

レオロジーの基礎 III 一定常流粘度測定

キーワード： レオロジー、高分子、粘弾性、粘度、定常流

はじめに

レオロジーは、物質の変形や流動を取り扱う技術領域です。レオロジーが対象とする物質には、元来、特段の制限はありませんが、その主対象のひとつとして、プラスチックやゴムなどの高分子材料が挙げられます。高分子材料は、変形、流動に対し、弾性と粘性とを併せ持った特徴的なレオロジー特性、すなわち粘弾性を示し、高分子材料の粘弾性は、材料としての基礎的な性質であると同時に、成形性や製品としての品質にも影響を及ぼします。

レオロジー特性を評価するための測定方法は多種多様です。ただし、いずれの方法も、一定の条件下または条件を変えながら、物質を変形または流動させ、その力学的応答を測定するという点では同じです。しかし、得られたデータの意味を理解できなければ、目的に適った評価はできません。

ここでは、代表的な測定方法のひとつである定常流粘度測定について解説します。

定常流粘度とは

定常流粘度とは、定常流動下で測定される粘度であり、前報¹⁾で述べたとおり、定常流動とは、ある時間以降 $[t \geq 0 \text{ (s)}]$ 、物質を一定のひずみ速度 $[\dot{\gamma} \text{ (s}^{-1}\text{)}]$ で流動させることを指します。ひずみ速度はひずみ $[\gamma \text{ (-)}]$ を時間微分したものですから、図1に示すとおり、定常流動下のひずみは、時間の経過とともに増大します $(\gamma = \dot{\gamma} \times t)$ 。

ここで、まず、理想的な弾性体である Hooke 弾性体および理想的な粘性体である Newton 粘性体²⁾ (Newton 流体とも呼ばれます) を定常流動させた場合を考えます。Hooke 弾性体においては、応力 $[\sigma \text{ (Pa)}]$ はひずみに比例します。したがって、Hooke 弾性体を定常流動させた場合、図2(a)に示すように、応力は一定の割合で増加します。一方、Newton 粘性

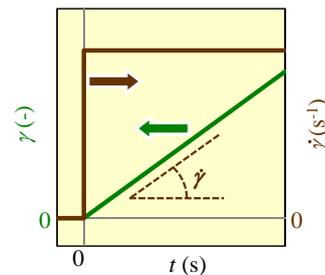


図1 定常流動におけるひずみとひずみ速度の時間変化

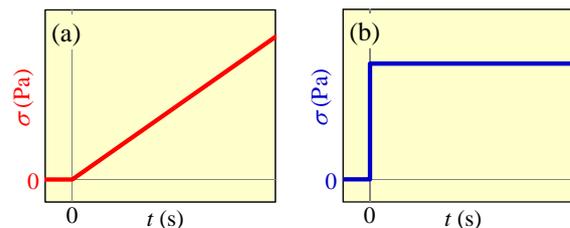


図2 定常流動における応力の時間変化
(a) Hooke 弾性体、(b) Newton 粘性体

体では、応力はひずみ速度に比例するので、一定値になります [図2(b)]。

では、粘性と弾性を併せ持つ粘弾性体を定常流動させると、応力はどのような時間変化を示すでしょうか。

粘弾性体の定常流動における応力の時間変化の典型例を図3に示します。定常流動の開始以降、応力は徐々に増加しますが、やがて定常値 $[\sigma_s \text{ (Pa)}]$ に達します。ここで、 σ_s

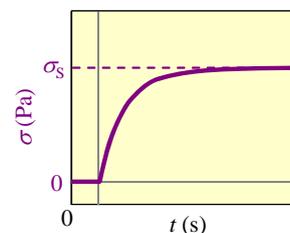


図3 粘弾性体の定常流動における応力の時間変化の典型例

$\dot{\gamma}$ で除したものが、粘弾性体の定常流粘度 [$\eta = \sigma_s / \dot{\gamma}$ (Pa·s)] です。

なお、図3を図2と対比すると、定常流動における粘弾性体の応力の時間変化に関し、特に短時間領域では弾性体的な性質が、長時間領域では粘性体的性質が、それぞれ顕著に現れていることがわかります。

定常流粘度の測定条件

実際に定常流粘度を測定する際には、種々の測定条件を設定する必要があります。主要な測定条件としては、ひずみ速度、温度、および時間が挙げられます。

図4に示すように、理想的な Newton 流体 (Newton 粘性体) では、定常流粘度はひずみ速度に依らず一定です²⁾。しかし、実際には、定常流粘度がひずみ速度に依存して変化する物質は多数存在します。例えば、チクソトロピック流体は、高ひずみ速度領域で定常流粘度が低下する物質です。逆に、高ひずみ速度領域で定常流粘度が増大する物質は、ダイラタント流体と呼ばれます⁴⁾。

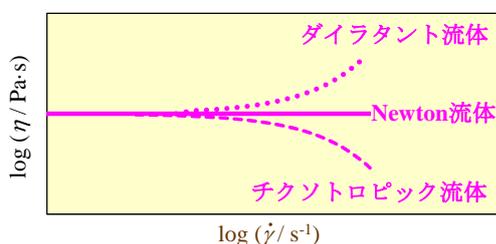


図4 種々の流体における定常流粘度とひずみ速度の関係

一方、定常流粘度の温度に対する依存性については、例えば、プラスチックの溶融体が、高温になるほど定常流粘度が低くなり、流れやすくなる性質などが挙げられます。

また、時間の経過に伴い、測定対象物質に構造的変化あるいは化学的変化が発生する場合、ひずみ速度および温度を一定に維持していても、時間の経過とともに定常流粘度が変化することがあります。

したがって、定常流粘度測定においては、測定の目的や、対象物の性質・用途に応じ、適切な測定条件を設定することが重要です。

定常流粘度の測定装置

定常流粘度を測定するための装置は、B型粘度計やE型粘度計などのいわゆる回転粘度計と、レオメータとに大別されます。いずれも、回転機構によって測定対象物質にせん断流動を与えるという点は共通しています。

粘度計は、小型で簡便な装置です。ただし、レオメータと比較して、測定条件の設定可能範囲や、測定対象とする物質の粘度領域が狭く、品質管理などの目的で使用される傾向があります。

一方、レオメータは、粘度計よりも大型で、精密な取り扱いを要する装置です。しかし、粘度の高いものから低いものまで、種々の物質を取り扱うことが可能であり、設定できる測定条件も広範です。

なお、当研究所では、定常流粘度を測定できるレオメータとして、レオロジー特性評価装置 (サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社製 HAAKE MARS III)³⁾を保有しており、接着剤や塗料の原料、熔融状態のプラスチック、各種工業用オイル、ゲル状物質などの評価にご利用いただいています。

おわりに

本シートでは、レオロジーに関する代表的な測定方法のひとつとして、定常流粘度測定について解説しました。本シートがレオロジー特性の評価に取り組むきっかけになれば幸いです。

参考文献

- 1) 西村正樹: レオロジーの基礎 I - ひずみ・応力の定義と、ひずみの代表的な与え方-, 地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所 Technical Sheet, No.15013 (2016).
- 2) 西村正樹: レオロジーの基礎 II - Hooke 弾性、Newton 粘性-, 地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所 Technical Sheet, No.15014 (2016).
- 3) 舘秀樹, 西村正樹: レオロジー特性評価装置, 地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所 Technical Sheet, No.14009 (2015).
- 4) 日本レオロジー学会: 講座・レオロジー, 高分子刊行会, pp.17-20 (1992).