

粘弾性および動的粘弾性測定の基本概念 01

～粘弾性と測定原理の概要～

サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社

キーワード

レオメーター、粘弾性、複素弾性

はじめに

レオメーターは、変形と流動を併せ持つ物体の複雑な性質を調べることができますが、物性値に複素数が使用されたり、パラメーターが多様であったりするため、測定原理が複雑であるという印象を持たれるかもしれません。レオロジーの入門書も、実際にレオメーターを操作するためのヒントとなるような内容ではなく、天下りの説明と数式だらけで難しいという声も聞かれます。

本テクニカルノートでは、レオメーターの入門機として最適な、粘度計のように使用できるThermo Scientific™ HAAKE™ Viscotester™ iQを紹介しつつ、ご自身で活用できる程度に必要な知識を得ていただくことを目的として、測定原理と測定条件の設定方法を3部構成 (Technical Note MC15002, MC15003, MC15004) で解説します。

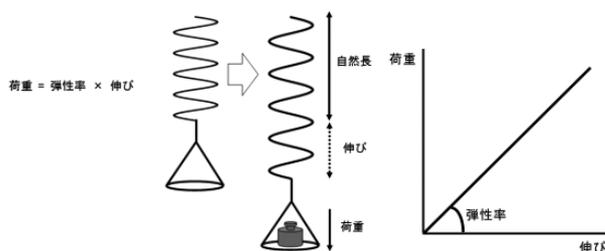
粘弾性の基本概念

歯磨き粉は流動しチューブから押し出されますが、歯ブラシの上では垂れ落ちることなく形状を保持し、固体的にふるまいます。逆に氷は力を加えれば壊れてしまう固体ですが、氷河は長い年月をかけて大きく変形し、液体的にふるまいます。

このように、どのような材料も厳密には固体、液体に分類することはできず、弾性体としての変形性と流体としての流動性を併せ持っています。たとえば、冬場の水あめとマヨネーズに指を押し込んでみると、水あめの方が押しこみにくいと感じます。これは、水あめの方が高粘度であることを意味します。ところが、割りばしで引き上げた水あめは垂れ落ちてきますが、マヨネーズはチューブを逆さまにしても垂れ落ちてきません。物体は粘度だけでは評価ができず、粘弾性を検討しなくてはならない理由がここにあります。

(1)弾性

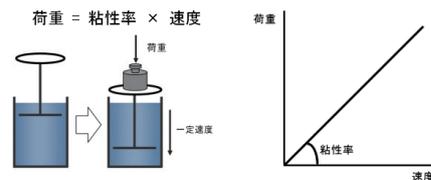
フックの法則に従う物体を理想弾性体と呼びます。フックの法則とは、単純なバネ模型を用いたとき、バネの伸びと降伏応力以下の荷重に比例関係が成立するという法則です。



理想的な弾性体では、力を加えると瞬時に伸びが生じ、その力に応じた伸びを維持します。力が取り除かれると、弾性エネルギーにより瞬時に元の状態に戻ります。

(2)粘性

粘性を表すには、ダッシュポット (ピストン) 模型を用います。理想粘性体が充填されたダッシュポットに力を加えると、ピストンの位置が時間に比例して変化します。これは、ピストンの速度と荷重は正比例するというニュートンの粘性法則に従っているためです。

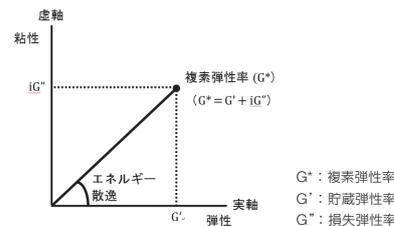


弾性体と異なり、変形のために加えられたエネルギーは弾性エネルギーとして貯蔵されず、流動時に内部摩擦による熱エネルギーとして散逸されます。そのため、力が取り除かれてもピストンの位置は元に戻りません。

(3)粘弾性

粘弾性という物性は、単独では存在しません。何らかの物体の変形や流動を考える際、それは弾性と粘性が複雑に絡み合って生じている現象であると考えられるためです。

粘弾性は、フックの法則に基づく弾性率と、粘性体の性質に基づく散逸されるエネルギーの二つの要素に起因する性質であると言えます。そのため、粘弾性値を一つの数直線上に表すことはできません。虚数軸を用い、複素平面上での原点からの距離とその偏角の二つで表し、「 $G^* = G' + iG''$ 」という形で、一つの数にまとめて表します。



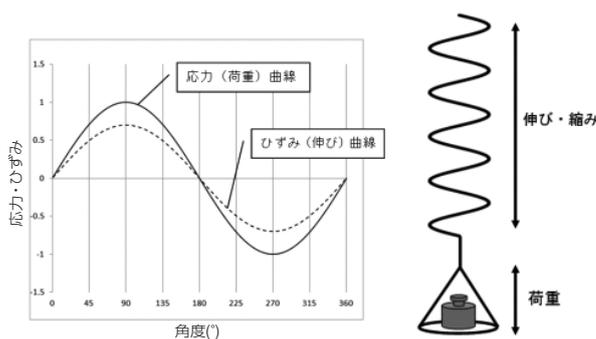
動的粘弾性測定の基本概念

レオメーターの正弦振動ひずみによる弾性率の測定を動的粘弾性測定と呼びます。ここで、複素平面と動的粘弾性測定がどのように結びつくのかを概説します。

複素数は、たとえば電気回路など波の性質を持つ現象と相性が良い場合が多いです。もっとも簡単な周期的振動である正弦波による応力を物体に加え、それに伴う変形を観察するか、逆に変形を物体に与え、その応力を観察するという動的粘弾性測定手法にも応用されます。

(1) 弾性

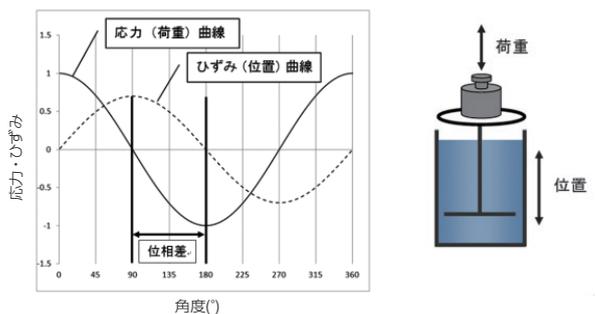
先ほどのバネ模型を用いた弾性体を動的粘弾性測定手法により測定する場合、分銅の重さ、または手でバネを引っ張ったり縮めたりという動作を、正弦周期的に変化させることが考えられます。



ひずみ(伸び)と応力(荷重)の関係は上のグラフの通りで、両波形の振幅の比をとれば弾性率となります。よって、フックの法則のバネ実験と本質的には何ら変わらないことが分かります。

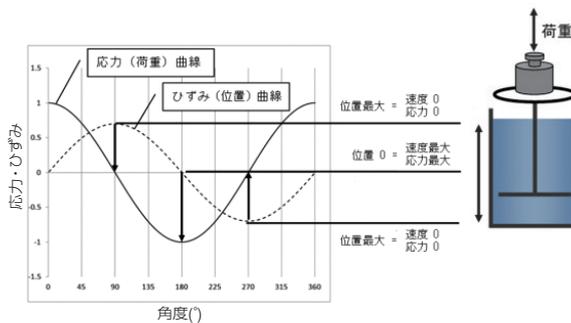
(2) 粘性

次に、完全粘性体をダッシュポット模型を用いて説明します。今度は、分銅の重さ、または手でピストンを引っ張ったり縮めたりという動作を、正弦周期的に変化させることを考えます。ピストンの位置と荷重の関係は、下の図の通り、二つの正弦波形の位相に90°の差が生じます。



これは、次の図の通り、ひずみ(位置)の最大値または最小値のときにピストンの速度が瞬間的に0になり、ピストンが原点位置

を通過する、ひずみ0のときに速度が最大値となり、粘性体はニュートンの粘性法則に従って、応力と速度が比例関係にあるためです。



(3) 粘弾性の評価

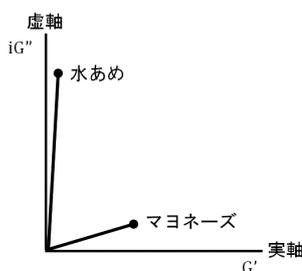
粘性体の場合、与えられたひずみエネルギーはピストンの摺動中に摩擦熱として散逸するため速度に変わり、90°の位相差が生じます。弾性体の場合は応力とひずみ量が比例関係にあるため、位相差が生じません。

両正弦波の振幅の比が複素弾性率[G*]の大きさであり、ある物体の硬さを示します。位相差はエネルギー損失を表し、複素平面上で偏角となり、その物質が粘性体(液状)寄りなのか弾性体(固体状)寄りなのかを示します。

偏角が0°であればG' = G*で完全弾性体、90°であればG'' = G*で完全粘性体、その間をとるものが粘弾性体であると解釈でき、複素弾性が示す硬さ情報と共に複合的に評価します。

粘弾性は、このような情報をもとに、複素弾性として「どのような」粘弾性体なのかを複素平面上に表されるものであり、単純に値の大小を決めることはできません(実際の測定では、一般的に弾性率と位相差の値を表示します)。

下図は、水あめとマヨネーズを複素平面上で表したイメージです。皆さんが扱われる材料は、平面上どのような粘弾性として表されるでしょうか? 第2部(MC15003)に続きます。



©2015 Thermo Fisher Scientific K.K. 無断複写・転載を禁じます。
ここに記載されている会社名、製品名は各社の商標、登録商標です。
ここに記載されている内容は、予告なく変更することがあります。

サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社
分析機器に関するお問い合わせはこちら

TEL 0120-753-670 FAX 0120-753-671
〒221-0022 横浜市神奈川区守屋町3-9

E-mail: Analyze.jp@thermofisher.com
www.thermoscientific.jp

MC008_A1506S0

Thermo
SCIENTIFIC
A Thermo Fisher Scientific Brand