

嚥下障害者用増粘剤水溶液の粘性特性とその簡易評価

Viscous characteristic and the simple evaluation of thickener solutions for swallowing disorder person

○ 下笠賢二, 瀬戸隆之*, 水沼 博*
 栃木職業能力開発促進センター 機械系
 *首都大学東京 都市教養学部 機械工学コース
 Kenji Shimokasa, Tochigi Polytechnic Center
 Takayuki Seto, Hiroshi Mizunuma, Tokyo Metropolitan University

Abstract: Swallowing disorder is becoming a serious issue with increasing in elderly people, because pneumonia caused by aspiration often causes the death of the aged. An increase in liquid food viscosity is effective to protect the aspiration, and thus a lot of thickener additives are used to raise the viscosity of drinks or liquid care foods. However, there is not a viscometer, which is easy to use in a kitchen. A cook has to adjust the viscosity by intuition for the people with swallowing disorder. We characterized the viscous property of thickener solutions based on those viscous characteristics by rheometer, because almost all of thickener solutions are non-Newtonian fluids. As a result, yield stress has seen in low shear rate for 2 to 4(1/s), we required not only viscosity but also plasticity. Therefore, Yield stress measured by the inclined plane agreed with the rheometer's results.

Key Words: Non-Newtonian fluid, liquid care foods, thickener solutions, yield stress

1. 諸言

現在, 高齢者を中心に嚥下障害者が増加している. 食物が誤って気道に入ってしまう誤嚥は水のような低粘度の液体の場合に最も危険性が高くなる. 誤嚥により食塊が気道から肺に侵入すると, 病原菌などが繁殖して誤嚥性肺炎を引き起こし, そのまま死に到る場合も多い. 80歳以上男性の死因の第2位⁽¹⁾に挙げられている肺炎も, その多くは誤嚥性肺炎によるものといわれている.

誤嚥の防止のために病院や介護施設の現場では増粘剤によりトロミをつけることが一般的に行われている. この理由は, 粘度の増加が食塊の分散を抑制し, 嚥下速度を低下させる効果があるためと考えられている. 嚥下障害者に対する介護食の問題点の一つは, その障害の程度と関係した粘度の値が定量的に与えられておらず, 感覚的に曖昧に扱われている点である. 粘度が高すぎると付着性の増加によりべたつき感が強くなり, 喉越し感を損なうから, 必要以上の増粘は好ましくない. 嚥下機能に応じて適切に粘度が調整された介護食が望まれる.

現状では粘度の調整は調理する人の経験と感覚に頼るところが大きく, 調理された食品のトロミにばらつきが生ずることは避けられない. 平成6年に厚生省が策定した高齢者用咀嚼・嚥下困難者用食品の粘度基準⁽²⁾では単一円筒回転粘度計による測定で1.5 Pa·s以上の粘度とされている. 単一円筒回転粘度計⁽³⁾はB型粘度計ともよばれ, 試料中に回転円筒を浸し, その円筒に働くトルクから粘度を算出する粘度計である. 欠点として, 測定に数100cc程度の多くの試料を必要とし, 非ニュートン粘性の強い試料に対しては正確な粘性特性を測定できない点がある. 調理の現場でも利用可能な簡便な測定法としてガラス板上でガラスリング内側に試料を満し, 引上げた際の試料の広がりから, 降伏値や粘度を推測する測定法⁽⁴⁾が報告されている. この測定法は簡単である反面, ずり速度が定義できないなどの欠点がある. 一方, 朝田⁽⁵⁾は試験管傾斜法という試験管内流動による簡便な手法を用いて食品のレオロジー特性を得るための検討を行っている.

各メーカーから多種の増粘剤が市販されているが, その粘性特性はポタージュ状やヨーグルト状などと曖昧に表現され定量的に表す基準は明確になっていないため現場でその粘性特性を定量的に管理するのは困難である. そこで, 著者らは現場で簡

単に使用することができる携帯型の回転粘度計を提案し⁽⁶⁾, これにより簡易的に定量的な測定を行うことが可能となった. しかし, これらの増粘剤には非ニュートン粘性だけでなく, 塑性体のような降伏応力を示すものも多い. そこで本研究では, 現在一般的に用いられている各種増粘剤水溶液の非ニュートン粘性特性を調べるとともに, 降伏応力の簡易測定法に関する検討を行った.

2. 各種増粘剤水溶液の粘性特性評価

2-1 測定方法

飲料に添加される増粘剤は, 各メーカーから様々な種類ものが市販されている. その成分は大別すると澱粉系, グアーガム系, キサンタン系の3つに分類される. ここでは飲料ということ想定して各メーカーが使用法に記載している最も低い濃度を基準として澱粉系にはムースアップ 2.4wt%水溶液(日清サイエンス), グアーガム系としてトロミアップA1.5wt%水溶液(日清オイリオグループ), トロミファイン 0.8wt%水溶液(キューピー), そしてキサンタン系としてトロミパーフェクト 1.0wt%水溶液(日清オイリオグループ), スルーキング 1.5wt%水溶液(キッセイ薬品工業), トロミクリア 1.3wt%水溶液(ライオン), つるりんこ 1.3wt%水溶液(クニニコ)を使用した. 濃度はメーカーによって多少異なるが, B型粘度計における粘度1Pa·s以下, 硬さ 200N/m²を基準としている. 粘性特性は円錐・平板型回転粘度計(RS600, HAKKE)で測定した. 測定は, ずり速度を200s⁻¹まで上昇後, 再び0s⁻¹まで下降させた. 測定時間は上昇時(5分), 下降時(5分)の10分間とし, 各試料で3×3回の測定を行った. 円錐直径は60mm, 円錐・平板間の隙間角度は1度とし, 試料の温度は20℃とした.

2-2 測定結果及び考察

各種増粘剤の粘性特性を Fig.1 に示す. 横軸はずり速度(1/s), 縦軸は粘度(Pa·s)を表している. 経時変化やヒステリシスの影響を除き同一条件で各種増粘剤の比較を行うためにすべて2回目に測定した結果を使用した. すべての増粘剤に非ニュートン粘性がみられ, グアーガム系とキサンタン系は共通してずり速度に対する粘度が, 1~100s⁻¹で70~80%低下するのに対し, 澱粉系はずり速度に対する粘度の変化が低く35%の低下にとどまった. 本来は同程度のトロミとして表現される濃度で,

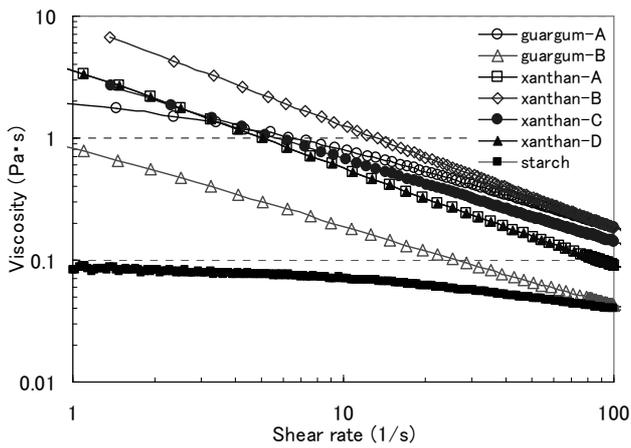


Fig. 1 Viscosity as a function of shear rate. Thickener solutions of guar gum, xanthan, and starch

キサントラン系はほぼ一致したものの最大で 2.8 倍程度の差が生じた。また、ずり速度 100s^{-1} では同程度の粘度となる澱粉系とグアーガム系 B はずり速度 1s^{-1} で 10 倍もの差異が生じている。試料の粘性特性を指数則モデルと定義し、式 (1) をレオロジーモデルとしたモデル定数 K, n を Table 1 に示す。

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad \dots(1)$$

Table 1 Rheological constants

	K	n
guargum-A	0.743	0.391
guargum-B	0.764	0.376
xanthan-A	2.95	0.299
xanthan-B	8.266	0.178
xanthan-C	3.2	0.324
xanthan-D	3.42	0.215
starch	0.099	0.814

現在市販されている増粘剤の中で、最も多く使用されている種類がキサントラン系である。増粘剤の成分で第三世代と分類されているキサントラン系はグアーガム系に対して喉越し感が改善されており、ヨーグルトのような食感である。よって指数則としての非ニュートン粘性と塑性的性質を併せ持ち、ヨーグルトのような食感は塑性的性質によるものであると考えられる。どちらを重視するかによってその測定方法が変わるため、そのレオロジー特性を把握することは重要である。そこで、キサントラン系であるつるりんこ(クリニコ)の濃度(0.8wt%~3.0wt%)の違いによるずり速度に対する粘性特性の変化を Fig. 2 に示す。横軸はずり速度 (1/s)、縦軸はずり応力 (Pa) を表している。粘性特性としては他の増粘剤と同様に、ずり速度によってみかけの粘度が変化する指数則モデルと考えることができるが、低ずり速度時において急激にずり応力が変化する特徴が見られる。よってレオロジーモデルとしては (2) 式に示すように降伏応力 τ_y が付加された指数則モデルと定義することができる。

$$\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}^n \quad \dots(2)$$

降伏応力値は濃度によって異なるが、すべて同程度のずり速度で生じていることからずり速度 $2\sim 4\text{s}^{-1}$ を越えると降伏し、流動が始まると考えられる。

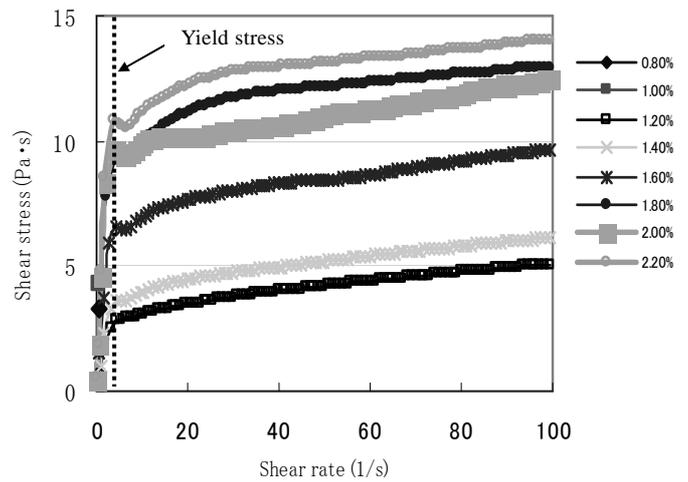


Fig. 2 Shear stress as a function of shear rate. Thickener solutions of xanthan

3. 増粘剤水溶液の評価法

誤嚥を抑制し、かつ飲みやすい増粘剤水溶液とその適切な摂取方法を検討する上で重要な点は、舌による食塊の形成と咽頭への送り込みである。また、実際に増粘された液状食品を摂取する際に使用するスプーン、カップ、吸い飲みなどの食器も重要である。舌が食塊を圧縮するときの圧縮力と食塊から離れるときの付着力などは食品のレオロジー特性により支配される。また、食塊のまとまりの良さにはずり粘度だけでなく伸張粘度も影響する。レオロジー特性は一般にずり速度などの条件に依存する。増粘剤濃度が高いときには定常流における流動状態の物性と、流れが動き出すときの物性が異なることも考えられる。これらの差異についても検討を行うことが必要である。嚥下障害者は感覚機能の低下などにより一口の適切な量の調整がうまくできないことが多いため、誤嚥を抑制するためには飲料の供試容積を適切に制御し、増粘した飲料にも対応可能とすることが重要である。また、嚥下は摂食時の体幹角度や顎の位置も影響するため、それらを考慮した食器が必要である。これまで食品の粘性特性の測定に用いられてきた方法を下記に示す。

1. 回転粘度計
2. 傾斜板粘度計
3. ペネトロメーター
4. プラストメーターまたはテクスチュロメーター
5. 簡易的測定法(スプーン、カップなど)

今回はこの中から傾斜板粘度計を利用し、降伏応力の測定を行った。

4. 簡易評価法

4-1 測定方法

円錐・平板型回転粘度計はずり速度に対する粘性特性だけではなく降伏応力を推定することができた。しかし、この測定法は回転運動による連続的なずり応力を付加しているため専用の装置が必要であり容易に測定することはできない。そこで、簡単に降伏応力を推定するために傾斜板を用いて測定を行った。実験装置の模式図を Fig. 3 に示す。ビンガム流体が傾斜平板上を流れる場合、流体層の厚さ h が限界値 h_e 以下の状態では流動せず傾斜平板面に粘着するが、平板の傾斜角度を 0 度から傾けていくと重力の影響で厚さが増加し、限界値 h_e を超えると流動が始まる。この時の降伏応力を τ_y とすると、流体層の厚

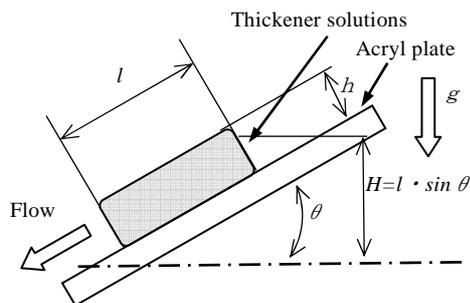


Fig.3 Schematic diagram of experimental apparatus

さの限界値 h_e は式(3)で定義される⁽⁷⁾.

$$h_e = \frac{\tau_y}{\rho g \sin \theta} \quad \dots(3)$$

よって平板を傾斜させて流動を開始した時の角度 θ を測定すれば降伏応力を推定することができる. 測定用の供試流体にはキサントラン系増粘剤であるつるりんこ水溶液(クリニコ)を使用し, 濃度は 1.0wt%, 2.0wt%, 3.0wt%の3種類とした.

4-2 測定結果及び考察

円錐・平板型回転粘度計による粘性特性の測定結果から推定された降伏応力に対して, 今回行った傾斜平板による測定結果を Fig.4 に示す. 横軸は増粘剤水溶液の濃度 (wt%), 縦軸は降伏応力 (Pa・s) を表している. 円錐・平板型回転粘度計による測定ではずり速度が $2 \sim 4s^{-1}$ で降伏状態となり, その時の降伏応力は増粘剤濃度に比例する傾向が示された. その結果に対する傾斜平板の降伏応力の差異は 10%~18%程度であることから, この2つの異なる測定法による降伏応力は相関があるといえる. 円錐・平板型回転粘度計による測定法では回転により動的にずり応力が付加されるため動的な流動特性の評価を行っている. 一方で, 傾斜平板による測定法は静止状態での流動状態の変化を測定するものであり, 静的な塑性の評価といえる. 今回, この2つの異なる測定法の降伏応力に大きな差が生じなかったのは低いずり速度で降伏が生じているためその影響が小さいことに起因するのではないかと考えられる. 今後, さらに高濃度での測定や他のメーカーの増粘剤の評価を行うことが必要である.

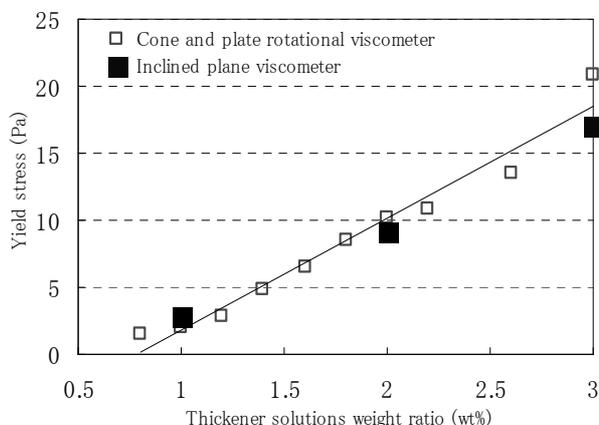


Fig.4 Yield stress as a function of thickener solutions weight ratio. Thickener solutions of xanthanes

5. 結語

増粘剤水溶液の粘性特性は指数則として定義できるが, 静止から流動へ変化する状態では降伏応力も考慮する必要がある. 簡易的に降伏応力を推定する方法として傾斜平板を用いた結果, 円錐・平板型回転粘度計と同様の結果が得られた. 降伏応力に関しては簡易測定で推定することが可能であることが示唆された.

参考文献

- 1) 厚生労働省大臣官房統計情報部, 人口動態調査, (2002)
- 2) 厚生労働省大臣官房統計情報部, 人口動態調査, 厚生省生活衛生局新開発食品保健対策室, 高齢者用食品の表示許可基準の策定について, (1994)
- 3) 川田裕郎 計量管理協会編, 改訂 粘度, コロナ社
- 4) 中濱信子, 大越 ひろ, 森高初恵, おいしさのレオロジー, 弘学出版, P.71-72, (1997)
- 5) 朝田 仁, 高粘度液体調味料の流動特性, New Food Industry, 32(5), 44-48, (1990)
- 6) 下笠賢二, 水沼 博, 大越ひろ, 小寺浩貴: 嚥下障害者用液状食品のための携帯粘度計の研究開発, ライフサポート学会, Vol. 19, No. 1, 23-30, 2007
- 7) P. R.PASLAY and A. SLIBAR, Flow of an incompressible visco-plastic layer on an inclined plane, TRANSACTIONS OF THE SOCIETY OF RHEOLOGY, II, 255-262(1958)