

体積効果を用いたレオロジー物体モデリング

Modeling of Rheological Objects considering Volume Effect

徳本 真一, 平井 慎一, 田中 弘美 (立命館大学)

Shinichi TOKUMOTO, Shinichi HIRAI, and Hiromi TANAKA

Ritsumeikan Univ., Kusatsu, Shiga 525-8577

In this paper, we will present a method to construct virtual rheological objects. First, we will propose model structures of rheological objects considering volume effect. Second, proposed model structures are evaluated through a deformation experiment and simulations.

Key Words: rheology, modeling, deformation, virtual object

1. はじめに

仮想空間を構築するときには、現実世界に存在する様々な特性を有する物体をモデリングする必要がある。粘弾性物体や塑性物体に関しては、仮想物体を構築する手法が提案されている^(1, 2)。一方、食品や生体組織など、レオロジーの変形特性を有する物体に関しては、仮想物体を構築する手法が確立していない。レオロジー物体とは、戻り変位と残留変位を有する柔軟物であり、複雑な変形特性を示す。そこで本研究では、仮想的なレオロジー物体を構築する手法を提案する。

2. レオロジー物体

Fig.1-(a) に示す初期形状を有する物体に外力を作用させると、Fig.1-(b) に示すように変形すると仮定する。粘弾性物体では、Fig.1-(c) に示すように、外力を解放したときの形状が初期形状に一致する。すなわち、戻り変位があり、残留変位はない。塑性物体では、Fig.1-(d) に示すように、外力を解放したときの形状が変形形状に一致する。すなわち、残留変位があり、戻り変位はない。Fig.1-(e) に示すように、戻り変位と残留変位の両方を有する物体を、レオロジー物体とよぶ。食品や生体組織は、レオロジー物体に分類される。

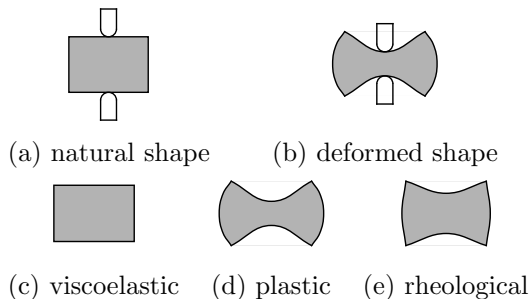


Fig.1 Viscoelastic object, plastic object, and rheological object

3. レオロジー物体のモデル構造

本節では、一次元レオロジー要素を格子状に結合して、三次元の仮想レオロジー物体を構築する。格子モデルは、質点と質点を結ぶレオロジー要素から構成される。Fig.2-(a) に示す基本構造は、それ自体の形状を保持できないので適切ではない。したがって、Fig.2-(b) に示すように斜めにレオロジー要素を配置するか、Fig.2-(c) に示すように内部圧力を導入する必要がある。それぞれの構造は、特有の変形特性を有するので、仮想レオロジー物体を構築するときには、適切な構造を選択する必要がある。

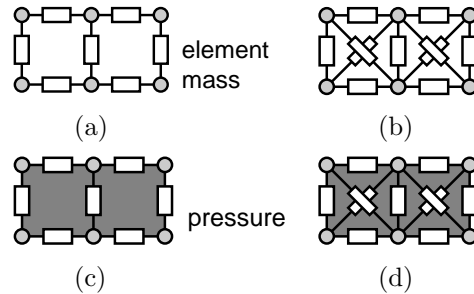


Fig.2 Model structures of virtual rheological object

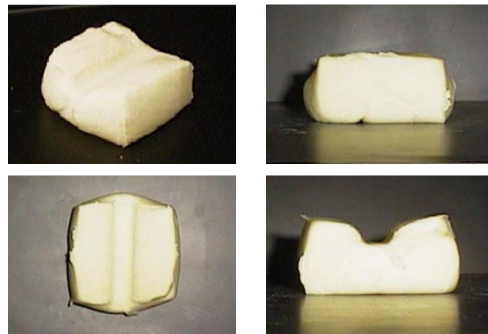


Fig.3 Deformation of wheat dough

4. 変形実験とシミュレーション

Fig.3にレオロジー物体の変形を撮影した結果を示す。物体は、小麦粉と水を重量比 3:1 で混合し、直方体に成形した物体である。直方体に上部から板を押し付けて変形させた形状を撮影した。側面が膨らみ、上部の二つの面が板に向かって傾いていることがわかる。この変形をシミュレーションした結果を、Fig.4に示す。ここでは、力依存型ダンパーを有する三要素モデルを採用し、レオロジー要素の力学パラメータは、実際の物体から同定した⁽³⁾。また、Fig.2-(a) に示す構造を適用した。上部の二つの面が傾く様子は表現されているが、側面の膨らみが表現されていないことがわかる。

Fig.5に、異なるモデル構造に対するシミュレーション結果を示す。Fig.5-(a) は、斜め要素を有するモデル構造に対する計算結果、Fig.5-(b) は、内部圧力を導入したモデル構造に対する計算結果である。実験結果と比較すると、上部面の傾きは、Fig.5-(a) に示すモデル構造でのみ

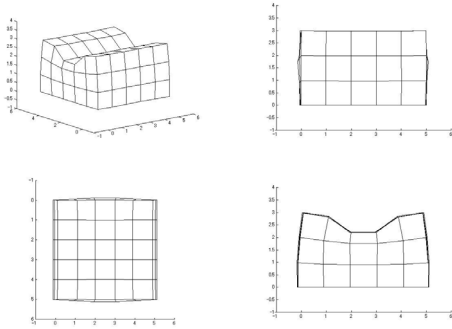
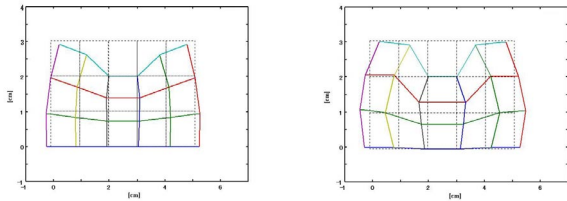
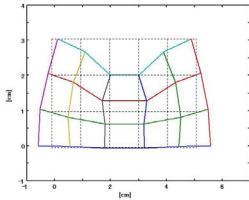


Fig.4 Simulated deformation of wheat dough



(a) diagonal elements (b) inside pressure



(c) diagonal elements and inside pressure

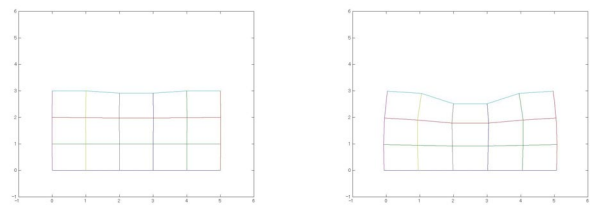
Fig.5 Simulated deformation corresponding to different model structures

表現されており，側面の膨らみは，Fig.5-(b) に示すモデル構造でのみ表現されていることがわかる．すなわち，モデル構造としては，双方とも不十分な点があることがわかる．Fig.5-(c) に示す，斜め要素と内部圧力を有するモデル構造に対する結果も同様である．ただし，この構造には，力学パラメータを適切に選択することにより，実際の変形を表現できる可能性がある．また，本報告で提案した以外のモデル構造の可能性を考察する必要がある．初期形状の体積を V_0 ，現在の体積を V とすると，体積効果により格子点に作用する力は，

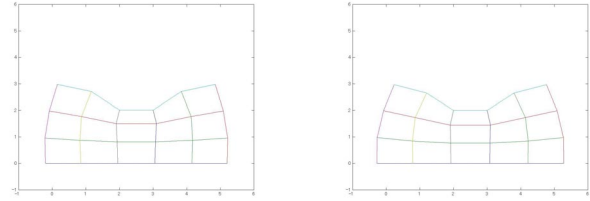
$$F_{vol} = k_{vol}(V_0 - V) - b_{vol}\dot{V}$$

と表すことができる．体積効果による力は，表面に垂直に作用する．このような体積力を導入し，変形過程を計算した例を，Fig.6に示す．この計算例では，時刻 0[sec] で上面の中央部にプレートと接触させ，1[sec] 間鉛直下向きに移動させる．時刻 1[sec] でプレートを静止させる．プレート静止後に，側面の変形が大きくなっていることがわかる．

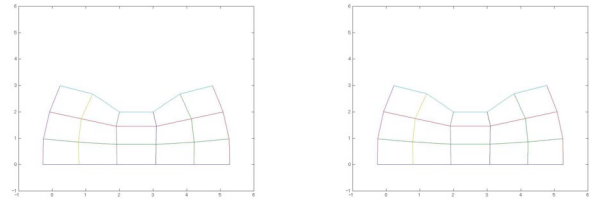
仮想レオロジー物体の三次元変形に関わる力学パラメータを同定するためには，三次元変形形状を計測することが必要である．Fig.7に，レオロジー物体の三次元変形を測定した結果を示す．実験で用いたレオロジー物体に，十字形状を押し付けて変形させている．Fig.3と同様の変形特性を示しており，この計測結果を用いて，モデル構造に含まれる力学パラメータを同定できると考える．



(a) 0.1 [sec] (b) 0.5 [sec]

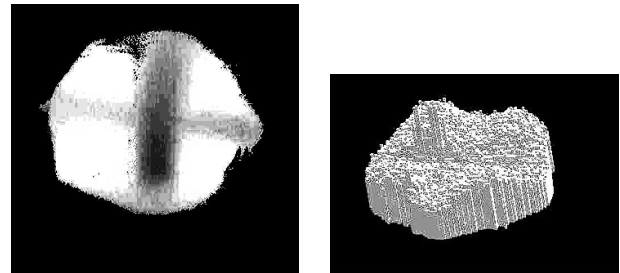


(c) 1.0 [sec] (d) 1.5 [sec]



(e) 2.0 [sec] (f) 2.5 [sec]

Fig.6 Computation of deforming process



(a) distance image (b) constructed shape

Fig.7 Measured 3D shape of rheological object

5. おわりに

本報告では，仮想レオロジー物体の構築法を提案した．レオロジー物体の構造モデルを提案し，変形実験とシミュレーションの比較より，各構造モデルの妥当性を検証した．その結果，提案する構造モデルでは，変形特性の一部しか表せないことが分かった．今後，さらに適切なモデル構造について考察するとともに，リアルタイムで変形を計算する手法を開発する予定である．

【参考文献】

- (1) Terzopoulos, D., Platt, J., Barr, A., and Fleisher, K., *Elastically Deformable Models*, Computer Graphics, Vol.21, No.4, pp.205–214, 1987
- (2) Chai, Y., and Luecke, G. R., *Virtual Clay Modeling Using the ISU Exoskeleton*, Proc. IEEE Virtual Reality Annual Int. Symp., pp.76–80, 1998
- (3) 徳本, 平井, 形状制御のためのレオロジー物体の変形モデリング, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.8, pp.1141–1148, 2000