

利用者からの報告

大変形高分子ガラスにおける粘弾性 変化のパルスひずみを用いた測定



岩本 真里子 (いわもとまりこ)

所属：工学部 機械工学科

趣味：サッカー観戦

連絡先：06-6605-2967

1. はじめに

透明なプラスチック材料として広く使われているガラス状高分子は、粘性と弾性の両方の性質を併せ持つ粘弾性という力学特性を持っています。この粘弾性は大変形を与えると非線形に変化し、その結果変形履歴によって力学応答は複雑に変化します。そのため変形履歴による粘弾性変化の詳細を知ることは工業的に重要であり、本研究室ではガラス状高分子の非線形粘弾性挙動の詳細を調べる1つの方法として、一軸延伸による大変形と重ね合わせた微小な正弦波のねじり振動に対する粘弾性応答を測定する方法で、一軸大変形によって生じる動的粘弾性変化の周波数依存性とそれに及ぼす各種変形条件の影響をこれまで検討してきました。

ただし1本の試験片で1つの周波数について測定すると、実験回数が多くなるとともに試験片ごとの測定値のばらつきを考慮する必要があります。そこで1本の試験片で広い周波数に対する粘弾性応答を同時に得ることが望ましいと考えました。具体的には任意の周期関数がフーリエ級数を用いて

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)\}$$

と表されること、パルス波が様々な周波数を持つ正弦波と余弦波の重ね合わせであることを利用して、微小ねじり変形をパルス状の波形で加えて応答を測定することで、緩和特性変化について検討します。そのため一軸延伸による引張大変形およびパルス状の波形による微小ねじり変形を同時に試験片に与えて試験片に生じるトルクと荷重を測定する実験装置の作製を行いました。

2. 実験装置と実験方法

測定に用いる実験装置の全体写真を図1、回転ロッドと電磁石部分の写真を図2にそれぞれ

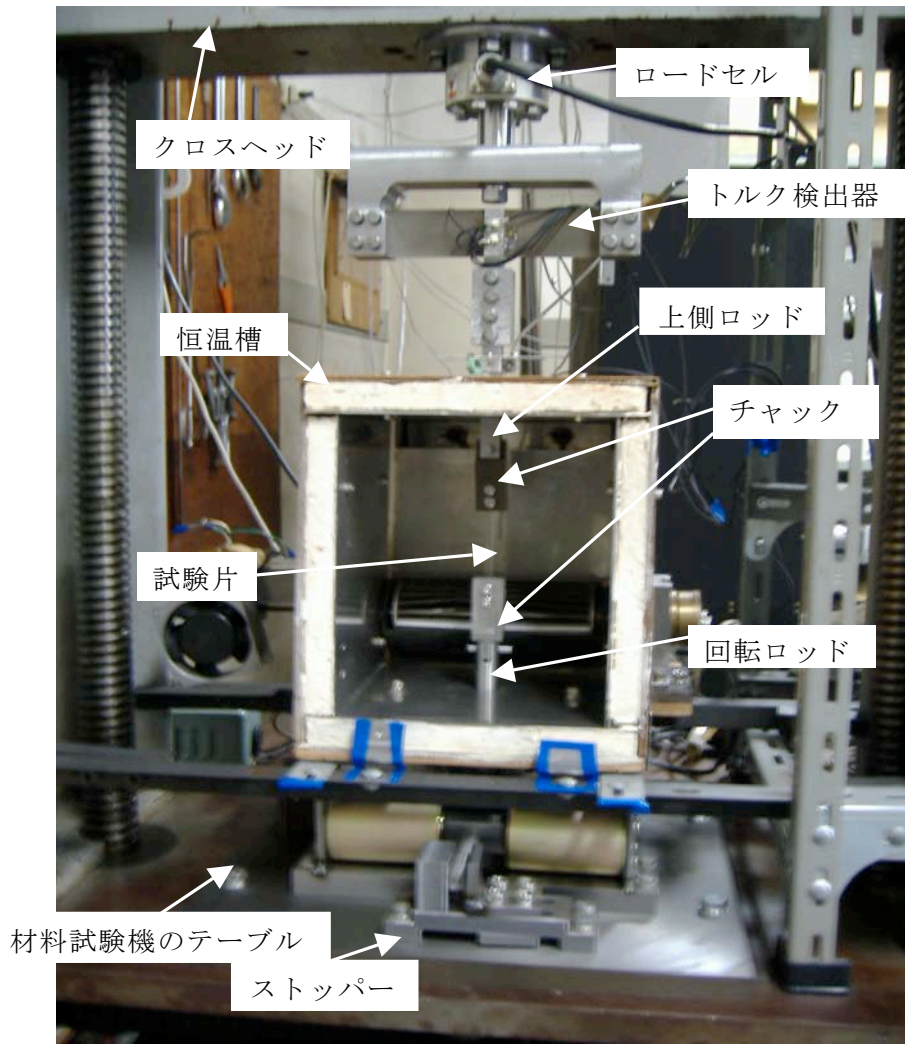


図1. 実験装置全体

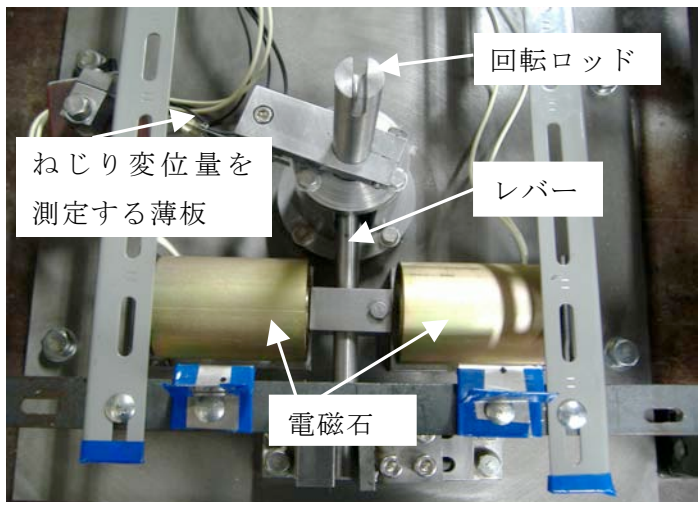


図2. 回転ロッドと電磁石部分

れ示します。

測定にはインストロン型材料試験機を使用します。これは材料試験機についているモーターの回転を2本のねじに伝え、そのねじの回転によって試験機のクロスヘッドを上下に移動させることで材料に一軸変形を与えるものです。

そのインストロン型材料試験機のクロスヘッドに軸荷重を検出するためのロードセル、トルク検出器、および一軸延伸を試験片に伝えるためのロッドを、下側のテーブルにはねじり変形を試験片に伝える回転ロッドをそれぞれ延伸軸上に取り付けます。また下側のテーブルには電磁石およびねじり変位量を調節するストッパーも取り付けます。上下のロッドの間にチャックを介して試験片を取り付け、恒温槽で一定の温度に保ちつつ、一軸延伸と同時にパルス状の微小変形を試験片に与えます。

実験装置は下側がインストロン型材料試験機のテーブルに固定されており、材料試験機のクロスヘッドの上昇によってトルク検出器および上側のロッドを介して試験片を一軸延伸します。実験装置の部品は試験片と比較して十分な剛性を持っているため、クロスヘッドが上昇した距離はすべて試験片のゲージ部長さの伸びとして扱います。また微小ねじり変形は、交互に通電する一对の電磁石による力で下側の回転ロッドに垂直に取り付けられたレバーを引き込むことでパルス状に与えられます。

引張荷重はクロスヘッドとトルク検出器との間に取り付けたロードセルで、微小ねじりによるトルクの大きさは門型のフレームに取り付けられたトルク検出器でそれぞれ測定します。トルク検出器の材質はSS400でフレームに固定されていない部分の板厚が1.2mm、延伸軸付近とフレームに取り付けられた部分は厚さがかなり厚くなっており、試験片に加わったトルクの変化はすべて厚さ1.2mmの部分のたわみ量の変化として扱います。また回転ロッドが回転した角度は回転ロッドにつけた部品によって押された薄板のたわみ量でそれぞれ測定します。トルク検出器と下側の回転ロッドに取り付けられた薄板には長手方向の対称軸上にひずみゲージを貼り付けており、このひずみゲージを用いて薄板のたわみ量の変化を電圧変化で測定します。トルク検出器には延伸軸付近で厚さが変化しているあたりに表裏2枚ずつ、回転ロッドに取り付けられた薄板には薄板が固定されている場所の近くに表裏1枚ずつ張りつけています。

トルク検出器の設計に当たっては先輩方の使っていたものを参考にして寸法を決定したのですが、最も薄い部分の厚さが1.2mmで部品形状もかなり複雑になることから、工作センターでワイヤー放電加工機を用いて作製していただきました。その他にもトルク検出器と上側のロッドをつなぐ部品や試験片とロッドをつなぐチャックについても、部品形状が複雑ではめ合いの精度が要求される部品だったので、工作技術センターでワイヤー放電加工機を用いて作製していただきました。どの部品も非常に精度が高く、思い通りの形だったのでとても感謝しています。

3. 測定結果

作製した実験装置を用いて測定の試運転を行いました。測定条件は測定温度 $T=90^{\circ}\text{C}$ 、ひず

み速度 $d\varepsilon_n/dt=1.0\times 10^{-4}s^{-1}$,ひずみが10%、サンプリングレート $f=10\text{Hz}$,下側ロッドの回転角 $\theta=0.0121\text{rad}$,ねじり変位パルスがONの時間 $t_1=10\text{s}$,変位パルスがOFFの時間 $t_2=100\text{s}$ です。試験片はPMMA(ポリメタクリル酸メチル)を使用しました。この条件で測定された結果を図3に示します。測定値の記録にはパソコンを用いていますが、測定値をトルクや荷重、ねじり変位といった必要な物理量に変換するプログラムがまだ完成していないので、今のところ縦軸はひずみゲージやロードセルからパソコンを介して検出された電圧の値をそのまま用いてグラフを描画しています。

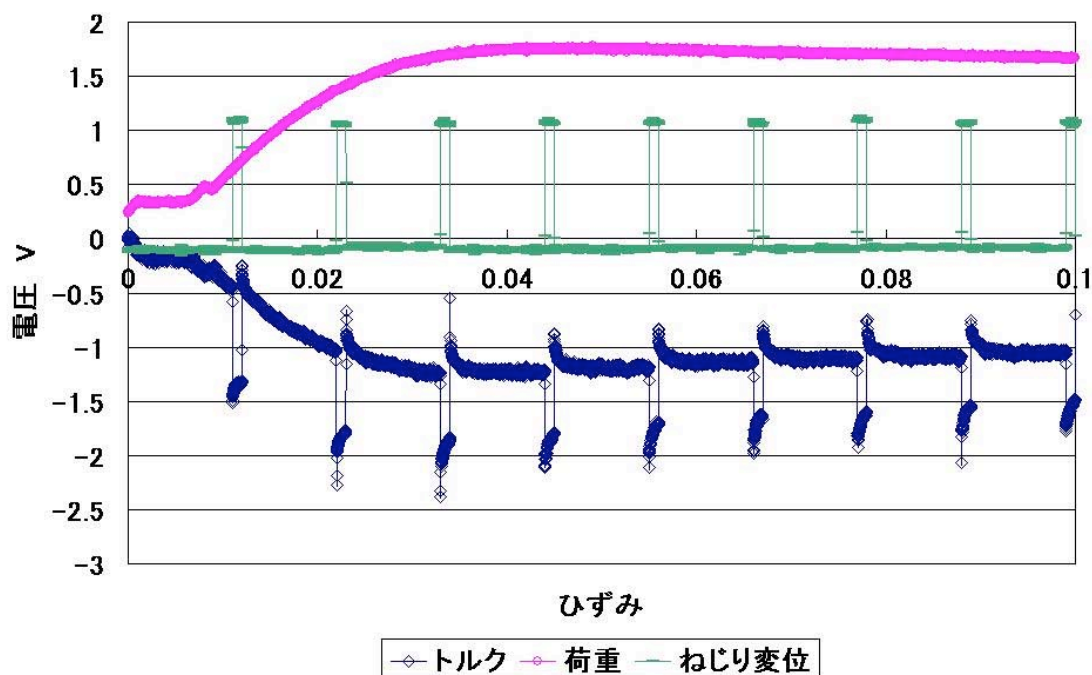


図3. 測定結果

図3からねじり変位パルスがONになった瞬間にトルクが増加すること、変位パルスがONになっている間トルクが徐々に減少していること、変位パルスがOFFになったときに変位パルスがONになる前のトルクよりも値が一旦減少することが読み取れます。このことから応力緩和を示す材料のトルクの応答が測定できていることが定性的に確認できます。

トルクが軸荷重の影響を受けていますが、これはトルク検出器に取り付けたひずみゲージが長手方向の中心軸に対称に貼られていなかったことおよびひずみゲージの感度が高いことが原因となって、軸荷重によるトルク検出器の延伸軸方向のたわみも検出したためと考えられるので補正を行う必要があります。また延伸初期の段階で荷重の傾きがほとんどなくなっている部分があるので、この原因を調べて修正する必要があります。今後は測定されたデータの補正とフーリエ変換を行い、粘弾性変化の周波数依存性をひずみなどの変形条件の関数として実際に調べ、緩和特性の変化について検討していきたいと考えています。

最後になりましたが、実験装置の作製にあたって工作技術センターの方々には多大なるご指導を頂きました。この場を借りて心よりお礼申し上げます。