複合フィルム袋の衝撃落下による内圧変化に関する研究*

二瀬克規^{*1}, 島本 聡^{*2}, 高橋 賞^{*3}Changes in Internal Pressure of Composite Film Packages
by Their Drop Impact

Katsunori FUTASE, Akira SHIMAMOTO and Susumu TAKAHASHI

The consumption of plastic containers used for packing foods was steadily increased in recent years, and so was the percentage in industrial waste. Attracting attention under these circumstances is the composite film with which the consumption of plastics can be reduced to 1/3-1/10 in weight of that required for hard plastic containers and which can be compressed to small volume after use. The subject focused up here relates to flexible packages which facilitate economical utilization of plastics made from limited resources of petroleum and effective reduction of plastic wastes. In particular, dynamic experiments were conducted to determine the causes of breakage during transportation of the packages containing liquid, for different viewparameters points including temperature and internal pressure of contents, and to clarify interrelationships among physical characteristics of film, types of contents and external force, in an effort to establish safe and economical transportation of products.

Key Words: High-polymer Materials, Laminated Construction, Delamination, Plasticity, Composite Material

1. 緒 言

近年, 容器包装に比べ1/3~1/10のプラスチックの減量化が可能なフレキシブルフィルム包装は, 年々, 増加の一途をたどり, 中でも液体包装分野での増加は著しいものがある。

しかし, 液体を充てんし梱包, 保管, 輸送を経て店頭で陳列し, 使用されるまでにはさまざまな力が液体包装フィルムに加わり破袋(袋が破けること)によるクレームの原因となっているのが現状である。そこで, 破袋の原因となるフィルムの基礎的な機械的性質および, フィルムに働く各々の力の関係を調べることで, 破袋の主たる原因を明確にし, 安全対策を講じることが必要となってきた。

しかし, これらのフィルムのほとんどは, プラスチックの複合フィルムであり, 温度の影響を受けやすい。また, 形状がフレキシブルなため, 再現性の高いデータを得ることが困難であり, 適切な実験方法が確立

されていないため, 十分な研究がなされていないのが現状である。

そこで本研究ではできるだけ実状にかなう実験方法の確立と, 破袋の原因と対策について理論的および実験的に明らかにするとともに, 安全性の高い経済的なフレキシブルフィルムの設計ならびに適切な取扱い方法について検討を行った。

2. 供試材および実験方法

2・1 供試材 本実験に用いた供試材は, 一般に液体包装袋に用いられているラミネートフィルム(ナイロン+ポリエチレン+エチレン酢酸ビニル共重合物)で四方ヒートシールによる試料袋を製作した(図1参照)。また, 衝撃落下実験に用いた試料袋は, 最初に三方ヒートシートを施した後に, 小袋に封入したストロングゲージ式圧力センサを試料袋に入れ固定し, 水を注ぎ入れて空気を完全に脱気した後にヒートシールにより密封した。その寸法形状を図1と表1に, 機械的性質を表2に示す。

2・2 実験方法 本実験においては図2に示すように試料袋内(袋寸法: 100 mm×100 mm)に, 水 140 ml と上下部においては圧力差(水頭)が異なると思われるので上下部の圧力を測定するためにセンサ A と

* 原稿受付 平成5年7月27日。

^{*1} 正員, 大成セラミック KK (●349-02 埼玉県南埼玉郡白岡町篠津 778-2)。^{*2} 正員, 埼玉工業大学機械工学科 (●369-02 埼玉県大里郡岡部町不済寺 1690)。^{*3} 正員, 関東学院大学工学部機械工学科 (●236 横浜市金沢区六浦町 4834)。

Bをそれぞれ小袋に挿入したストロングゲージ式圧力センサ[超小形圧力変換機(PS-2 KA)]を入れ, 上下部にヒートシールして固定した後, 四方シールで密封した。実験に際しては図3に示す装置を用いて五段階の高さ $H=100, 200, 300, 400, 500$ mm から試料袋を落下させ, プレートが受ける衝撃力 F と袋の内圧力 P_A, P_B の変化を同時にデジタルストレージスコープを用いて測定した。

表1 ラミネートフィルムの断面寸法

①Nylon	$t=0.015$ mm
②Polyethylene	$t=0.030$ mm
③Ethylene Vinylacetate Copolymer	$t=0.030$ mm

表2 ラミネートフィルムのヒートシール部の機械的性質(N/15 mm)

Heat-seal Position	①	②	③	④
Tensile Strength (N)	50.9	50.2	50.4	50.5

ただし, 引張速度 $V=200$ mm/min である。

図1 試料袋の寸法形状

z : 袋の厚み (27 mm)
 h_A : 上部センサの水頭 (1 mm)
 h_B : 下部センサの水頭 (26 mm)
 P_A : 上部センサに加わる圧力 [MPa]
 P_B : 下部センサに加わる圧力 [MPa]

図2 水を充てんした試料袋の断面形状

3. 実験結果および考察

3.1 実験装置および試料袋の検定

(a) 実験装置の検定 本実験に用いた装置の検定を行うためにプレートに重さ $W=0.98, 1.96, 2.94$ N の3種類の鉄球を高さ $H=100$ と 500 mm から落下させ, プレートに加わる衝撃力について調べた。その結果を図4に示す。図4からわかるように落下高さ $H=100$ mm と 500 mm はともに鉄球の重さが増加するに従って衝撃力も増加し, 両者はともに良好な比例関係にあることが確かめられた。

(b) 試料袋の検定 本実験に用いた試料袋の内圧力を検定するために試料袋をプレート上に置き, その上にプラスチックプレート (100 mm×100 mm×2 mm) を平行に乗せて重さ $W=0.98, 1.96, 2.94, 3.92$ N の4種類の鉄球を用いて, 高さ $H=100$ mm と 200 mm から鉄球をプラスチックプレート上に落下させ, 袋内の内圧力の変化を調べた。その結果を図5に示す。図5からわかるように袋の内圧力の変化は, 鉄球の重

図3 衝撃落下の実験装置

図4 衝撃落下に伴う鉄球の重さ (W) と衝撃力 (F) の関係

さの増加に伴って増加し、実験した全範囲内にわたって良好な比例関係にあることが確かめられた。

したがって、本方法が液体包装袋の衝撃落下実験に有用であることが確かめられた。

3.2 静圧下におけるフィルムのヒートシール強さ (T) とプレートに加わる力 (F) の関係 従来、液体包装の破袋強さを調べる場合は、密封軟包装袋の試験方法⁽¹⁾(JIS-Z 0238-1981 の耐圧圧縮強さ試験)によるが、一般には平行に接したプレートの間の袋をはさみ、徐々に力を加えて破袋強さを求める方法が用いられている。

液体包装袋の破袋部のほとんどがヒートシール部に集中していることから破袋強さとヒートシール強さの関係を求めることは液体包装の破袋強さを考える上で重要である。

一般的に、破袋強さとヒートシール強さの関係を求める場合、内容量や袋の形状がフレキシブルに変化する液体包装袋の破袋の関係を明らかにすることは極めて困難であった。そこで、著者らはこれらのことを勘案し、破袋強さとヒートシール強さの関係の方程式化を試みた。破袋直前におけるプレートに接触していない部分の断面形状は袋の厚さ z (プレート間長さ) を直径とする半円となり、ヒートシール部近傍においては、ほぼ 180 度はく離の状態を示すことから、ヒートシール部に加わる単位長さ当たりのはく離力 T は、破袋強さに正比例し、破袋強さは内容量に反比例する。

また、図 6 に示すようにプレートに加わる外力 F により袋の内圧力 P は均等に分布し、プレートに接触していない部分の面積がその袋に加わる外力 F を支持する。したがって、式(1)により示される。

$$T = \pi z(x+y) \times \frac{F}{2xy} \times \frac{1}{2(x'+y')} \dots\dots\dots (1)$$

図 5 衝撃落下に伴う鉄球の重さ (W) と試料袋の内圧力 (P) の関係

ここで

x : プレートに接触している袋の一辺 [mm]

y : プレートに接触している袋の他の一辺 [mm]

z : 袋の厚み(プレート間長さ) [mm]

T : ヒートシール部を上下方向に引き離そうとするはく離力 [N/mm]

F : 袋が支えている外力(破袋強さ) [N]

$\pi z(x+y)$: ベースとプレートに接触していない部分の面積 [mm²]

$2xy$: 袋の全接触面積 [mm²]

$2(x'+y')$: ヒートシールの長さ [mm]

式(1)を簡略化するために $x'=x$, $y'=y$ とすると式(2)となる。

$$T = \frac{\pi z F}{4xy} \dots\dots\dots (2)$$

3.3 静的圧力下における計算値と実験により得られた破袋強さの関係 本実験では式(2)より得られた値と破袋実験による結果の検証を行うために、ラミネートフィルム袋に水を封入し、四方を密封した2種類の試料袋(ヒートシール内側の寸法を $x=50$ mm, $y=50$ mm と $x=100$ mm, $y=100$ mm)を用いて、2枚のプレートにはさんだ後、ロードセル型圧縮試験機で圧縮速度 $V=50$ mm/min で荷重を加えて破袋させた。また、袋内の水の量を変えた場合、袋がプレートに接触している一辺の長さ x , 他辺の長さ y , 袋の厚み

図 6 プレート間にはさまれた袋の模式図

z を実測し、破袋実験を行った。

ただし、 x, y の測定は破袋と同時に行う必要があり、富士フィルムのプレスケール(超低圧タイプ)を用いて最大値を測定した。実験ならびに式(2)より得られた結果を図7に示す。図7からわかるように2種類の袋寸法 $x=50\text{ mm}$, $y=50\text{ mm}$ と $x=100\text{ mm}$, $y=100\text{ mm}$ は、ともに水の量の増加に伴って、袋の厚み z は厚くなり破袋強さは低下する。しかし、実験値と式(2)より得られた値を比較した場合、実験値のほうがわずかに高い値を示し、両者はほぼ近似することが確かめられた。このことは計算に用いた袋の x, y の長さがプレスケールの感度が低いために実際の長さよりも小さく表示されるためと思われる。

液体包装袋の破袋はヒートシール部に集中し、ヒートシール強さが強くなるに従って破袋強さ F も増加する。したがって液体包装袋の設計に際してはヒートシール強さの水の量の変化に伴うプレートに接触している袋の辺の長さ x, y と袋の厚み z を考慮せねばならないことが確かめられた。また、本実験の結果、1個の袋に加わる加重が内圧を増加させた場合のヒートシール部に加わる力は極めて小さなものであり、破袋の原因は袋の積層加重(梱包時に袋が積み重ねられた状態の荷重)による内圧の増加や、ヒートシール部の高分子材料の特性⁽²⁾である衝撃力に弱い点などが破袋に大きく関係しているものと思われる。

3.4 衝撃落下に伴う内圧力の増加と時間の関係

液体包装袋の破袋は流通過程で袋自体が運動し破袋することから袋自体の衝撃落下の影響による強さを求めることは破袋の原因を知るうえで重要な課題である。

図7 試料袋の厚み(z)を変化させたときの
実験値と計算値の関係

一般に軟包装袋の試験方法⁽¹⁾は(JIS-Z 0238-1981)袋の落下強さ試験法による。

しかし、破袋の原因は衝撃力による内圧力の増加によることから、本実験では衝撃落下による袋の内圧力の変化 P_A, P_B, F (袋に加わる力)を経時的に求め、破袋原因である袋が水を支えることにより発生する内圧力 P_c について検討した。その結果を表3と図8に示す。図8は試料袋(水 140 ml)の衝撃落下実験により得られた内圧力 P_A, P_B の増加と時間の関係を示したものである。

図8からわかるように試料袋を高さ $H=100\text{ mm}$ から落下させた場合、試料袋の内圧力は落下前の $P_A=0.245 \times 10^{-3}\text{ MPa}$, $P_B=0.490 \times 10^{-3}\text{ MPa}$ であったのに対し、落下中、すなわち、42 ms に達した時点で P_A, P_B はともに落下速度 V が重力加速度 G に等しくなると、零となる。さらに試料袋がプレートに接触する 132 ms では、 P_A, P_B, F (プレートに加わる衝撃力)の増加が同時に始まり、 P_B, F はともに、150 ms でピークに達し、 $P_B=2.352 \times 10^{-3}\text{ MPa}$, $F=4.773\text{ N}$ に達

表3 試料袋内の内圧変化(P_A, P_B)と
衝撃力(F)と時間(t)

$t\text{ (ms)}$	0	42	132	150	165	200
$P_A \times 10^{-3}\text{ MPa}$	0.245	0	0	0.650	0.784	0
$P_B \times 10^{-3}\text{ MPa}$	0.490	0	0	2.352	1.988	0
$F\text{ (N)}$	0	0	0	4.773	4.500	0

図8 試料袋の内圧変化(P_A, P_B)ならびに衝撃力(F)と
時間(t)の関係($H=100\text{ mm}$)

することが確かめられた。また、 P_A のピークは、 P_B 、 F に比して、15 ms 遅れた時点、すなわち、165 ms でピーク $P_A=0.784 \times 10^{-3}$ MPa に達する。 P_A 、 P_B 、 F はともに、200 ms に達した時点で、バウンドした後に安定することが確かめられた。

このことは、試料袋内の水が衝突時に、プレート上に水平に広がろうとする力によって、試料袋内下部の内圧力 P_B が先に増加し、後に試料袋内上部の内圧力 P_A のピークがやや遅れて現れるためによるものと思われる。

内圧力 P_A 、 P_B と落下前の試料袋内の圧力を P_{Ah} 、 P_{Bh} 、水頭を h とすると $P=\gamma h$ により与えられる⁽³⁾。したがって、水頭圧力 P_{Ah} 、 P_{Bh} は式(3)より求められる。

$$\left. \begin{array}{l} P_{Ah} = \gamma h_A \\ P_{Bh} = \gamma h_B \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

式(3)により

$$P_{Ah} = 9.8 \text{ N/m}^2$$

$$P_{Bh} = 25.48 \text{ N/m}^2$$

ただし、

$$\gamma : 9.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3$$

$$h_A : 0.001 \text{ m}$$

$$h_B : 0.026 \text{ m}$$

$$P_{Ah} : \text{上部センサの水頭圧} \quad [\text{N/m}^2]$$

$$P_{Bh} : \text{下部センサの水頭圧} \quad [\text{N/m}^2]$$

となり袋が水を支えることにより発生する内圧力 P_c は、式(4)より求められる。

$$\left. \begin{array}{l} P_c = P_A - P_{Ah} \\ P_c = P_B - P_{Bh} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、

$$P_A : \text{上部センサの内圧力} : 245 \text{ N/m}^2$$

$$P_B : \text{下部センサの内圧力} : 490 \text{ N/m}^2$$

$$P_c : \text{袋が水を支えることにより発生する内圧力} \quad [\text{N/m}^2]$$

ゆえに、 P_c の値は 0.235×10^{-3} MPa (表 6 参照) となることが確かめられた。

3.5 落下高さの変化による試料袋の面積と衝撃力の関係 落下高さ H の変化による接触面積 A 、衝撃力 F および、接触圧力 P の関係を表 4~6 と図 9 に示す。

表 4~6 および図 9 からわかるように落下高さによる接触面積 A の変化は極めて少ないことが確かめられた。このことは、落下高さ H による接触圧力 P に及ぼす影響は、接触面積 A よりも衝撃力 F の影響のほうが大きいことによるものと思われる。また、水の重さ $G=1.372 \text{ N}$ (表 4 参照) の袋がプレートに接触する平均面積 $A=5827 \text{ mm}^2$ (表 5 参照) で除した値 0.235×10^{-3} MPa と内圧力 P_c (表 6 参照) は、ほぼ一

表 4 試料袋の落下高さ (H) と衝撃力 (F)

Drop Impact F (N)	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
Falling Height H (mm)					
0	1.372	1.372	1.372	1.372	1.372
100	6.548	7.673	4.773	7.075	8.232
200	8.575	7.350	11.054	9.133	10.349
300	14.290	9.988	11.182	10.593	11.760
400	12.760	15.053	14.582	10.711	13.798
500	17.914	12.975	14.720	13.377	14.161

ただし、添字は試料袋のサンプル番号を示す。

表 6 試料袋の落下高さ (H) と接触圧力 (P)

Contact Pressure P ($\times 10^{-3}$ MPa)	P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}	P _{c5}
Falling Height H (mm)					
0	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235
100	1.078	1.274	0.786	1.176	1.372
200	1.372	1.178	1.763	1.470	1.666
300	2.254	1.568	1.764	1.666	1.862
400	1.969	2.352	2.254	1.664	2.148
500	2.752	1.969	2.264	2.058	2.155

ただし、添字は試料袋のサンプル番号を示す。

表 5 試料袋の落下高さ (H) と接触面積 (A)

Contact Area A (mm ²)	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Falling Height H (mm)					
0	5830	5815	5842	5826	5822
100	6072	6022	6095	6025	6006
200	6254	6250	6277	6211	6217
300	6345	6371	6340	6366	6323
400	6482	6401	6472	6437	6422
500	6511	6598	6503	6500	6576

ただし、添字は試料袋のサンプル番号を示す。

図 9 試料袋の落下高さ (H) と接触圧力 (P) の関係

致していることが確かめられた。

3・6 落下高さと試料袋中の圧力センサの上, 下位置による内圧力の関係 液体包装袋の破袋の原因は流通過程における振動や衝撃落下によることが多い。

そこで, 破袋原因を明らかにするために, 試料袋の落下高さを変化させて衝撃力が試料袋の内圧力に及ぼす影響について検討した。

その結果を, 図 10 に示す。図 10 からわかるように落下高さが高くなるに従って内圧力, P_A , P_B は, ともに増加し, P_A , P_B の比は静止状態で 2 倍であったのに比して, 落下高さ $H=500$ mm では, 2.7 倍にも増加していることが確かめられた。

このことは静的条件よりも衝撃力によって同様な試験袋であっても内圧力の分布に大きな差が生じるためによるものと思われる。

以上の結果からわかるように液体包装袋の設計に際しては十分に水頭 (h) を考慮せねばならないことが明らかになった。

4. 結 論

液体包装袋の破袋は流通過程における種々な外力により発生し, 特に落下による衝撃力は大きな破袋の原因となっている。しかし, 液体包装袋それ自体を落下させた実験方法は, いまだ確立されていないのが実情である。

そこで, 外乱をできるだけ抑えるために本実験では 1 個の液体包装袋の衝撃落下実験を行い, 内包された液体の挙動と, 破袋の原因に最も関係の深い内圧力 P_c を求め, 次のような知見が得られた。

(1) 試料袋のプレートの接触圧力は, 接触面積 A の変化よりも衝撃力 F によって大きな影響を受けることが確かめられた。

(2) 静止状態における袋の上, 下部の内圧力 P_A , P_B の比は 2 倍であったのに対し, 高さ $H=500$ mm

図 10 試料袋の落下高さ (H) と圧力センサの上, 下位置による内圧力 (P_A , P_B) の関係

から落下の場合は 2.7 倍に増加することが確かめられた。

(3) 衝撃落下時には水頭 h_B が大きい袋ほど袋の底部内圧 P が増加し, 袋の底部の破袋に集中することが確かめられた。

(4) 破袋の原因は袋に加わる衝撃加重よりも積層加重による内圧の増加が大きく影響するものと思われる。

(5) 以上の結果から液体包装袋の設計に際しては衝撃方向に対して袋の厚み z を薄くすることが破袋防止に有効な方法であることが確かめられ, 破袋に関する有効かつ実用的実験方法を確立した。

文 献

- (1) JIS ハンドブック, 物流・包装, (1991), 643, (財)日本規格協会。
- (2) 古川, 高分子物性, (1987), 85, (株)化学同人。
- (3) 機械工学便覧, (1988), (社)日本機械学会。