

G104

平行平板型レオメータ用カップ型ジグの粘弾性流動シミュレーションによる評価

(福井大院工)○(正)田上秀一*・家元良幸

1. はじめに ポリエステルやナイロンなどの繊維材料融液の粘度は、ポリエチレンなどの高分子成形加工で用いられる汎用材料の熔融粘度に比べ小さく、高分子溶液に比べ中途半端に大きいため、ジグから液体が垂れ出すなどのトラブルが起きやすくなり、平行平板型レオメータにサンプルを安定的にセットすることは比較的難しい。その問題を解決する方法として、本研究では Fig.1 に示すようなカップ型ジグの導入が考え、粘弾性流動計算による評価を試みた。

2. 計算 計算モデルは Fig.1 に示す上側に円板、下側にカップ型ジグで構成されるレオメータを考えた。レオメータ内の流れを、非圧縮性粘弾性流体の等温定常流れの問題として考え、有限要素法により計算した。粘弾性流動を表す構成方程式には多モードの PTT モデル[1]を用いた。試験流体には、代表的な繊維材料であるポリエチレンテレフタレート (PET) [2] およびポリプロピレン (PP) [3]の溶融体を考えた。

3. 結果および考察 今回の計算では、上側円板半径 R を 12.5 mm (円板直径 25 mm) に固定し、上側円板 (Disk) は静止し、下側のカップ型ジグが回転するレオメータを考えた。この計算結果より、上側円板上で作用するせん断応力 τ_{θ} から円板に作用するトルク、法線応力 σ_{zz} ($= -p + \tau_{zz}$, 圧力 p は上側円板のエッジ部分で大気圧と等しいとした) から推力を算出し、せん断粘度と第一法線応力差を平行平板型レオメータで使用される算出式を用いて求めた。その流動計算結果により求めた各せん断速度におけるせん断粘度、第一法線応力差の算出値について定量的評価を行うため、カップ型ジグの代わりに半径 R の円板を用いた場合 (通常の平行平板型レオメータの場合) の流動計算結果より求めたせん断粘度、第一法線応力差の算出値との偏差を次式より計算した。

$$\text{Deviation of } A (\%) = \frac{|A|_{\text{Cup}} - |A|_{\text{Rheo}}}{|A|_{\text{Rheo}}} \times 100 \quad (1)$$

式中の A はせん断粘度または第一法線応力差、添え字の Cup はカップ型ジグを用いた流動計算結果から求めた値、 Rheo は下側 (回転側) に半径 R の円板を用いた場合の流動計算結果から求めた値を示す。

ここでは、紙面の都合で、カップ型ジグと円板との間の距離 h を 1 mm と固定したレオメータを考え、カップ型ジグ半径と円板半径との差 E が物性の算出値に対する影響について議論する。Fig.2 は、それぞれの偏差の絶対値についてせん断速度 $0.01 \sim 100 \text{ s}^{-1}$ の範囲内で単純平均した値と E/R との関係を示した図である。この値で、定常せん断流動特性の測定値

に対する E/R の全体的な影響がわかる。せん断粘度の偏差の絶対値の平均は、 E/R が小さい場合に大きい値を示し、 $E/R = 0.15$ あたりから偏差の絶対値の平均は一定値に落ち着く。 E/R が大きくなると、円板側面における流体の流れがカップ型ジグの側壁の影響を受けにくくなるため、せん断粘度の算出値が一定に落ち着くと考えられる。一方、第一法線応力差の偏差の絶対値の平均も、 E/R の増加と共に減少し、せん断粘度と同様の傾向を示した。 E/R が小さい場合、カップ型ジグの側壁と円板のエッジとの間隔が狭くなるので、その部分でのせん断速度が速くなり、円板のエッジ部分の法線応力 σ_{zz} が大きくなるため、偏差は大きくなる。 E/R が大きくなると、その逆になる。

流体の種類による違いを見ると、PP が PET に比べ全体的に偏差が小さい。PP は、PET に比べせん断粘度の Shear-thinning 性が大きく、その違いが流動特性の算出値に影響を及ぼしていると考えられる。

4. 文献 [1] N. Phan-Thien and R. I. Tanner, *J. Non-Newton. Fluid Mech.*, **2**, 353 (1977), [2] G. Hu et al., *Polymer*, **47**, 480 (2006), [3] M. J. Solomon et al., *Macromolecules*, **34**, 1864 (2001).

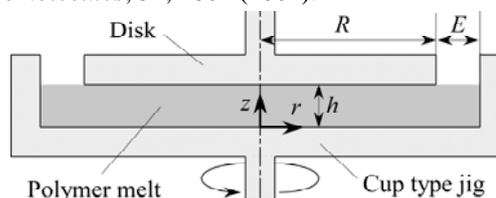


Fig.1 Illustration of rotational rheometer with the cup type jig. R is the disk radius, h is the distance between the disk and the bottom of jig, E is the length difference between the cup type jig radius and the disk radius.

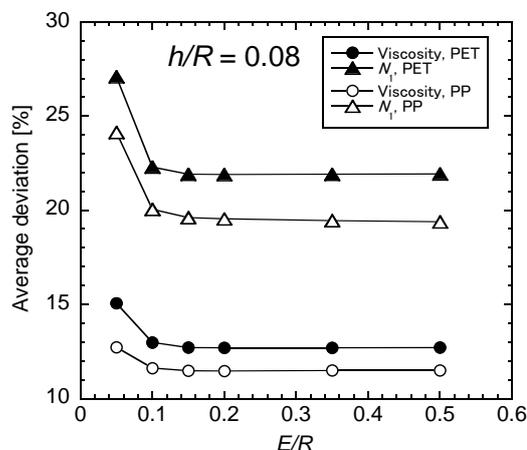


Fig.2 Average absolute deviations of rheological data for parallel plate rheometer with the cup type jig as a function of E/R at $h/R = 0.08$.

E-mail : tanoue@matse.u-fukui.ac.jp