



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



振り自由振動法による加硫ゴムの初期ねじり角に対する動粘性率の依存性(1)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山中, 厚 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3677

振り自由振動法による加硫ゴムの初期ねじり角に 対する動粘性率の依存性(1)

山 中 厚

The study of the dependence of dynamic Viscosity
for vulcanized rubber on primal twisting angle
by means of torsional free Oscillation

Atsushi Yamanaka

Abstract

The Study has been made of the dynamic shear modulus of viscosity for natural rubber vulcanized at 110°C and 5 mins on variety of primal twisting angle by means of torsional free Oscillation and then influence of temperature on dynamic property of the viscosity in the temperature range of 20-60 (°C). In this paper, the work is undertaken to explain the results obtained. The cross-section of test specimen used in this experiment is rectangular and the length of it is about 30.0 (mm). It was found that the cause of the results could not be explained in terms of the torque and the shearing stress only.

ま え が き

物質の動的粘性定数を定める方法として動的方法があり、種々のゴム、複合材料、繊維、ブレンド物質、異なる結晶度のプラスチックなどはこの方法により、動的粘性率、動的剛性率及び散逸エネルギーなどの力学的特性が調べられている⁽¹⁾⁽²⁾。これ等の動的方法の中で測定も比較的簡単なねじり自由減衰振動法がある。この方法は装置も簡単であり、迅速に結果が求められる、但し試料に振動を加え周波数に対する依存性などの知見を得ることはできない。一般に試料に微小角の回転を加えて生ずる振り振動の方程式から初期ねじり角に無関係な動的粘性率、動的剛性率を算出することができる。しかしこの動特性の値はどの程度までの初期ねじり角に対して一定値として保持されるのか、今回の実験ではこの点を確かめるためにねじり自由減衰振動法により初期ねじり角を大きくしたときの動特性を加硫ゴムに対して行ない、次にその結果に対して考察を加えることを目的とした。一般に図-1の様な振動系で微小角なねじりの振動を考えたとき、運動方程式は次式で示され

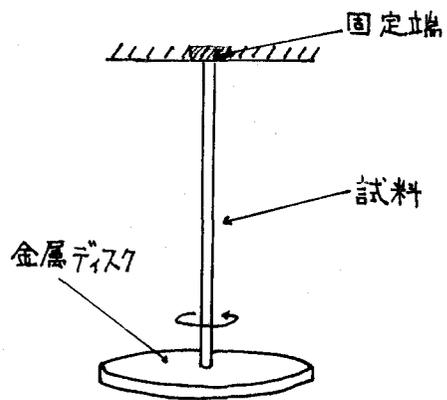


図-1

ることが知られている。

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{\eta'}{A} \frac{d\theta}{dt} + \frac{G'}{A} \theta = F \sin \omega t \quad (1)$$

I : 金属ディスク慣性モーメント θ : ねじり角
 η' : 試料の動ねじり粘性率 F : 外力の振幅
t : 時間 A : 試料の形に依る定数
 ω : 角振動数
 G' : 試料の動ねじり剛性率

試料が直方体のときAは次の様に表わされる。

$$A = \frac{16l}{\beta bc^3} \quad (2)$$

l : 長さ b : 幅 c : 厚さ β : b/cに依る形状因子

$$\text{今ここで } 2\varepsilon = \eta'/AI, \quad n^2 G'/AI \quad (3)$$

L = F/I とおき自由減衰振動の場合 (L = 0), 初期ねじり角 θ_0 に対しては(1)式の解は次式で与えられる。〔但し $I > \frac{\eta'^2}{4G'A}$ 〕

$$\theta = \theta_0 \operatorname{cosec} \phi \sin(\sqrt{n^2 - \varepsilon^2} t + \phi) e^{-\varepsilon t} \quad (4)$$

但し $\tan \phi = \sqrt{n^2 - \varepsilon^2} / \varepsilon$ である。

対数減衰率を Δ とすれば(4)より次式が導びかれる。

$$n^2 = \frac{4\pi^2 + \Delta^2}{p^2} \quad \varepsilon = \frac{\Delta}{p} \quad p: \text{周期}$$

この式と(3)により更に

$$G' = \left(\frac{4\pi^2 + \Delta^2}{p^2} \right) AI \quad \eta' = 2 \left(\frac{\Delta}{p} \right) AI \quad (5)$$

したがってPと Δ を測定し G' と η' を求めることが出来る。

実験装置と測定方法

実験装置は図-2に示す。試料は灯の中で両端をクランプする、下部のクランプに結合した金属棒の中間に1(mm)四方の正方形の鏡をとり付けておき更にその下方に適当な慣性モーメントと重量を有する金属製のディスクを負荷できる様にしておく、又炉の温度は自動温度調節器により $\pm 1^\circ\text{C}$ の精度で調整する。次に炉内を一定温度にしておき、試料に一定の負荷を加える。又この試料よりもわずかに軽度に加流されたゴムの応力緩和曲線が20時間程度で平衡状態に達することが実験的に確かめられている。したがって2本実験においては試料に荷重を加えた後40時間経過した後、測定値に変動がないのを確かめた後、試料をある角度(0.40 rad 以下)

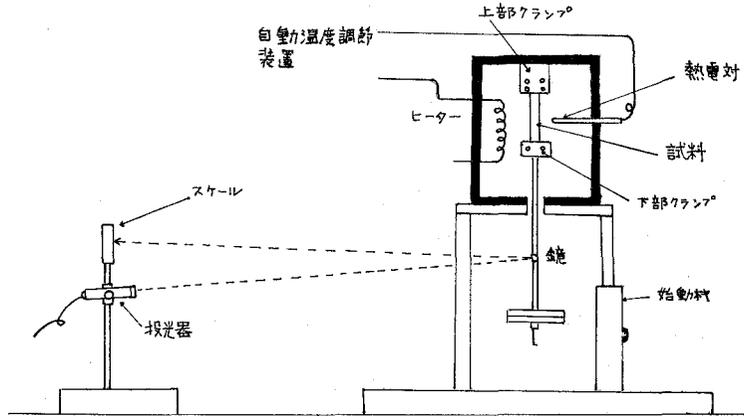


図-2

にねじり、急に放すと試料がねじり振動を始める、これをランプスケール方式により測定した。使用した試料は(クランプする部分を除いた箇所)が長さ 30.0 (mm)、幅 3.00~5.00 (mm)、厚さ 2.20 (mm) の直方体のものである。使用温度範囲は 20~70°C とした。但しこの実験に於て室温の変化を考慮しない温度の指示調整ミスの為、各データ-温度間隔が等しく採られていない。又上記した実験手段と(5)式に基づき測定と物理定数の算出を行なった。次に試料に引張り応力を加え、ねじり角 θ でねじったとき、試料の l 伸長時に於けるねじり角 θ とトルク T の関係は次式で与えられる⁽³⁾。

$$T = \frac{bc^3\beta G}{16l} \theta + \frac{b^3c\sigma}{16l} \theta + \frac{Eb^5c}{360} \left(\frac{\theta}{l}\right)^3 \quad (6)$$

但し、 σ : 引張り応力、 E : ヤング率、 G : 引張り応力が零の時のねじり剛性率、当実験に於ては(6)式の第三項目を無視できる様にするには b , c は各々少なくとも 5.00 (mm) 以下、2.25 (mm) 以下であるならば十分であることがわかった。次に(7)式を用いて動ねじり剛性率と動ねじり粘性率を求めるときに、 $I = (\text{ディスクの慣性モーメント}) + (\text{下部クランプと金属棒の慣性モーメント})$ 、減衰が小さいので $\Delta^2 \approx 0$ とした、したがって(2)と(5)より G' と η' は更に次式で表わされる。

$$G' = \frac{64\pi^2 I I}{p\beta bc^3} \quad \eta' = \frac{32\Delta I I}{p\beta bc^3} \quad (7)$$

故にこの実験において G' 及び η' は(7)式を用いて求める。

実験結果と考察

20~70°C の温度範囲での各温度に於て初期ねじり角 θ_0 を次第に大きくしていったときの η' の値の変化を調べた、その結果は図-3 で示す様になった。図-3 に於て η' は θ_0 のある値で

に跳躍しその θ_0 の値は温度によって異なる。次に図-3で示されたその特性の試料の断面積の違いによる変化を調べるために b と c の比率を変えて跳躍点 θ'_0 の温度依存性を調べた。その結果は図-4で示される。図-4に於て跳躍が起った後の η' の値はそれ以前と同じく θ_0 に対して一定の値が求められた、即ち(7)式を用いることが可能であった。言い換えれば η' は試料が微小ねじり振動状態にあるという条件、即ち初期ねじり角 θ_0 には無関係な一定値を有するということである。しかし図-3に於て $\theta_0 = \theta'_0$ で η' の値が跳躍している、したがってこの跳躍点に於ては η' が θ_0 に無関係であるということは云えない、しかしこの跳躍点 θ'_0 で変化する η' の値の測定に於て(7)式が適用できた。このことは跳躍点 θ'_0 のところで試料の変形が微小変形の条件からのずれが無視できる程小であるか、又はその条件を満足しているかのいずれかである。この事から跳躍点 θ'_0 における試料の変形量 (b, c, l) 以外の物理定数 G' (動ねじり剛性率) の値が関与すると考えられる、故に跳躍点 θ'_0 のねじり角における試料の力学的物理量が図-3, 図-4の現象を解釈するために重要と思われる、特にその時点に於けるトルク T の値がその目安になると予測される、故にその為に必要な G' の値を求めるために各温度に於ける l を測定した、又この実験で温度による熱膨張は小さいと見なし無視した。したがって各温度での b, c の値は室温で b, c と l の関係を求めておき各温度での l の値と対応させて算定した。 l の値より算出される伸長率 $(l - l_0)/l_0$ の温度依存性は図-5で示した。図-5に於て一定荷重に対する伸長率の温度に対する依存性はエントロピー弾性に見られる現象とは異なっている、これは架橋構造の熱崩壊に起因する現象が共存するためと考えられる。測定後の試料に永久変形が生じていることから云える。次に図-5の伸長率の温度特性に伴なって変化する l, b, c の値と(7)式を用いて G' を求めた、その温度依存性は図-6で示される。図-6と図-4を対比させてみると G' の値の変化のみが図-4の η' の特性を決定しないことが解かった。次に上述した理由により跳躍点におけるトルク T を求めてみる。一般に厚さ c 、幅 b 、長さ l

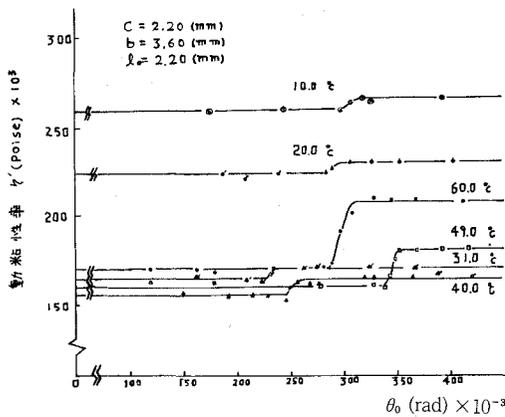


図-3

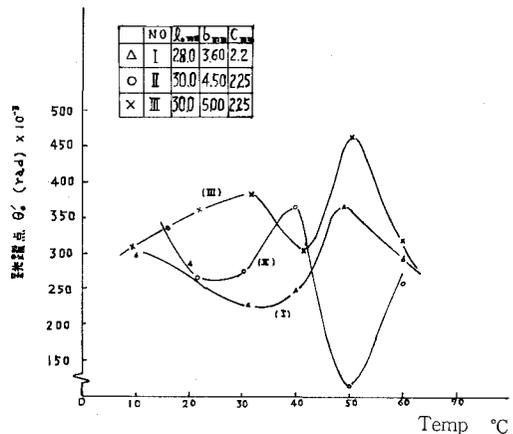


図-4

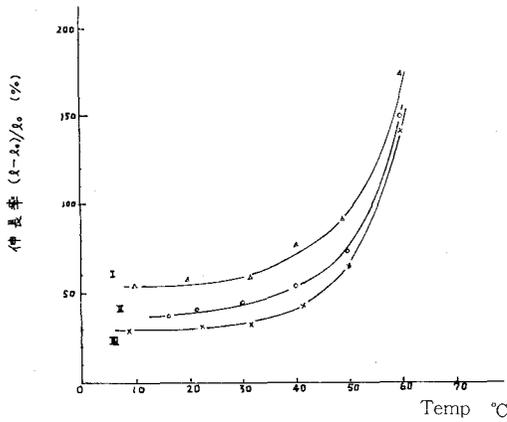


図-5

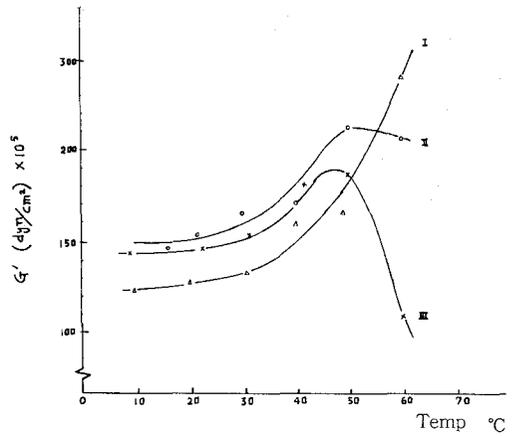


図-6

$$T = \frac{\beta d c^3 G'}{16l} \theta_0 \quad (8)$$

の直方体の試料を微小角 θ_0 だけねじるに要するトルクの大きさ T は(8)式で与えられる。

但し β は形状因子であり、又 G' は(6)式に於て試料に一定荷重が加えられている場合の二項目も考慮した動ねじり剛性率であり、 G とは異なる。次に求めたトルクの温度依存性は図-7で示される。図-7と図-4を比較してみると図-7は b , c , l 及び G が一定である試料に対するねじり角を図-4に従って変化させたとき(8)式に基づいてトルクの大きさもそれに伴

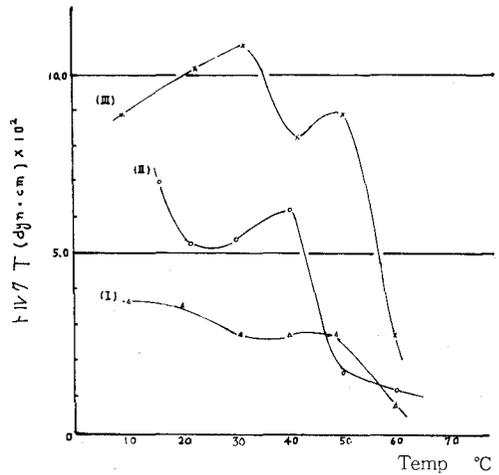


図-7

なって定性的に同じ変化を当然の結果と類似した特性を示した、このことは各温度に於て b , c 及び図-5, 図-6で示される l , G' の値がトルク T の温度依存性に対して規則性を見い出させる程の寄与をしていないという事である、又トルクと関連して同様にして剪断応力を求め θ'_0 に対する特性を調べてみたがトルクの場合と同様に規則性は見い出せなかった。したがって図-3の現象を説明するために試料を θ'_0 の角度に振ったときの他の要因、例えばねじりエネルギーの値の影響も考慮を要すると思われるが今回はそこまで言及しなかった。故にこの実験で得られた結果は上記の試料を初期ねじり角 θ_0 ($0 \sim 0.40$ rad) で自由ねじり振動を行なうと、ある初期ねじり角 θ'_0 までは微小ねじり自由振動の特性に基づいて η' が θ_0 に無関係な一定の

値を有し θ'_0 の所で急に η' の値が跳躍して 0.40 (rad) まで再び一定値を示す、従来あまり報告されていない図-3 の特異な現象が見い出されたということ、又トルクそして剪断応力の物理量だけからはこの現象に対し十分な解釈は下せないということである。以上を今回の実験の結論として留める。使用した加硫ゴムは北日本化工株式会社の好意によることを付記しておく。この報告を終えるに当たり、日頃、物理研究室の諸先生方には何かとお世話になりここに感謝の意を表する次第です。

(昭和 52 年 5 月 21 日受理)

参 考 文 献

- 1) 実験化学講座(8)高分子化学 (丸善)
- 2) 高分子測定法 高分子学会編 (培風館)
- 3) Laurence. E. Nielsen, "Some Instrument for Measuring the Dynamic Mechanical properties of plastic Materials" ASTM Bull. April 1950
- 4) 高分子物理学 齊藤信彦著 (裳華房)