

食パンの力学的性質に関する 実験的研究 (1)

王 益平*¹ 森嶋 博*²

瀬尾 康久*³ 相良 泰行*⁴ 芋生 憲司*⁵

緒 言

一般に食品の力学的性質は品質管理、特にそのテクスチャーとの関係において重要なものと考えられている。本研究で対象とした食パンについては、クラムのかたさ測定に関する研究など^{1)~5)}が挙げられる。しかし、かたさの定義や測定条件が研究者によって異なるため、必ずしも一般性を持つ結果が得られているとは限らない。また、弾性および粘弾性特性についてレオロジー的観点に立って研究した例は数少なく、食パンの力学的性質は系統的に把握されていない現状にある。

筆者らは食パンの弾性、粘弾性および破壊特性を明らかにすることを目的とし、コントロールした製パン条件下で得られた試料を対象として一連の圧縮試験を行い、圧縮力-変形率曲線に基づく力学的性質とその保存中における経時変化を明らかにした。次に、製パン条件(成形方法、ローフの比容積、焼成温度と焼減率)や保存条件(温度)および供試材料の状態(水分、クラストの有無)などとクラムの力学的性質との関係を明らかにしたほか、測定条件(変形速度、プランジャーのサイズおよび形状)について標準的試験法を確立する観点に立って検討を行った。さらに、比例領域におけるクラムのクリープ試験による粘弾性挙動に4要素モデルを適用し、各々の粘弾性係数を求めた。

実験方法

本研究では一般に大規模生産プラントで標準的に用いられている中種法で角形食パンを焼成し供試材料とした。表1に小麦粉を100%とした場合の原料配合割合を、図1には製パンプロセスの概略図を示す。この中で、成形には棒状(One-loaf)、N状(N-shape)およびツイスト状(Twist)成形の3種類の方法(図2)を採用した。

圧縮試験に供したローフのサイズは16cm×8cm×8cm(小型、生地260g)と21cm×

*¹ ワン・イーピン(神鋼電機株式会社豊橋製作所)

*² もりしま・ひろし *³ せお・やすひさ *⁴ さがら・やすゆき(東京大学農学部)

*⁵ いもう・けんじ(宇都宮大学農学部)

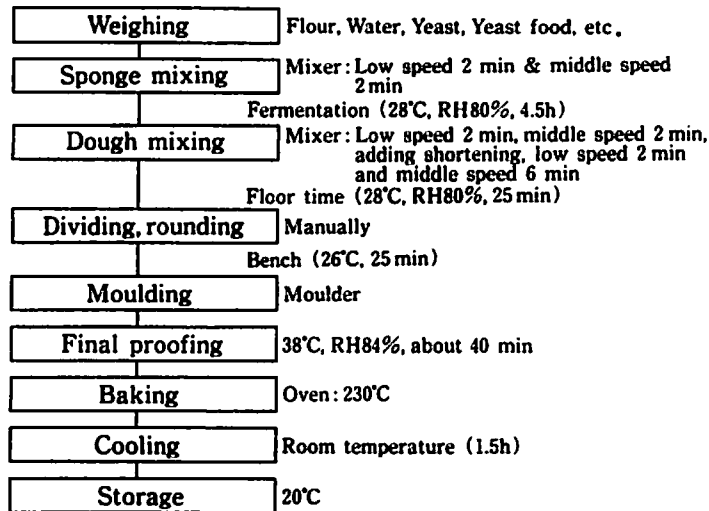


図1 Process of Breadbaking

表1 Sponge Dough Formulation on Flour Basis

Ingredients	%
Flour (12.5% protein)	100
Water	68
Compressed yeast	2
Yeast food	0.1
Salt	2
Sugar	6
Nonfat dry milk	2
Shortening	3

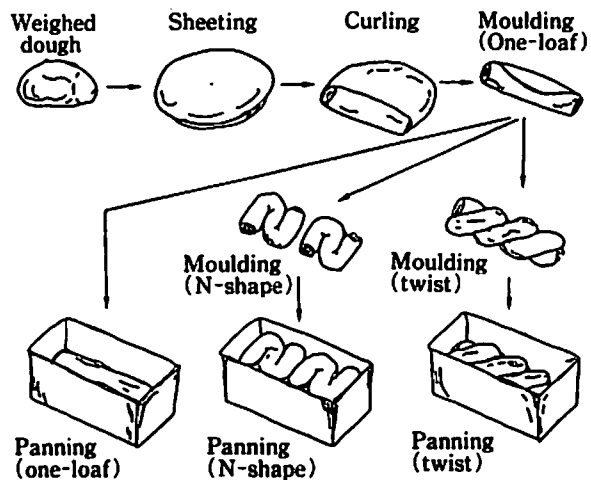


図2 Three kinds of Moulding Method

9 cm × 9 cm (中型, 生地430g) との2種類とし, 標準焼成条件を焼成温度230°C, 焼減率*10%として1ロット当たり6~12本のローフを焼成した。焼成したローフの比容積**は約 $3.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg}$ で市販のものと同様である。焼成後のローフを1時間半放冷後, ポリエチレン袋に包んで, 20°Cの恒温室において保存し試験に供した。図3にスライスとクラム・ブロックの2種類のサンプル採取部位とその圧縮方向を示す。

圧縮試験は改造したTPU (Texture Profile Unit 株式会社) を用い, 変

* 焼減率とは生地初期重量に対する焼成中の重量減少量の比と定義され, 主に焼成による水分損失率を意味する。焼減率は焼成直前の生地重量と焼成後20分のローフの重量から求めた。

** ローフ比容積は焼き型から抜いた状態のパンの容積と質量の比である。

食パンの力学的性質に関する実験的研究

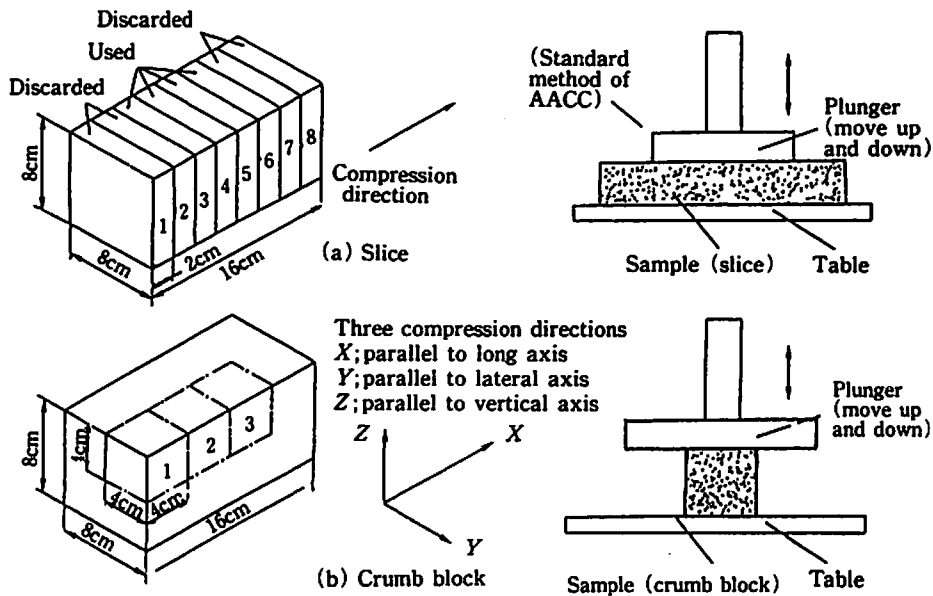


図3 The Samples and the Compression Conditions

形速度 5 mm/s で行い、圧縮力はロードセルで検出し、すべてのデータはパソコンに収録した。クリープ試験は試作したクリープ測定装置 (図21) で行い、測定は焼成後24時間ごとに7日間行った。

ローフの容積は菜種置換法で測定した。クラムの気孔率*は、クラムの容積をノギスで測定してから、円筒圧縮装置**で空気を排除して容積を測り、圧縮前後の容積差から求めた。ポアソン比はクラム・ブロックが圧縮の際に生じた変形を読取顕

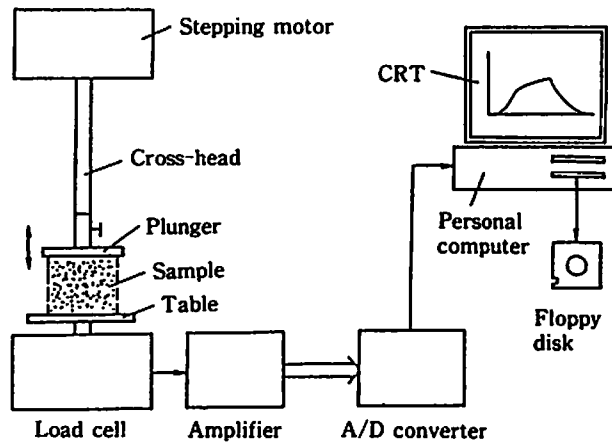


図4 Diagram of the Compression Measuring System

* 気孔率はクラムに含まれる気孔 (空隙) の総体積とクラムの体積の比である。

** 円筒圧縮装置は円筒状の容器に被測定物を入れピストンにより圧縮し空隙を0として被測定物の体積を測定する装置である。

微鏡（物島津製 読取精度0.01mm）で、測定・算出した。含水率は試料を65℃で6時間調製した後、105℃ 3時間の炉乾法で測定した。

実験結果および考察

I. 圧縮力-変形率曲線および弾性係数

1. 圧縮力-変形率曲線 (Force-Compression Curve)

図5は焼成後20℃、24時間保存した棒状成形試料の圧縮力-変形率曲線である。2種類のサンプルについての2000回以上の圧縮試験から、食パンがベーカリ製品の一般的特徴⁹⁾を有していることが分かった。この曲線の初期部分ab (I)は載荷直後の不安定な状態を示し、この部分の曲線は試験片表面とプランジャー面の平行度および試験片表面の接触破壊により影響を受けるものと考えられる。この段階を過ぎてbc (II)の比例段階(変形率約4%~12%)では試料が弾性的な挙動を示す。次のcd (III)区間は変形率の12%から40%までの間に相当する。この区間では曲線の勾配が小さくなり、ポアを形成する固相の網状マトリックスが変形して次第に破壊されてしまうため、コラプス (Collapse)段階と称することにした。変形率がさらに大きくなるとde (IV)の高密度化の段階に至り、曲線の勾配は再び大きくなる。この区間はクラムの組織を圧密するために必要な圧縮力の増大で特徴づけられる。

2. 比例限界

比例限界、等価ヤング率およびポアソンは、直径55mmの円形プランジャーを用いてクラム・ブロックを圧縮して得られた圧縮力-変形率曲線のステージIIにおいて求めた。比例限界は圧縮力-変形率曲線(図5)に曲線の勾配が変わり始めるc点の値をとった。図6に圧縮方向をパラメータとし、保存中における棒状成形食パンの比例限界の経時変化を示す。図中のプロットは4個のサンプルに対する実測値の平均で、直線はその一回帰線である。比例限界は保存時間の経過に伴っ

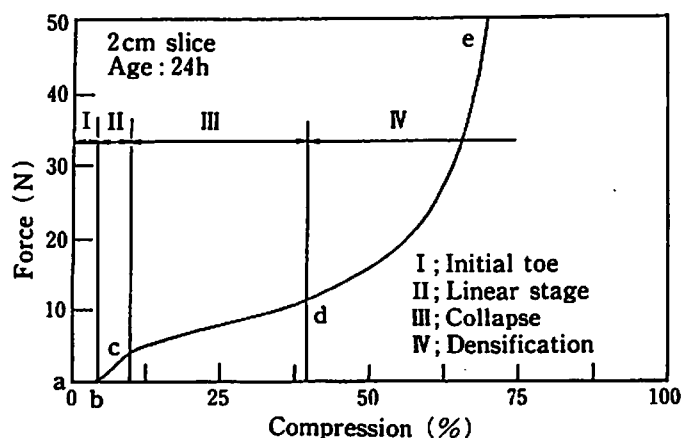


図5 A Typical Force-compression Curve for White Bread Crumb

て、次第に大きい値を取り、また測定方向によっても異なり、長手(X)、左右(Y)および上下(Z)方向の順に大きい値を示すことが分かった。

また、N状成形の食パンについても棒状成形のものと同様な傾向がみられ、全体的にみて、これらの試料の比例限界は $(0.3\sim 4.5) \times 10^3 \text{ Pa}$ の程度であることが分かった。

以上の結果から、焼成後の保存時間が長くなると、クラムに同じ変形を起こすのに必要な力は次第に大きくなり、すなわち食パンはかたくなり、また、焼成直後の力学的異方性は保存期間を通して存続し、顕著になることが明らかになった。

3. 等価ヤング率

棒状成形食パンの等価

ヤング率の経時変化を図7に示した。図中のプロットは4個の実測値の平均で、直線はその一次回帰線である。ただし、この計算には試料の中に圧縮方向の応力のみが存在するものと仮定した。また、圧縮時のサンプル横断面の面積変化の割合が初期横断面面積の2%前後と推定され、等価応力の変化も2%前後に過ぎなく、等価ヤング率に与える影響は小さいと考えられたため、この変形量を無視した。図に示されたように等価ヤング率は保存時間の経過につれて増大し、その値の大きさもZ方向、Y方向、X方向の順であることが分かった。また、N状成形の食パンの等価ヤング率も棒状成形のものと同様な傾向にあり、棒状成形よりはやや広い範囲の値を示すことが認められた。本実験では大きさの異なる2種類のローフ(中型、小型)について、等価

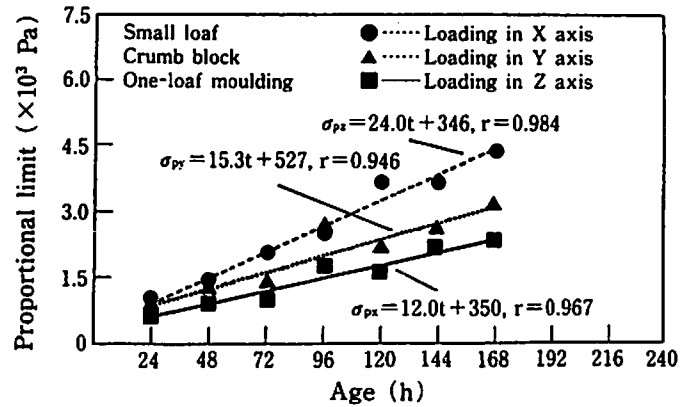


図6 The Proportional Limits of Bread Crumb in Different Directions

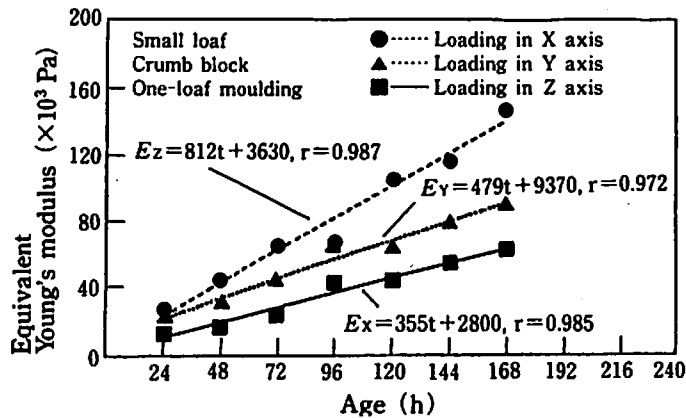


図7 The Equivalent Young's Moduli of Bread Crumb in Different Directions

ヤング率 (0.5~1.5) × 10⁴Paを得たが, Muller は 2 × 10⁴Pa という値を報告している⁷⁾。ちなみに, この食パンの値は工業材料で言えば, フォーム・ラバーの10⁴Paと同程度である。

4. 等価ポアソン比

図8は焼成後48時間経過したクラムの等価ポアソン比を, 縦軸に等価ポアソン比, 横方向に等価ポアソン比の種類をとって,

示したものである。図中に実測値の平均と標準偏差値が示してある。各等価ポアソン比の測定値は0.03~0.31の範囲に分布した。分散分析の結果, これら6種類の等価ポアソン比の間には1%以下の危険率で有意差があることが確認され, ここでもクラムが異方性体であることが確かめられた。

Muller⁷⁾は弾性範囲内の圧縮では食パンのような組織では圧縮方向に対して直角方向の大きさに変形が観られず, したがって, ポアソン比の値を0.0と報告している。しかし, 本実験の結果, クラムは圧縮方向に直交する方向つまり横断面方向に膨張することが確認され, 食パンの等価ポアソン比が0.0でないことが明らかになった。

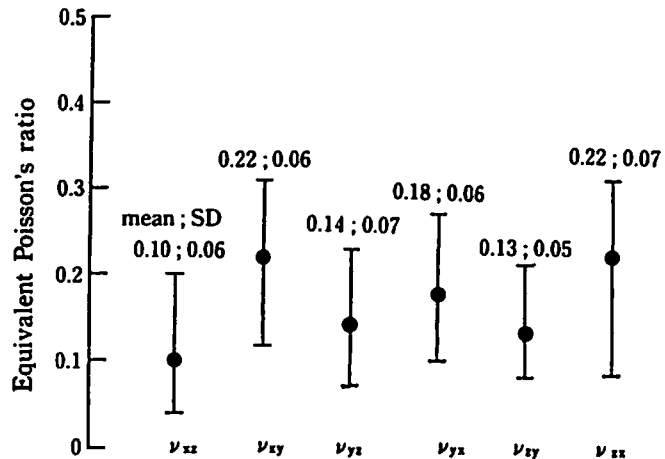


図8 Six Kinds of Equivalent Poisson's Ratio of Bread Crumb

平成4年4月25日 印刷

平成4年5月1日 発行

ニューフードインダストリー

第34巻 第5号

発行人 宇田守孝

編集人 今西和政

発行所 株式会社 食品資材研究会

郵便番号 101 東京都千代田区神田美倉町10 (共同ビル新神田)

電話 03 (3254) 9191 (代表)

FAX 03 (3256) 9559

振替口座 東京 1-62633番

取引銀行口座番号 第一勧銀室町支店 (当座) 030-0-102-794

三菱銀行 京橋支店 (普通) 032-0070318

定価 1,900円 (本体1,845円) 送費100円)

購読会員 1年 21,600円 (送費・税込み)