

全 冊 印 刷

|         |
|---------|
| S M5302 |
| 河 総 1   |
| 三 軸 (2) |

I S S N 0386—5878

土研資料 第1451号

18

土 木 研 究 所 資 料

## 粗粒材料の大型三軸試験報告書(2)

昭和54年 3 月

建設省土木研究所  
土質研究室

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1. ま え が き .....                   | 1  |
| 2. 大型三軸試験機について .....               | 2  |
| 2-1 概 要 .....                      | 2  |
| 2-2 供 試 体 .....                    | 4  |
| 2-3 制御および载荷方法 .....                | 4  |
| 2-4 計測装置 .....                     | 4  |
| 3. 実 験 材 料 .....                   | 7  |
| 4. 試 験 方 法 .....                   | 8  |
| 4-1 供試体の作成手順 .....                 | 8  |
| 4-2 実験条件 .....                     | 9  |
| 4-2-1 静的試験 .....                   | 9  |
| 4-2-2 動的試験 .....                   | 9  |
| 4-3 データの整理方法 .....                 | 10 |
| 5. 実 験 結 果 .....                   | 12 |
| 5-1 動的試験結果 .....                   | 12 |
| 5-1-1 等価弾性係数 $E_{eq}$ .....        | 12 |
| (1) ひずみ $\epsilon$ との関係 .....      | 12 |
| (2) 拘束圧 $\sigma_c$ との関係 .....      | 13 |
| (3) 間げき比 $e$ との関係 .....            | 13 |
| (4) 平均主応力比 $R$ との関係 .....          | 14 |
| (5) 均等係数 $U_c$ との関係 .....          | 14 |
| 5-1-2 履歴減衰定数 $h_{eq}$ .....        | 14 |
| 5-2 静的試験の結果 .....                  | 15 |
| 5-2-1 強度定数 .....                   | 15 |
| 5-2-2 ひずみと静的割線弾性係数 $E_s$ の関係 ..... | 15 |
| 6. ま と め .....                     | 17 |
| 7. 参 考 文 献 .....                   | 18 |
| 8. 付 録 大型三軸圧縮試験機の付属設備 .....        | 19 |
| 8-1 供試体飽和装置 .....                  | 19 |
| 8-2 試料締固め装置 .....                  | 19 |
| 9. 本資料内の記号一覧 .....                 | 21 |

## 1. ま え が き

フィルダムの地震時の安定性については有限要素法等で計算機を使って検討がされるようになって久しいが、入力させる材料特性については不明確な点が多いのが現状である。材料特性の研究が遅れている理由は一つはフィル材料がレキ、レキ混じり土、粘性土といった多様性に富んでおり統一的な取り扱いがむずかしいことともう一つは材料が粒径の大きなレキで構成されることが多いために直接実験ができないので間接的な推定をせざるを得ないためと考えられる。このような背景から土質研究室では比較的大きなレキまで試験できる大型三軸試験機を開発し、粗粒土材料の試験を行ってその特性を知り、さらに大きなレキで構成されるフィル材料の力学的性質を研究してきた。

この報告は50～52年度にわたって行われた粗粒土の動的三軸圧縮試験とそれを補足した静的試験の結果をまとめたものである。試験機は土質研究室の大型三軸圧縮試験機を使用した。等価弾性係数、履歴減衰定数を支配する要因について実験結果を解析した結果、粗粒土の等価弾性係数、履歴減衰定数は拘束圧、間げき比、ひずみレベル等によって支配されるが砂の場合と同様な実験式であらわすことには若干問題があることが明らかとなった。なお、データは土木研究所資料第1355号「粗粒材料の大型三軸試験報告書(1)」に詳しいので併せて参照させられたい。

昭和53年12月

土 質 研 究 室 室 長 矢 部 正 宏

元土質研究室 研究員 元 田 良 孝

(基礎研究室)

土 質 研 究 室 真 下 陽 一

## 2-1 概 要

① 供試体  
② 軸圧測定用ロードセル  
③ 側ヒズミ計  
④ 軸ヒズミ計  
⑤ 軸台車  
⑥ 軸圧荷重用エアシリンダー

Ⅰ 水回路  
Ⅱ 油圧回路  
Ⅲ 電気回路  
Ⅳ 空気回路

① 大型三軸圧縮試験機  
② 軸圧測定用ロードセル  
③ 側ヒズミ計  
④ 軸ヒズミ計  
⑤ 軸台車  
⑥ 軸圧荷重用エアシリンダー

Ⅰ 水回路  
Ⅱ 油圧回路  
Ⅲ 電気回路  
Ⅳ 空気回路

図 2-1 大型三軸圧縮試験機の構成図

表 2-1 試験機の諸元

|         |                            |
|---------|----------------------------|
| 供試体寸法   | 直径 36 cm、高さ 80 cm          |
| 動力      | 油 圧                        |
| 制御方法    | 油圧サーボ                      |
| 軸荷重     | 最大 35 ton                  |
| 側 圧     | 空気圧最大 7 kg/cm <sup>2</sup> |
| 動的載荷周波数 | 0 ~ 5 Hz                   |
| パターン    | 正弦波、三角波、矩形波                |

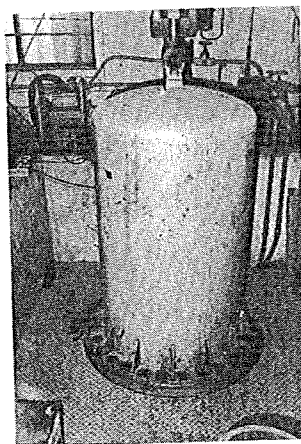


写真2-1 チャンバー

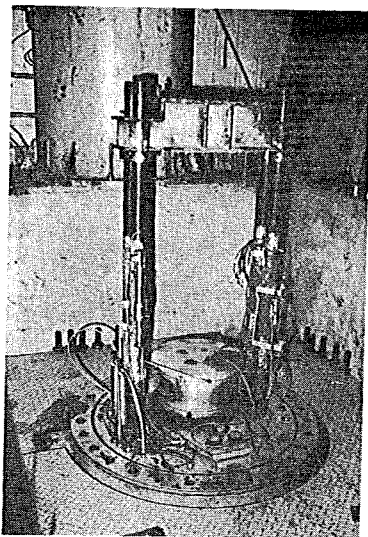


写真 2-2 三軸室内

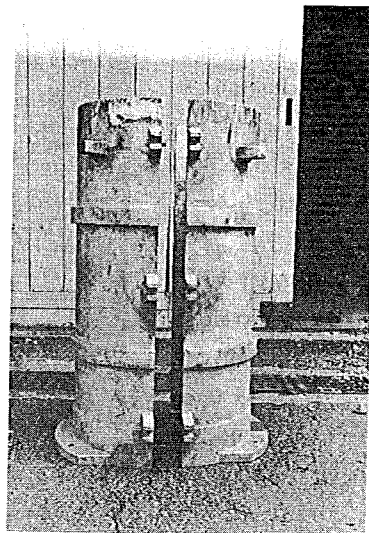


写真 2-3 モールド

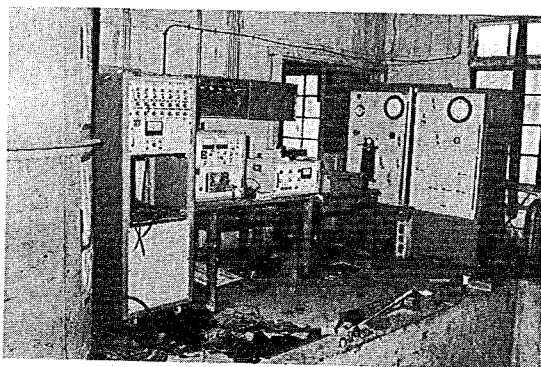


写真 2-4 計測及び制御装置

## 2-2 供試体

供試体は径36mm高さ80mm、体積は0.08 $\text{m}^3$ である。供試体は写真2-5に示すモールドを組立て、ゴムスリートをセットし、モールド内に試料を入れて作成する。既往の研究によると試料の最大粒径が供試体径の1/5以下であれば寸法効果

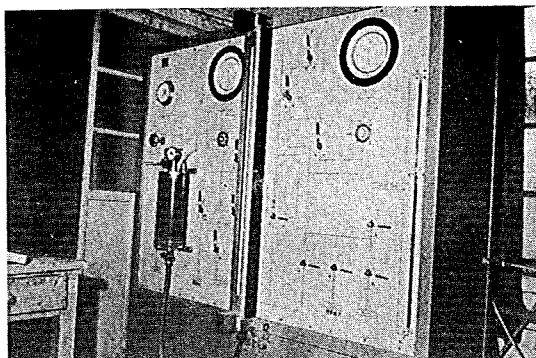


写真2-5 制御パネル

はないとされているので、本機で試験できる土の最大粒径は約70mmである。

## 2-3 制御および荷重方法

軸圧は油圧によって荷重できる他、図2-1に示すように下部のシリンダーを用いて空気圧により荷重もできる。油圧による場合自動制御装置によって、以下に示す荷重モードが可能である。

### 1) 静的荷重

#### ① 変位制御の定変位速度荷重

ひずみ速度は4~40 $\text{mm}/\text{min}$ まで変化できる。

#### ② 変位制御の定変位荷重

#### ③ 荷重制御の定荷重速度荷重

荷重速度は1~30 $\text{t}/\text{min}$ まで可変である。

#### ④ 応力制御の定応力荷重

### 2) 動的荷重

動的(くり返し)荷重は変位、応力制御ともに可能でそれぞれ変位振幅一定、荷重振幅一定の試験ができる。荷重波形は正弦波、三角波、矩形波の三種があり、周波数は0~5 $\text{Hz}$ まで可変である。

## 2-4 計測装置

本機に用いられる計測装置の一覧表を表2-2に表わすが、本機に特有なものについて説明

をする。

表 2-2 計測器一覧表

| 計 測 器       | 測 定 形 式  | 容 量                   |
|-------------|----------|-----------------------|
| ロ ー ド セ ル   | 差動トランス   | 35 t                  |
| 側 圧 計       | ブルドン管    | 10 kg/cm <sup>2</sup> |
| 背 圧 計       | "        | 10 kg/cm <sup>2</sup> |
| 変 位 計 (大)   | 差動トランス   | 120 mm                |
| 変 位 計 (小)   | "        | 60 mm                 |
| 間 げ き 水 圧 計 | "        | 7 kg/cm <sup>2</sup>  |
| 排 水 量 計     | ポテンシヨメータ | 25/5 l                |

① 軸変位計測装置

差動トランス式の変位変換器である。大ストローク (120 mm) (写真 2-6) と小ストローク (60 mm) (写真 2-7) の変位計で構成され、後者はセル外部からの操作でモータによって上下に 250 mm 移動でき、常に供試体に追従できるようになっている。

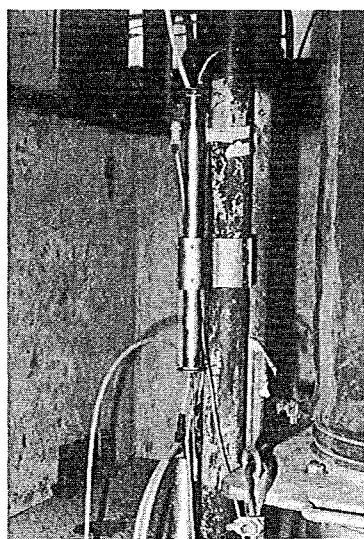


写真 2-6 変位計 (大)

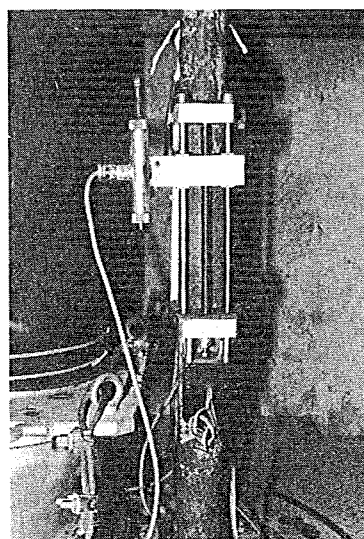


写真 2-7 変位計 (小)

② 排水量計測装置

排水試験あるいは圧密時に供試体に  
流出入する水量を測定する装置である。  
(写真2-8) 光電管装置によって水  
面を検知追跡し、ポテンショメータに  
より水面高さを測定してタンク内の水  
量の変化を読みとる。

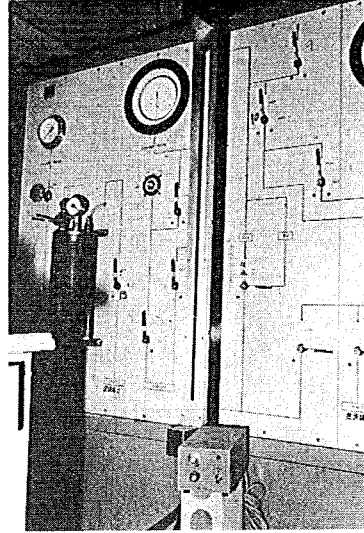


写真2-8 排水量計測装置

### 3. 試験材料

数種類の砂と碎石を混合して人工的に粒度を調整した4種類の試料を試験した。これらをA、B、C、Dと称し、粒度分布を図3-1に各試料の物理的性質を表3-1にかかげるが、A、B、C、D試料とも細粒分(0.074 mm 以下)をカットしてある。

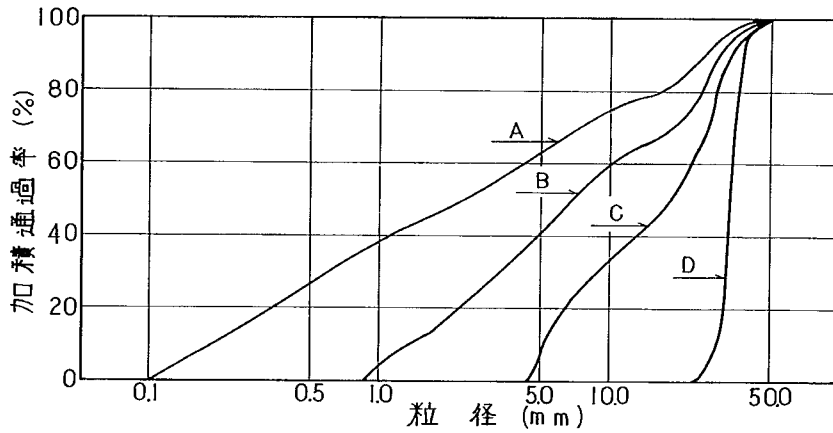


図3-1 試料の粒度分布

表3-1 50、51、52年度試験材料の物理的性質

| 試料名                  | A     | B     | C     | D    |
|----------------------|-------|-------|-------|------|
| 比重                   | 2.691 | 2.681 | 2.667 | 2.67 |
| D <sub>60</sub> (mm) | 4.2   | 10.0  | 22.5  | 34.5 |
| D <sub>10</sub> (mm) | 0.19  | 1.35  | 5.2   | 29.0 |
| 均等係数                 | 22.1  | 7.41  | 4.33  | 1.19 |
| 最大間げき比               | 0.44  | 0.46  | 0.69  | —    |
| 最小間げき比               | 0.25  | 0.25  | 0.47  | —    |

#### 4. 試験方法

##### 4-1 供試体の作成手順

###### (1) 試料の計量、混合

砂、砕石を設定した粒度分布になるように計量・配合し、シャベルで混合する。

###### (2) モールドの組立て、締固め

底板上にろ紙を敷き、その上に底板と試料の摩擦力を軽減させるためにドーナツ状のステンレス板にグリースを塗ったゴムシートを重ねた摩擦軽減板を載せる。(写真4-1) 次に試料底板にゴムスリーブをはめ込み、針金によってスリーブを

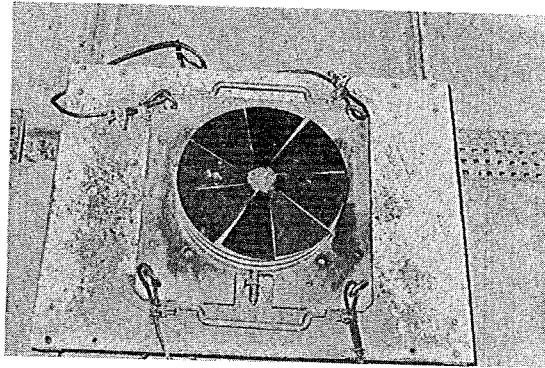


写真4-1 摩擦軽減板のセット

固定し気密を保つ。(写真4-2)

試料は計量して供試体の高さ10cm分ずつ入れ、試料作成装置(付録参照)によって所定の密度にする。

###### (3) 飽和

締固めの終えた供試体の上部に(2)と同様摩擦軽減板とろ紙を載せ、さらに試料上板をのせてゴムスリーブをかぶせ底板同様に針金で固定する。飽和は供試体飽和装置(付録参照)を用いて試料底面から給水をし、試料上面から真空ポンプで負圧を与えヘッド差を大きくして飽和を促進させる。

###### (4) 試験機への供試体のセット

飽和の終了した供試体を天井走行クレ

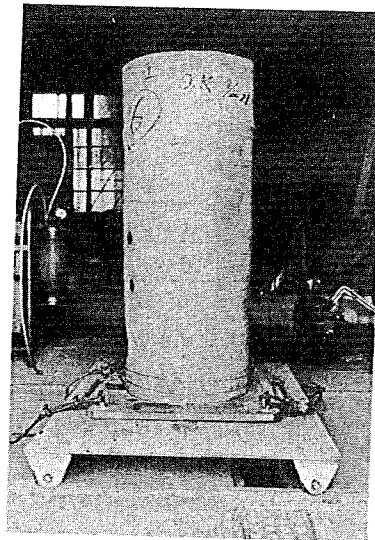


写真4-2 ゴムスリーブのセット

ーンにより移動させ試験機にボルトで固定する。供試体上部より負圧を与え、供試体を大気圧で拘束させた後モールドを取り外す。

#### (5) 圧 密

セルをかぶせた後、所定の側圧をかけて圧密をする。圧密が終了した後Bチェックを行って飽和度を確認する。実験後は供試体を逆の手順で外し、解体する。

### 4-2 実験条件

#### 4-2-1 静的試験

排水条件はA～C試料が圧密排水、Dが圧密非排水であり、拘束圧は全試料とも0.7、1.4、2.8、5.6  $\text{kg}/\text{cm}^2$ の4種類であるが、これは試験機の側圧容量(7  $\text{kg}/\text{cm}^2$ )以内に4段階の拘束圧を対数目盛で等間隔にプロットできるように設定したものである。また、ひずみ速度は1%/minに設定した。

#### 4-2-2 動的試験

拘束圧は静的試験と同一である。排水条件及び平均応力比  $R = \sigma_1 / \sigma_3$ 、間げき比を表4-1に示す。動的荷重は図4-1に示すように1つの供試体について微小な振幅から順に大きな振幅へと破壊するまで数段階に分けてかけた。一つの応か振幅段階ではA、B、C試料では20回、D試料では原則として30回載荷を行っている。

表4-1 供試体の間げき比

| 試料 | 拘束圧<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 平均主応<br>力比 R | e    | 排水<br>条件 |
|----|------------------------------------|--------------|------|----------|
| A  | 0.7 ~ 5.6                          | 1            | 0.25 | CD       |
|    | 2.8                                | 1.3          | 0.25 |          |
|    | 2.8                                | 2.2          | 0.26 |          |
|    | 2.8                                | 0.5          | 0.30 |          |
|    | 2.8                                | —            | 0.27 |          |
|    | 2.8                                | 1            | 0.33 |          |
|    | 2.8                                | 1            | 0.28 |          |
| B  | 0.7 ~ 5.6                          | 1            | 0.25 | CU       |
| C  | 0.7 ~ 5.6                          | 1            | 0.46 |          |
| D  | 0.7 ~ 5.6                          | 1            | 0.61 |          |
|    | 1.4                                | 1            | 0.72 | CU       |
|    | 2.8                                | 1            | 0.72 |          |

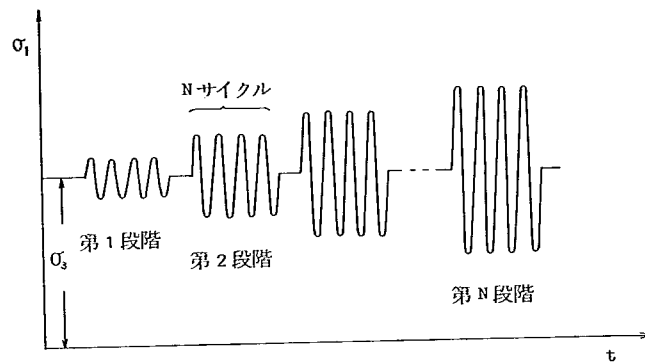


図4-1 応力パターン

#### 4-3 データの整理方法

静的試験は通常の方法で整理をしたが、動的試験については応力とひずみの関係から図4-2に示すようなヒステリシスループを描き、以下に示す関係式で等価弾性係数  $E_{eq}$  と履歴減衰定数  $h_{eq}$ 、軸ひずみとを定義して求めた。

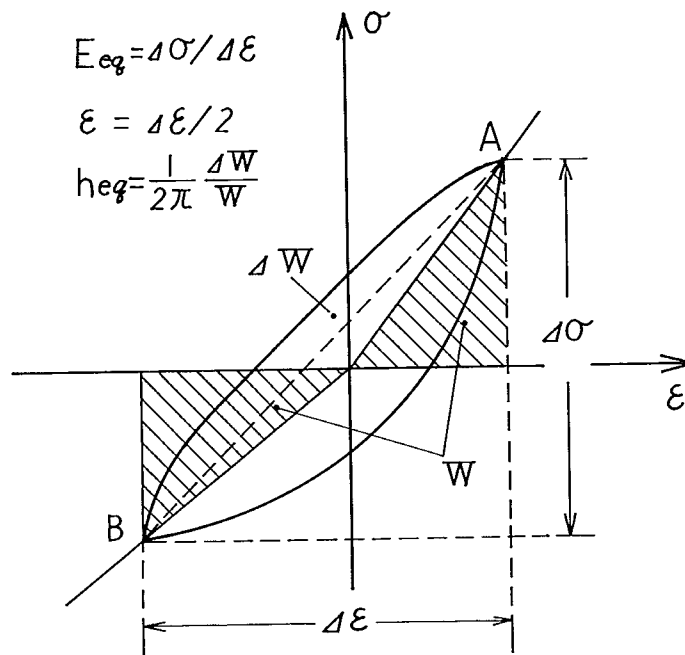


図4-2 諸変形係数の定義

$$E_{eq} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

$$h_{eq} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta W}{W}$$

$$\epsilon = \Delta \epsilon / 2$$

ここで、 $\Delta \sigma$  : 軸応力の変動 ( $kg/cm^2$ )

$\Delta \epsilon$  : 軸ひずみの変動幅

$\Delta W$  : ヒステリシスループの面積

$W$  : ヒステリシスループの頂点と原点を通る直角三角形の面積の和

$\epsilon$  : 軸ひずみ

である。

## 5. 実験結果

### 5-1 動的試験結果

#### 5-1-1 等価弾性係数

##### (1) ひずみ $\varepsilon$ との関係

図5-1に  $\sigma_0 = 1.4 \text{ kg/cm}^2$ におけるA試料の  $E_{eq}$  と  $\varepsilon$  の関係を示す。図中の記号は凡例に示すように各応力振幅段階の2、10、20サイクル載荷時の  $E_{eq}$  を表わしている。今回用いた試験方法では一つの供給体に何回もひずみを与えるので、処女状態におけるデータは応力振幅の第一段階の一サイクル目でしか得られない。従って厳密な意味では今回の実験のデータのはほとんどは応力履歴を受けた供試体のものである。しかし繰り返し数が1つの供試体につきせいぜい100回程度であり、前の段階で受けたひずみ量は次の段階のひずみ量の半分程度であることを考えると、応力履歴の影響は無視できるものと考えられる。一般に砂質土では繰り返し荷重を与えると密度が増し、これに伴って  $E_{eq}$  が同一線上に分布しているのはそれらの差が無視できる程小さかったことを示している。また表

表5-1 間げき比の変化

| 拘束圧 | ステップ1 | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.7 | 0.248 | 0.248 | 0.247 | 0.246 | 0.246 | 0.246 |
| 1.4 | 0.245 | 0.245 | 0.245 | 0.242 | 0.242 | 0.240 |
| 2.8 | 0.253 | 0.253 | 0.254 | 0.254 | 0.254 | 0.253 |
| 5.6 | 0.292 | 0.292 | 0.292 | 0.292 | 0.292 | 0.292 |

5-1にA資料の間げき比とステップの関係の例を示すが、実験開始(ステップ1)と終了時ではほとんど間げき比の差がない。従って以降の解析には  $E_{eq}$ 、 $h_{eq}$  とともに便宜上10サイクル目のデータを用いるものとする。図5-2~5-16に試料A、B、C、Dの  $E_{eq}$  と  $\varepsilon$  の関係を示す。

図5-1に示すように、 $E_{eq}$  はひずみの増大とともに減少するが、 $E_{eq}$  のひずみ依存度を調べるためにひずみが  $3 \times 10^{-4}$  の時と  $3 \times 10^{-3}$  の時の  $E_{eq}$  の比  $I$  を考えてみる。 $I$  が1に近い程このひずみレベルでの  $E_{eq}$  のひずみ依存度は小さくなる。図5-17にA~D試料の  $I$  を示すが、図からはこのひずみレベルでは拘束圧が高くなる程  $E_{eq}$  のひずみ依存度は低くなる傾向が読みとれる。このことは栗林ら<sup>1)</sup>の砂に関する研究でも明らかとなっている。

## (2) 拘束圧 $\sigma_c$ との関係

三軸圧縮試験の応力～ひずみ曲線の模式図(図5-18)から容易に想像できるように、

同一のひずみレベルでは  
拘束圧が大きくなるに従  
って  $E_{eq}$  は大きくなる。

図5-19～5-22にA  
～D試料の  $E_{eq}$  と  $\sigma_c$  の  
関係を両対数で表わすが、  
各ひずみレベルでの両者  
の関係は直線、即ち  $E_{eq}$   
 $\propto \sigma_c^m$  ( $m$ はひずみの  
関数)という関係が成り  
立っている。また  $m$ はひ  
ずみが増大すると大きく  
なる傾向にもある。 $m$ は  
 $E_{eq}$  の拘束圧に対する

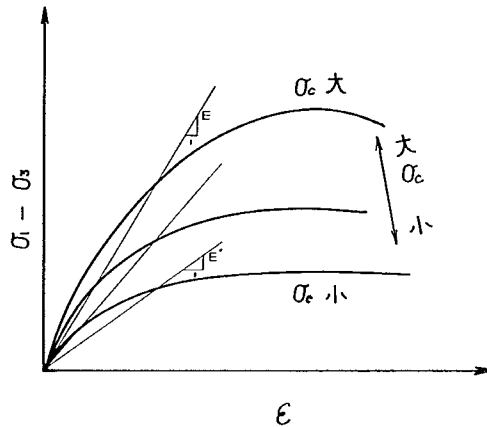


図5-18 弾性係数と拘束圧の関係模式図

依存性をあらわし、 $m=0$  ならば拘束圧に無関係となる。試料ごとに  $m$  を計算し、ひずみの片対数グラフにプロットすると図5-23のようになる。試料によって  $m \sim \epsilon$  の関係は変わるが、共通する性質はひずみが小さくなると  $m$  も小さくなり、ひずみが大きくなると  $m$  は1に収束するということである。

図5-23の点線はSilver-Seed<sup>2)</sup>らが種々の砂から求めた  $m$  の範囲をあらわしているが、今回のレキの値はこれに比してバラエティーに富んでおり、砂のように狭い範囲に分布していないことが注目される。

## (3) 間げき比 $e$ との関係

一般に間げき比が小さい土は強度が大きい、そのような土は一般に弾性係数も大きい。間げき比を変化させた実験はA、D試料でのみ行ったがその結果を図-24、5-25、5-26に示す。Hardinらの砂についての研究によれば、ひずみが  $10^{-4}$  の時に

$$G \propto \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \dots\dots\dots (5-1)$$

が成り立つことが実験的に確かめられている。

図-X中の点線は式(5-1)に従う線であるが、D試料はほぼこれに平行で式(5-1)に従うことがわかるがA試料はこれより傾きが急である。Hardinは間げき比が0.3

より大きい範囲で式(5-1)を見い出したので、A試料のように間げき比が小さい範囲では成り立たない為と考えられる。またこの式はD試料に関してはひずみレベルが変化しても適用できるが、A試料に関してはひずみレベルによって間げき比の影響が異なるようである。いずれにせよ間げき比の小さい土に対して式(5-1)を用いることには問題が残る。

#### (4) 平均主応力比Rとの関係

今まで議論してきた値はすべて $\sigma_1 = \sigma_3$ の状態におけるものであったが、地盤中の土は一般には $\sigma_1 \neq \sigma_3$ の異方応力状態であるので現実の応力条件とは多少異なるものである。この点を明らかにする為にA試料について平均主応力 $p$ を一定( $2.8 \text{ kg/cm}^2$ )にしてRを変化させ $E_{eq}$ を求めた結果を図5-27、5-28に示すが、Rの増加に伴って $E_{eq}$ も増加していることがわかる。この原因については明らかではないが、従来の研究がねじりせん断試験によって行なわれたのに対して今回は三軸試験での結果で検討しているので初期せん断応力と付加するせん断応力の方向などの、応力条件が両者で異なっていることが一つの要因ではないかと考えられる。地盤内の土は $K_0$ 条件に近い状態であることが考えられるが、 $K_0 = 0.5$ と仮定すると $R = 2$ となり図から読みとられるように $E_{eq}$ は $R = 1$ の時のほぼ2倍となる。従ってRの影響は無視できないものであり、Rと $E_{eq}$ のメカニズムについてはこれからの研究が必要と思われる。

#### (5) 均等係数 $U_c$ との関係

$E_{eq}$ と粒度分布との関連を調べる為に均等係数 $U_c$ をパラメータにして調べた結果が図5-29である。ただしA~D試料はそれぞれ間げき比が異なるのでC試料の $e = 0.46$ に補正した値を示している。補正の方法は間げき比が0.3より小さいA、B試料は図5-24を外挿して求め、0.3より大きいD試料は式(5-1)で補正して求めたものである。これによると最大粒径が等しいレキでは $U_c$ が大きい程 $E_{eq}$ は小さくなる傾向を示すことがわかる。

#### 5-1-2 履歴減衰定数 $h_{eq}$

今回の実験で調べた範囲では $h_{eq}$ と間げき比、拘束圧、平均応力比との間には何らの一定した法則を見出すことができなかった。これは $h_{eq}$ の測定精度が低かった為と考えられるが、その原因としては2つ考えられる。第一にヒステリシスループの面積をプランメータで求めたが、精度のよい値がプランメータでは得られなかったこと。第二には $h_{eq}$ はこの面積を $E_{eq}$ とひずみの関数で割ったものであるので $E_{eq}$ とひずみの誤差が相乗された値となっていることである。従ってここでは $h_{eq}$ とひずみの関係についてのみ考察する。

##### • $h_{eq}$ とひずみの関係

図5-30～5-33に各試料の $heq$ とひずみの関係を示す。図から明らかなように拘束圧にはほとんど係りなく $\log heq$ と $\log \epsilon$ には右上がりの直線関係が認められる。Hardir<sup>3)</sup>は砂の $heq$ として次式を提案している。

$$heq = \frac{1}{5} r^{0.2} (p)^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (5-2)$$

$r = (1 + \nu) \epsilon$ であるから $heq \propto \epsilon^{0.2} (\sigma')^{-\frac{1}{2}}$ となるが $\nu = 0.3$ と仮定して上式を $p = 0.7 \text{ kg/cm}^2$ 及び $5.6 \text{ kg/cm}^2$ の場合にあてはめたものを図中の点線で示すが、いずれも実験値より小さい。これは龍岡らが指摘しているように式(5-2)は $r < 10^{-4}$ のひずみの小さい範囲でのみ適合し、それ以上は $heq$ は急激に大きくなるという彼らの実験結果と一致している。

## 5-2 静的試験の結果

### 5-2-1 強度定数

強度定数の総括表を表5-2に示す。 $\phi'$ は $36 \sim 42^\circ$ の範囲にある。

表5-2 試験材料の強度定数

| 試 料                  | A     | B     | C     | D     |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| 試 験 種 別              | CD    | CD    | CD    | CU    |
| $C'(\text{kg/cm}^2)$ | 0.35  | 0.5   | 0.8   | 0.6   |
| $\phi' (^\circ)$     | 38.22 | 42.36 | 38.07 | 36.11 |
| 間 げ き 比              | 0.272 | 0.275 | 0.470 | 0.599 |

### 5-2-2 ひずみと静的割線弾性係数 $E_s$ の関係

静的な試験時の変形性を知るために、圧縮試験の応力～ひずみ曲線から割線弾性係数 $E_s$ を求めた。図5-34～5-37にA～D試料の $\epsilon \sim E_s$ 関係を示すが、動的試験の $E_{eq}$ と同様にひずみの増大とともに $E_s$ は減少し、拘束圧の増大とともに $E_{sA}$ は大きくなる傾向にあることがわかる。 $E_s$ は試験の計測上の制約で $10^{-2} \sim 10^{-1}$ 程度のひずみの範囲でしか信頼できるデータは得られず、動的試験の測定範囲とは完全には重なり合わないが $E_s$ と $E_{eq}$ を比較すると次のことがわかる。図5-38、5-39はA試料の $E_s$ と $E_{eq}$ を比べたものであるが、この例に限らず同じひずみに対しては $E_s > E_{eq}$ の関係にあることが明らかとなった。この原因としては $E_s$ と $E_{eq}$ の定義の違いから生ずるものと思われる。即ち、 $E_{eq}$ と $E_s$ は $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon$ 曲線から図5-40のように求められるが、図5-41のモーダル円から明らかなように破壊時の軸差応力

を圧縮時  $\tau_c$  と引張り時  $\tau_t$  で比較すると  $\tau_c > \tau_t$  であるからこれに対応して  $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon$  曲線は第一象限と第三象限では図 5-40 のように異なって非対称となる。それ故図からわかるように同じひずみでも  $E_{eg} < E_s$  の関係が生じるものと考えられる。

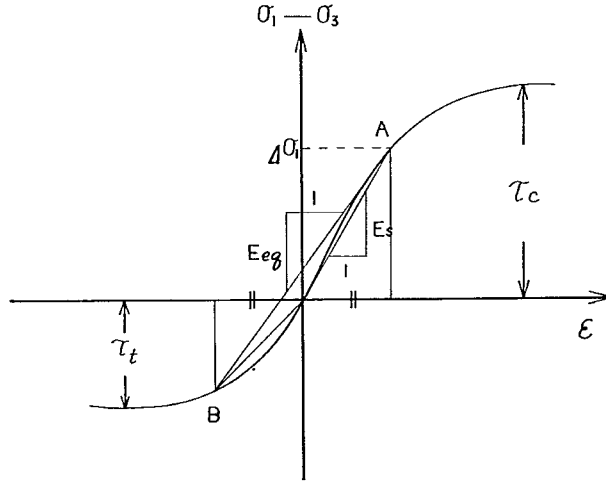


図 5-40  $E_{eg}$  と  $E_s$  の定義

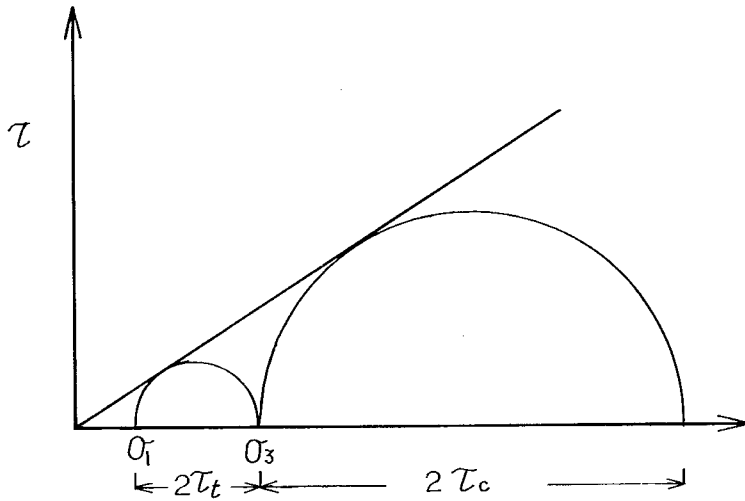


図 5-41 モーリングによる説明

## 6. ま と め

個々の結果の詳細については各項で述べられているが、およそ次のようなことが明らかとなった。

- 1) レキ材料の動的変形係数は砂と同様に拘束圧，ひずみレベル，間げき比，平均主応力比によって支配される。
- 2) 砂における各パラメーターとの関係式と比較した場合若干の相異がみられ、砂の関係式をそのままレキに適用するのには問題がある。

## 7. 参考文献

- 1) 栗林はか 「土の動的変形特性-共振法土質試験機による測定」 土木研究所資料912号  
(1974)
- 2) Silver M. Land Seed H.B. "Deformation of Sand Under Cyclic Loading" Proc. A.S.C.E. SM8 PP1081~1098 (1971)
- 3) Hardir B.O. "Dynamic rersus Static Shear Modulus for Dry Sand" Material Standards. A.S.T.M PP232~235 (1965)

## 8. 付 録 大型三軸圧縮試験機の付属設備

### 8-1 供試体飽和装置

飽和試験のときに作成した供試体を飽和させる装置でタンクと真空ポンプにより構成される。

タンクの大きさは径30cm、高さ66cmである。

試料底板にタンクから水を導き、試料上板から真空ポンプで空気を排除してヘッド差を大きくして透水を促進させ短時間で供試体を飽和させる装置である。(図8-1参照)

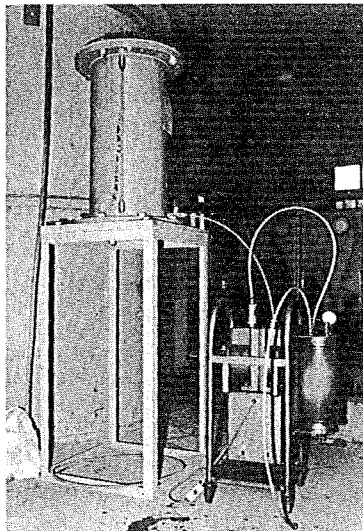


写真8-1 供試体飽和装置

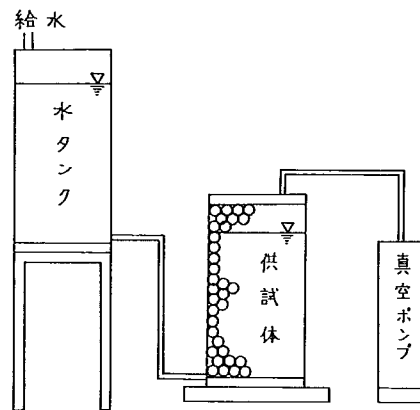


図8-1 供試体飽和装置

### 8-2 試料締固め装置

この装置は乱した試料を用いて実験をする場合、供試体を作成する時にこれを締固めるためのものである。(写真8-2、図8-2)締固めの方法は二系統あり、一つは手動の油圧ジャッキにより静的に載荷するもので容量は2tonである。もう一つはモーターによってモールド全体を振動させるもので起震力は500kgで周波数は0~30Hzまで変化できる。載荷板にはロードセルと変位計がとり付けてあり、これによって締固めをコントロールする。

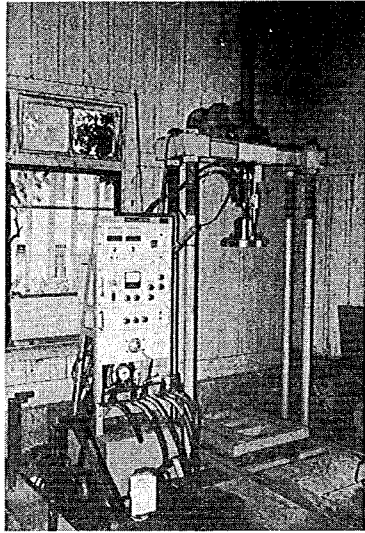


写真 8-2 試料締め装置

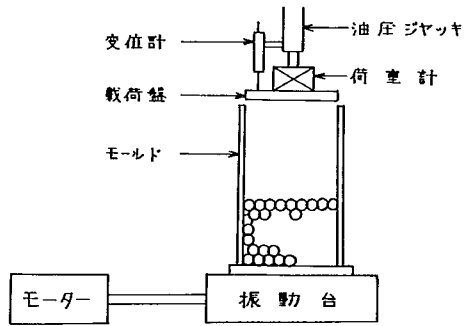


図 8-2 試料締め装置

## 9. 本資料内の記号一覧

本資料で用いられている主な記号を以下に記す。

$r$  : せん断ひずみ

$\epsilon$  : 軸ひずみ

$E_{eq}$  : 等価弾性係数

$E_s$  : 割線弾性係数

$G$  : せん断定数

$h_{eq}$  : 履歴減衰定数

$I$  : 等価弾性係数比

$m$  : 拘束圧の指数

$P$  : 平均主応力  $\frac{1}{3} (V_1 + V_2 + V_3)$

$R$  : 平均主応力比  $\overline{\sigma}_1 / \sigma_3$

$\sigma_c$  : 拘束圧

$\overline{\sigma}_1$  : 平均軸応力

$V_c$  : 均等係数

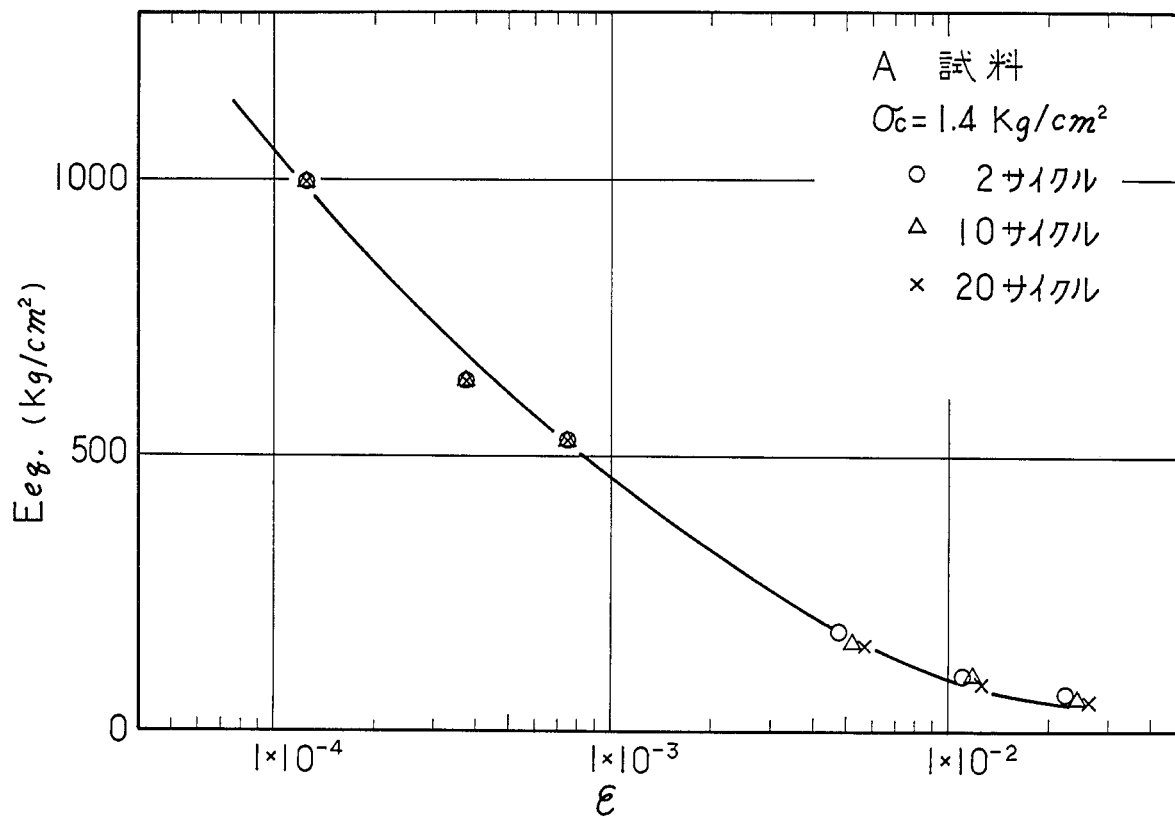


図 5 - 1 ひずみと弾性係数の関係(1)

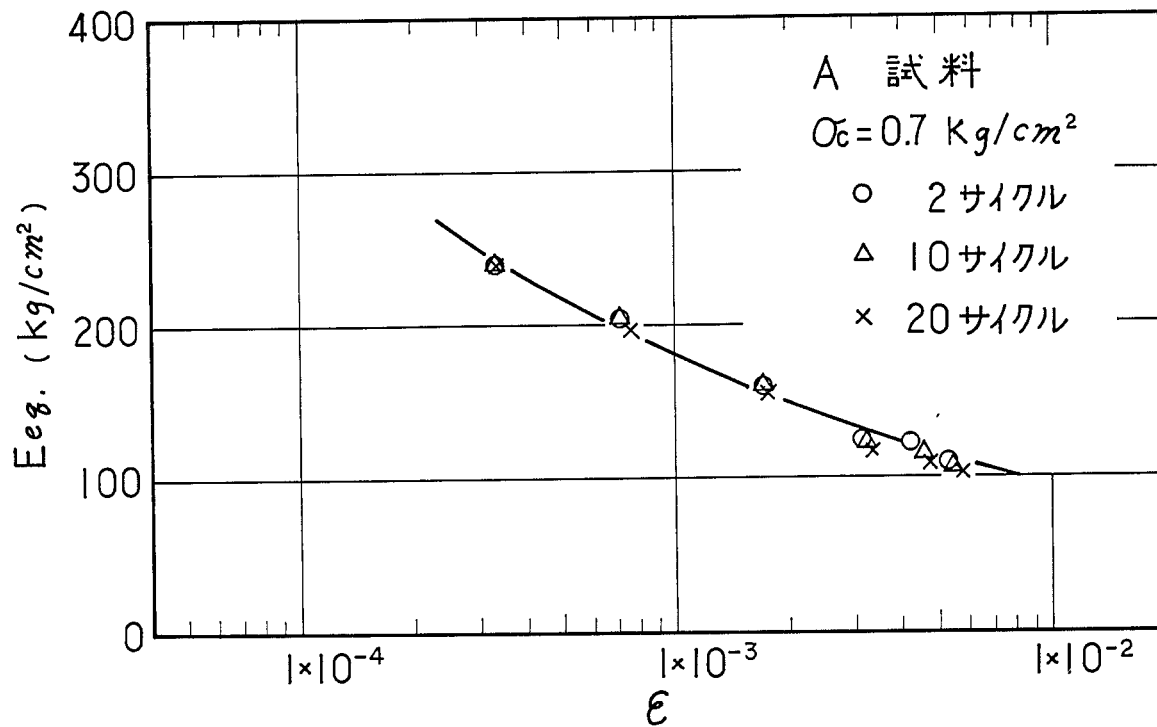


図 5-2 ひずみと弾性係数の関係(2)

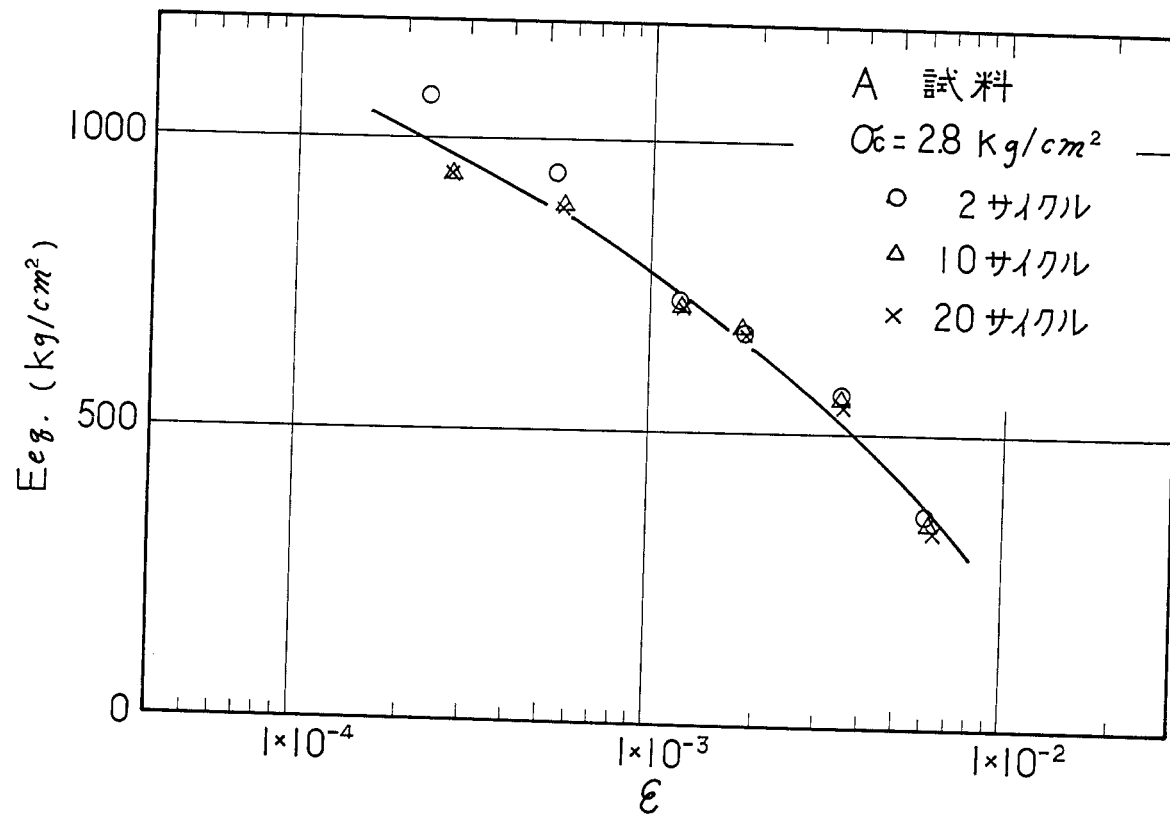


図 5 - 3 ひずみと弾性係数の関係(3)

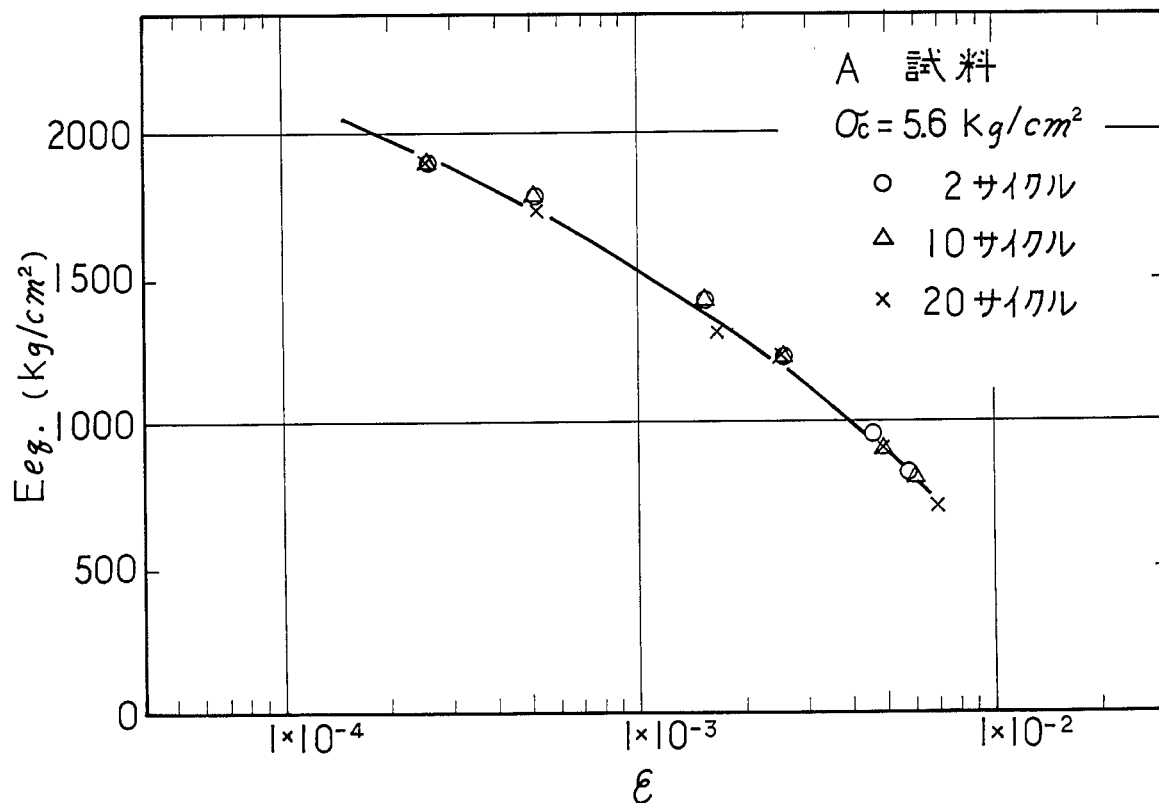


図 5-4 ひずみと弾性係数の関係(4)

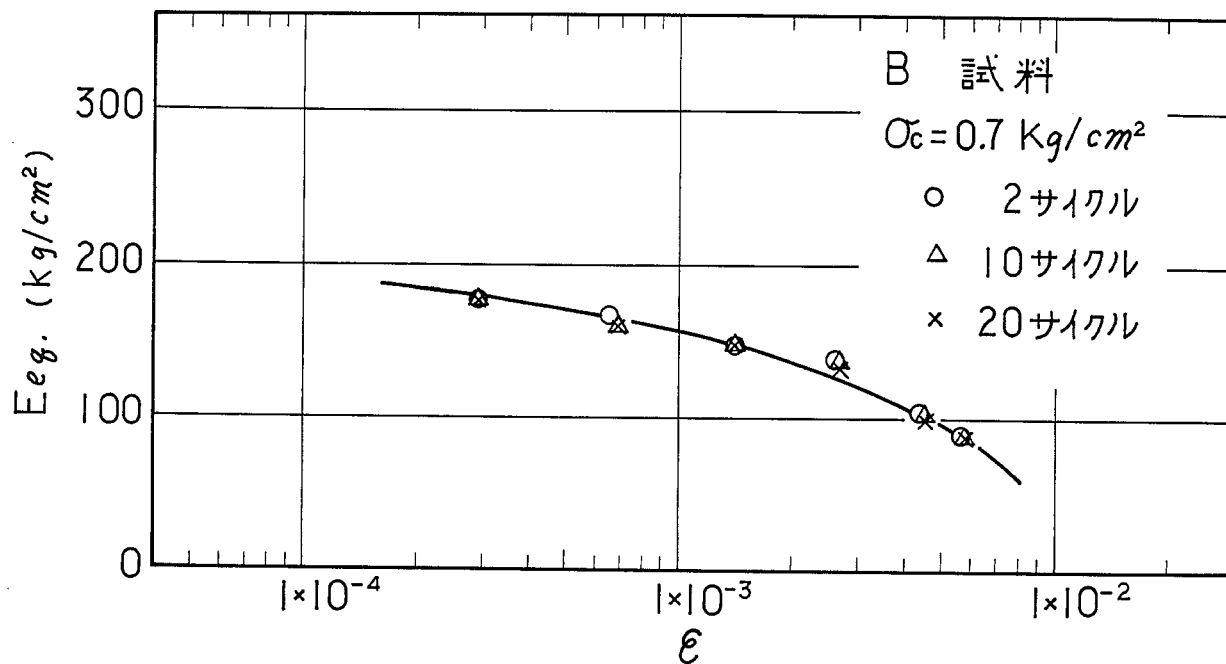


図 5 - 5 ひずみと弾性係数の関係(5)

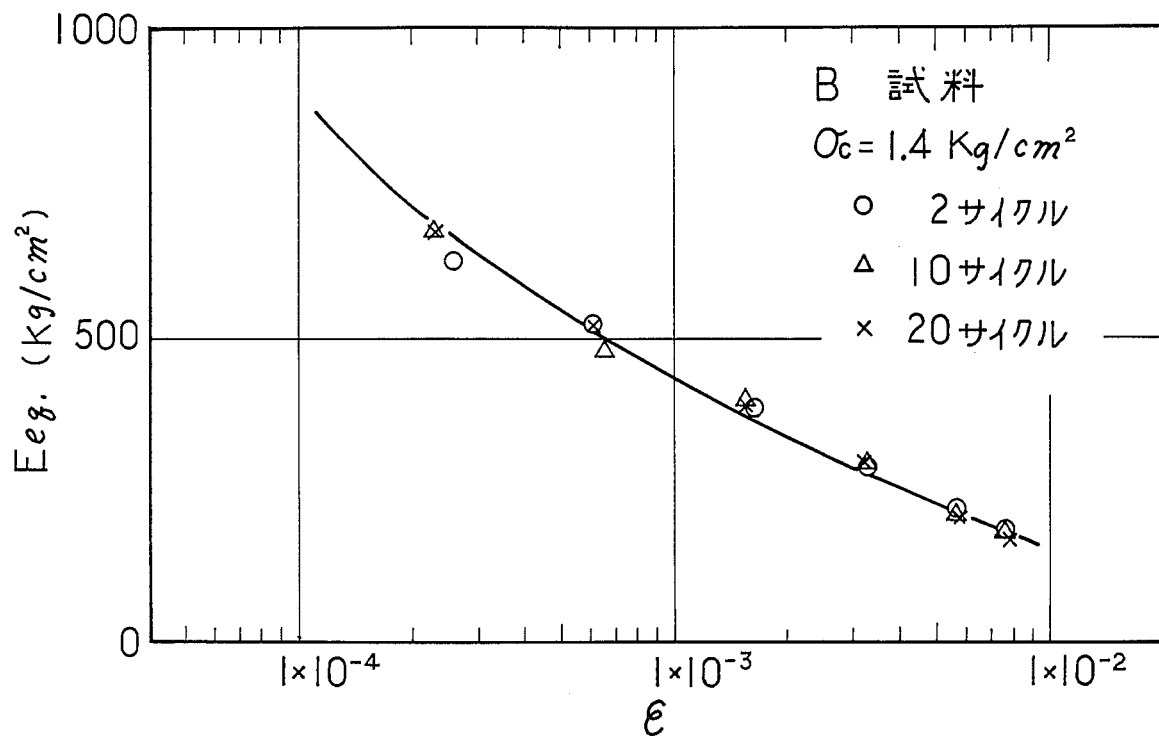


図5-6 ひずみと弾性係数の関係(6)

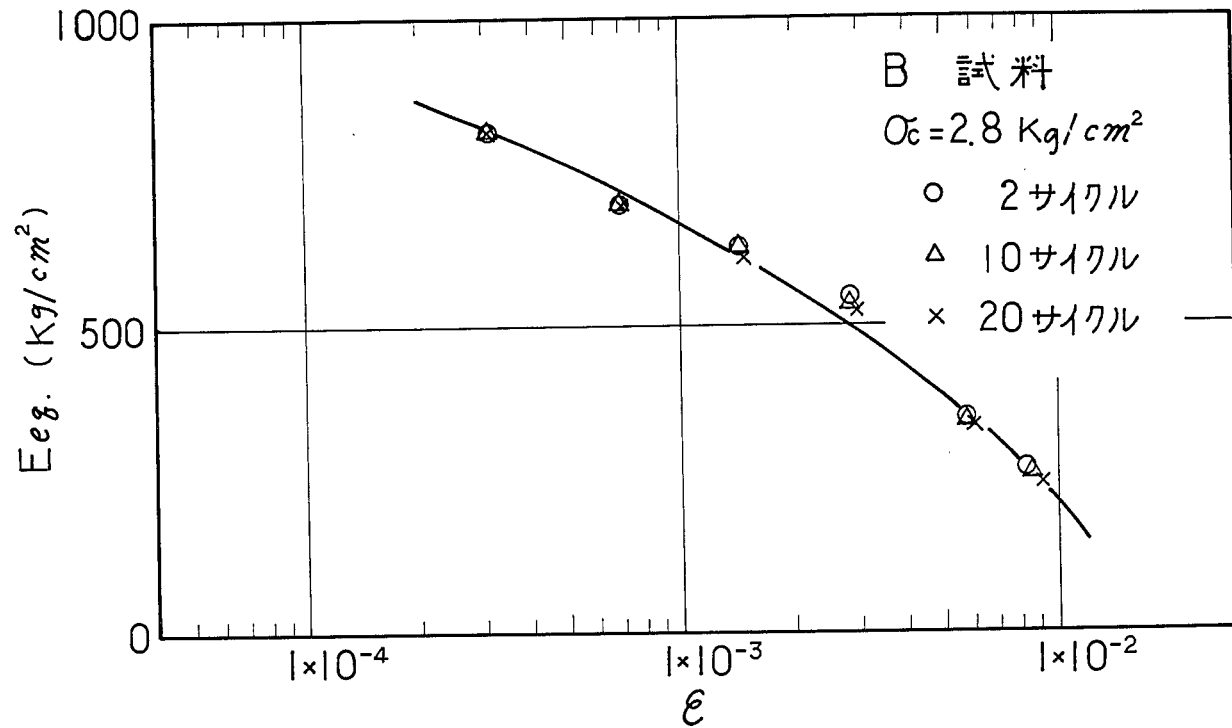


図5-7 ひずみと弾性係数の関係(7)

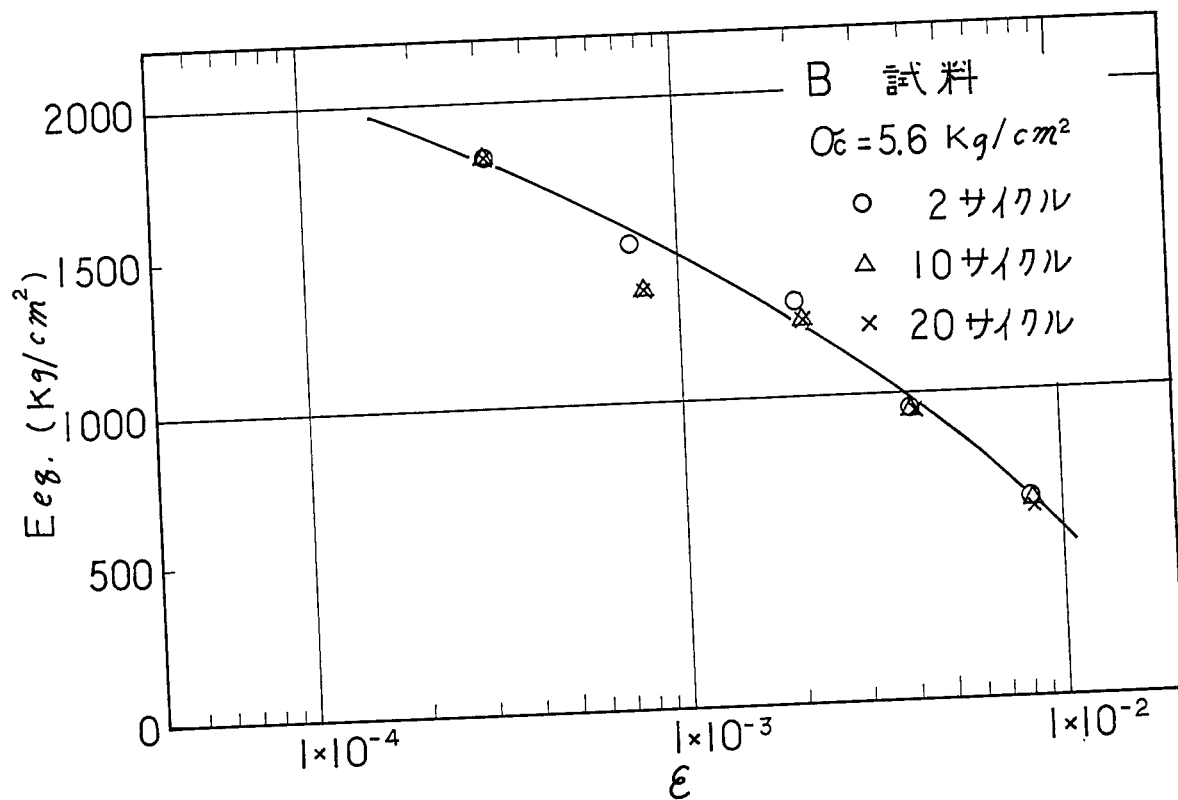


図 5-8 ひずみと弾性係数の関係(8)

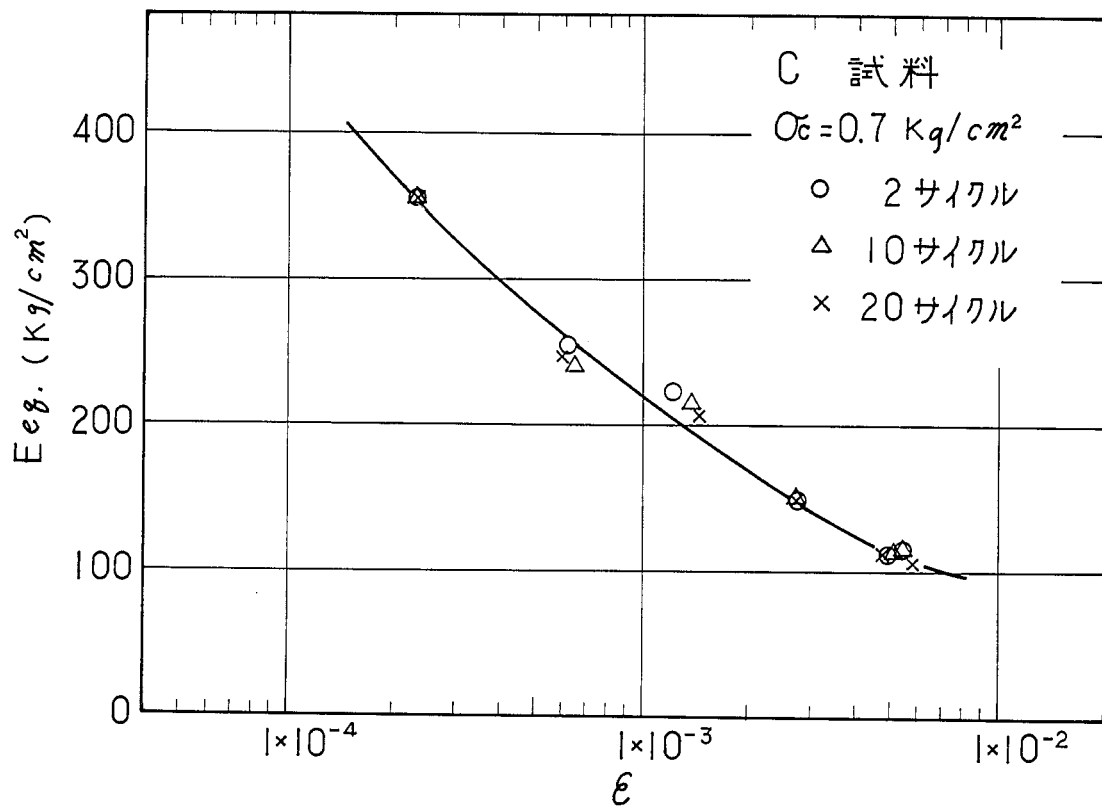


図 5-9 ひずみと弾性係数の関係(9)

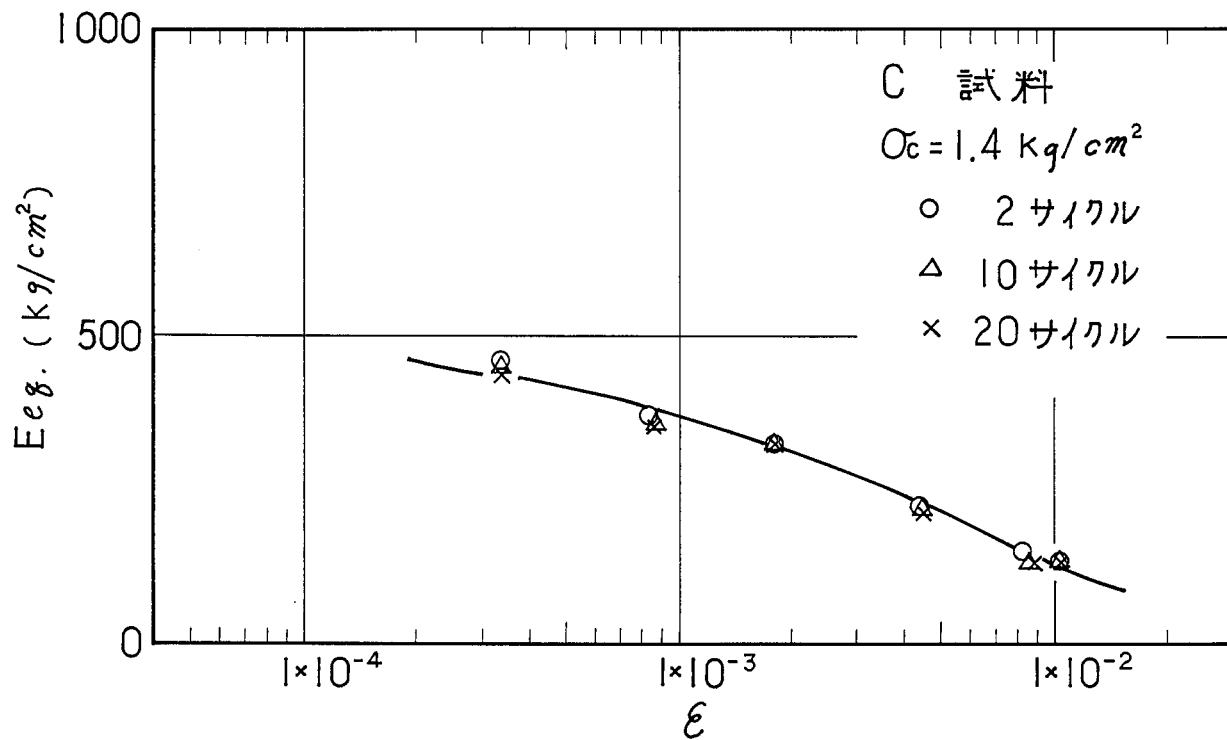


図 5-10 ひずみと弾性係数の関係(10)

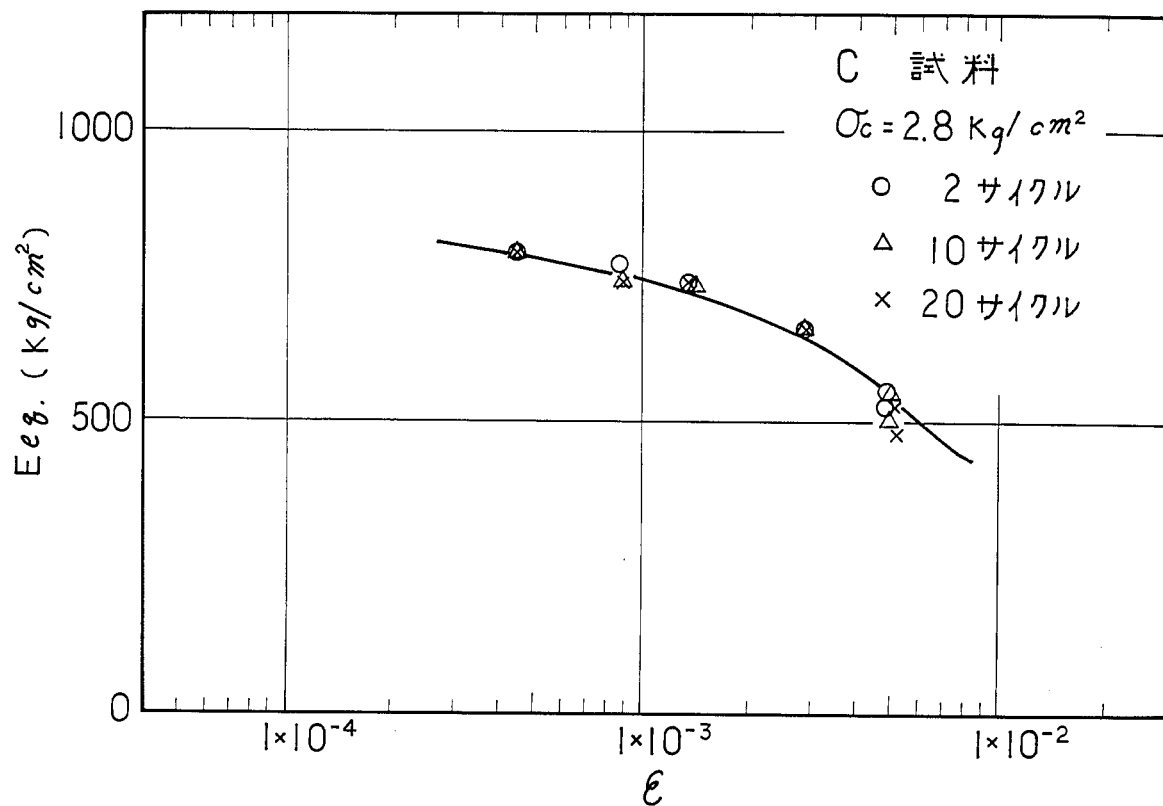


図5-11 ひずみと弾性係数の関係(1)

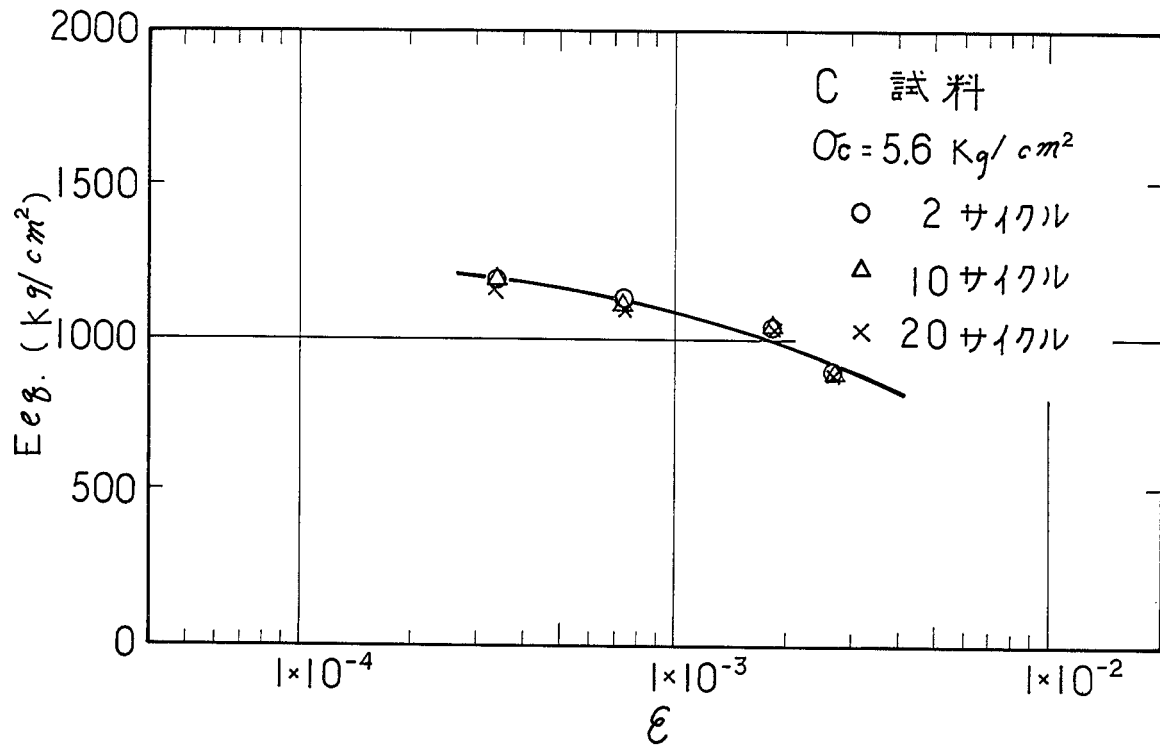


図 5-12 ひずみと弾性係数の関係(12)

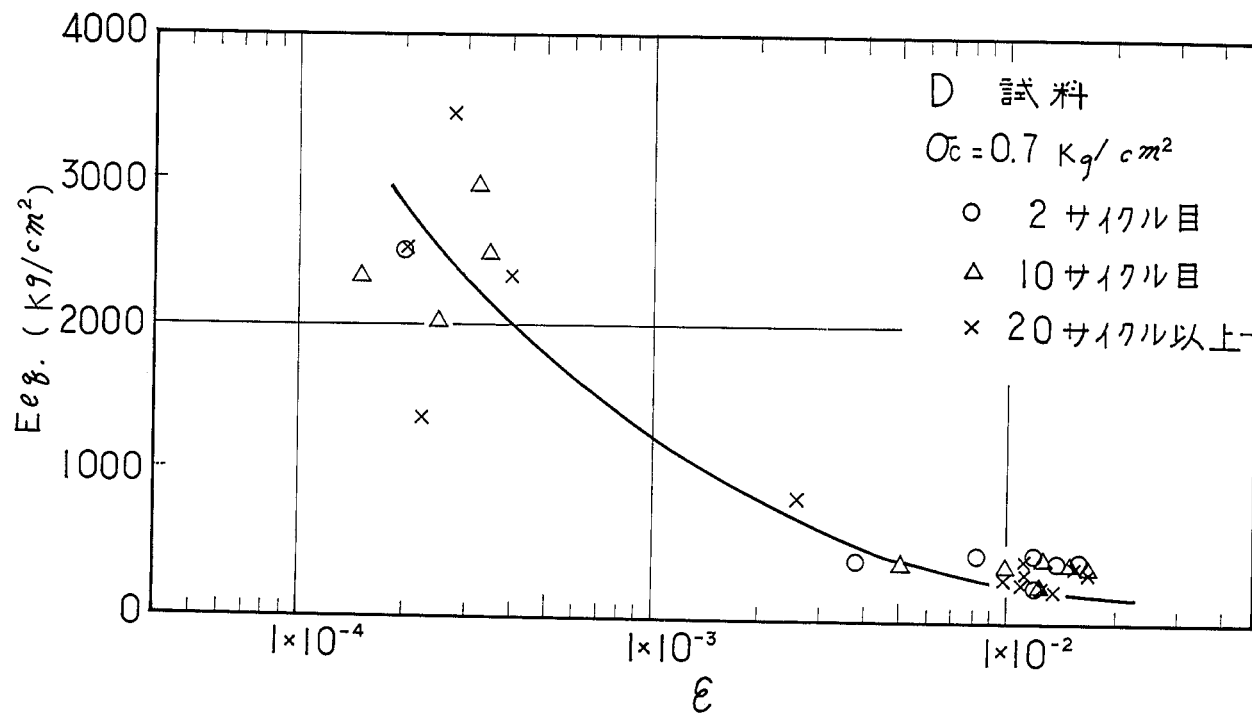


図 5-13 ひずみと弾性係数の関係(13)

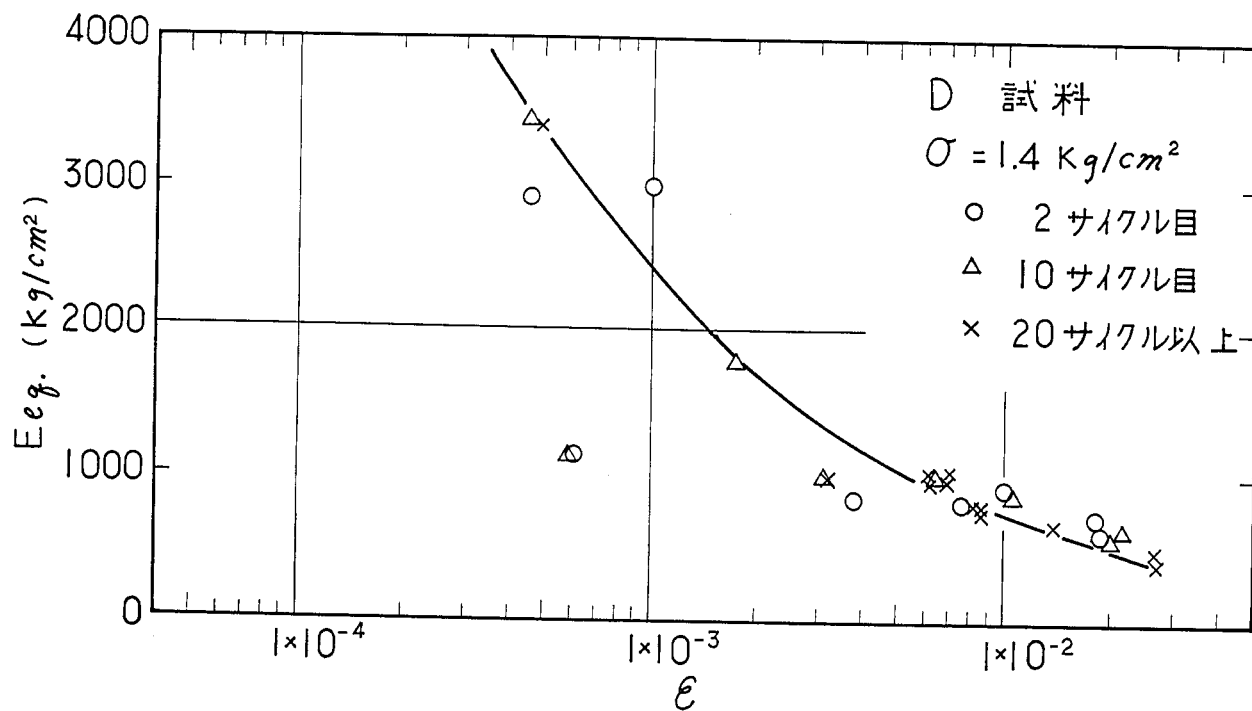


図5-14 ひずみと弾性係数の関係(14)

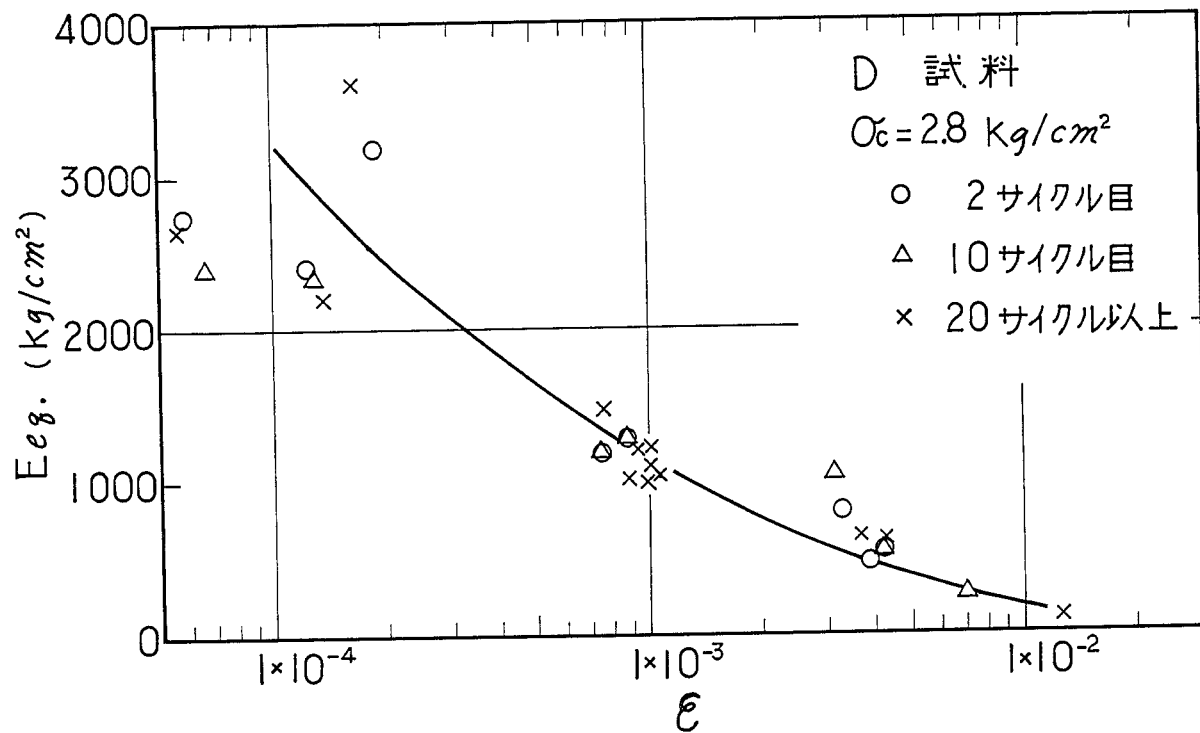


図 5-15 ひずみと弾性係数の関係(15)

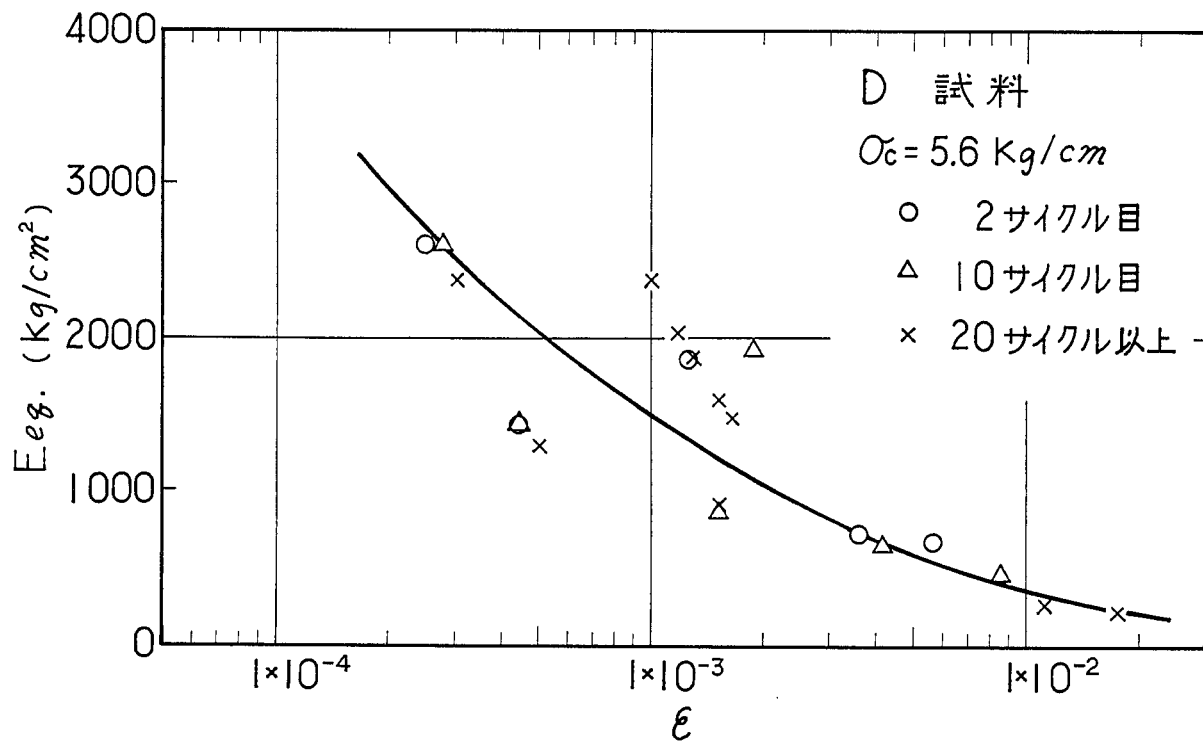


図 5-16 ひずみと弾性係数の関係(16)

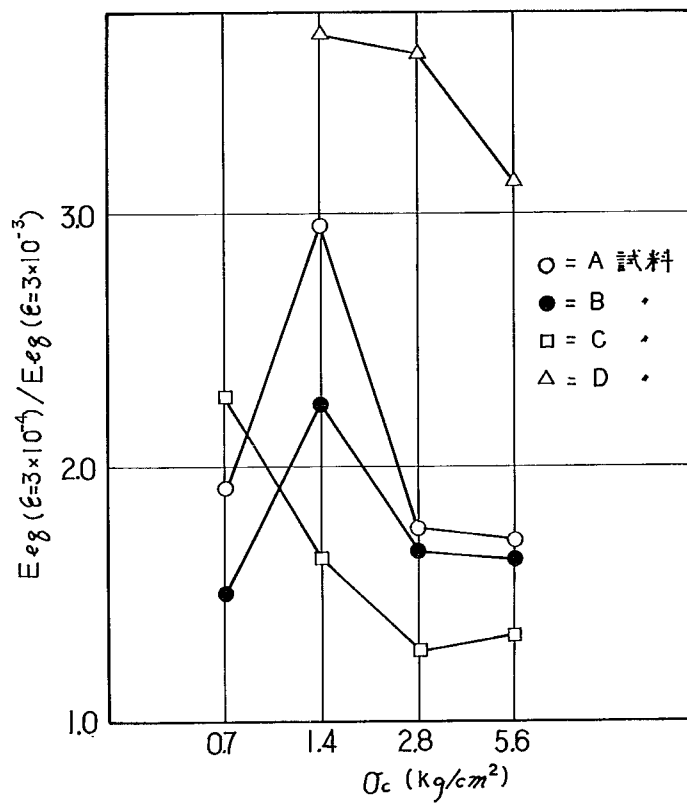


図5-17  $I$  と  $\sigma_c$  の関係

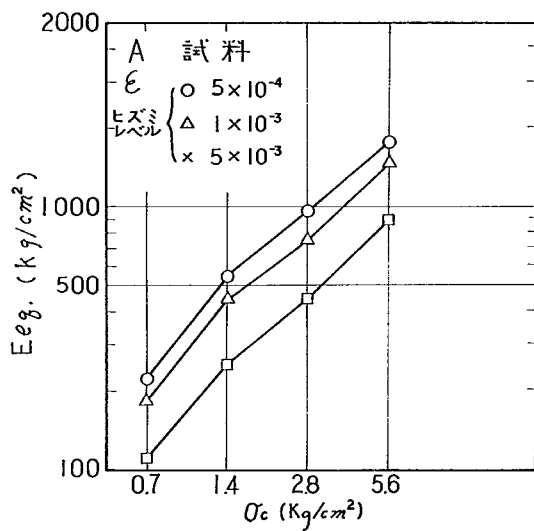


図 5-19  $E_{eg} \sim \sigma_c$  の関係

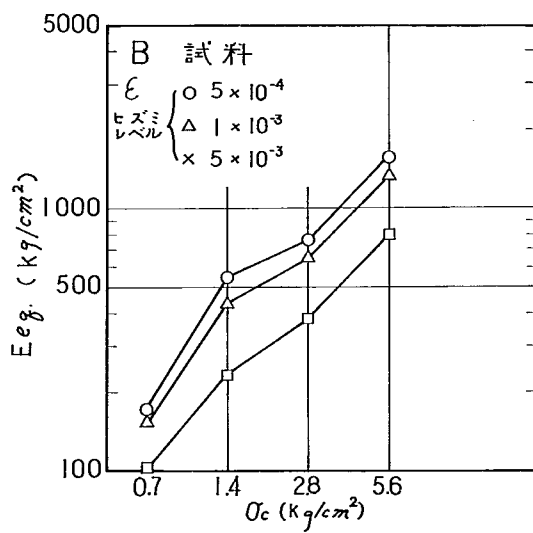


図 5-20  $E_{eg} \sim \sigma_c$  の関係

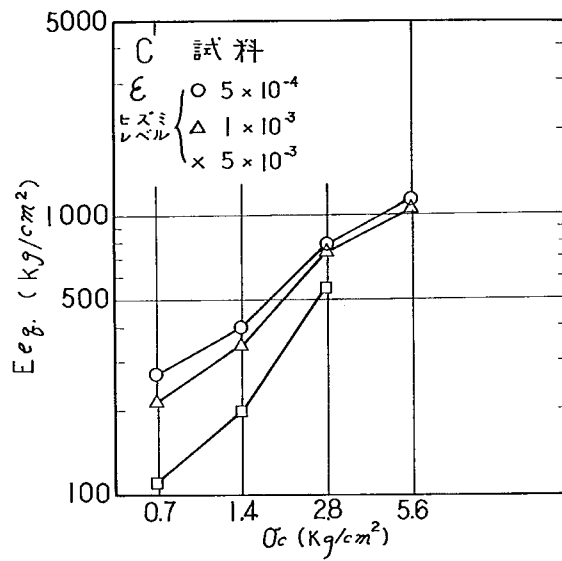


図 5-21  $E_{eg} \sim \sigma_c$  の関係

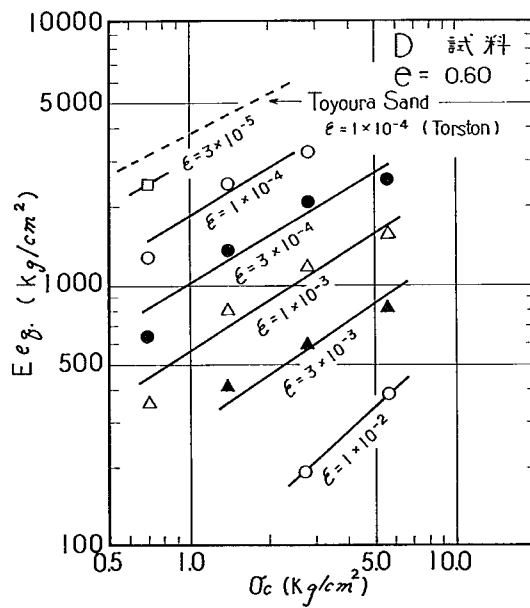


図 5-22  $E_{eg} \sim \sigma_c$  の関係

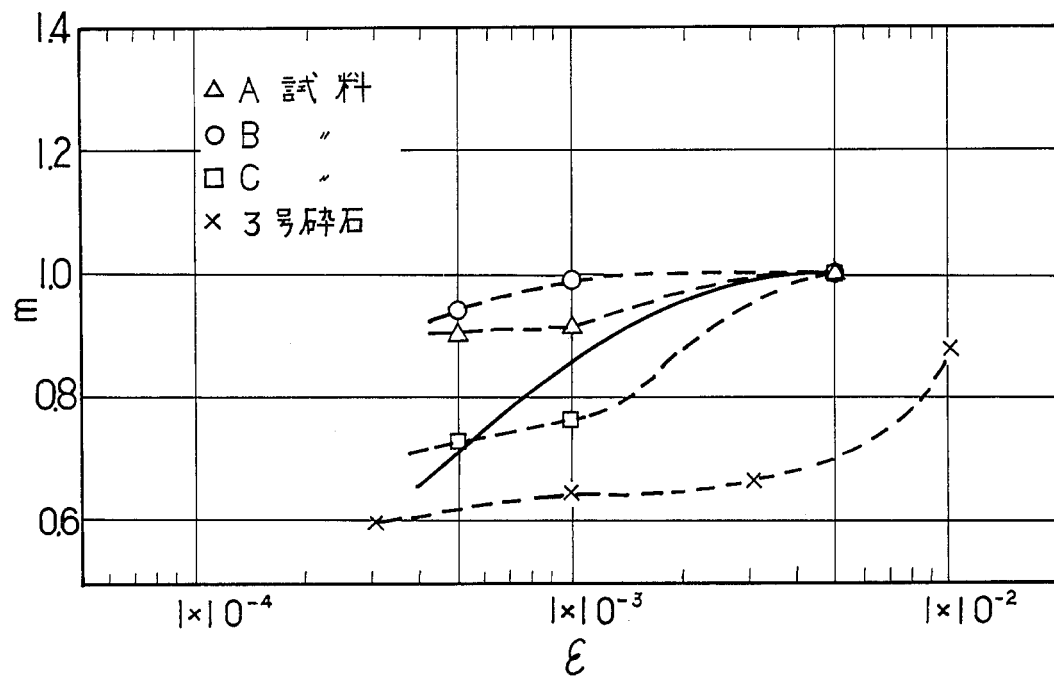


図 5-23  $m \sim$  ひずみの関係

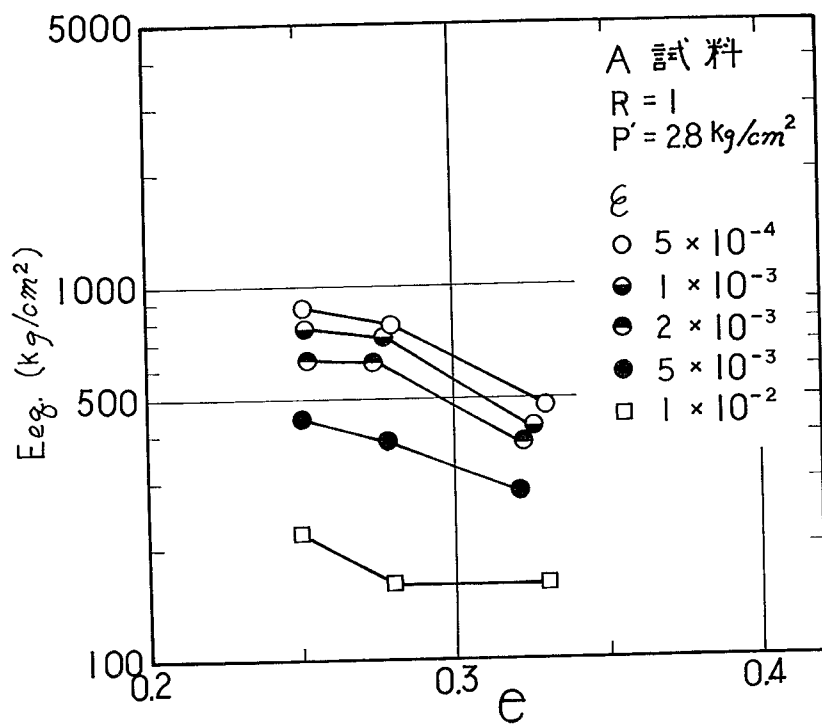


図 5-24  $E_{eg} \sim e$  の関係

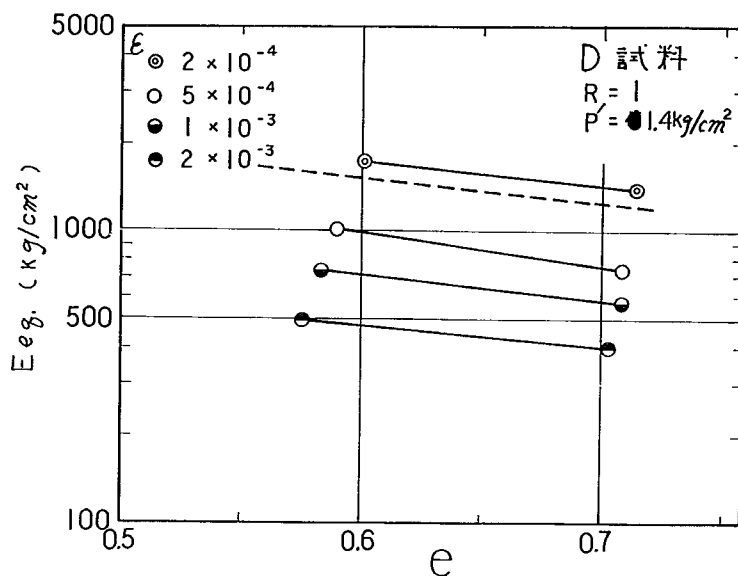


図 5-25  $E_{eg} \sim e$  の関係

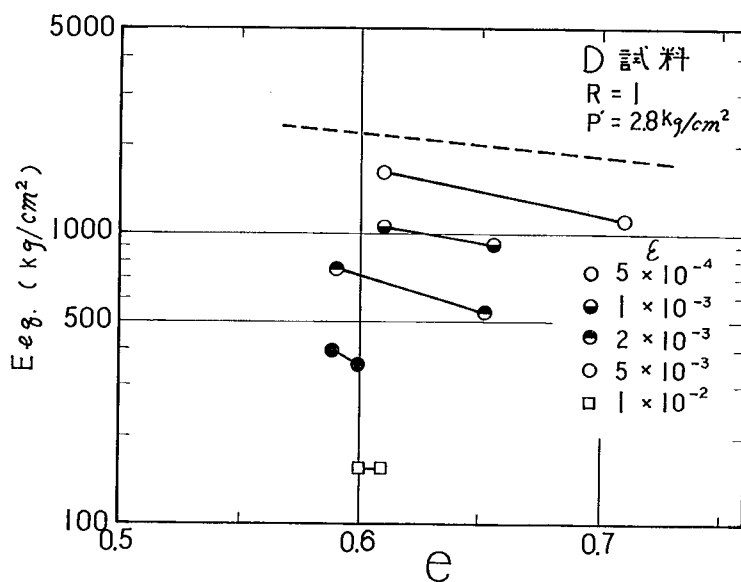


図 5-26  $E_{eg} \sim e$  の関係

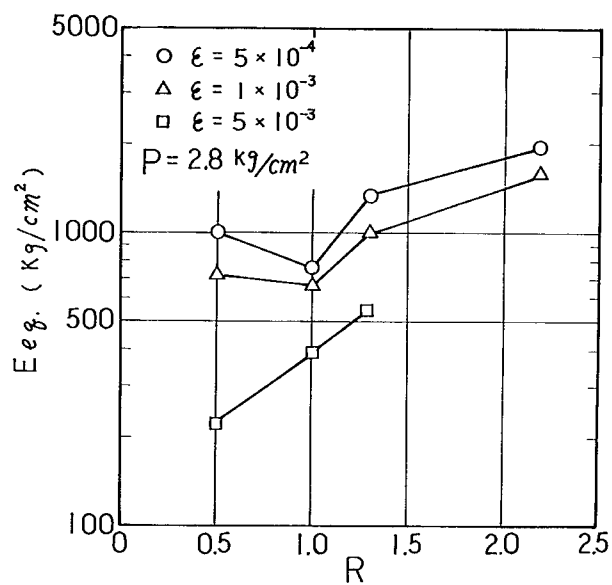


図 5-27  $E_{eg} \sim R$  の関係(1)

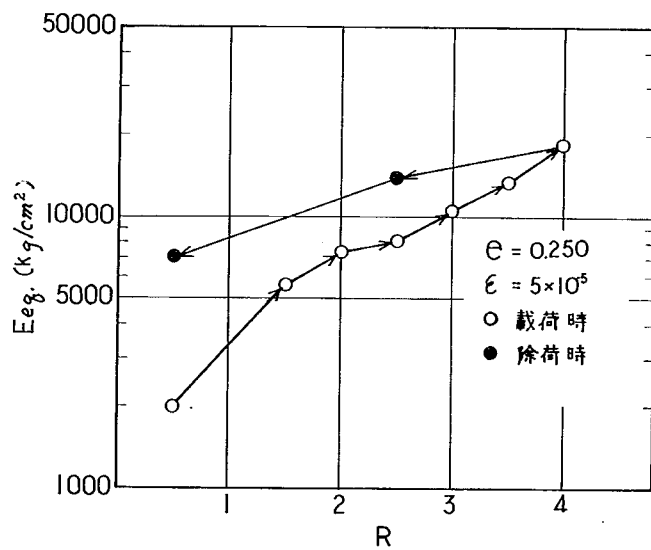


図 5-28  $E_{eg} \sim R$  の関係(2)

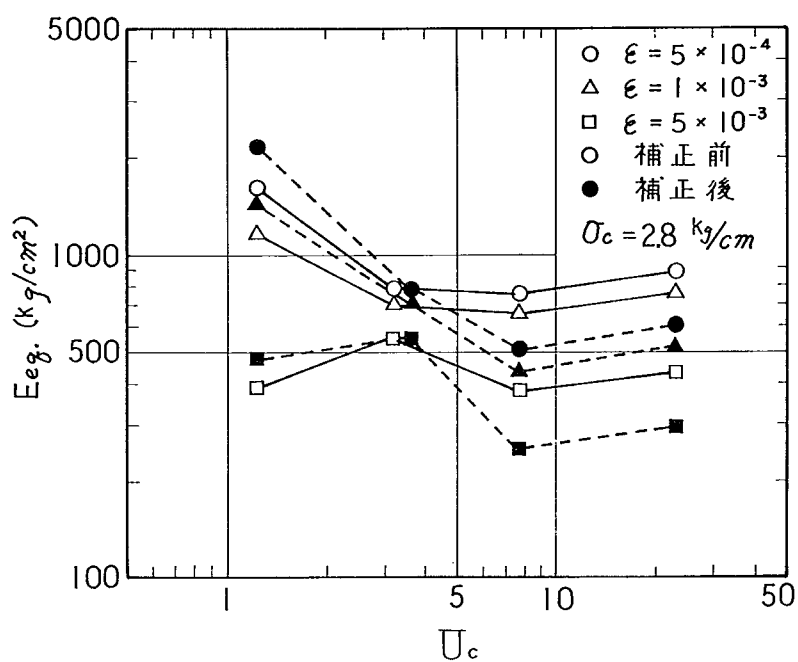


図 5-29  $E_{eg} \sim U_c$  の関係

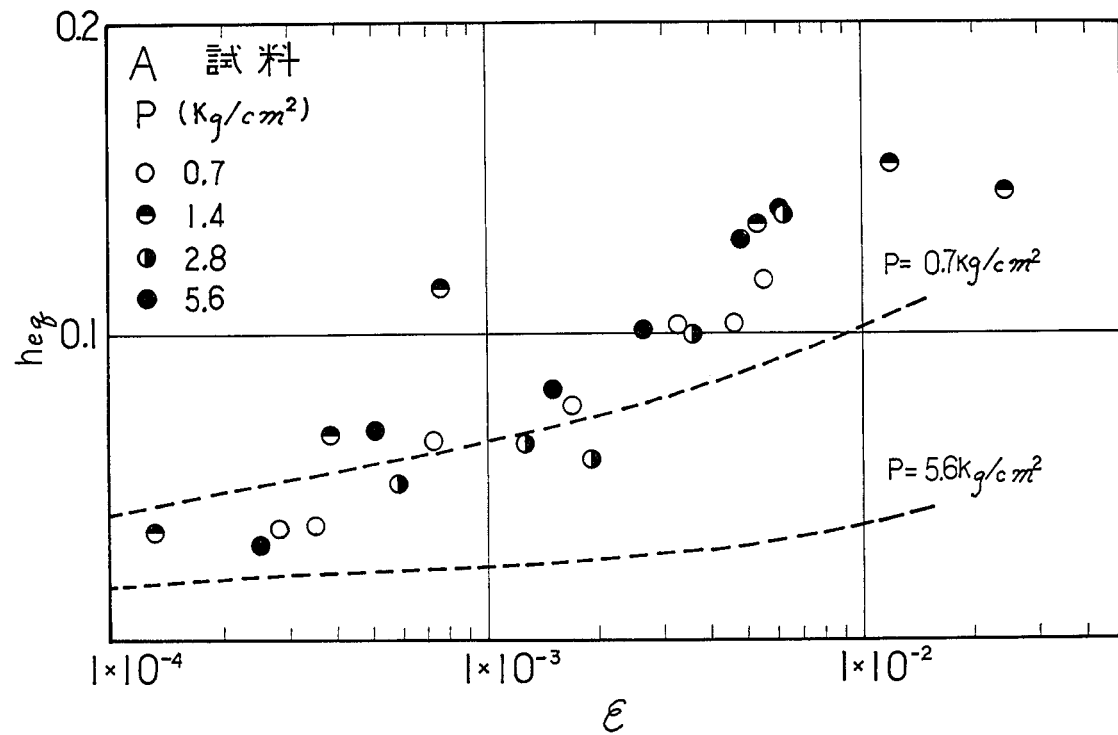


図 5-30  $h_{eg} \sim \epsilon$  の関係(1)

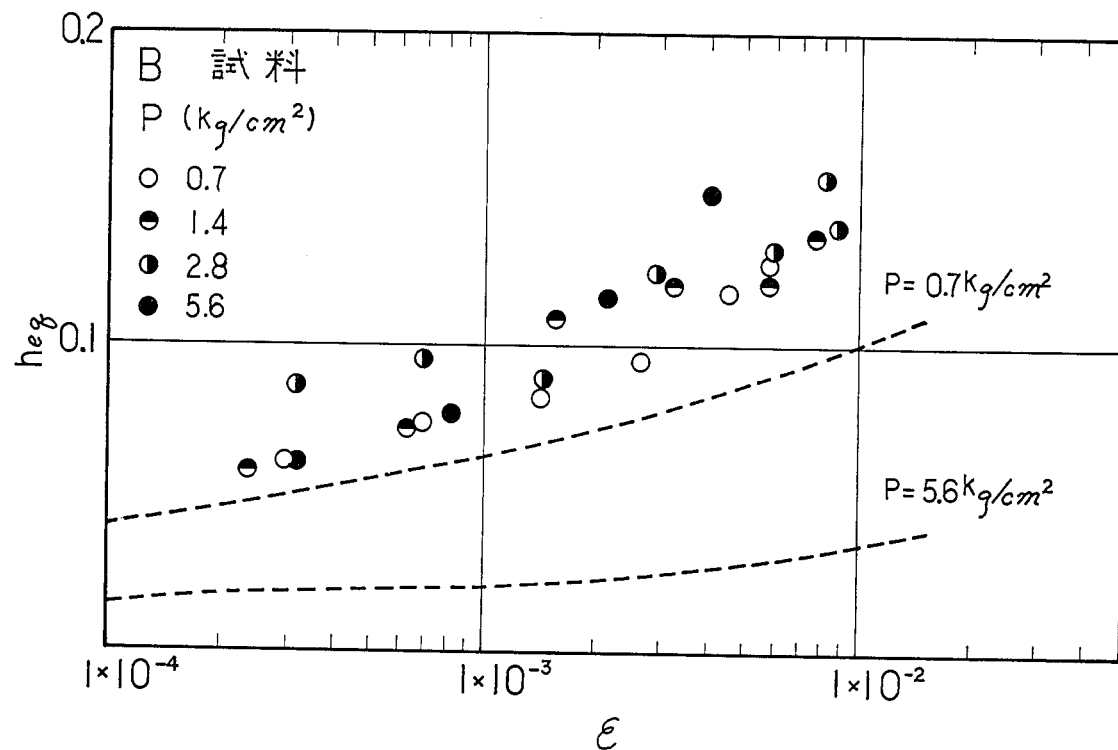


図 5-31  $h_{eg} \sim \epsilon$  の関係(2)

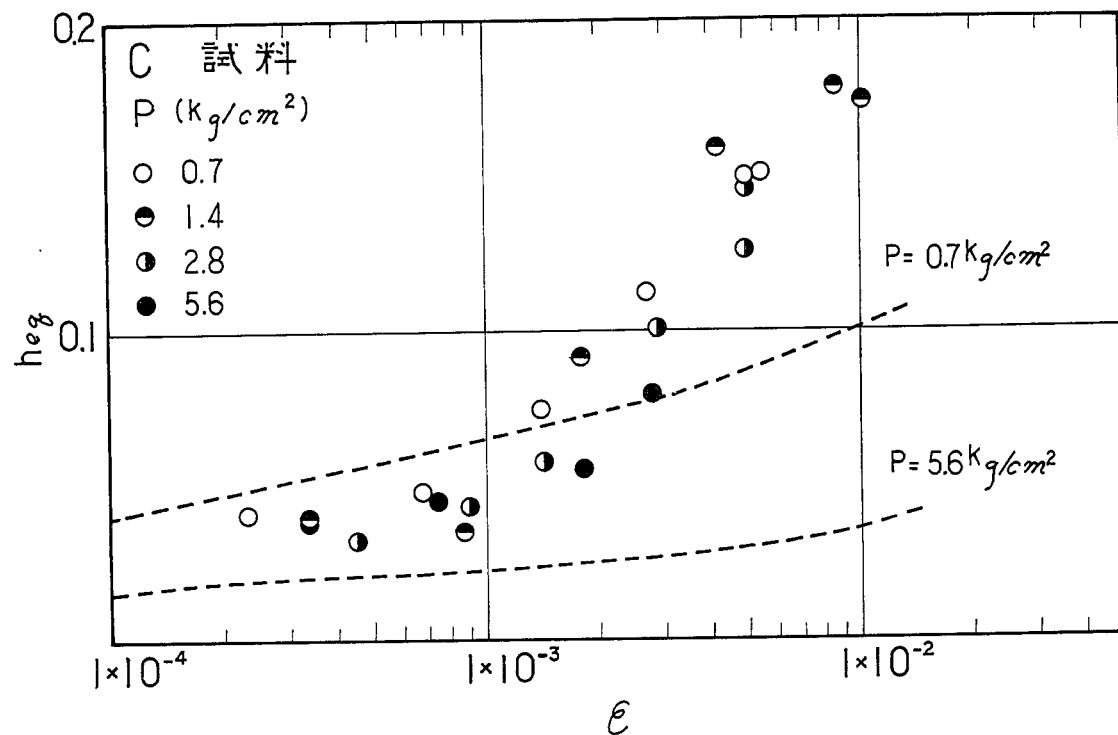


図 5-32  $h_{eg} \sim \epsilon$  の関係(3)

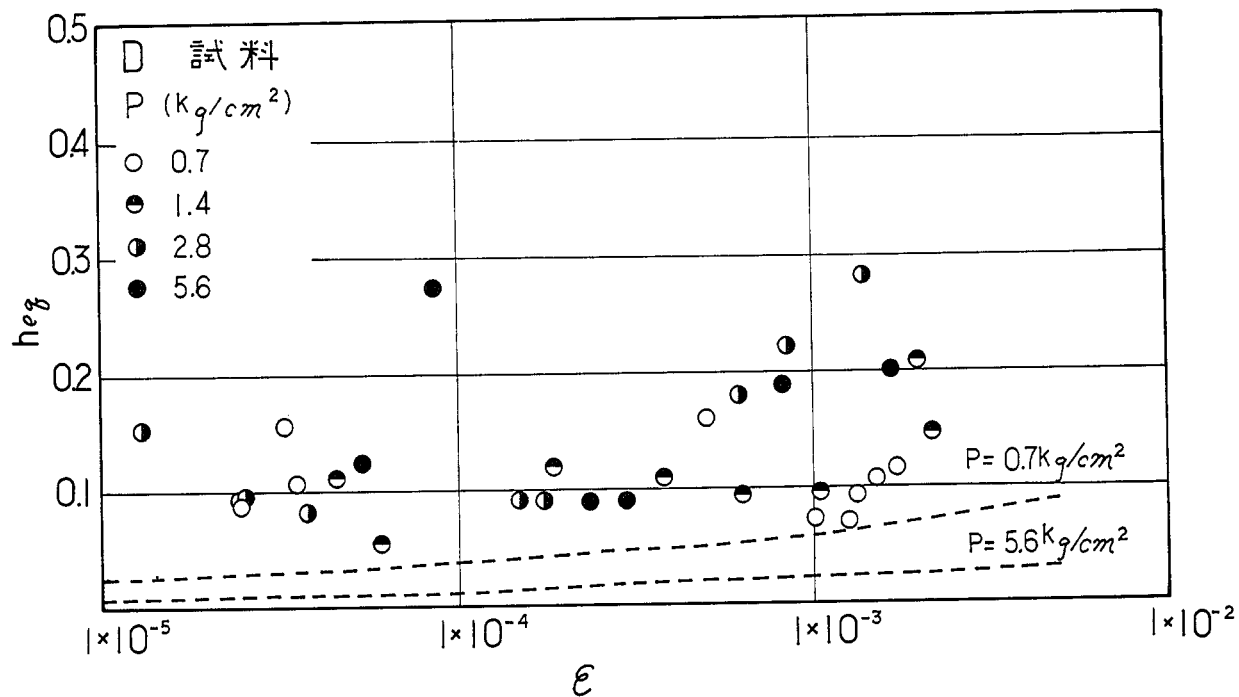


図 5-33  $h_{eg} \sim \epsilon$  の関係(4)

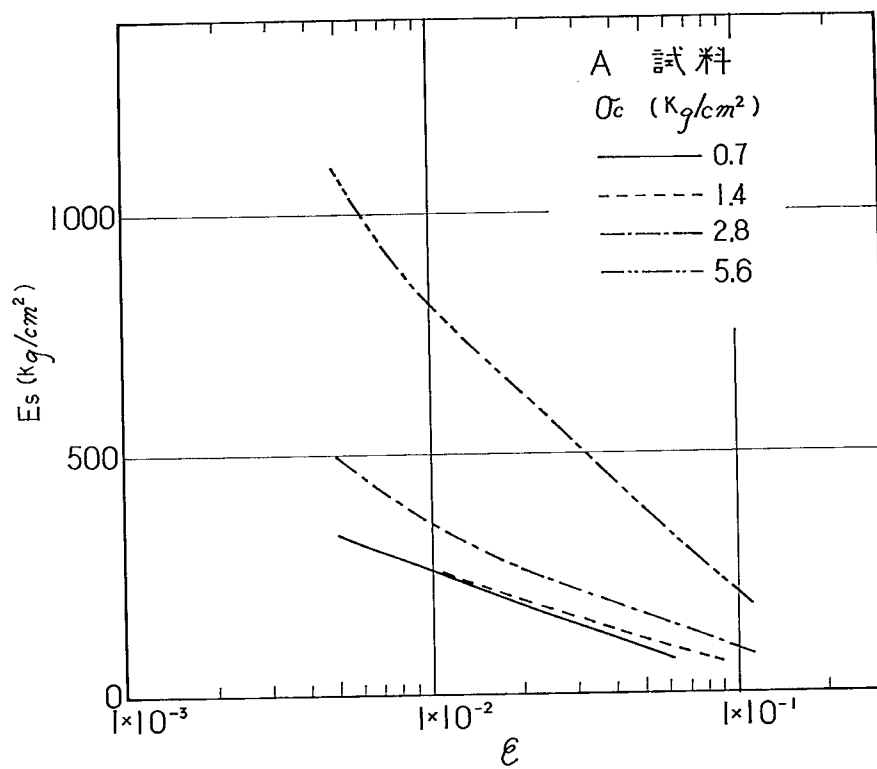


図 5-34 静的試験による  $E \sim \epsilon$  の関係(1)

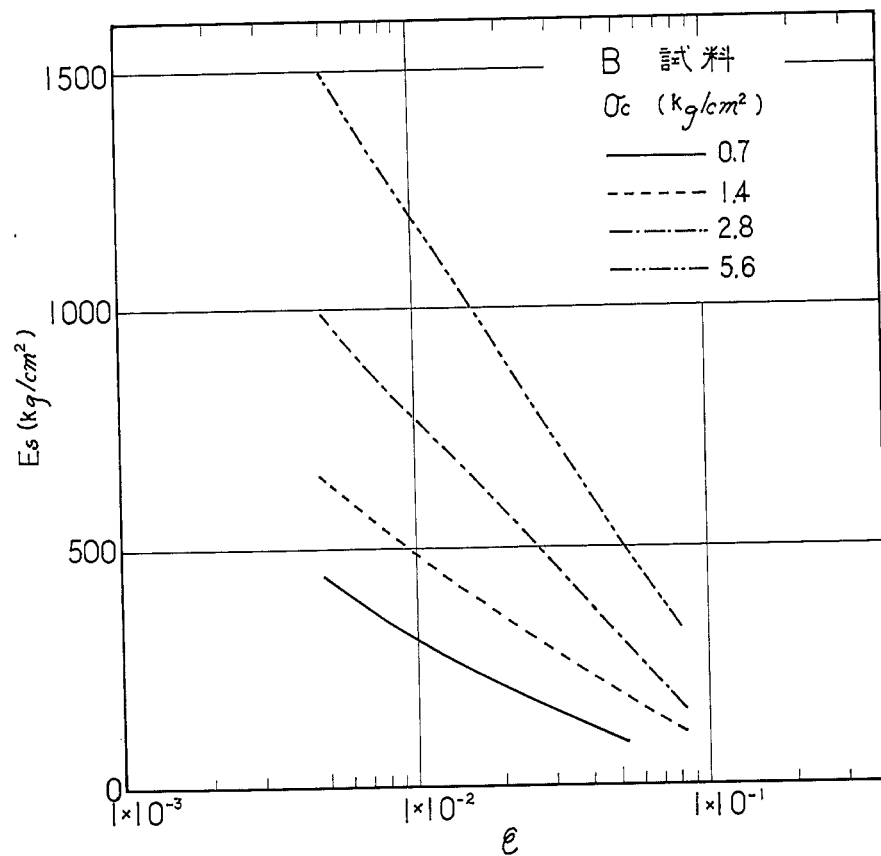


図 5-35 静的試験による  $E \sim \epsilon$  の関係(2)

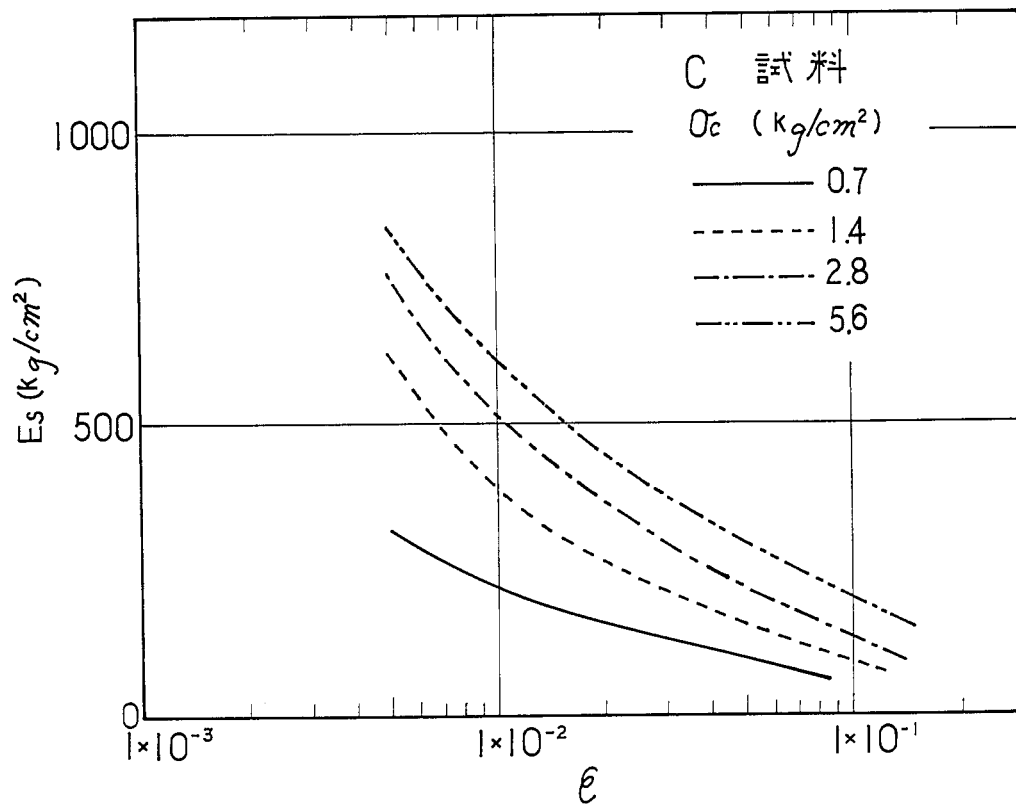


図 5-36 静的試験による  $E \sim \epsilon$  の関係(3)

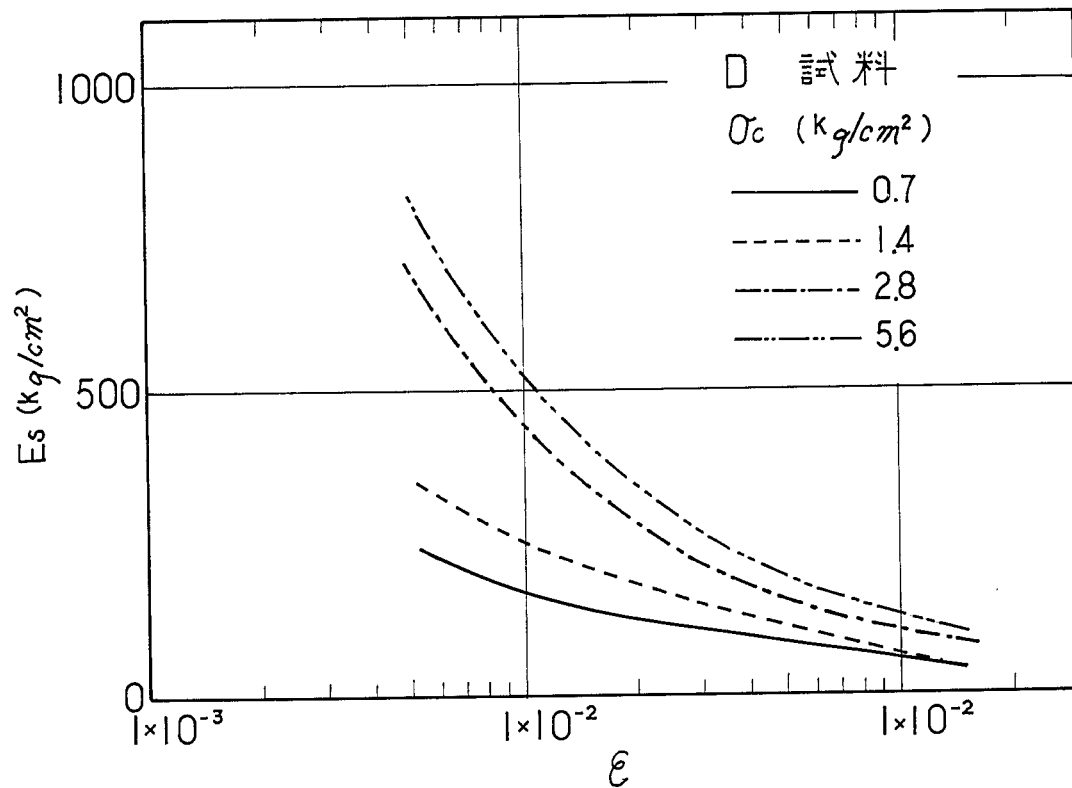


図5-37 静的試験による $E \sim \epsilon$ の関係(4)

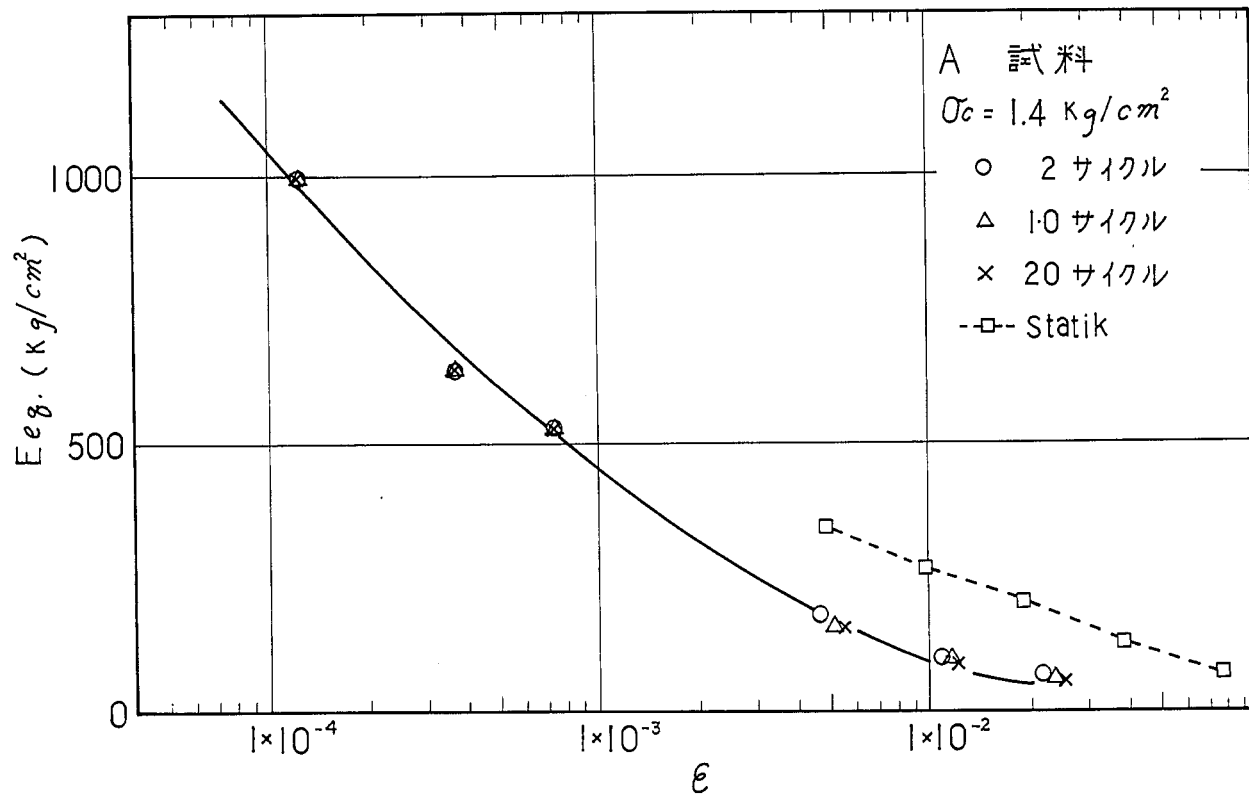


図5-38 静的試験と動的試験による弾性係数の比較(1)

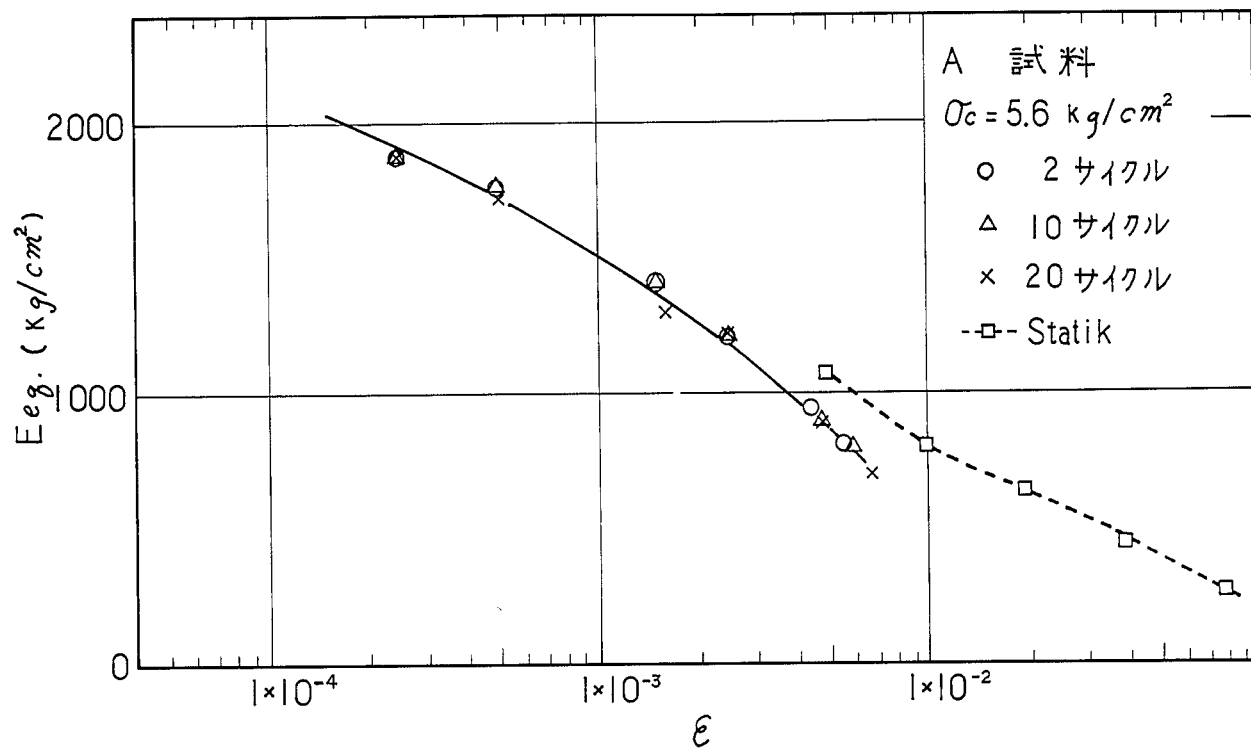


図 5-39 静的試験と動的試験による弾性係数の比較(2)