

食品のテクスチャーの測定に関する研究 (第5報)

引っ張り型粘稠性測定器の試作と検討

岡 部 巍*

Studies on the Measurements of Food Texture (Part 5)

Trial Production and Tests of Tensile Type Apparatus for Rheological Properties of Foods

Takashi Okabe

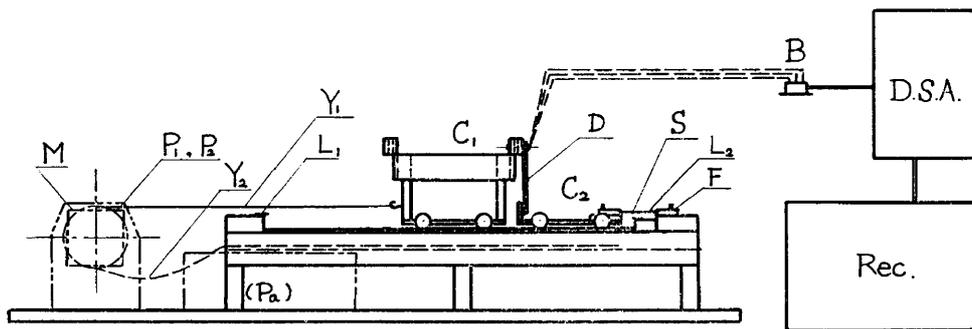
I. ま え が き

第3報において、ストレーンゲージを貼った黄銅板を荷重の検出器とする簡単な咀しやく型粘稠性測定器を試作し、これがテクスチャーの測定に充分利用できることを報告し、その後も若干の検討を加えて来たが、魚肉ねり製品などでは、引張り試験がそれら食品のレオロジカルな性質を評価する一つの重要な方法となっている。食品用の引張り試験器には、スコットブレアーの用いた、エクステンシメーターというもので、引張りひずみを測る2つの読取顕微鏡をもつものや、

志水、清水⁴⁾の開発したフードレオメーターなどがあるが、それらの取り扱いには割に面倒で、その種類も僅かしかない。そこで著者は、できるだけ簡単に使え、しかも実用に充分役立つ食品用の引張り型粘稠性測定器を得たいと考え、同期電動機を動力源とし、ストレーンゲージを貼った黄銅板を引っ張り荷重の検出器とする引っ張り試験器を試作し、その性能ならびに実用性について検討を加えた。

II. 装置の構成

装置の構成を第1図に示す。装置は本体と、動ひず

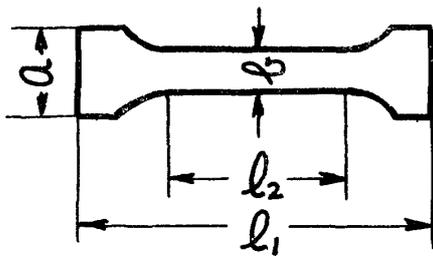


- | | |
|--|------------------------------------|
| M: 引張りおよび引戻し用シンクロナスマーター (東芝G-2, 1rpm.) | C ₁ : けん引車 (引張り加重検出器取付) |
| P ₁ : 引張り用プーリー (57.3mmφ) | D: 引張り荷重検出器 (S.G.貼付黄銅板) |
| P ₂ : 引戻し用プーリー (") | C ₂ : 試料引張り車 (試料移動端) |
| Y ₁ : 引張り用けん引糸 | S: 試料 (別図) |
| Y ₂ : 引戻し用けん引糸 | F: 試料固定端 |
| L ₁ : 引張り側制限スイッチ | B: プリッジボックス |
| L ₂ : 引戻し側制限スイッチ | D.S.A.: 動ひずみ測定器 (共和DPM-IF) |
| Pa: 操作パネル | Rec.: 高感度記録計 (東亜電波EPR-2TB) |

第1図 装置の構成

* 本学家庭機械研究室

み測定器 (DSA), および記録計 (Rec.) より構成される。本体の主要部は試料を引っ張ったり, 引き戻したりする動力源となるモーター (M), 試料の一端を固定する固定端 (F), 試料の他端を引っ張る引っ張り車 (C₂), 引っ張り車をけん引し, それに要する力の検出器 (D) をもつけん引車 (C₁), および測定操作をする操作盤 (Pa) よりなる。

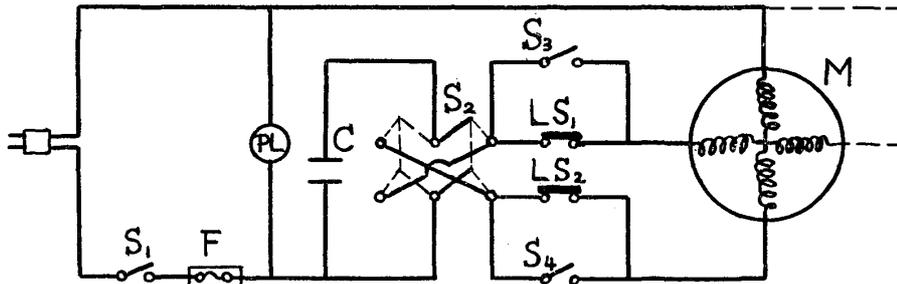


a : 24mm b : (有効幅) 10mm
 l₁ : 80mm l₂ : (有効長) 40mm
 t : 厚さ 2mm

第2図 試料の形状

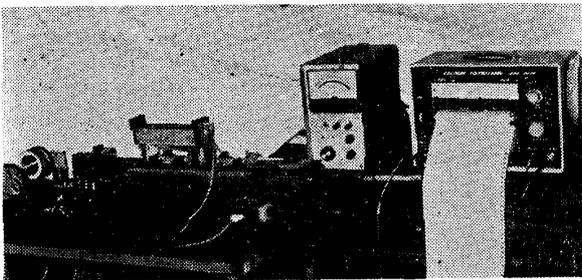
試料 (S) は第2図のような形状をしており, 固定

端および引っ張り車に取りつけた試料ばさみで保持する。動力源は起動トルク12kg・cm, 1rpm. のシンクロナス型同期モーターを用い, これに直径5.73cm (円周18cm) の引っ張り用, および引き戻し用プーリー (P₁, P₂) を直結し, それに取りつけたけん引用糸 Y₁, Y₂ を介して左回転で試料を 18cm/min の速度で引っ張り, 右回転でけん引車を引っ張りの時と同じ速度で引き戻す。レールの引っ張り側の端, および引き戻し側の端には, それぞれリミットスイッチ L₁, L₂ を設け, モーターに無理な力のかかるのを防ぐ。けん引車が左へ引かれると, それに取りつけた検出器の下端で引っ張り車を左方に引くが, これには反対方向に試料の張力が働くので, その力に応じて検出器は弯曲する。この弯曲, したがって試料を引っ張る力をひずみ計で検出し, ブリッジボックス (B) を経て動ひずみ計で測定し, 記録計で記録する。検出器は幅3cm, 長さ8cmの黄銅板で, 厚さは1mm (No.1) と2mm (No.2) の2種が用意してある。



S₁ : メインスイッチ
 F : 1A ヒューズ
 S₂ : モーター回転方向切換スイッチ
 LS₁ : 引張り側リミットスイッチ
 LS₂ : 引戻し側リミットスイッチ
 S₃ : 引張り側制限解除スイッチ
 S₄ : 引戻し側制限解除スイッチ
 C : モーター用コンデンサ 0.5μF
 M : シンクロナスモーター, 1rpm.
 PL : パイロットランプ

第3図 装置本体の電気回路

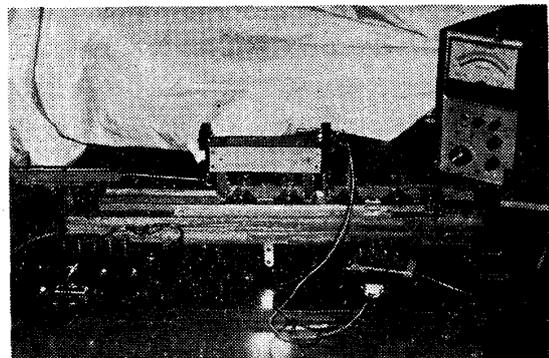


第4図 装置の全景

なお, 装置本体の電気回路を第3図に示す。また, 第4図に装置の全景を示す。

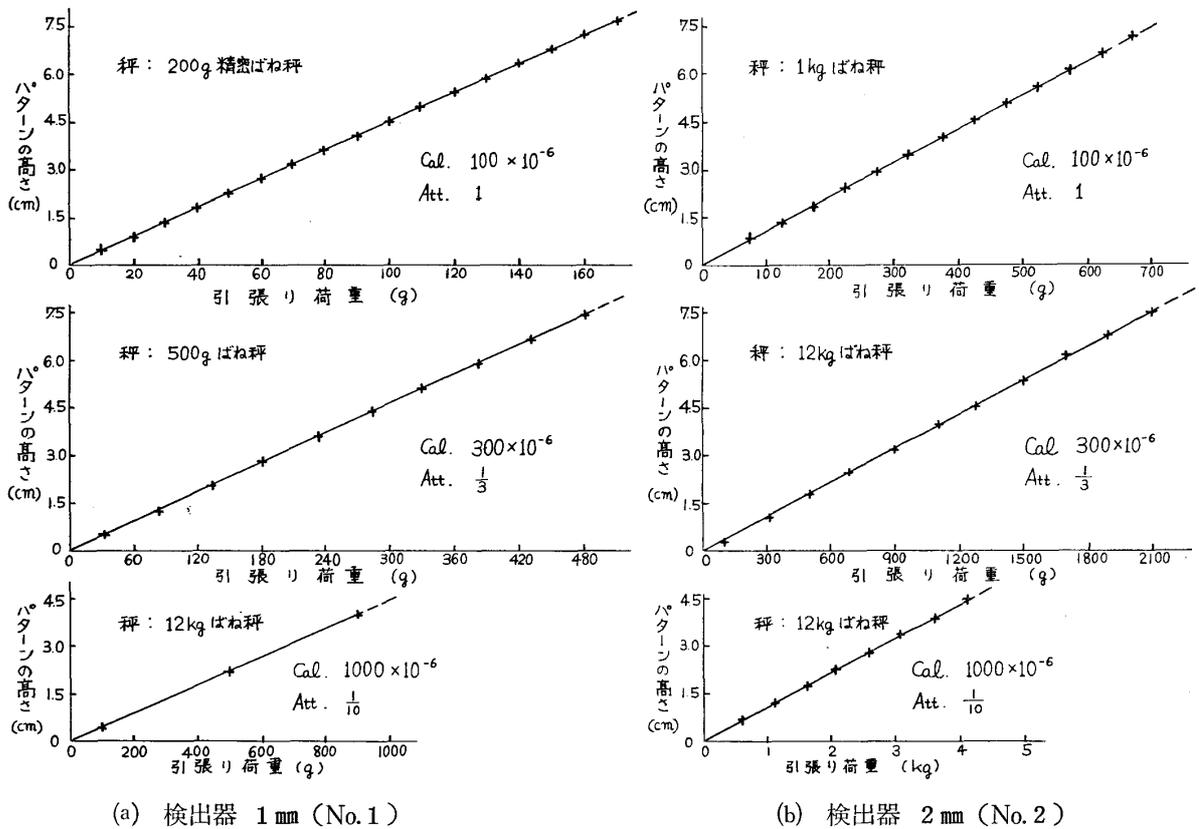
III. 装置の検定

まず, 装置の性能や精度について検討を行った。試料を引っ張る力は記録用紙にパターンの高さとして表



第5図 引張り荷重の測定

わされるが, それと実際の引っ張り力の関係をしらべた。第5図のように試料引っ張り車を硬い板で固定端に止め, けん引車をばね秤で引っ張り, その目盛を読み, パターンの高さと比較する。第6図はその結果を



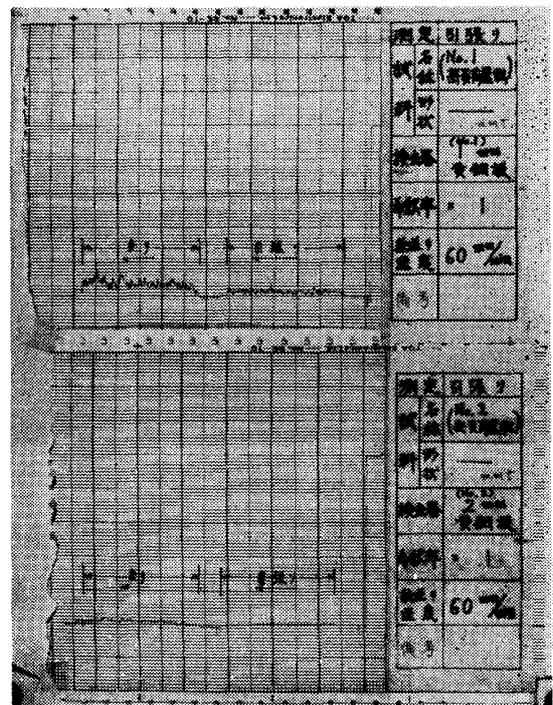
第6図 引張り荷重とパターンの高さ

整理したグラフである。1mm黄銅板 (No. 1) を検出器とした場合、希釈率(Att.)1/10で引っ張り荷重が1kgに達すると、パターンの高さと同様に引張り荷重が比例しなくなり、傾斜がゆるくなる。したがって、No.1の検出器の使用限度は引張り荷重 900g 程度となる。また、2mmの黄銅板 (No.2) を検出器としたとき、引張り荷重 4kg で測定を打ち切ったが、これはモーターの回転トルク12kg・cm、プーリー直径5.73cmより、このモーターの最大引張り力の限度が4kg程度となるためである。このように本装置を使用すれば、No.1の検出器を使えば900g程度まで、No.2の検出器を用いれば4kgの引張り荷重まで作用できる能力を有する。

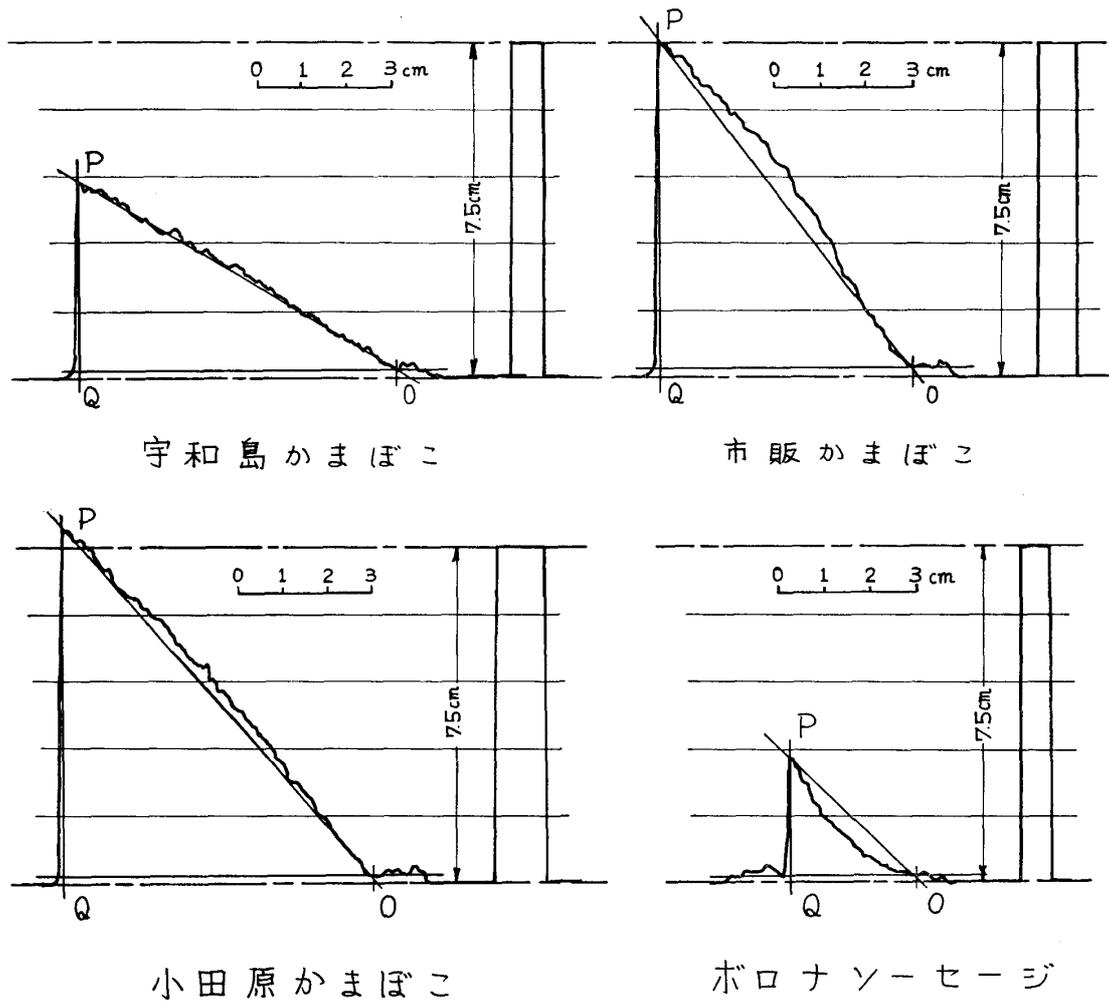
次に試料を取りつけずにけん引しても、摩擦抵抗などにより若干力を必要とするので、その分を測定値から引く必要がある、また、そのときのけん引力の変動は誤差となるので、無負荷で運転したときのパターンをしらべた。その結果は第7図のようで、無負荷でも1.5~4.5g (平均3g)の力を必要とし、その大小の差から誤差は最大3gであることが認められた。なお、戻りの場合はやや大きな力を要するが、これはけん引車が重いためである。しかし、これは実際の測定には関係ないので問題にはならない。

IV. ねり製品類の測定

4種のねり製品を試料として、装置の実用性の検討を行った。それらの引張り荷重—伸び線図 (エクス



第7図 無負荷運転時の引張り力



第8図 試料のエクステンソグラム

テンソグラム)は第8図のようになる。無負荷引っ張り荷重を差し引くので、O点は試料を引き始めた点であり、P点は試料が切断した点である。O点を通る水平線と、P点よりこれにおろした垂線の交点をQとすると、OQの長さは試料の切断した時の伸び l' を表わす(試料の引っ張り速度と記録計の紙送り速度はともに180mm/minである)。PQの長さは試料が切断したときの引っ張り荷重 W gに対応し、 W は第6図から求める。試料の断面積 $A = 0.2\text{cm}^2$ 、試料の原長 $l = 4\text{cm}$ より、切断時の引っ張り応力は $S = W/A$ g/cm²、その時のひずみは $\epsilon = l'/l$ となる。更にこれらよりゲル強度に対応する $S \cdot \epsilon$ g/cm²、平均的なヤング率 S/ϵ g/cm²を求めると第1表のようになる。またエクステンソグラムがOPとほぼ一致するものを±、OPより上に弯曲するものをその程度により+または++、下方に弯曲するものを-で表わし、表に併記した。Sは試料の単位面積当りの切断に要する力を、 ϵ は切断時の引っ張りひずみ、すなわち伸び率を表わし、 $S \cdot \epsilon$ は切

断までの仕事量に対応し、 S/ϵ は単位長さ引き伸ばすに要する力の割合、すなわち硬さを示すことになる。

本実験に使用した試料では、宇和島かまぼこは伸び率 ϵ が最大で、 S/ϵ が小さくてやわらかく、 S 、 $S \cdot \epsilon$ ともかまぼこの中では一番小さく弱い。小田原かまぼこの伸び率 ϵ は宇和島かまぼこより僅かに小さい程度で、 S はかまぼこ中最大である。したがって $S \cdot \epsilon$ は最大で強く、 S/ϵ は比較的大きく割に硬い。市販かまぼこの切断に要する力 S は小田原より少し小さく、伸び率 ϵ は大分小さくなる。 S/ϵ はかまぼこ中最大となり、もっとも硬い。 $S \cdot \epsilon$ は割に大きく比較的強い。ボロナソーセージは引っ張り応力 S 、伸び率 ϵ ともかまぼこ類より大分小さく、したがって $S \cdot \epsilon$ は他の試料よりうんと小さくなり弱い。しかし S/ϵ は割に大きく、ある程度硬い。

試料のかまぼこ類のでんぷん混入の有無をヨード反応によってしらべて見ると、宇和島かまぼこはその存在が認められず、小田原かまぼこは若干存在し、市販

第1表 試料の引っ張り試験による特性値

試料	W (g)	l' (cm)	S (g/cm ²)	ε	S · ε (g/cm ²)	S/ε (g/cm ²)	彎曲
宇和島 かまぼこ	92	7.0	460	1.75	805	263	±
小田原 かまぼこ	170	6.8	850	1.70	1445	500	+
市販 かまぼこ	162	5.5	810	1.38	1114	589	++
ボロナ ソーセージ	58	2.6	290	0.65	189	446	-

かまぼこは相当混入されていることが認められる。これとエクステンソグラムの彎曲との関係をしらべて見ると、でんぶんの認められない宇和島かまぼこはほぼ直線的で、でんぶん添加量の多いもの程上向の彎曲が大きくなる傾向を示している。これはでんぶん含量が多くなると、かまぼこの抗張力が、筋原蛋白質の分子のからみ合いよりも、むしろでんぶん糊の接着力により多く依存するようになるため、引っ張り応力が増すと次第にさけるように引きちぎられて行くからであると考えられる。

このように本装置は各試料の粘稠性特性をよく表現しており、各種のねり製品やその他の食品の引っ張り試験装置として充分実用できることを認めた。

V. 応力緩和の測定

本装置を利用すれば、応力緩和の現象、すなわち、試料に最初ある引っ張りひずみを与え、そのひずみを一定に保つとき、応力が時間的に減少して行くという現象を測定できるのではないかと考え、次の実験を行った。

引っ張り試験と同様、試料固定端と試料引っ張り車の移動端の間に試料を支え、試料引っ張り車に取り付けた指針と、レールの手前に貼り付けた目盛を目安にして、試料を180mm/minの速度で、かまぼこ類は3cm(ひずみ ε=0.75)引き伸ばし、ソーセージは3cmまで引き伸ばすと途中で切れるので1cm(ε=0.25)引き伸ばす。そこでモーターを止め、そのひずみを保持する。そのときの応力の変化は、記録用紙にパターンの高さの変化として記録される。

4試料について、2分間測定を行ったが、その間モーターは完全に停止し、ひずみは一定に確保された。4試料の応力緩和の様子は第9図のようになる。測定時間が短いので、ソーセージを除いてはまだ応力が

減少をつづけている状態であるが、いずれも基線 OO' まで達しそうにない。しかし、それらの漸近線を推定すると RR' あたりになると思われる。

各試料の応力緩和線はそれぞれ異なっているが、そのタイプは同一と考えられ、それを代表的に表わすと第10図のようになる。

全応力を S、応力緩和により減少し、消滅してしまう応力を S₁、緩和後も残る応力を S₂ とする。曲線 PP' は RR' を基線とする S₁ の初応力 S_{1,0} のマクスウェル型応力緩和曲線と見なし得る。したがって

$$S_1 = S_{1,0} e^{-t/\lambda}$$

となる。そこで、これらの試料の力学的模型は第11図のような3要素模型で表わされる。

一定のひずみを支えているのは、最初はそれぞれ並列に入っている弾性要素の E₁ と E₂ であるが、時間の経過と共に、E₁ の側はそれと直列に入っている粘性要素 η₁ のために緩和され、最終的には E₂ だけでひずみを支えるようになる。

4試料について第6図によりパターンの高さを引っ張り荷重に換算し、これを試料の断面積で除して引っ張り応力 S、S₁、S₂ を求め、それらを実用単位と cgs 単位で表わすと第2表のようになる。

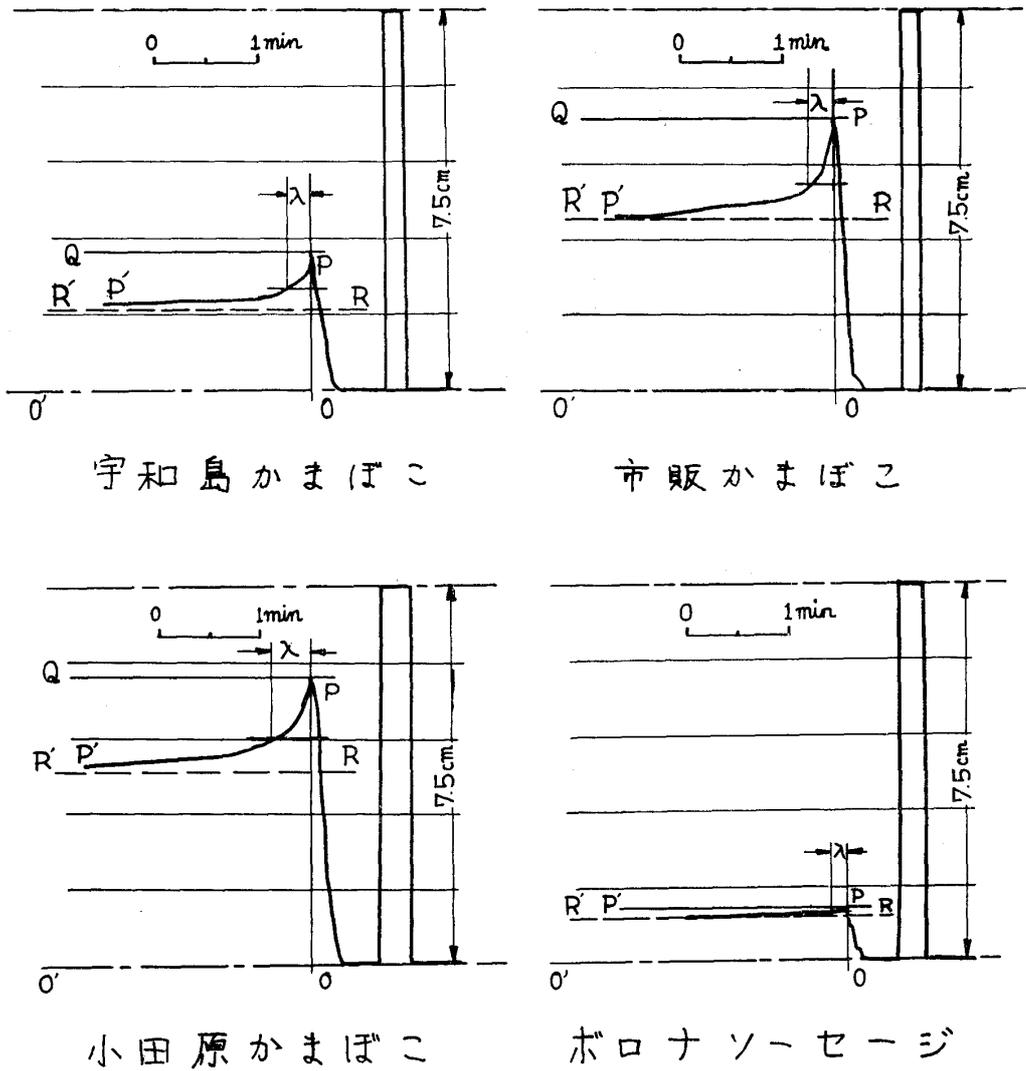
更に引っ張り弾性係数 E₁、E₂、緩和時間 λ、粘性係数 η₁ を求める。弾性係数は次式より求められる。

$$E_1 = S_1/\epsilon, \quad E_2 = S_2/\epsilon$$

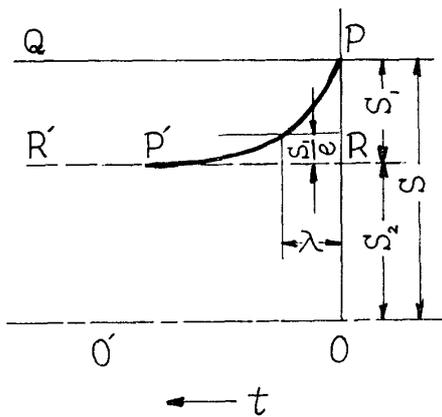
ただし ε は試料のひずみで、かまぼこ類は 0.75、ソーセージは 0.25 である。

緩和時間は応力 S₁ が S_{1,0} の 1/e に達するまでの時間であるから、RR' から上に S_{1,0} の 1/e 離れたところに RR' と平行の線を引き、それと緩和曲線の交点を求め、初応力を作用したときからそこまでの時間を紙送り速度 (20mm/min) より算出する。

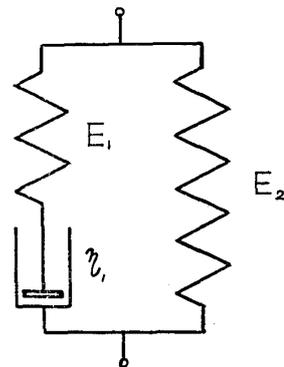
η₁ は、緩和時間 λ が一般に λ=η/G で表わされ、ず



第9図 試料の応力緩和曲線



第10図 応力緩和曲線の代表図



第11図 試料の力学模型

りの弾性係数Gは、引っ張り弾性係数Eの1/3となることより、次式で求められる。

$$m_1 = G\lambda = \frac{1}{3}E_1\lambda$$

で求められる。

これらを整理すると第3表のようになる。

このように本装置を用いれば、ねり製品などに引っ張りひずみを与えたときの応力緩和の測定が可能で、その結果を利用してそれらの試料の力学的模型を推定

第2表 試料の応力緩和時の応力

試料	S		S ₁		S ₂	
	(g/cm ²)	(×10 ³ dyne/cm ²)	(g/cm ²)	(×10 ³ dyne/cm ²)	(g/cm ²)	(×10 ³ dyne/cm ²)
宇和島 かまぼこ	298	291	128	125	170	166
小田原 かまぼこ	640	627	219	214	421	413
市販 かまぼこ	588	576	214	210	374	366
ポロナ ソーセージ	120.0	117.6	25.6	25.0	94.4	92.6

* 試料は第1表の場合と同じものであるが、3日間経過後のものなので、第1表の場合と直接比較はできない。

第3表 試料の力学模型の弾性係数, 粘性係数

試料	E ₁ (×10 ³ dyne/cm ²)	λ (sec.)	η ₁ (×10 ³ poise)	E ₂ (×10 ³ dyne/cm ²)
宇和島 かまぼこ	167	12.6	2104	221
小田原 かまぼこ	285	21.0	5985	551
市販 かまぼこ	380	14.1	5358	488
ポロナ ソーセージ	100	6.6	660	377

したり, それらの力学的模型を構成する弾性係数や粘性係数を求めて行くことができる。

以上の結果を総合すると, 本装置はねり製品やその他の食品の引っ張り試験装置として十分な性能と精度をもち, 引っ張り試験のほか, 引っ張りひずみを与えたときの応力緩和の測定にも利用できることが分った。現在このままではクリープの測定はできないが, 今後クリープ測定装置も付加して引っ張り試験の総合機器としたいと考えている。

VI. 総括

1) 使用性のよい食品用の引っ張り型粘弾性測定器があまりないので, 同期モーターを試料の引っ張りの動力源とし, ストレインゲージを貼った黄銅板を荷重の検出器とする測定装置を試作して見た。

2) 装置は主体をなす本体と, 動ひずみ測定器, および記録計より構成される。

3) 装置は最大4kgの引っ張り荷重を作用することができ, 誤差は最大3g程度である。

4) ねり製品類4種類について測定を行ったが, それらのエクステンソグラムはそれらねり製品類の特長をよく現わしていることが認められた。

5) 本装置はまた, ねり製品などの引っ張り型の応力緩和測定器として, 充分実用できることを認めた。

おわりに, 本実験にいろいろ御協力いただいた猪野啓子さんに感謝致します。

参考文献

- 岡部 巍: 調理科学 4, 106 (1971)
- 岡部 巍: 調理科学 投稿中
- 二国二郎, 伊勢村寿三共訳: 新食品学 p39 (1956)
- 志水 寛, 清水 亘: 日水誌 26, 911 (1960)