

(Ⅱ-55) マーカー粒子FEMによる流れ解析

東海大学工学部 正員 島崎洋治

1. はじめに

高分子物質のレオロジー特性を知るために、図1に示すようなキャピラリー・ビスコメーターがよく用いられる。本研究はこの測定装置を有限要素法でシミュレートしようとするものである。ここで装置に満たされている流体は粘性流体（ニュートン流体）とし、高分子物質を加工する場合に有用な、その流れの形状や流出した部分の膨れ上がり状態の解析が可能であるかを調べる。

有限要素法は非定常の流れを解析するために用い、流れの形状と膨れ上がりの現象を観察するために、解析領域内にマーカー粒子を配置する。マーカーの速度は各時間毎に計算される節点速度から内挿される。またマーカーはそれのもつ三角形面積座標の正負の判定により要素間を移動する。マーカー粒子による有限要素法には、三角形線形要素を使うものの他に長方形双一次要素(1,2)や6節点アイソパラメトリック要素(3,4)を使うものがある。ここでは、アルゴリズムの簡単な6節点アイソパラメトリック要素を使用する。

2. 支配方程式と有限要素法

非圧縮性ニュートン流体の非定常流動は、物体力を無視すれば、直行座標系に対し次式のように表される。

$$\rho u_{i,t} + \sigma_{ij,j} = 0 \quad (1) \quad u_{i,i} = \varepsilon_{ii} = 0 \quad (2) \quad \varepsilon_{ij} = (u_{i,j} + u_{j,i})/2 \quad (3)$$

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} - \delta_{ij}p \quad (4) \quad \sigma'_{ij} = 2\mu\varepsilon_{ij} \quad (5)$$

境界条件は

$$u_i = \bar{u}_i \quad (6) \quad v_j \sigma_{ij} = \bar{T}_i \quad (7)$$

ここでは ρ は密度、 μ は粘性係数、 u_{il} は x_i 方向の速度成分、 p は圧力、 σ_{ij} は応力成分、 σ'_{ij} は偏差応力成分である。式(6),(7)は第1種または第2種境界条件を示す。 v_j は外向き単位法線ベクトルの方向余弦、 $(-)$ は既知量を表す。

有限要素法については文献(4)に詳しく述べられているのでここでは省略する。

3. 解析結果

図2は解析領域と有限要素であり、129要素297節点の6節点アイソパラメトリック要素を使用している。A-Iの境界には0.005mm/secの速度を与え、E-F-G-H-Iの境界は速度0を仮定している。またA-B-Cの境界は半径方向の速度を0としてある。C-D-Eは拘束されていない、自由表面のある境界である。マーカーは時間 $t=0$ でA-B-E-F-G-H-I内に図3(a)に示すように、744個配置した。物質定数として、簡単のため $\rho=1.0\text{g/mm}^3$ 、 $\mu=1.0\text{g/mm/sec}$ とした。また時間間隔 Δt は0.5secとして解析した。軸対称問題であるため、単位角度分を解析領域としてある。

図3(b)および(c)には、それぞれ $t=8\text{sec}$ および $t=20\text{sec}$ 後の流れの内部の状況と自由表面が膨れ上がっている様子を示した。流速は軸対称線付近で速く、マーカーの移動もこれに伴って速くなっている。またF-G区間での流れの乱れも観察することができる。膨れ上がり現象は粘弾性物質特有のものであるが、解析結果から分かるように、粘性のみの流体であっても、BE部での圧力の解放によって、膨れ上がる現象が見られる。

4. 結語

マーカー粒子を用いる有限要素法で、非定常の自由表面を持つキャピラリー・ビスコメーター内の流れ解析が可能であることを示した。実際問題のために、粘性にpower lawを用いた解析、壁面に滑りを考えた

解析を計画している。また温度に依存する問題を扱うために流れの方程式とエネルギー式とを組み合わせる解析することも予定している。

参考文献

- (1)Shiojima,T.,Shimazaki,Y. and Daiguji: Finite element analysis of creeping flows using marker particles, Int.J.Num.Meth.Fluids, vol.11, pp.397-404, 1990.
- (2)塩島壮夫・島崎洋治・大宮司久明：自由表面を持つ粘性流体の非定常クリープ流れの解析、機械論、No.86-1356A, pp.2365-2369, 1987.
- (3)Shimazaki,Y and S. Hovanotayan: A free surface analysis for transient creepng flow problems, Proc. JSCE, No.489/I-27, pp.79-82, 1994.
- (4)Shimazaki, Y.: A visualization of flows by FEM using six-node triangular element,To appear in Int.J.Num.Meth.Fluids.

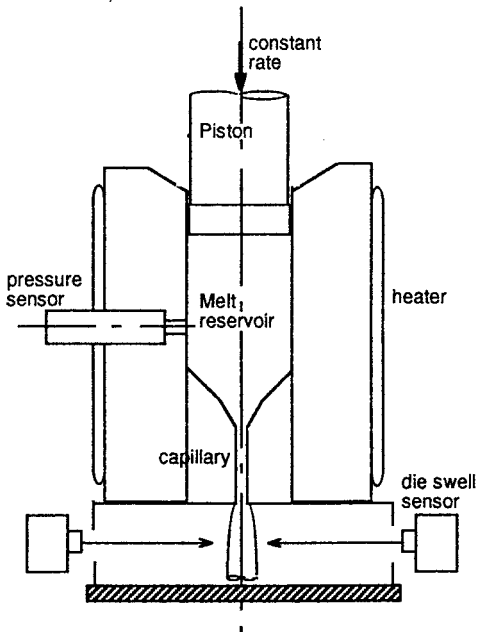


Fig. 1 Capillary viscometer

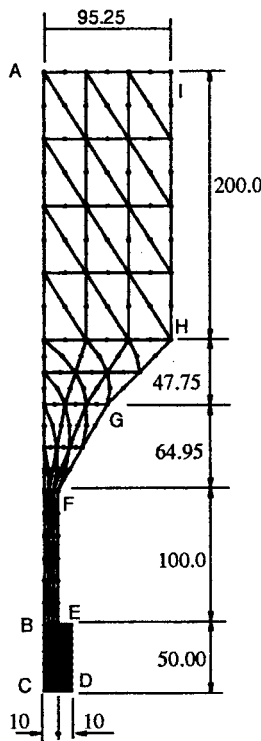


Fig. 2 Finite element mesh

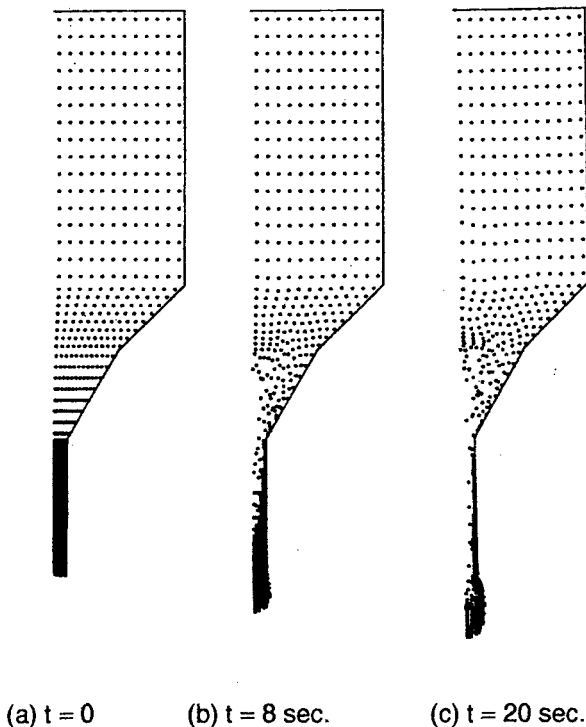


Fig. 3 Marker distribution in reservoir