

穀粉製品の性質に及ぼす熱処理工程効率化の影響

—蒸練機により製造した団子生地—

石田欽一・花植宣行*

蒸練機は密閉タンクに穀粉を水とともに入れ、蒸気を吹込みながら攪拌加熱し、粉を糊化するという装置で、米菓、団子、餅、ぎゅうひ等の製造において効率的熱処理が行えるため汎用されているが、作られる生地—の特性についての報告は見られない。

そこで、蒸練機による加工特性を明らかにする目的で、団子生地を蒸練機により調製し、そのときの諸条件が団子生地の粘弾性等に及ぼす影響を調べるとともに従来からの杵搗によって製造した団子生地との比較をした。

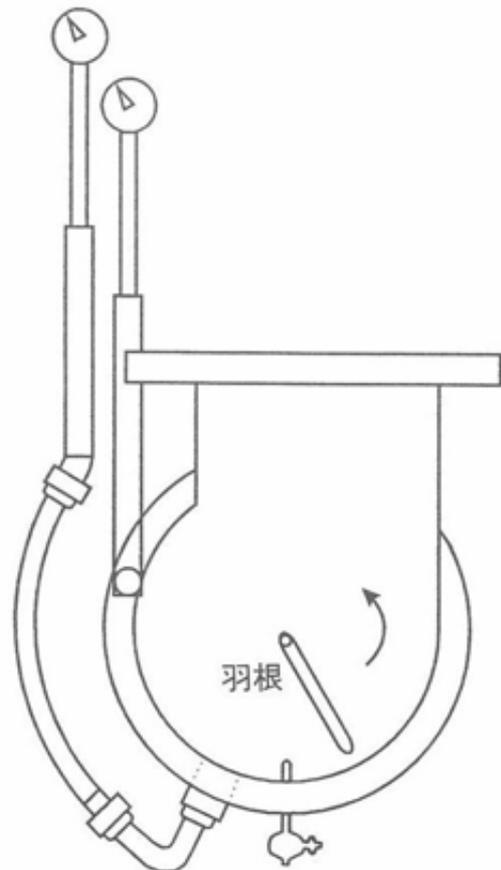
実験方法

1. 米粉

梗破碎米を原料とする胴搗製粉米粉2種（昭和58年4月製粉北海道産米及び昭和58年8月製粉秋田産米、以下米粉A及びCとする）、米粉Aから200メッシュ以下の細粒粉を篩別した胴搗粗粒米粉（米粉B）及びロール製粉米粉（昭和58年10月製粉秋田産米、米粉D）の4種（いずれも吉村穀粉株式会社製）を用いた。

2. 団子生地の製造

第1図に示すような、外部から加熱ができるよう二重タンク式になった蒸練機（株式会社野沢製粉所製）を使用し団子生地を調製した。試験条件は第1表に示すように米粉A、B、Dについて吹込み蒸気圧0.3kg、加水率



第1図 蒸練機の概略図

第1表 団子生地の製造条件

米粉	製粉方法	加水率 (%)			タンク内蒸気圧 (kg/cm ²) *		製造方法		蒸練時間 (分)		
		50	60	62.5	0.1	0.3	蒸練	杵搗	7	20	28
A	胴搗	○				○	○			○	
A	胴搗		○			○	○			○	
A	胴搗	○			○		○			○	
B	胴搗 (粗粒)	○				○	○			○	
B	胴搗 (粗粒)		○			○	○			○	
C	胴搗			○		○		○			○ (杵搗50回×4)
C	胴搗			○		○		○			○
D	ロール		○			○	○			○	

* 外側ジャケット蒸気圧：0.3kg/cm²

* 名古屋市緑消防署

を50%及び60%, 蒸練時間は20分で5分毎にサンプリングした。なお, タンク内攪拌アームの回転数は20rpmに統一した。比較として, 杵搗が生地を与える影響を調べるため, 米粉Cを用い, 加水率62.5%で, 7分間蒸練した生地を餅搗機(杵自動上下式, 吉村機械製)を用い, 200回杵搗を行い, その間に50回毎にサンプリングした。また, 杵搗に対しての練りの影響を調べるため, 米粉Cを用い, 加水率を62.5%とし, 外側のジャケットに0.3kgの蒸気を通じ, 内部タンクには加圧せずに蒸気を吹き込み, 21分間混練し, その間に7分毎にサンプリングを行った(以下混練と呼ぶ)。

また, 吹込み蒸気圧の影響を調べるため, 米粉Aを用いて, 加水率50%, 蒸気圧0.1kgで蒸練した団子生地を製造した。

3. 米粉の粒度測定

目開きの異なる試験篩(直径20cm, 60, 80, 100, 145, 200, 250, 280meshの7種)を組合せたロータップ式ふるい振盪機(株式会社平工業製作所製)を用い, 米粉100gを最上部の篩に, また, 各篩に目詰りをふせぐため三角形の樹脂製ロータを入れ, 20分間振盪し篩分けを行った。終了後, 各篩に残った米粉を秤量し粒度分布を求めた。

4. 米粉の吸水率曲線の測定

ファリノグラフ(ブラベンダー社)を用い, 30℃に調温したミキサーに米粉200gを入れ, 所定量の30℃の水を加え攪拌を行い, 抵抗値が一定になったときのコンシステンシーを求め, 加水率とコンシステンシーの関係から吸水率曲線を描いた。

5. アミログラフによる粘度

水分10%ベースで51.9gの米粉をボウルに秤取し, 水433mlを加えセットし, 30℃から常法によりアミログラフィーを開始し, 95℃で10分間保持後, 50℃まで冷却し, 曲線からアミログラフ特性値を求めた。

6. 団子生地の粘弾性の測定

6.1 測定用試料の作成: 団子生地を調製直後, 第2図のような測定試料作成用型枠の中に生地を捏ねないようにして充填し, 乾燥を防ぐためポリ塩化ビニル製ラップフィルムで表面を覆い, 20℃の恒温機中に4時間保存した。

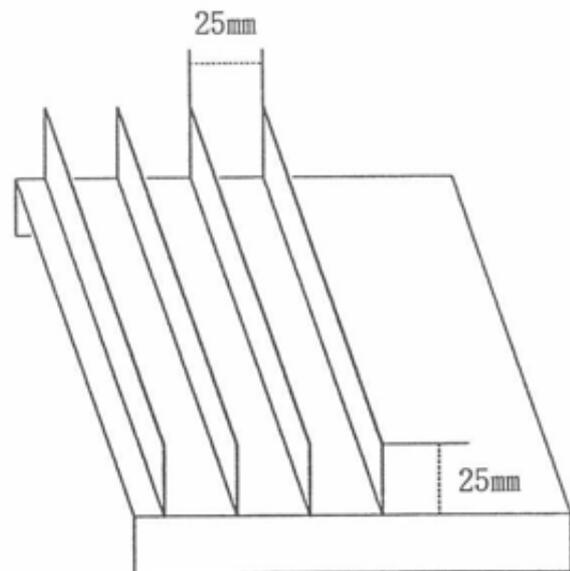
4時間保存した試料は型枠から取り出し, ピアノ線を用いて20cm幅に切断し, 2.5cm×2.5cm×2.0cmの大きさの測定用試料とした。

6.2 圧縮破壊試験: オートグラフ(株式会社島津製作所製, DCS-100型)を用いて, 圧縮速度100mm/min,

第2表 米粉のアミログラム特性値

		米 粉			
		A	B	C	D
糊化点*	1次 ℃	67	66	65	67
	2次 ℃	84	84	83	83
最高粘度時	温度 ℃	92	92	92	91
	粘度 BU	800	774	800	605
95℃, 10分後	粘度 BU	490	485	450	338
	温度 ℃	92	93	92	91
最低粘度時	粘度 BU	480	480	440	332
	温度 ℃	920	890	810	584

* 1次糊化点: 粘度の上上がり温度 2次糊化点: 粘度急増時の温度



第2図 粘弾性測定用試料作成型枠

クリアランス8mmの条件で試料を圧縮した。応力-歪曲線の歪率10~30%における傾きから弾性率を求めた。また, 試料破壊時のピーク値あるいはピークが無いときは歪率50%における応力を破壊強度とした。

6.3 応力緩和試験: 試料を20%圧縮した時の応力緩和曲線から平衡弾性率, 緩和弾性率及び粘度を求めた。

7. 製造過程における団子生地の水分の測定

高密度ポリエチレン製袋を使用するフィルム法によって測定した。あらかじめ恒量にしてある袋(7.5cm×12cm, 厚み0.05mm)に試料約1gを取り精秤し, 袋の上から試料を薄く押しおぼした後, 袋をふくらませ, 105℃の乾燥機中で恒量になるまで乾燥し水分を求めた。

8. 顕微鏡による観察

8.1 光学顕微鏡による団子生地の観察: 試料をスライドガラス上に取り, カバーガラスをのせて押し

つぶし薄く延してから光学顕微鏡（オリンパス製 BH-2型）により倍率20倍で観察した。

8.2 走査電子顕微鏡による米粉及び団子生地
の観察：走査電子顕微鏡（日本電子製 JSTT200型）
によって観察した。米粉試料はそのままを、団子生地
はグリタールアルデヒド固定後エチルアルコール、酢
酸イソアミルによる脱水、CO₂臨界点乾燥を行った
後、金をイオンスパッタリングして観察試料とした。

実験結果及び考察

1. 米粉の特性

使用した米粉の粒度分布を第3図に示した。胴搗粉
の米粉A、Cとも各粒度区分がほぼ均等に存在する。
胴搗粗粒粉の米粉Bは200メッシュ以上が80%で、
145~80メッシュが50%以上を占めていた。ロール粉
の米粉Dは100~80メッシュが50%以上含まれる粒度
の粗い粉であった。

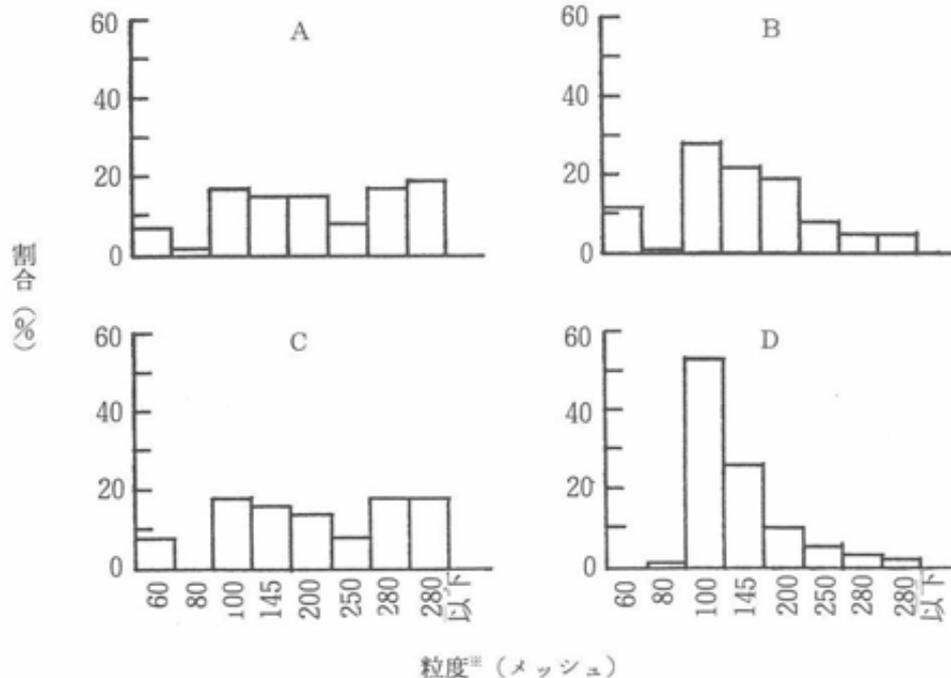
米粉の電子顕微鏡観察結果を写真1に示した。胴搗
粉（写真A、B、C、D）は角のとれた丸い形をして
いるがロール粉（写真E、F）は角ばった大きな粒子
である。また、ロール粉の表面には胴搗粉に見られる

ような露出した澱粉の粒子はほとんど無く、胴搗粉に
比べロール粉は表面積が小さい粒であるといえる。第
4図に米粉の吸水曲線を示した。米粉Dは米粉A、
B、Cに比べて一定加水に対するコンシステンシーが
低く、吸水性が低いことが認められた。これはロール
粉の粒度が粗いこと及び表面の形状の違いに起因して
いると考えられる。一方、胴搗粉間の差は少なかっ
た。米粉A、Cの吸水性の差は製粉月日及び産地（品
種）の違いによるものと思われる。

米粉のアミログラム特性値を第2表に示した。糊化
点は4種の米粉の間に差は見られなかった。最高粘度
は米粉A、Cが最も高く、米粉Bはこれよりやや低
く、米粉Dは3者に比べかなり低い値を示した。ま
た、95℃、10分後の粘度、最低粘度も米粉Dが他より
低かった。50℃冷却時の粘度も米粉Dが最も低い値を
示し、他の粉では、この値が最高粘度よりも高いの
に対し、米粉Dでは低かった。

これらの結果は、吸水率の低いロール粉では、粉粒
子の膨潤が少なく、このため粘度が低くなったものと
考えられる。これらから、米粉の製粉方式が糊化特性
に大きく影響することが認められた。

谷地田ら¹⁾は最高粘度、最低粘度、50℃冷却時の粘

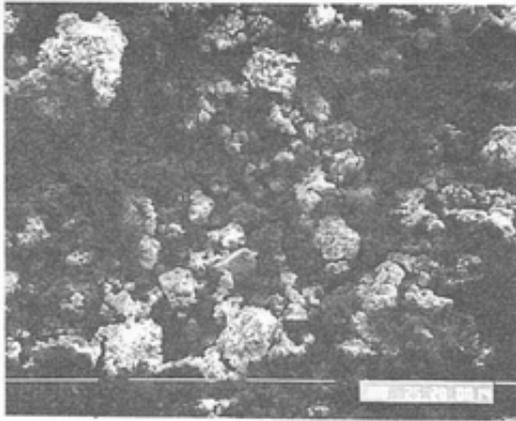


第3図 米粉の粒度分布

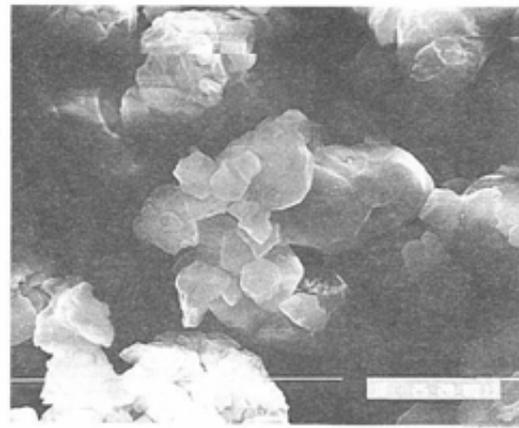
A、C：胴搗粉 B：胴搗粗粒粉

D：ロール粉

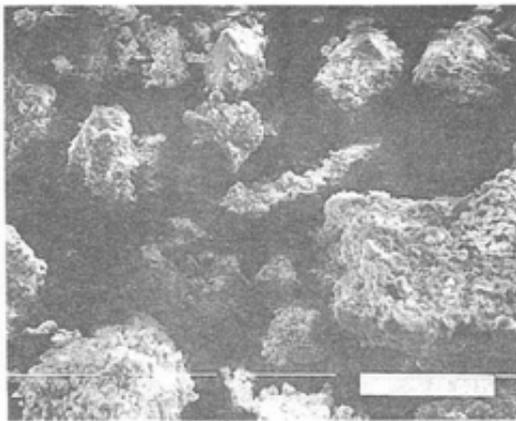
※ 各メッシュの篩上に残った粉



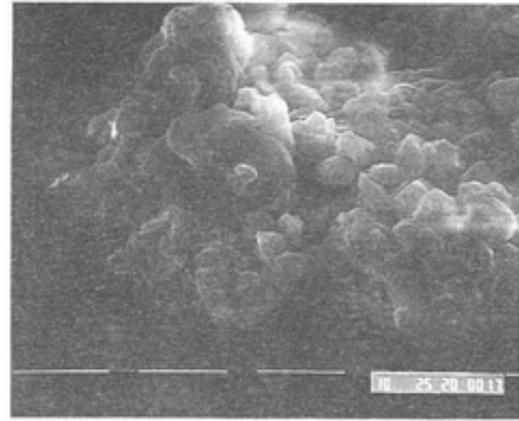
A



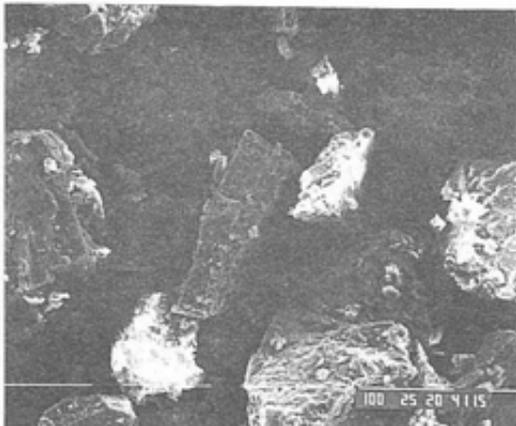
B



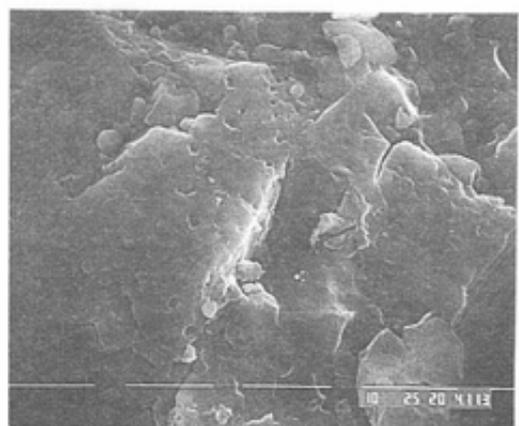
C



D



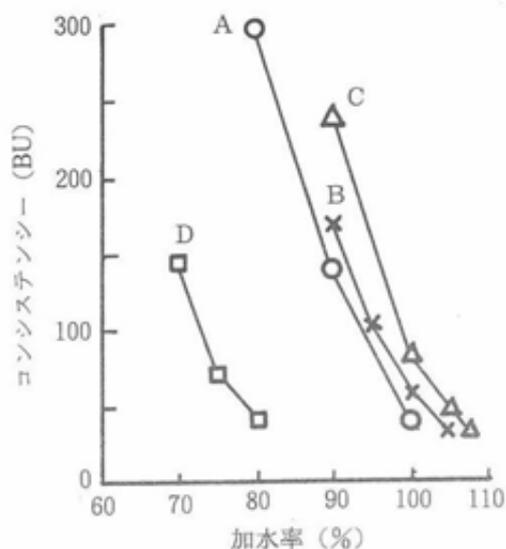
E



F

写真1 米粉の電子顕微鏡写真

- | | |
|-----------|-------------|
| A 米粉A200倍 | B 米粉A2,000倍 |
| C 米粉B200倍 | D 米粉B2,000倍 |
| E 米粉D200倍 | F 米粉D2,000倍 |



第4図 米粉の吸水率曲線
A, B, C, Dは第3図と同じ

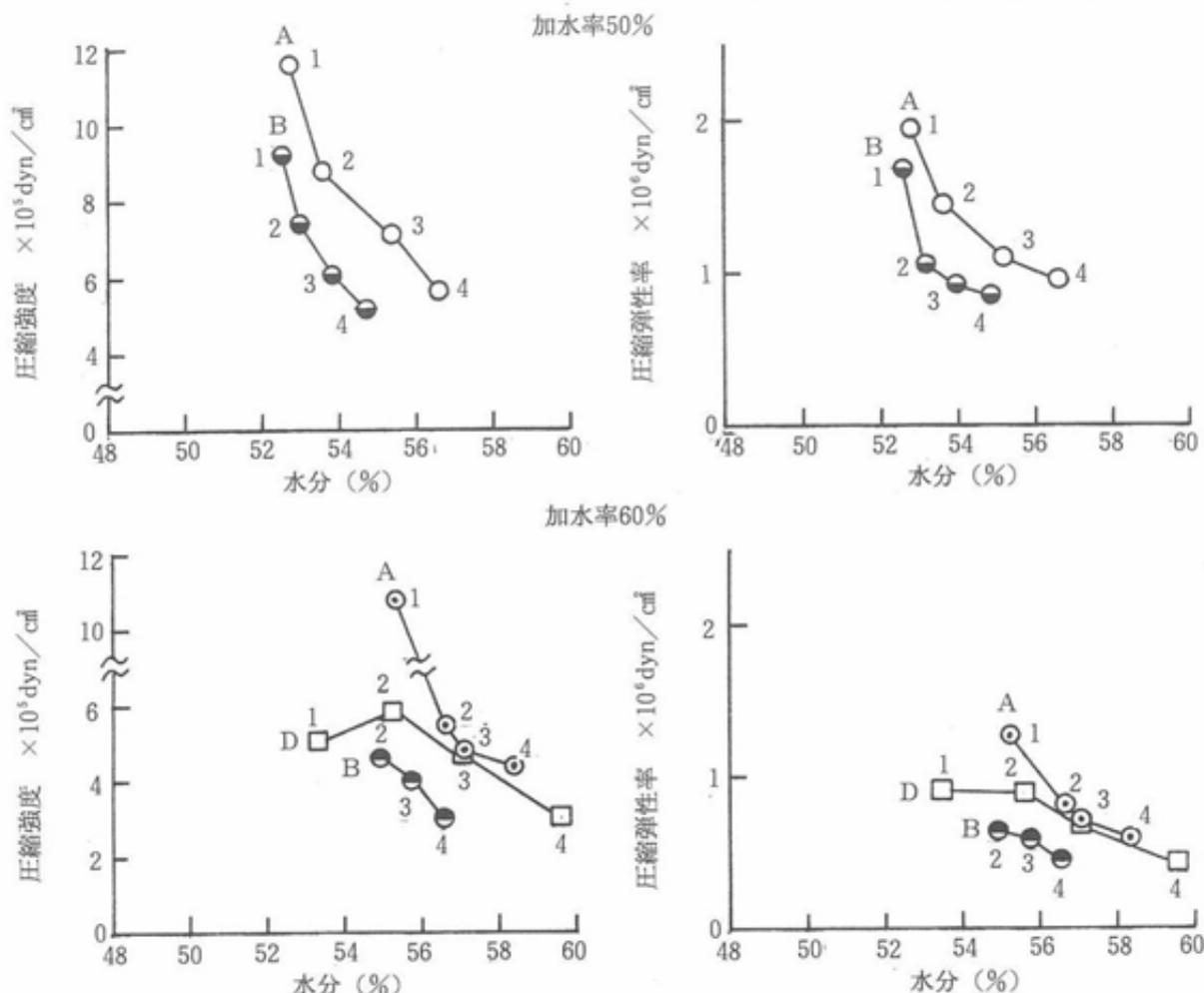
度のいずれも胴搗粉とロール粉との間に大差が無く、むしろロール粉のほうが高い結果を得ているが、原料米の品種、産地等が異なっているため、この点について今後の検討が必要である。

2. 団子生地製造過程における粘弾性変化と製造条件の関係

各試験条件によって製造するとき、製造過程で団子生地をサンプリングし粘弾性を比較した。団子生地はいずれも蒸練時間等の延長につれて水分含量は高くなり、粘弾性値は小さくなった。

2.1 加水率の影響

生地に及ぼす加水率の影響を第5図に示した。各蒸練時間後の水分含量はいずれも加水率50%のものより60%の方が2%程度高く、また、圧縮強度、圧縮弾性率ともに加水率60%の方が低い値を示した。特に、圧縮弾性率に加水率の影響が大きく現われ、加水率50%

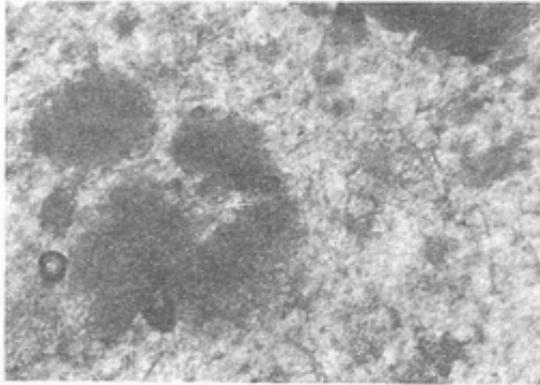


第5図 蒸練処理の時間経過による団子生地の粘弾性の変化(加水量の影響)
図中の数字は蒸練時間を示す 1:5分 2:10分 3:15分 4:20分
A, B, Dは米粉の種類を示す

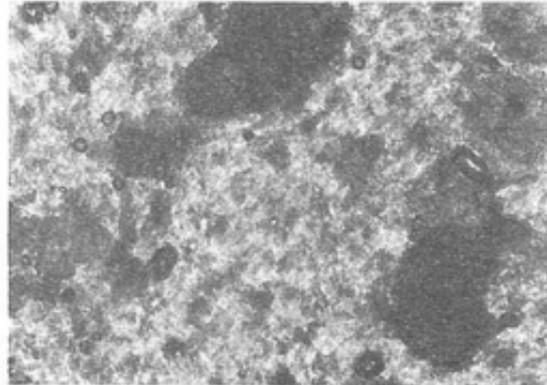
に比較して加水率60%の値は1/2程度に低下した。

米粉の種類の影響を見ると、いずれの加水率でも米粉Aの方が米粉Bよりも各蒸練時間において強度、弾性率ともに高い値を示した。しかし、水分含量は米粉Bの方が少なく、米粉の粒度が大きいため、アミログラムの結果にも見られるように膨潤が遅れるという影

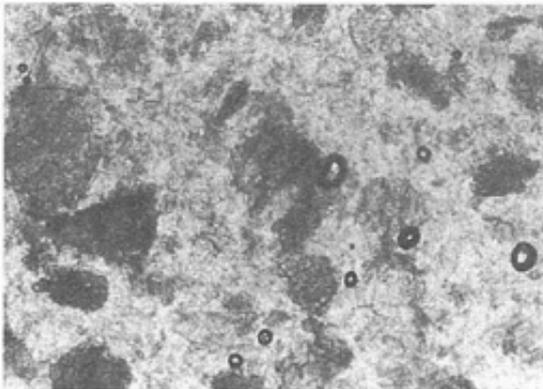
響がでたものと思われる。また、ロール粉では蒸練初期の様相が違って、圧縮強度が一度上昇した後低下した。吸水性、膨潤速度が胴搗粉と異なるため団子生地組織に差が生じたものと考えられる。この点を確認するため、生地の顕微鏡観察を行った。写真2に顕微鏡写真を示した。



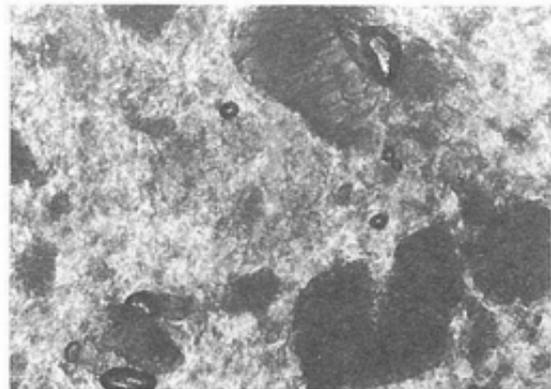
A



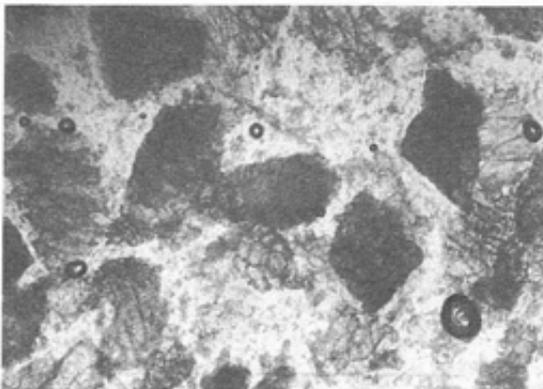
B



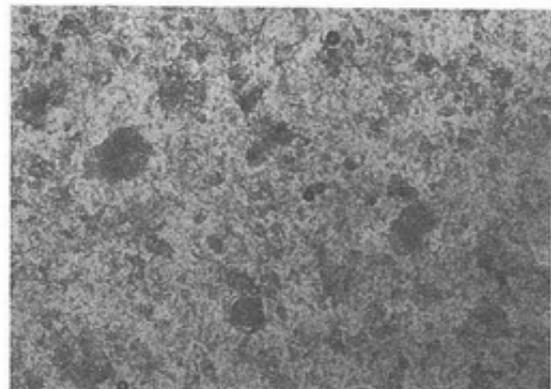
C



D



E



F

写真2 団子生地の顕微鏡写真(倍率20倍)

- | | |
|--------------|-----------------------|
| A 米粉A・加水率50% | B 米粉A・加水率50%、蒸気圧0.1kg |
| C 米粉A・加水率60% | D 混練 |
| E 米粉D・加水率60% | F 杵搗 |

飼搗粉（米粉A）の生地相比于ロール粉（米粉D）の生地は蒸練終了後も未崩壊状態の米粉が多く存在しており両者の生地の組織に大きな違いが見られた。

2.2 蒸気圧の影響

米粉Aを用い、加水率50%で比較した。粘弾性測定結果を第6図に、また、顕微鏡写真を写真2に示した。

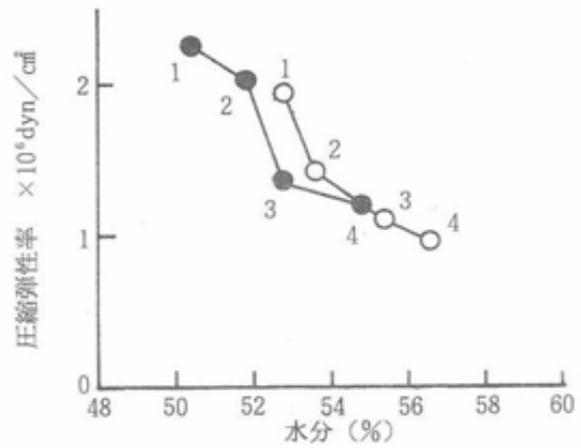
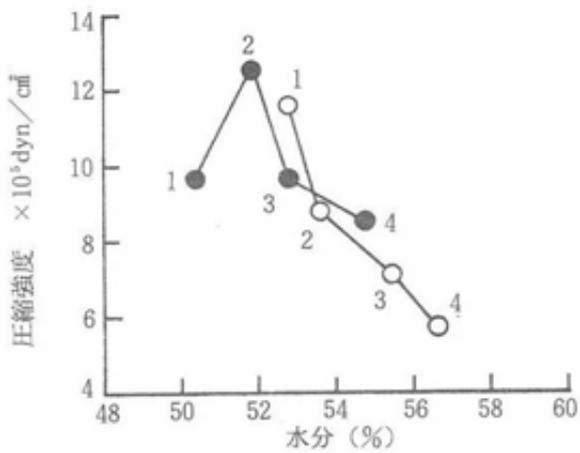
蒸気圧の差は水分含量、圧縮強度に現われ、蒸気圧0.3kgに比して蒸気圧0.1kgの方が各蒸練時間で水分含量が低く、圧縮強度が高かった。0.1kg生地の蒸練初

期の圧縮強度の変化はロール粉と同じ傾向を示した。低い蒸気圧では蒸練初期水分量及びタンク内温度が低くなるため、米粉粒子の膨潤と崩壊が十分でないことが顕微鏡観察からも推定された。

2.3 杵搗と蒸練の比較

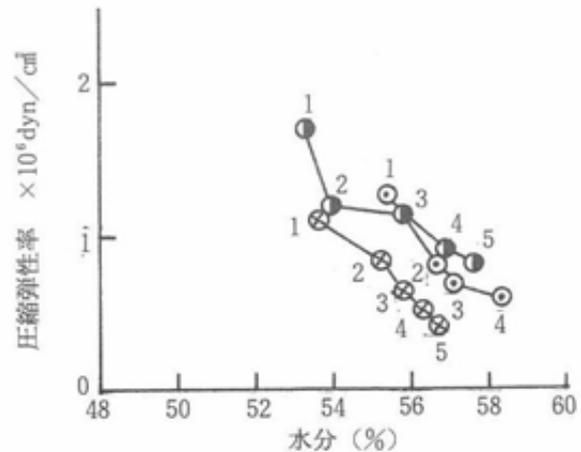
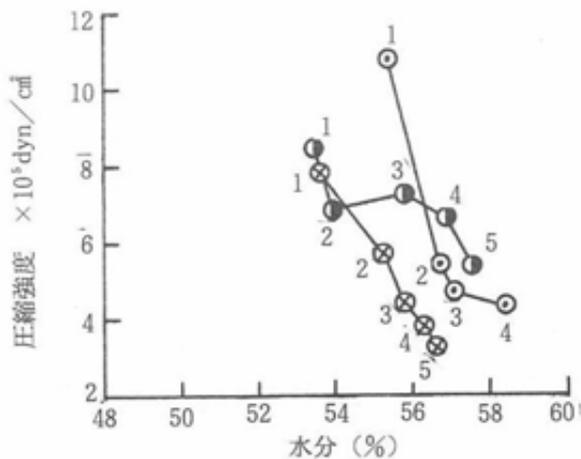
米粉A・加水率60%の蒸練及び米粉Cを用いた杵搗、混練での結果を第7図に示した。

杵搗は蒸練と比べて同程度の水分の生地において、いずれも粘弾性値が小さく、杵搗の回数が増すにつれて、特に圧縮強度の低下が著しく、また、弾性率も約1/2となり柔らかな生地となることが認められた。



第6図 蒸練処理の時間経過による団子生地の粘弾性的変化（吹込蒸気圧の影響）

○：蒸気圧0.3kg ●：蒸気圧0.1kg
図中の数字は第5図と同じ



第7図 蒸練処理の時間経過による団子生地の粘弾性的変化（杵搗、混練及び蒸練の比較）

⊗ 杵搗 ● 混練 ● 蒸練（米粉A、加水率60%）
数字：蒸練、混練：5分毎の経過時間
杵搗： 1：蒸練7分 2～5：杵搗50回毎の経過

一方、混練による生地の変化を見ると蒸練に比べても圧縮強度の低下が少なく混練中の米粉粒子の崩壊が少ないものと思われる。

各生地顕微鏡写真を写真2に示した。杵搗の生地は米粉の粒子が潰されて小さくなってゆくのに対し、混練では米粉の未崩壊粒子がかなり残り、練りにおいては粒子の崩壊が粒の表面から進んで行くことを示し、これが粘弾性値の違いとなって現れたといえる。

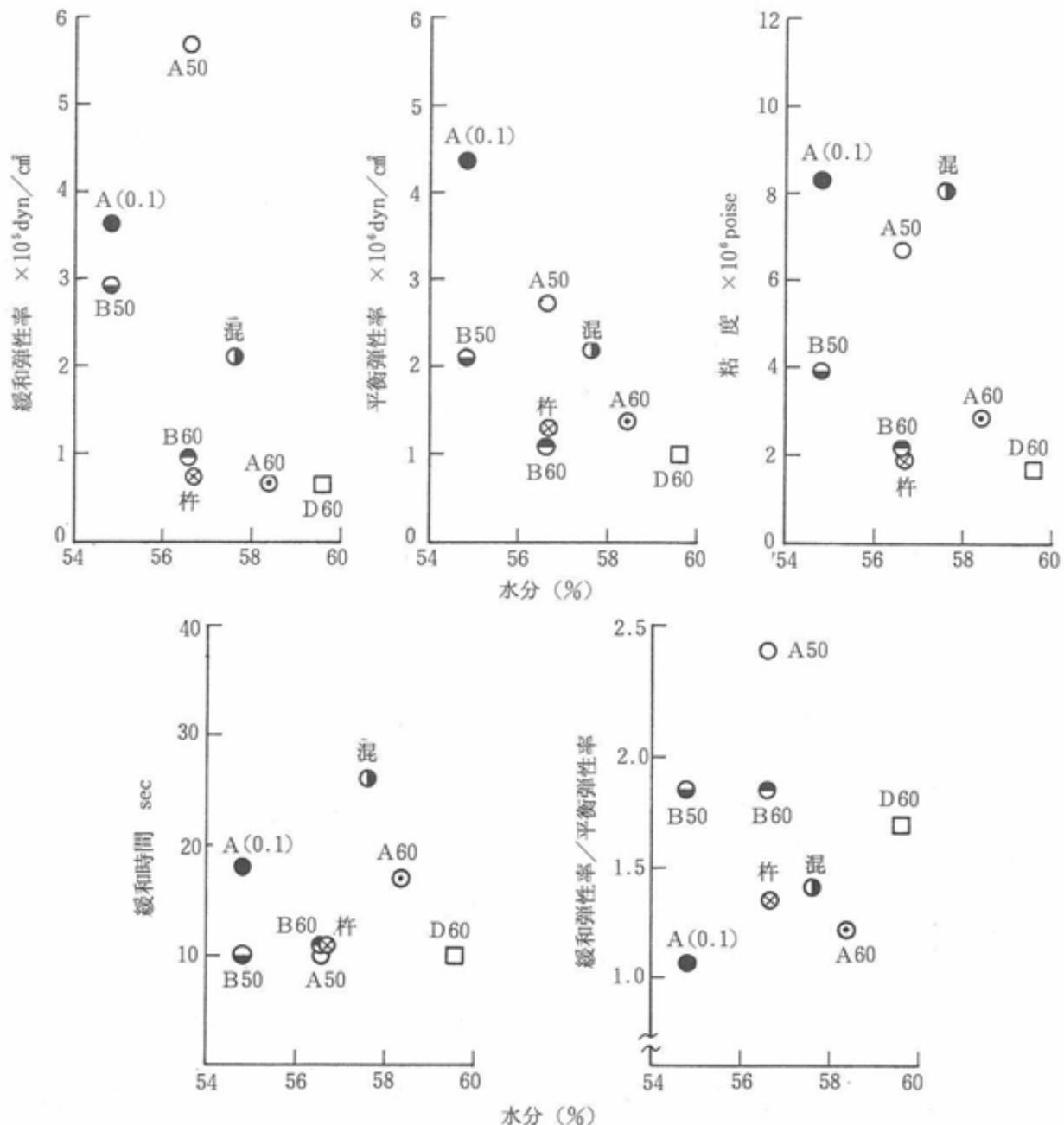
また、混練の生地は、蒸練と比べて未崩壊粒子が多く、組織的に異なっていることが認められる。

2.4 最終生地の粘弾性

各条件で製造した団子生地の最終品について、応力緩和試験、圧縮試験による各粘弾性値を示した。

応力緩和試験の測定結果を第8図に示した。

緩和弾性率は米粉A・加水率50%の生地が一番高く、次いで蒸気圧0.1kg、米粉B加水率50%、混練の生



第8図 各試験条件で製造した団子生地の応力緩和試験の粘弾性値

A, B, Dは米粉の種類を, 数字は加水率を示す

杵: 杵搗 混: 混練 A (0.1): 米粉A, 吹込蒸気圧0.1kg

地が高い値を示した。平衡弾性率は蒸気圧0.1kgの生地が特に高い値を示し、加水率50%及び混練の生地も高かった。

また、粘度及び緩和時間は混練、蒸気圧0.1kgの生地が大きい値を示した。これに対し加水率60%の生地及び杵搗の生地はいずれも低い値を示した。

これらの弾性率は生地の水分含量が多くなるとともに低下する傾向が見られるが、それだけではなく、製造方法や米粉の差も重要な因子となっている。すなわち、混練、杵搗、米粉A・加水率50%は水分含量はほぼ同じであっても、杵搗の粘弾性値が非常に低いこと、また、加水率60%の米粉A、B及びDの生地は水分含量が異なっているにもかかわらず、いずれも低い弾性率を示しているが、緩和時間、粘度は米粉Aの値が高く、緩和弾性率/平衡弾性率は逆に米粉Aが低く、米粉BとDが高い値を示している、生地の粘弾性に及ぼす未崩壊粒子の影響が大きいことが示されたものといえる。

圧縮試験における各生地の粘弾性値の比較を第9図に示した。圧縮強度、圧縮弾性率ともに同じ傾向を示し、加水率60%の生地及び杵搗の生地が低い値を示した。この圧縮弾性率と応力緩和試験における平衡弾性率はオーダーの違いがあるものの、よく対応した傾向を示している。

これらの結果は、米粉の種類、団子生地の製法によって粘弾性値に差はあるものの、基本的には生地水分の影響が大きいことを示している。

3. 団子生地の保存による粘弾性の変化

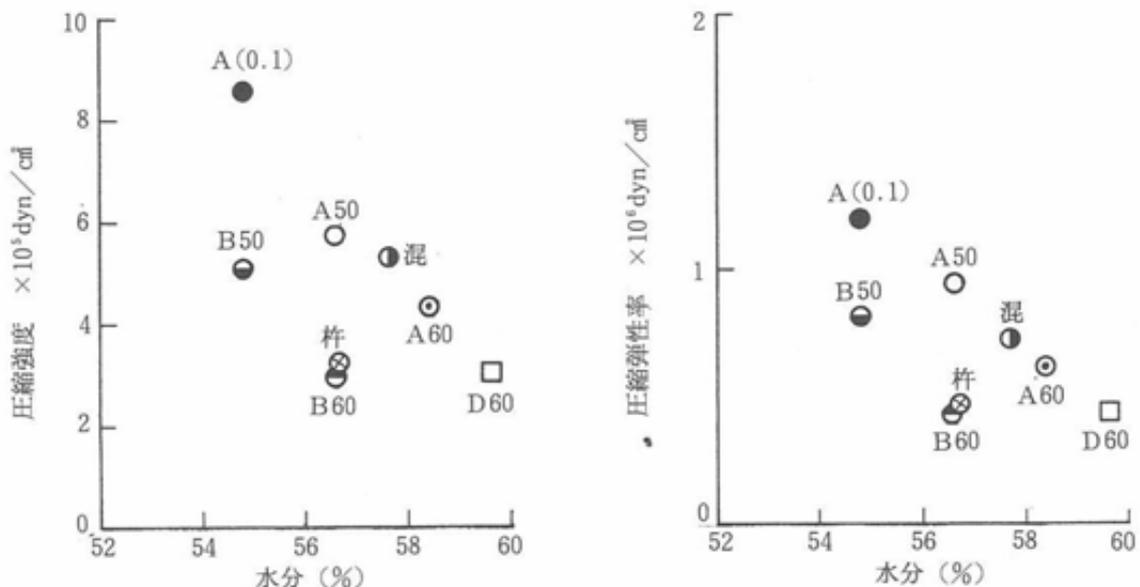
製造後20℃で4時間保存し、粘弾性測定に用いた団子生地をポリ塩化ビニリデン製ラップフィルムで包み10℃で24時間保存し、その粘弾性の変化を調べた。

第10図に示すように、いずれの生地も保存後の値は大きくなり硬化が進んでいた。

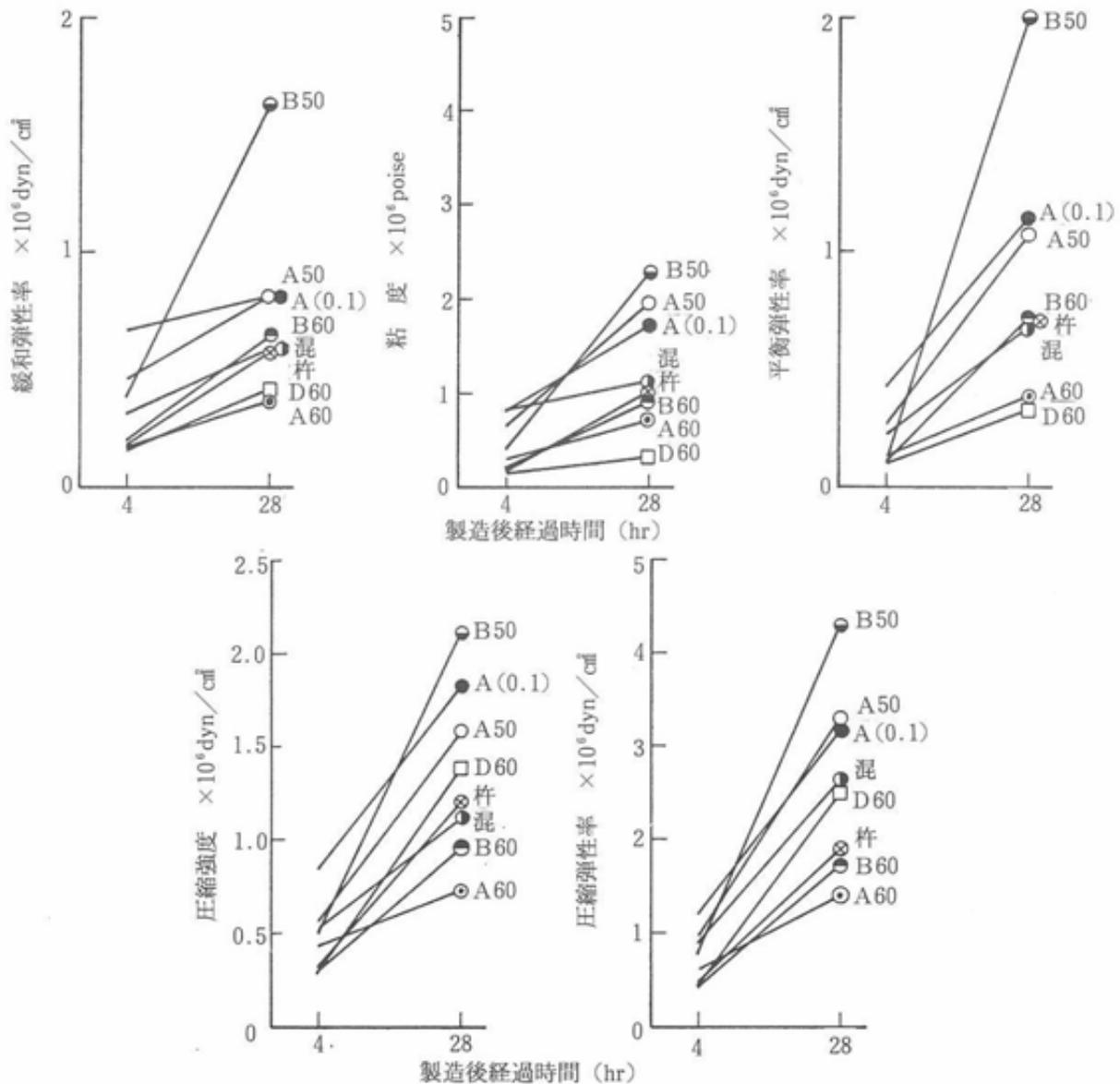
各粘弾性値の上昇傾向を比較すると圧縮強度、圧縮弾性率及び平衡弾性率において変化が大きく、緩和弾性率、粘度の変化が小さかった。

各生地の保存後の各粘弾性値の変化は一様でなく、米粉B・加水率50%の生地の各値が非常に大きくなり、これに対し加水率の多い生地及び杵搗の生地の値はあまり上昇しなかった。加水率60%の生地では米粉Dが圧縮試験では大きな値を示したが応力緩和試験の各値は非常に小さく他と異なっていた。米粉Dの生地では米粉の未崩壊粒子が多く残っていて圧縮試験のような短時間の圧縮においては粒の抵抗が大きいが、応力緩和のような長時間の変形においては未崩壊粒の周囲を取巻く糊の部分の粘度が小さく、流動が起こりやすく、このため低い粘弾性値を示したものと推定される。

これらの結果から水分が多く粒の崩壊の進んだ生地(杵搗、米粉A・60%)、水分が多くても吸水率が低いため、膨潤の少ない未崩壊粒が多い生地(米粉D・60%)などが硬化の少ない生地となることがわかった。



第9図 各試験条件で製造した団子生地の圧縮試験の粘弾性値
記号の説明は第8図と同じ



第10図 製造要因の異なる団子生地での保存による粘弾性変化 (10°C保存)
記号の説明は第8図と同じ

冷蔵中の生地の変化について永島²⁾は糯米にくらべて粳米は保存時間が長くなるほど糊化度が大きく低下し、老化しやすく、また、糊化後の米澱粉は米細胞から外へ澱粉ペーストとなって流出している割合が多いものほど老化の進行が速いことを認めている。団子生地においても粒子の崩壊したペースト部分の保存中の老化が生地の硬化に影響しこのような結果になったと考えられる。

また、粒度の異なる糯粉で調整した餅生地について調製時間の短いものは気泡が少なく、標準の餅生地より冷蔵中の粘弾性値は大きくなるが、柔らかく、よく伸び食べやすいことを明らかにしている³⁾。このこと

から、米粉製品の物性は、その組織構造、製造方法、生地中に含まれる気泡の量などにより異なり、食味も大きく変わるものと思われる。

団子の場合も蒸練と杵搗に粘弾性にかなり差が認められたので、保存中の老化の度合いや食味の変化について、更に、詳細な検討が必要と考える。

要 約

蒸練機の加工特性を知るため、蒸練機により団子の製造を行うときの品質に及ぼす諸要因(米粉の種類、蒸練機の加水量、タンク内蒸気圧等)の影響を検討す

るとともに、餅搗機により製造した団子との物性の比較を行った。

1. 原料米粉として胴搗粉2種、胴搗粉粗粒粉及びロール粉1種を使用した。米粉の粒度は胴搗粉は各粒度区分がほぼ均等に存在し、胴搗粉粗粒粉では200メッシュ以上が80%で145~80メッシュが50%以上を占めていた。ロール粉は100~80メッシュが50%を占める粗い粉であった。

外観は胴搗粉が角のとれた丸い形で表面に澱粉粒が露出していた。ロール粉は角ばった大きな粒子で表面がなめらかで澱粉粒はほとんど見られなかった。吸水率はロール粉が胴搗粉に比べて非常に低く、粒構造の差と考えられた。胴搗粉間の差は少なかった。米粉のアミログラムはロール粉は胴搗粉に比べて最高粘度が低く、50℃冷却後の粘度も低かった。また、胴搗粉粗粒粉も胴搗粉に比べ粘度が低かった。

2. 蒸練機で製造中の団子は製造時間が長くなるにつれ水分含量は増加し、粘弾性値は低下した。製造された団子は加水率が多い団子は粘弾性値が低く、また、タンク内蒸気圧は高い方が水分含量が多く、粘弾性値が低かった。

3. 蒸練と杵搗を比較すると水分の同程度の団子にお

いては蒸練よりも杵搗の方が粘弾性値が低く、柔らかな団子であった。団子の組織の顕微鏡観察から、蒸練は加熱により糊化した粉粒子の表面が練られることにより崩壊し、生地中にかなり粗い組織が存在する団子になるのに対し、杵搗では糊化した粒子が圧縮されほぐされるように崩壊し粒径が平均的に小さくなった団子になることが認められた。

4. 団子の保存中の粘弾性の変化は水分の多い団子ほど小さく、水分の影響の大きいことが認められた。また粒子の崩壊の程度も保存中の粘弾性に大きく影響し、杵搗のような未崩壊粒子の形状の小さい団子やロール粉のような、水分が多く、かつ、未崩壊粒子の多い団子の粘弾性の変化が小さかった。

文 献

- 1) 谷地田武男・中島幸一・金子町子：新潟食品研報告, 11, 37-49 (1970)
- 2) 永島伸浩：澱粉化学, 39, 23-49 (1992)
- 3) 永島伸浩・小板由美子・川端晶子・中村道徳：応用糖質科学, 41, 366 (1994)