

粒子シミュレーション法による繊維の運動予測

高分子加工研究室 山本 智

Prediction of Fiber Motion by Particle Simulation Method

Satoru Yamamoto

繊維懸濁液のレオロジー挙動は流動による構造変化を伴うため複雑である。繊維強化樹脂の溶融物も繊維懸濁液であり、射出成形されると繊維配向や繊維破断が生じ、最終的なマイクロ構造が成形品の品質に大きく影響するため、成形中の繊維運動を理解することが重要である。懸濁液が希薄であれば内部の構造変化を直接観察することができるが、工業的に用いられる懸濁液の多くは濃厚であり、前面にある繊維が内部の繊維を見る際の障壁となるため、実験で直接に観察することは困難である。そこで、最近、変形と破断を伴う繊維の運動予測のためのコンピュータ解析手法として粒子シミュレーション法 (PSM: Particle Simulation Method) を考案した¹⁻⁴⁾。

流体中の球の運動については多くの研究例があり、一定の条件下では厳密解も存在する。そこで、球の運動の単純さに着目し、球を結合することにより任意の形状を作り、それらを用いて流体中の繊維の運動を計算することを考えた。Fig. 1は繊維をモデル化した球の結合体 (繊維モデル) である。結合には、引っ張り、曲げ、ねじりの3種類のバネを用いることにより様々な変形を表せるようにする。この繊維モデルを流体中に分散し、各球の運動を計算して、繊維全体の運動を追跡する。支配方程式は、並進と回転運動、および結合した

球間で滑らない条件の3つである。この方法により、Fig. 2のようにスネークターンと呼ばれる柔軟な繊維のS字状の変形 (a)、長繊維のコイリング (b)、繊維の破断 (c) など様々な繊維の運動を解析することが可能である。

繊維懸濁液のマイクロ構造とレオロジー特性の解析例をFig. 3に示す³⁾。繊維が柔軟であるためせん断流れにより変形しており、この結果懸濁液に法線応力が発現した。実験的にも濃厚な繊維懸濁液では弾性が発現することが確認されており、現象を理解する上で興味深い結果である。

また、有限要素法などによる流れ解析と組み合わせることにより、実際の射出成形などに見られる複雑な流れの中での繊維の運動を解析することも可能である。

さらに、球の結合様式を変えることによって繊維以外の形状にも応用可能であり、粒子シミュレーション法は繊維懸濁液に限らず粒子分散系材料一般のマイクロ構造および物性の予測に有用な解析手法になるものと考えられる。

参考文献

- 1) Yamamoto, S. and Matsuoka, T.: J. Chem. Phys., 98-1(1993), 644
- 2) ref. 1), 100-4(1994), 3317
- 3) ref. 1), 102-5(1995), 2254
- 4) Yamamoto, S. and Matsuoka, T.: Polym. Eng. Sci., 35-12 (1995), 1022

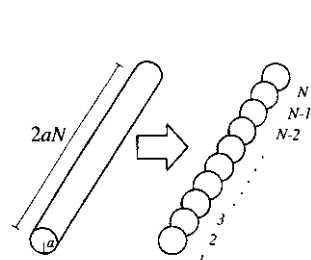


Fig. 1 Schematic illustrations of a cylindrical rod and a fiber model.

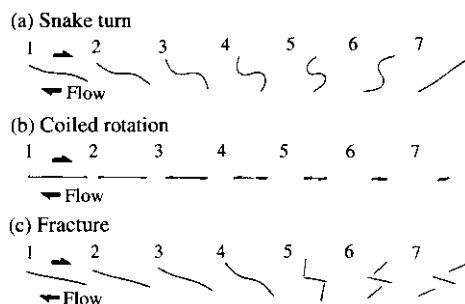


Fig. 2 Calculated snapshots of characteristic fiber motions; (a) Snake turn, (b) Coiled rotation, and (c) Fracture.

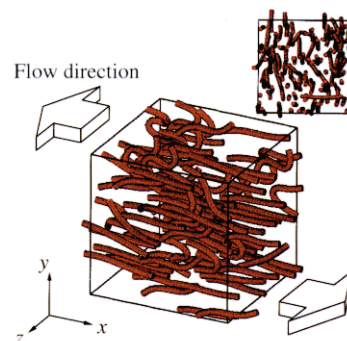


Fig. 3 Calculated microstructure of a flexible fiber suspension.