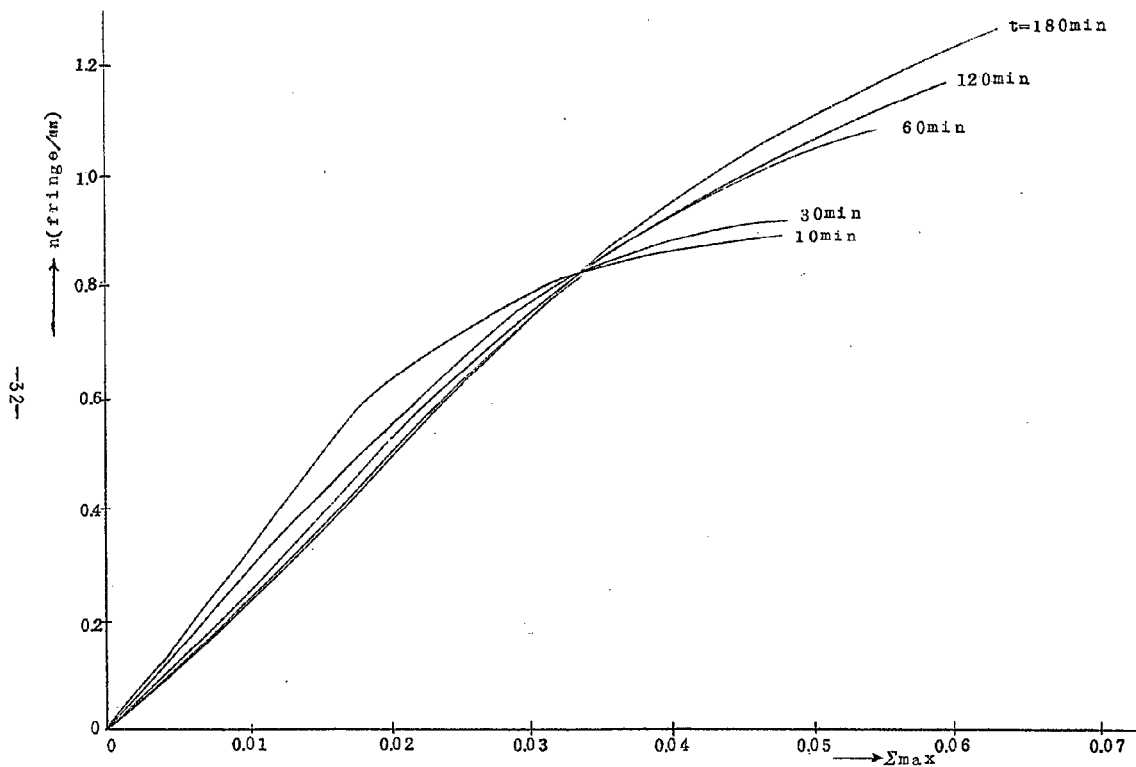
4 - 1 - E



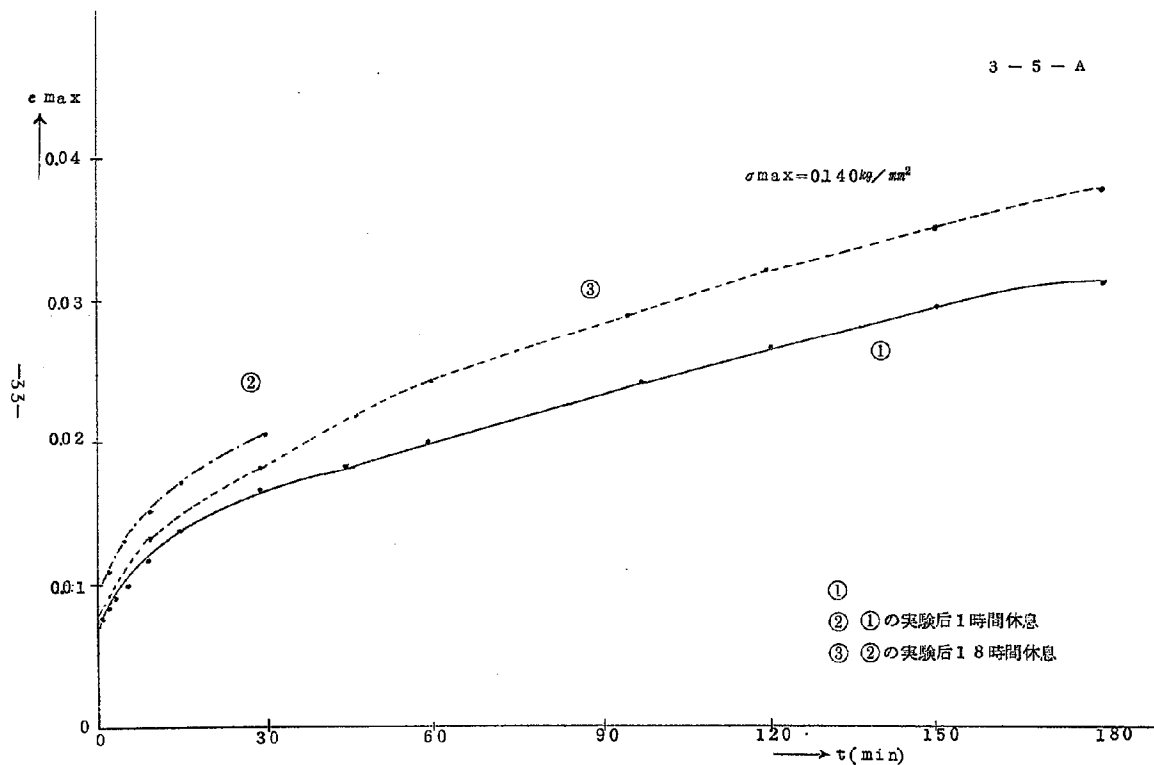
4 - 2 - B



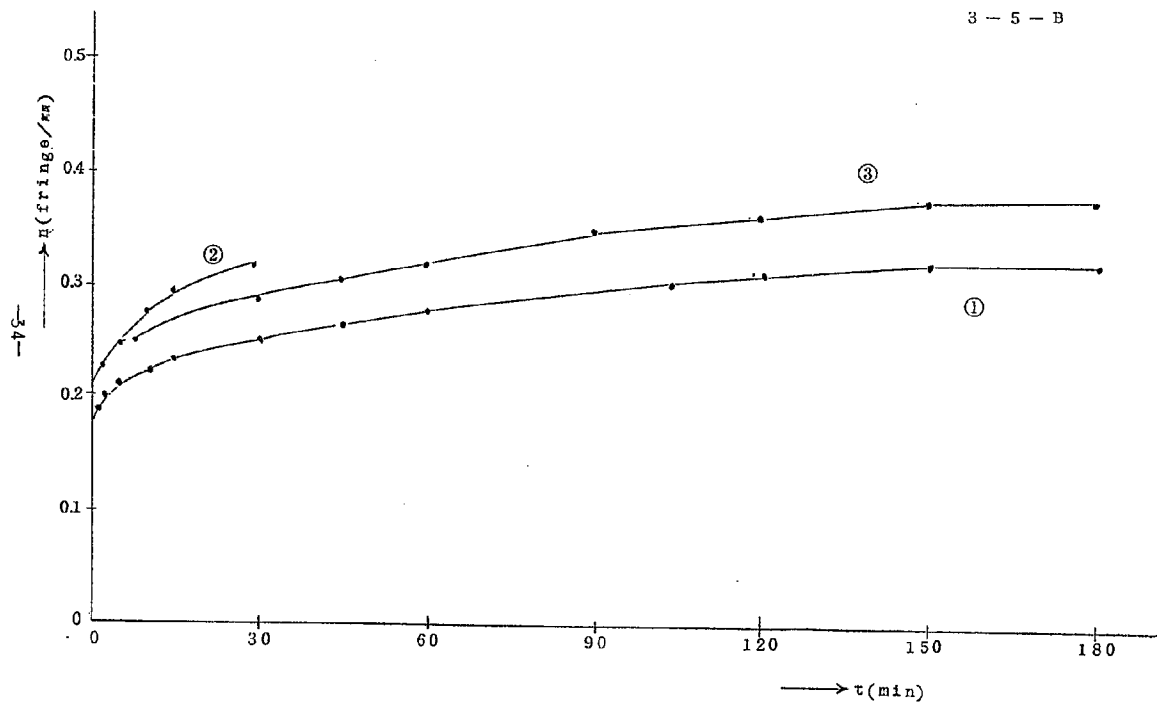


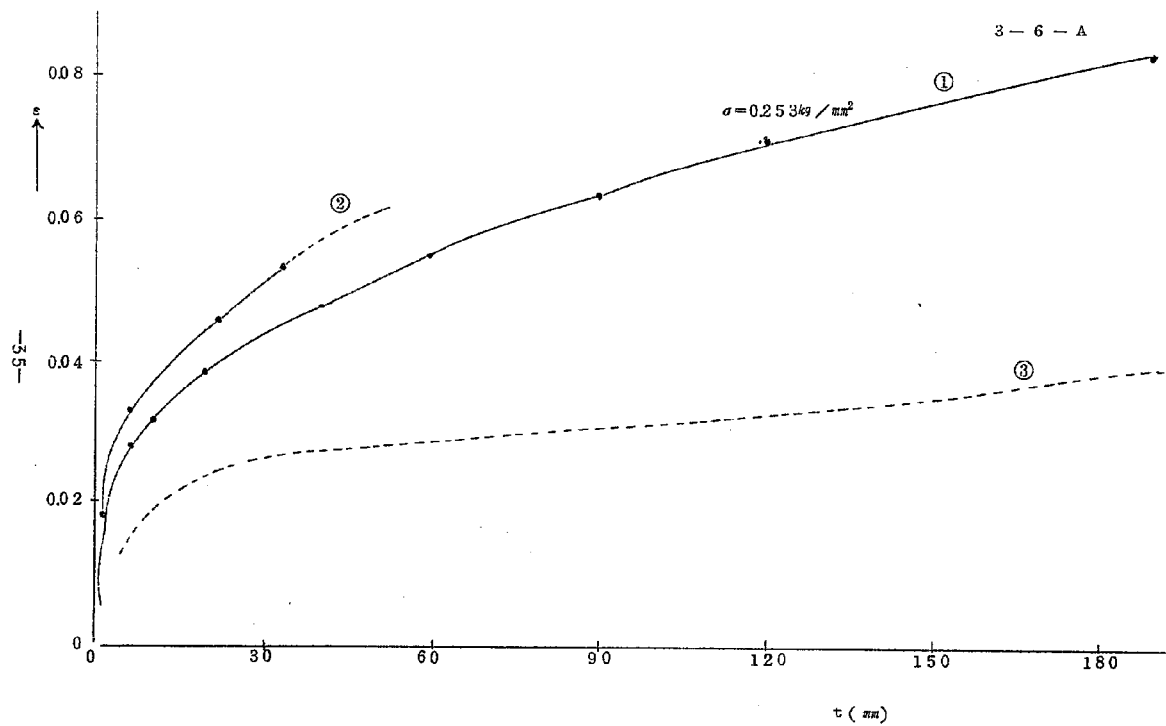


3 - 5 - A

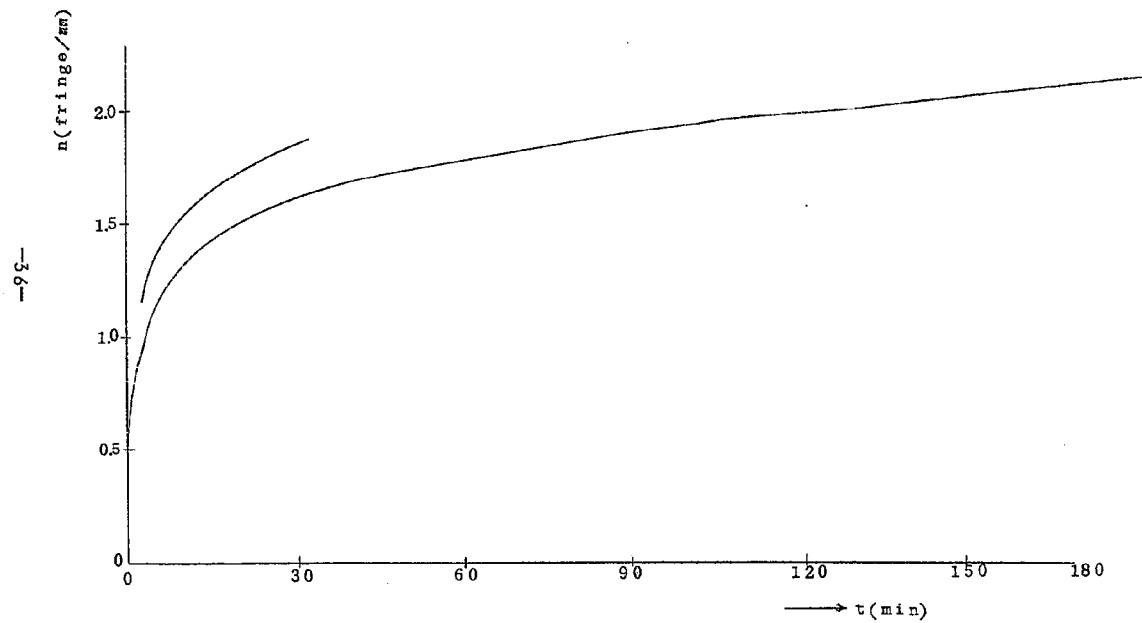


3 - 5 - B





3-6-B



これは軟いものほどクリープが大きいことからとうぜんの結果といえる。一方応力-蠕次数曲線についても同様のことがいえる。また歪-蠕次数曲線 $n = \max(4-1-E, 4-2-E, 4-3-E \text{ 図})$ ではヤング率の大小によつて、歪のクリープ速度と蠕次数のクリープ速度の相対的關係が逆転する様子が見られる。

エビコート 871 (表 4) クリープ曲線の再現性は DAP 樹脂に比較するとやや悪いが、使用不可能のほどではない。クリープの程度は歪、蠕次数とも同程度のヤング率をもつ DAP 樹脂より大きい。

ただし $\epsilon_{\max} - \sigma_{\max}$ 曲線 (4-4-C 図)、 $n - \sigma_{\max}$ 曲線 (4-4-D 図) は DAP 樹脂よりも直線性をもっている。

フレキシラバー (表 5, 表 6) 理化学研究所で製作した材料について曲げ試験を行なつた結果は、歪および蠕次数ともにクリープがはなはだしきことを示し、しかも同一荷重を繰り返して加えたとき再現性がほとんどないことがわかつた。(3-5-A, 3-5-B 図)。これは製法が適当でないためかも知れないという疑いをもつて比較のために理研計器製作の材料 (表 6) について試験した。これは光弾性被膜用に作られたもので厚さが 1.99 mm で薄いので引張試験を行なつたところ、さきの曲げ試験で得られた結果と大体同じ傾向を示す。

(3-6-A, 3-6-B 図)。したがつてこの材料は実験の再現性、すなわち歪・応力・蠕次数間に一義性がないと決論されよう。この材料はしたがつて使用し得ない。

以上から DAP 樹脂が本調査の目的にはもつとも適当であり、エビコート 871 樹脂も性質としては使用不可能ではないが、黄褐色であること、製法に難点があることから DAP 樹脂より劣ると思われる。

5. 土相当樹脂の試験

土相当樹脂として採用したポリウレタンは人工ゴムの一様で、現在フォーム・ラバーとして多く生産されている。また光弾性実験用としては米国においていくつか試用された例があるが、じゅうぶん役にたつようである。たゞしこれの生産は泡入りでないソリッドなウレタンについては、日本においては数社が採り上げているに過ぎず、未だ研究の段階にあるもののようである。

したがって実験室で材料を製作するのは困難と思われる。ここでは理研計器より購入した材料について試験を行なった。

5.1 試験材料

ウレタンゴム PU-3 およびポリヴィニールクロライド PVC の硬さの異なる各二種類、計四種類について試験した。表-5 にその外見的性質を示す。何れも外見的には光弾性実験に使用可能と思われる。しかし透明度はウレタンの方がよい。

表 - 5

試験片番号	㊦ 7	㊦ 8	㊦ 9	㊦ 10
物質名	ポリウレタン PU-3	ポリウレタン PU-3	ポリヴィニール クロライド PVC	ポリヴィニール クロライド PVC
光学的所見	黄褐色 透明	褐色 透明	黄色 半透明	赤褐色 半透明
機械的所見	ゴム弾性的 柔軟	ゴム弾性的 ㊦ 7 より硬く 変形の恢復性はやや 悪い	ゴム弾性的 柔軟	ゴム弾性的 柔軟
厚さ (mm)	12.2	12.4	11.6	11.8

5.2 実験および測定結果

これらの材料はヤング率がきわめて低く、曲げ試験を行ないにくいので、引張り試験を行なった。一定の荷重を加えてクリープ試験を行ない、荷重後3時間にわたって歪量を測定した。同一試験片について同一荷重で二回クリープ試験を行なつて、クリープ実験が再現性あるか否かを調べた。また荷重を変えて応力-歪曲線を求める。また光弾性縞次数のクリープ性を調べ、また応力-縞次数曲線を求めた。これらを図-5 および図-6 に示す。表-6 にこれらの図の対照表を示す。

表-6 図-5および図-6 一覽表

図	試験片	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
	$\epsilon - t$	5-7-A	5-8-A	5-9-A	5-10-A
	$\sigma - \epsilon$	6-7-B	6-8-B	6-9-B	6-10-B
	$N - \sigma$	6-7-C	6-8-C	6-9-C	6-10-C

5.3 結果の検討

図-5から見られるよう実験の再現性は比較的良好で、特に№7、№8のポリウレタン系のものは優れていて、同一荷重なら同一のクリープ曲線に沿って歪が増してゆく。図-6-Bに示す応力-歪曲線はいずれも比較的直線的で荷重が大きいときやや外れるものもある。また応力-繰回数曲線も№8で少々曲線を描くが外はすべて直線的である。これらから総合的に判断して、じゅうぶん弾性体と見て光弾性実験に使い得ると結論され、前章の岩石相当樹脂よりもずつと難点は少ない。

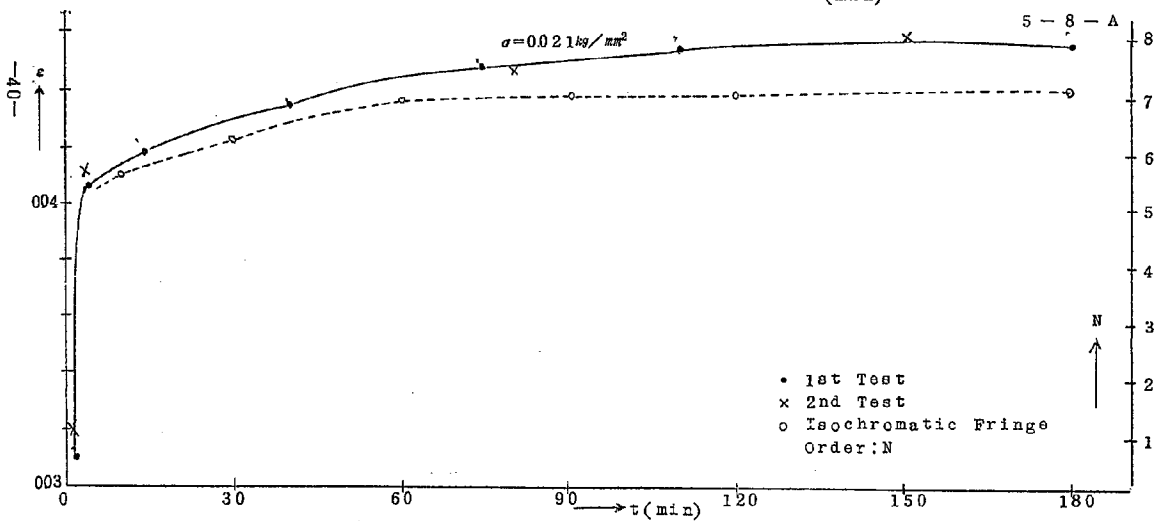
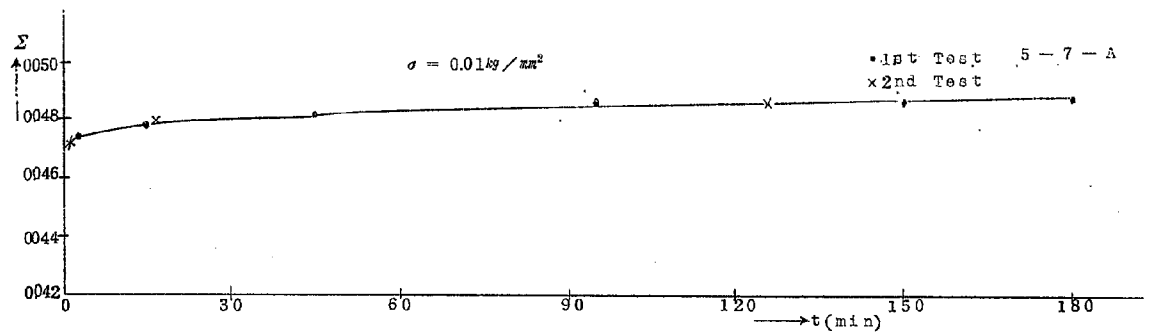
6. ポアソン比の測定

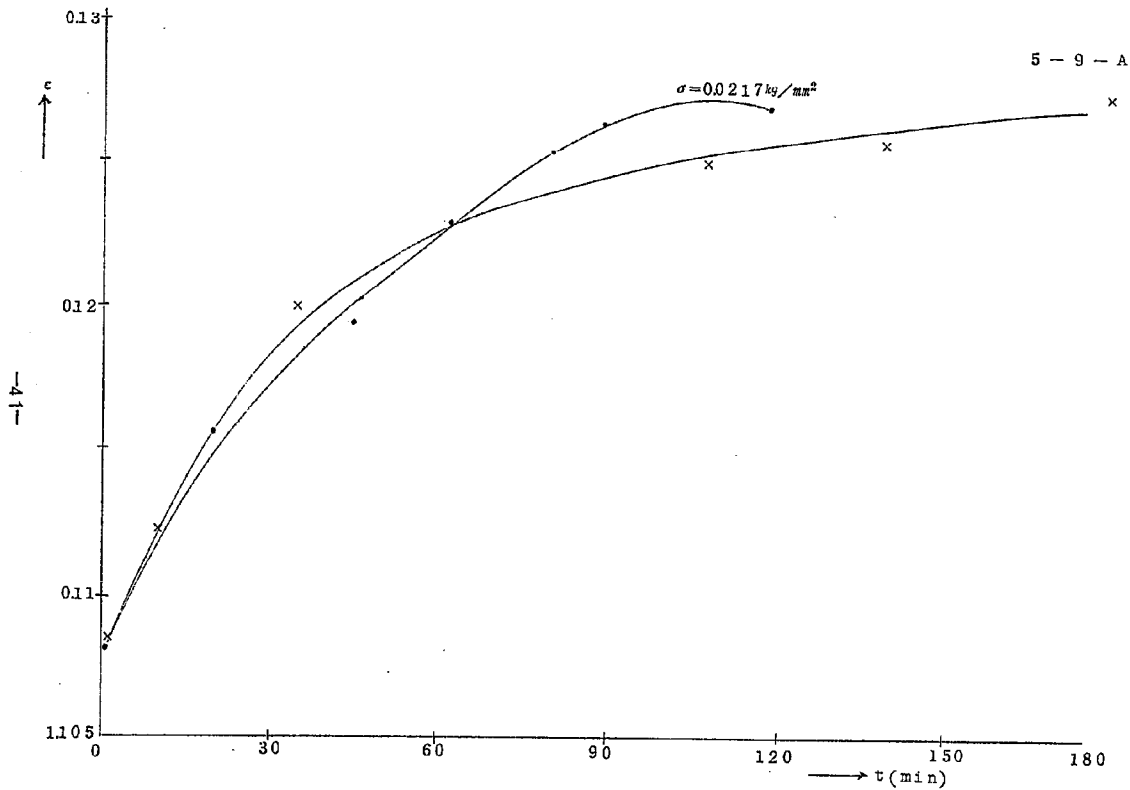
試験材料で引張試験片を製作し、表面中央に短形の毛描線を描き、引張り際の伸歪と横歪とをコンパレーターで測定して求めた。DAC樹脂について行なつたところ、柔軟な場合はポアソン比が大きくなる。結果は表-7に示す。土相当樹脂については特に測定しなかつたが0.46~0.49程度と思われる。

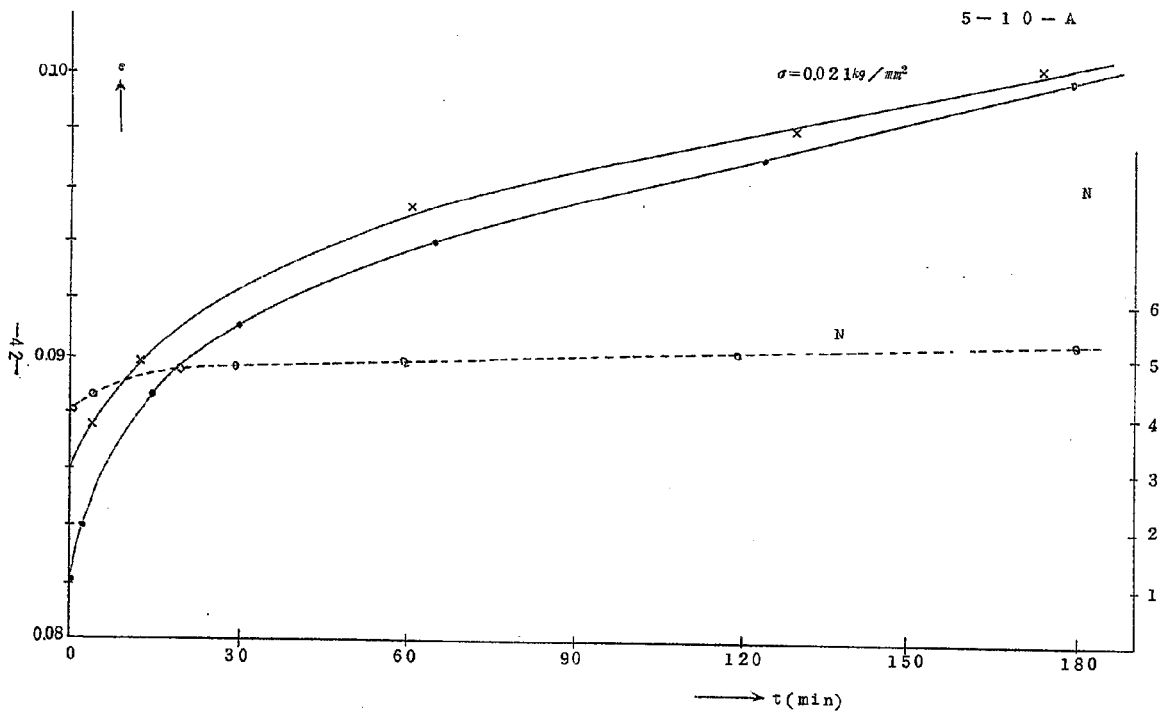
7. その他の性質

7.1 熱膨張係数

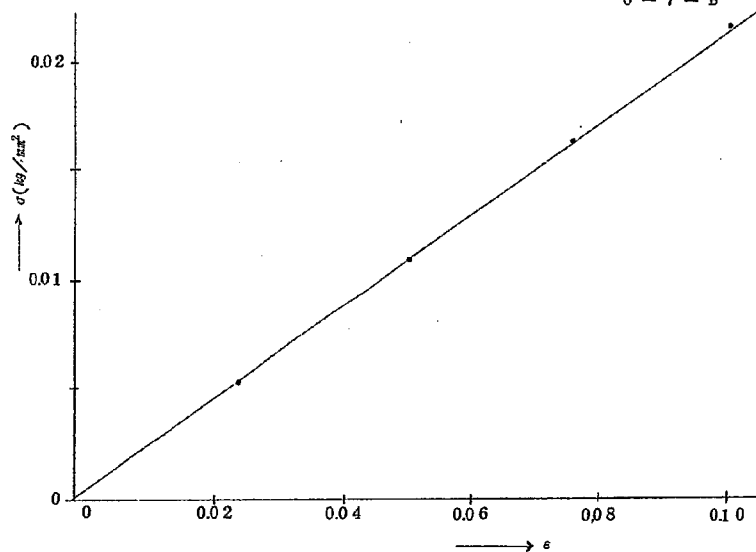
線膨張係数のだいたいの値を知るためつぎのような測定を行なつた。図-7の写真に見られるよう、短形断面の試験材料の棒を台上に立て、倒れないように支える。これの上端と三角形をなす位置に図のごとくガラス棒を立てる。ガラス棒の上端は平坦にしておき、その上に光撚子をその二脚がガラス柱上一脚は試験片上になるように載せる。この装置を恒温槽中に置き常温より約100°に熱し、槽外より望遠鏡を用いて鏡の偏れを測定して伸び量を測定した。



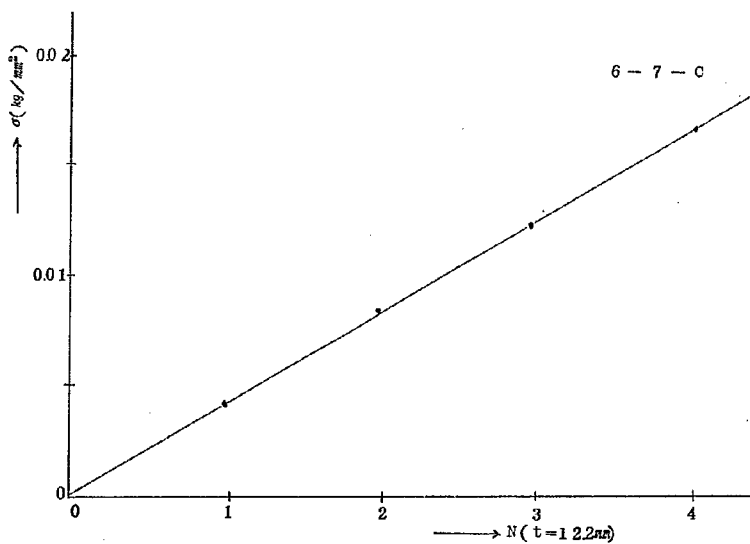


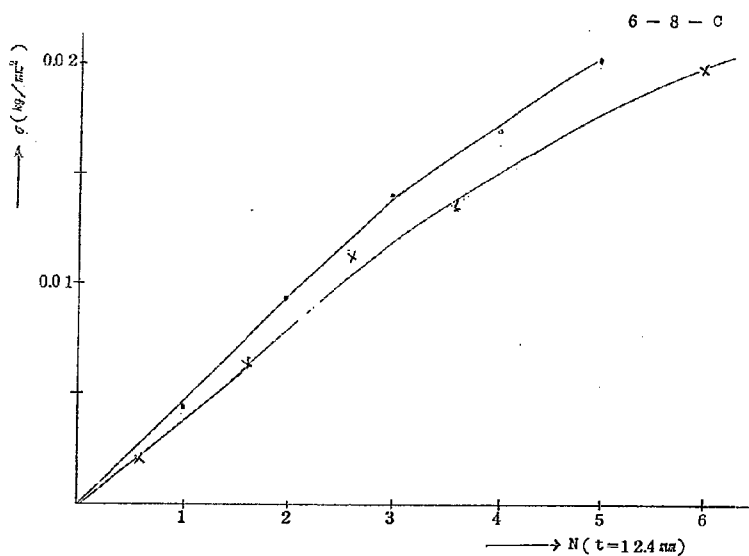
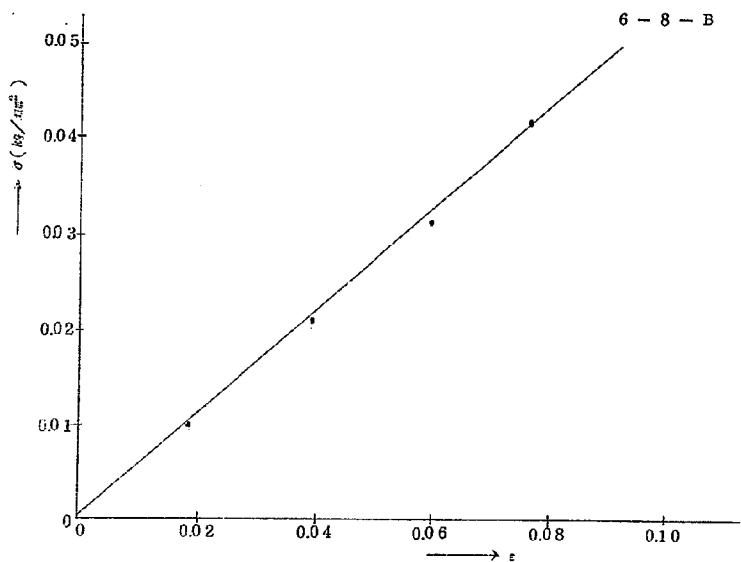


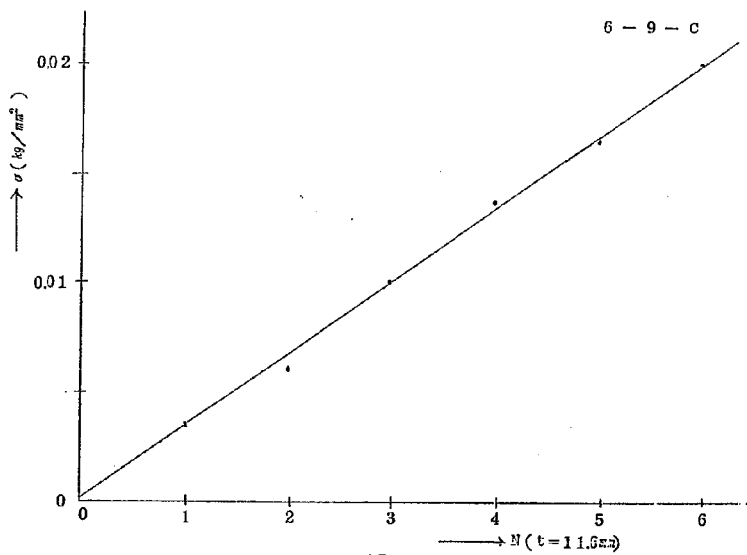
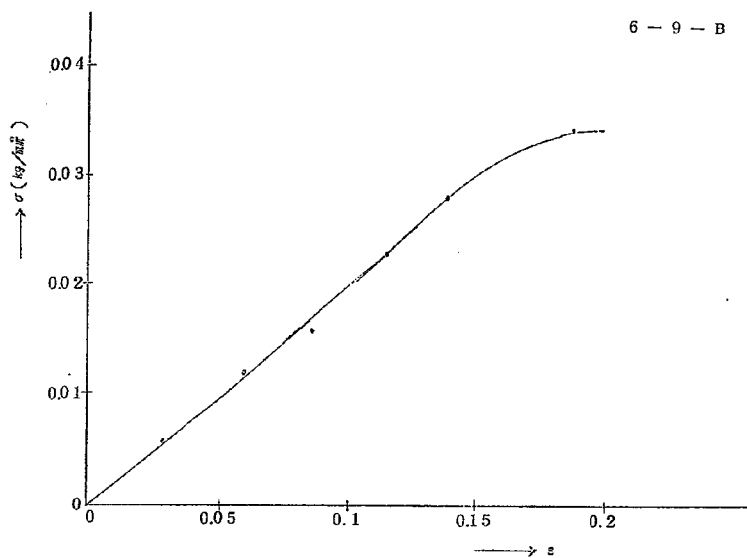
6-7-B



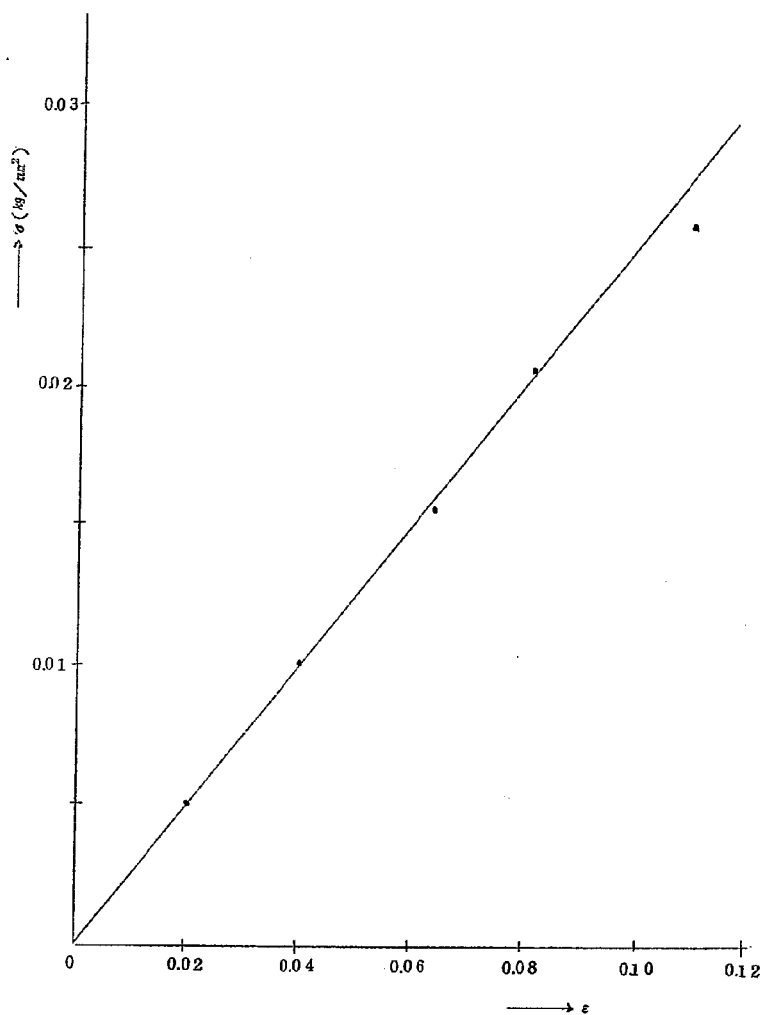
6-7-C







6 - 1 0 - B



6-10-C

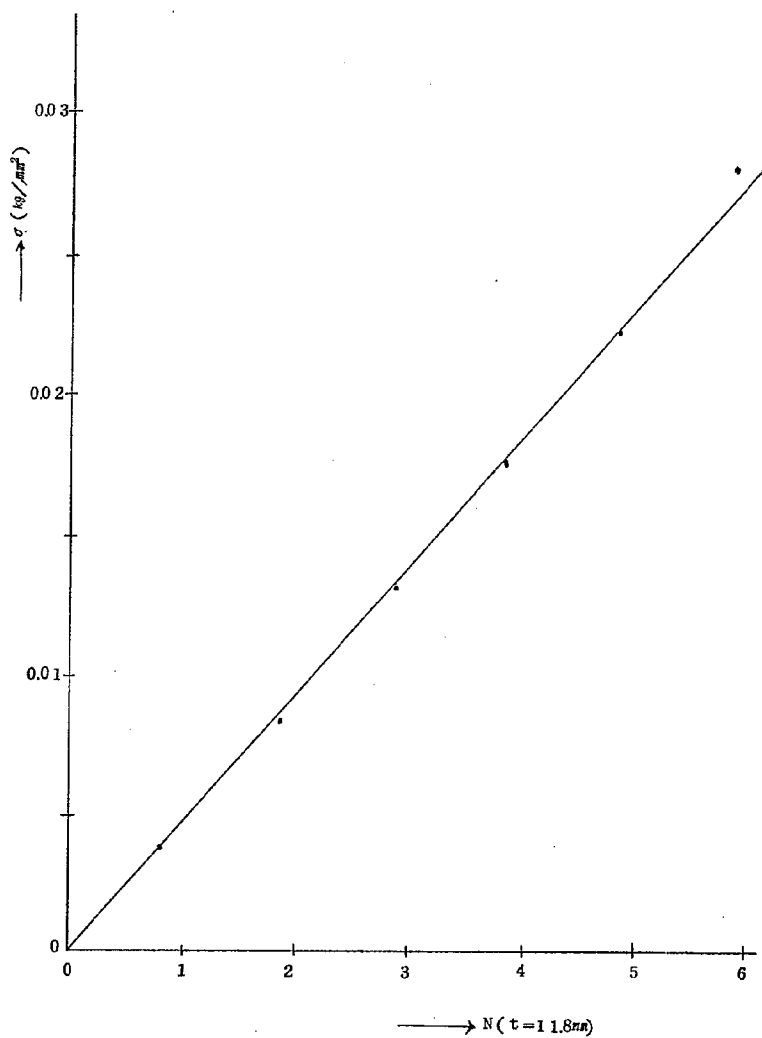
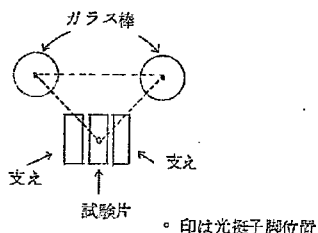


図-7



樹脂の熱膨張係数は比較的大きく、 10^{-3} のオーダーであるから、基準としてガラス棒を用いても、ガラスの熱膨張係数は 0.8×10^{-5} 程度であるから、これの膨張は無視してよい。恒温槽の温度保持の精度が悪いのでじゅうぶん精度良く測定することは困難であるが、大略は表-7に示す値が得られた。

7.2 加工性

岩石相当樹脂は普通光弾性実験用試験片製作の際に行なわれる方法、すなわち機械加工、ヤスリ仕上などでじゅうぶん成形できる。ただし注意すべきことは、軟いため加工中に材料を保持するとき、あるいは加工したのちの取扱いにより変形して所定の寸法を保つことが困難であるから、精密な外形仕上は難しいように思われる。

また土相当樹脂は普通の機械仕上やヤスリ仕上はできない。簡単な外形は鋭利なカミソリ刃を使い、油類を潤滑剤として用いて切り出す方法が良い。

7.3 接着性

常温硬化のエポキシ接着剤を使用して調べた。コンクリート相当樹脂のエポキシ、DAPなどはこれでじゅうぶんであり、また岩石相当樹脂もこれで接着できる。しかしウレタンゴムなどは接着は完全であるが接着層が硬くなり、この部で光弾性縞が乱され、また実験の相似性も満されなくなる。エポキシ接着剤などのようにじゅうぶん固化しない接着剤が望ましく、ゴム糊等の方が良いと思われる。

表 - 7

試験片 番 号	物 質 名	ヤング率 (kg/mm^2)	光弾性感度 (mm/kg)	ポアソン比	熱膨張係数 ($\times 10^{-4}$)	判 定
№ 1	D A P	400	0.72	0.41	0.99	+++
№ 2	D A P	29	0.94	0.47	1.2	++
№ 3	D A P	15	1.03	0.45	1.3	++
№ 4	エビコート 871	27	1.2	—	1.8	+
№ 5	フレキシ ラバー			—	—	不 適
№ 6	フレキシ ラバー			—	—	不 適
№ 7	P U-3	0.21	2.02	—	2.3	+++
№ 8	P U-3	0.55	2.07	—	2.2	++
№ 9	P V C	0.20	2.25	—	—	+
№ 10	P V C	0.26	1.84	—	—	+

判定は光弾性実験用として使用し得るかどうかを示す。

良い程度に応じて+を増す。

8. 結言

以上行なわれた試験の結果から各試験片に対するヤング率、光弾性感度、ポアソン比、熱膨張係数を求めて総括的に表-7に示す。

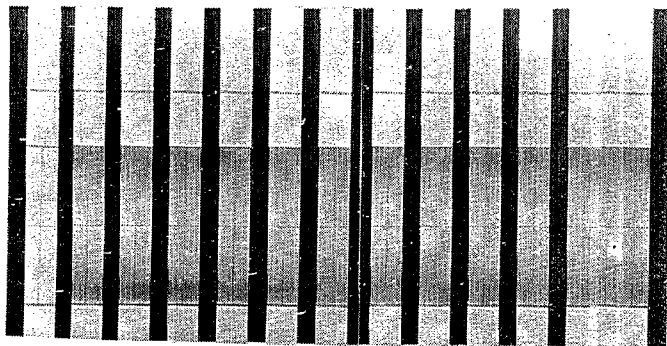
三相構造物に対する模型実験として光弾性実験を行なうには、コンクリート、岩、土に対する材料にはつぎのものがもつとも適すると思われる。すなわち

コンクリート		D A P またはエポキシ樹脂
岩石		D A P 不完全重合体
土		ウレタンゴム

D A P 不完全重合体は硬化剤を減らし、熱処理を適当にして所望のヤング率のものを製作する。これらの材料を用いて模型を製作し、所定の荷重を加えて適当な時間放置しておきクリープをじゆうぶん行なわせて、荷重後一定時間経過後に、光弾性等色線写真を撮影する。予め用いた試験片材料につき歪—応力曲線および光弾性縞次数—応力曲線を同じクリープ時間の場合について求めておき、この結果を用いて応力解析する。

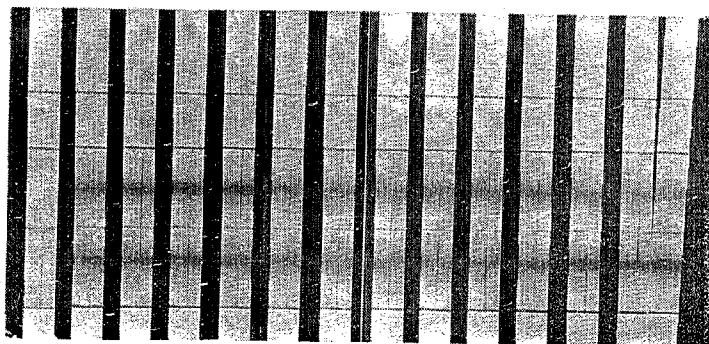
試験材料は製作時の処理方法によつて異なる性質を示すから、上記の較正曲線はその材料毎に行なう必要がある。また柔軟な材料は温度を高めると重合が進み性質が違ってくるので、温度を高めてはいけない。

このような方法は必ずしも満足すべき方法ではないが、ヤング率 20 kg/mm^2 の中程度の硬さをもち、しかも弾性的な人工樹脂が得られない現状では止むを得ない方法であり、一層良い光弾性実験を行なうためには、今後の人工樹脂のこの線に沿った開発研究を待たねばならない。



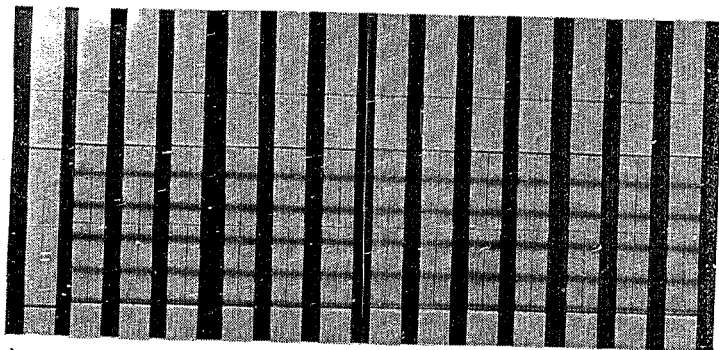
T(min) = 0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 1-1	
No. 1	D A P
$\sigma_{max} = 0.296$	E = 400



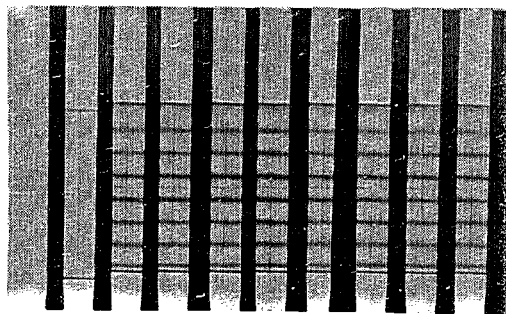
T(min) = 0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 1-2	
No. 1	D A P
$\sigma_{max} = 0.296$	E = 400



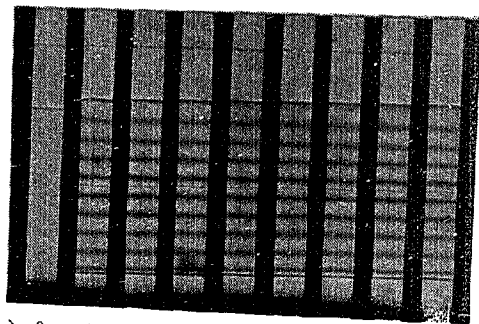
(min)=0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 1-3	
№ 1	D A P
$\sigma_{\max}=0.601$	$E=400$



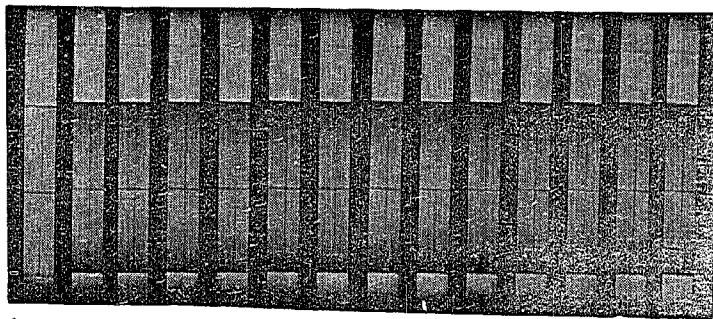
T(min)=0 1 3 10 30 60 90 120 180

Photo 1-4	
№ 1	D A P
$\sigma_{\max}=0.902$	$E=400$



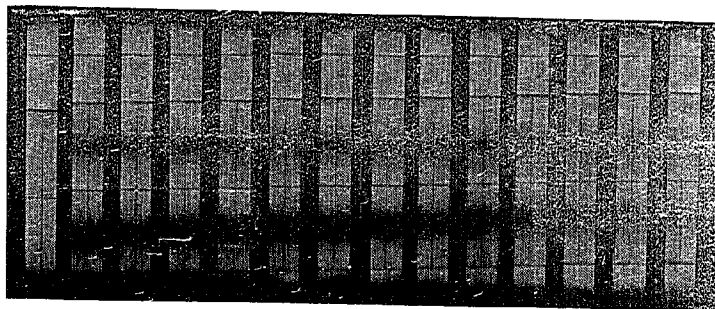
T(min) = 0 1 3 10 30 60 90 120 180

Photo 1-5	
No. 1	D A P
$\sigma_{max}=1.202$	E=400



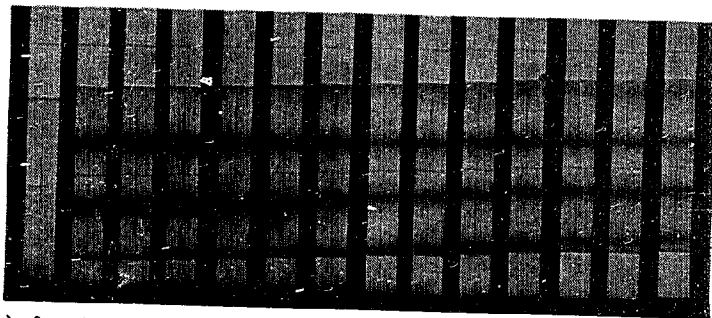
T(min)=0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 2-1	
No. 2	DAP
$\sigma_{max}=0.076$	E=29



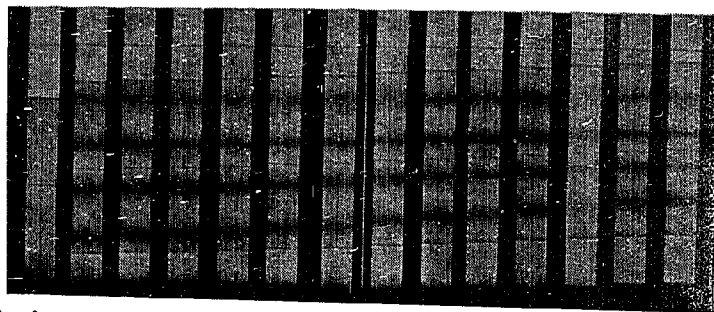
T(min)=0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 2-2	
No. 2	DAP
$\sigma_{max}=0.152$	E=29



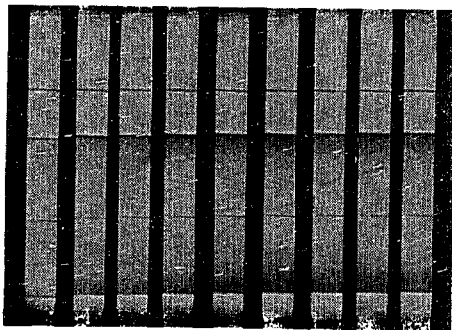
$T(\min) = 0$ 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 2-3	
No. 2	D A P
$\sigma_{max} = 0.228$	E-29



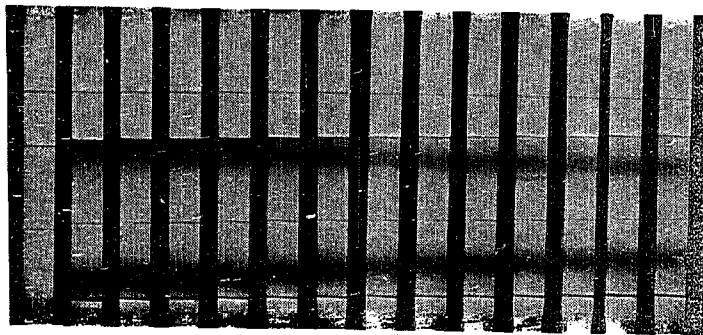
$T(\min) = 0$ 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 2-4	
No. 2	D A P
$\sigma_{max} = 0.304$	E-29



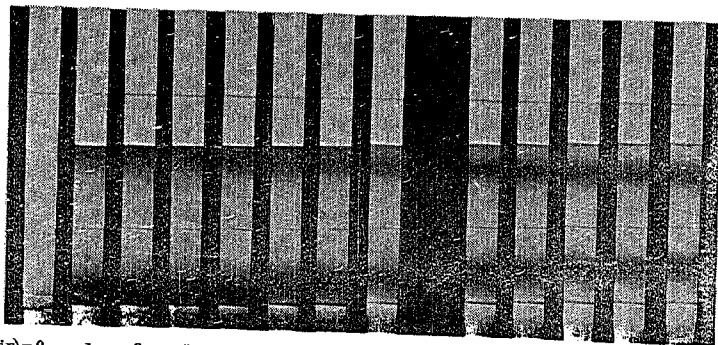
T(min) = 0 3 10 30 60 90 120 150 180

Photo 3-1	
No. 3	D A P
$\sigma_{max}=0.03G$	E = 15



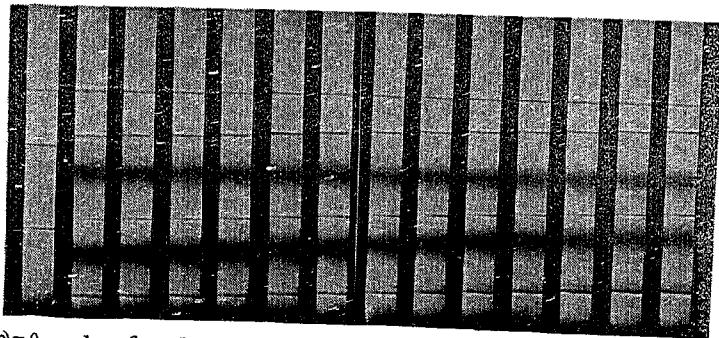
T(min) = 0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 3-2	
No. 3	D A P
$\sigma_{max}=0.078$	E = 15



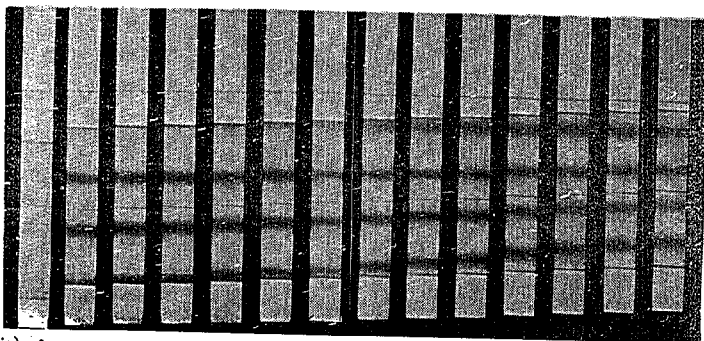
T(min) = 0 1 2 3 5 10 15 30 60 90 120 150 180

Photo 3-3	
% 3	DAP
$\sigma_{max}=0.078$	E=15



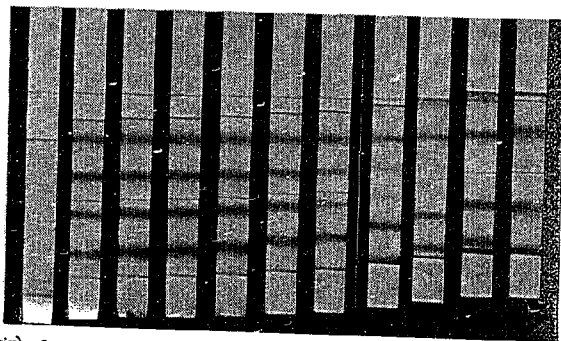
T(min) = 0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 3-4	
% 3	DAP
$\sigma_{max}=0.155$	E=15



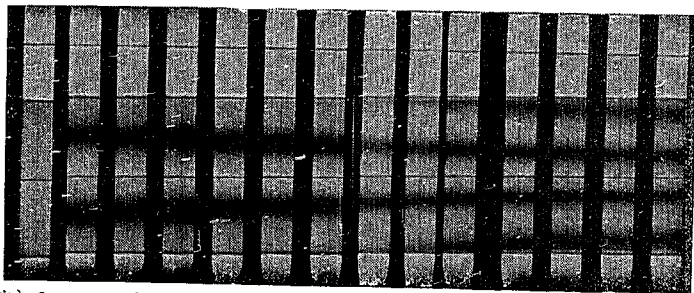
T(min)=0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 3-5	
N. 3	D A P
$\sigma_{max}=0.233$	$E=15$



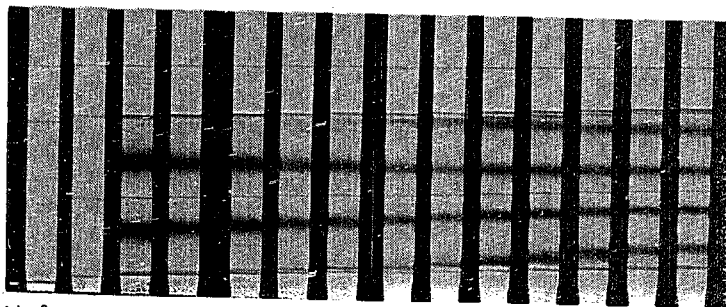
T(min)=0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90

Photo 3-6	
N. 3	D A P
$\sigma_{max}=0.310$	$E=15$



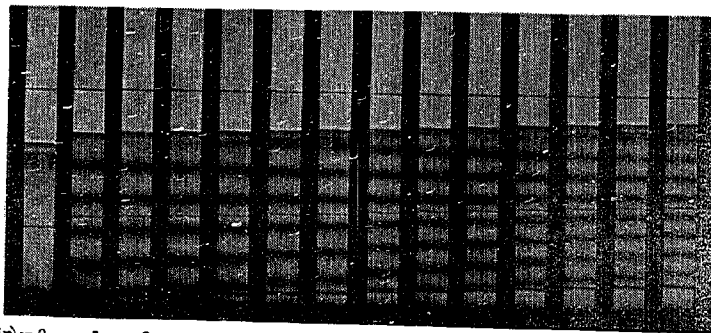
T(min)=0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 4-1	
No. 4	エピソード 871
$\sigma_{max}=0.124$	E=27



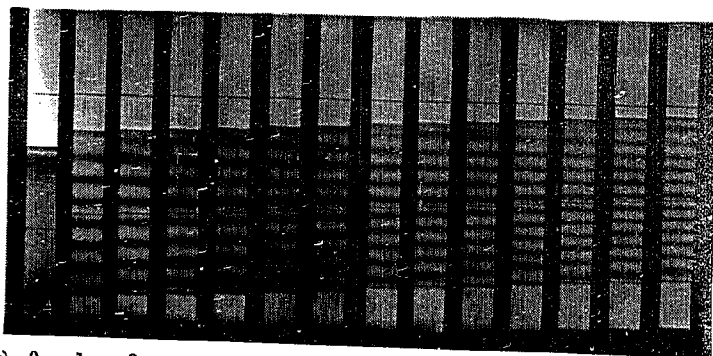
T(min)=0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 4-2	
No. 4	エピソード 871
$\sigma_{max}=0.124$	E=27



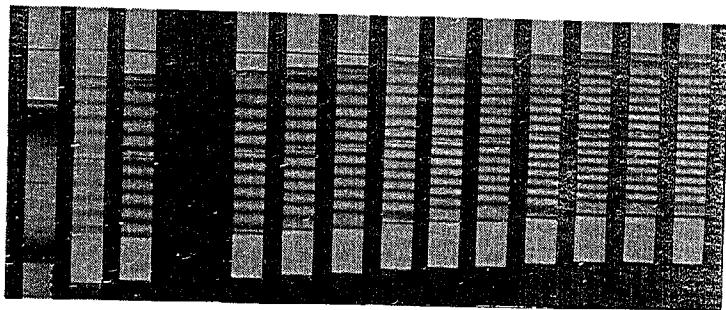
T(min) = 0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 4-3	
No. 4	エビコート 871
$\sigma_{max}=0.247$	E=27



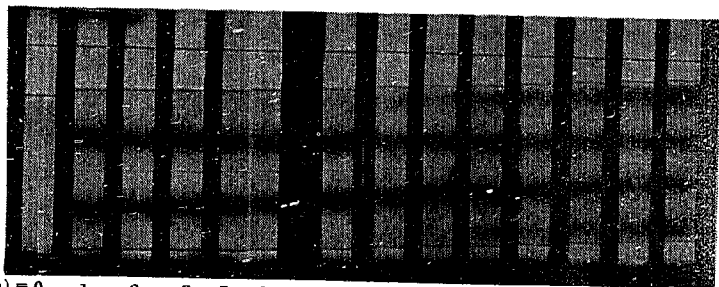
T(min) = 0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 4-4	
No. 4	エビコート 871
$\sigma_{max}=0.371$	E=27



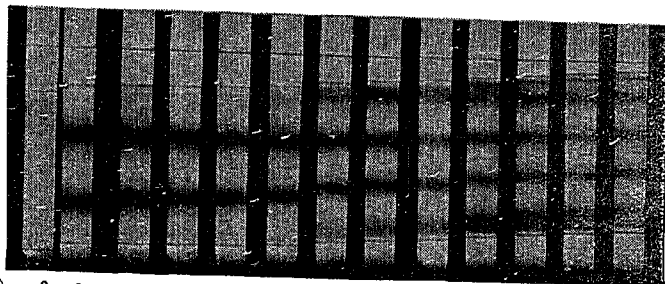
$t(\text{min})$ 0 1 2 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180
 3 (重複)

Photo 4-5	
No. 4	エピソード 871
$\sigma_{max} = 0.495$	$E = 27$



T(min) = 0 1 2 3 5 10 15 30 45 60 90 120 150 180

Photo 5-1	
4% 5	フレキシラマー
$\sigma_{max} = 0.140$	



T(min) = 0 1 2 3 5 10 30 45 60 90 120 150 180

Photo 5-2	
4% 5	フレキシラマー
$\sigma_{max} = 0.140$	