

一般論文

袋型容器の剥離開封の幾何学的検討

若井宗人*、松野 一郎*、菅原 宏智*

Geometric Study on the Peel-open of Pillow Pouches

Muneto WAKAI*, Ichiro MATSUNO* and Hirotomo SUGAWARA*

イージーピール包材を使用したピロー包装袋の剥離開封メカニズムの幾何学的解析と開封強度の簡易推算方法を開発することを目的に研究を行った。ピロー包装袋を剥離開封し開封面の長さ変化を観察した結果から、ピロー包装袋開封時の開封面の長さ変化の幾何学モデルと開封面の長さ変化の推算式を開発した。実際に推算式より導いた開封強度の推算値と引張試験機を用いて測定した実測値は、概ね一致し推算式の妥当性を証明することが出来た。更に幾何学モデルおよび推算式を用いて開封時の摘み位置が開封強度に与える影響を検討した結果、摘み位置からシール部までの距離が近い程、少ない力で開封できることが証明された。また、推算式を応用し最大開封強度を低く抑えた袋形状を設計することができた。このことから本推算式は易開封袋設計にも応用可能であることが確認できた。

In this study, we developed an equation to calculate the peel strength of the pillow pouches based on the consecutive observation of the peel-open of the pouches using the newly developed geometric model. The peel strength values are theoretically calculated from the equation corresponding to the actual measured values; thus we confirmed the validity of our estimation method. The estimation method also revealed that the pinch position was related to the peel strength. These results enabled the design of the heat-seal shape which allow it to open with less force than standard heat-seal shapes. The estimation method presented here can be applied for easy estimation of the peel strength of the pouches with a peelable film.

キーワード：ピロー包装袋、イージーピール包材、剥離開封、剥離試験、開封面の長さ、開封強度

Keywords : Pillow pouch, Peelable film, Peel-open, Peel test, Peeling line, Peel strength

1. 緒言

昨今、ユニバーサルデザインの考え方が社会に浸透しはじめ、包装分野においても容器の開け易さが今まで以上に重要

視されるようになってきた。しかし、実際に様々な易開封商品が上市されているが易開封の機構を学問的に捉え分析している例は少ない。

カップ型容器¹⁾、深絞り成形型容器²⁾

* 雪印メグミルク株式会社(〒350-1165 埼玉県川越市南台1丁目1番2),
Megmilk Snowbrand Co., Ltd. 1-1-2 Minamidai, Kawagoe-shi, Saitama 350-1165, Japan
TEL:049-242-8147, FAX:049-242-8696, Email:m-wakai@meg-snow.com

については開封機構について検討し、単位接着長さ当たりの剥離強度[N/m]と開封時の開封面の長さ[m]から算出した開封強度[N]と実測値が概ね一致することが報告されている。しかし、袋型容器について開封機構を検討し、開封強度の推算方法を検討した報告はない。

本研究では、Fig.1 に示すようなイージーピール包材を使用したピロー包装袋の剥離開封に着目し、剥離開封メカニズムの幾何学的解析と開封強度の簡易推算方法の開発について検討を行った。その結果について報告する。



Fig.1 Photograph of a pouch being opened

2. ピロー包装袋の剥離開封理論

2.1 袋の剥離の考え方

イージーピール包材、特に凝集剥離する包材の開封強度(F)[N]は、シール部剥離界面の長さ(開封面の長さ:L)[m]と単位接着長さ当たりの剥離強度(単位剥離強度:P)[N/m]との積で表される。ここで、単位剥離強度(P)は再現性がある一

定のヒートシール条件下(加熱温度、加熱圧力、加熱時間)であればフィルム固有の値として考えることができる。

$$F = L \times P \quad (1)$$

上記の考え方に基づけば、一定の条件下におけるフィルム固有の単位剥離強度(P)を測定し、袋を開封する際の開封面の長さ(L)の変化を数式化することができれば、袋の開封に必要な力(開封強度:F)を推算することができる。

2.2 袋開封時の開封面の変化の観察

凝集剥離タイプのイージーピール包材を用いて製袋したピロー袋を実際に剥離開封し、開封面の長さ(L)の変化を連続的に観察した。

開封時の開封面の長さ(L)の変化をFig.2左図に示す。図に示されるように開封面の長さ(L)は開封に従い徐々に長くなり、開封面の長さ(L)の一端がシール部の上側に到達すると、シール部の上側が左右に移動し始め開封面の長さ(L)はシールに対して角度を大きくしながら短くなる。開封面の長さ(L)の変化を平面的に重ね合わせるとFig.2右図のようになる。実際に袋の開封の変化を観察してみると、開封面の長さ(L)の変化には規則性が認められることが分かった。

そこで、開封面観察結果から得られた規則性に関し幾何学的な考察を行った。

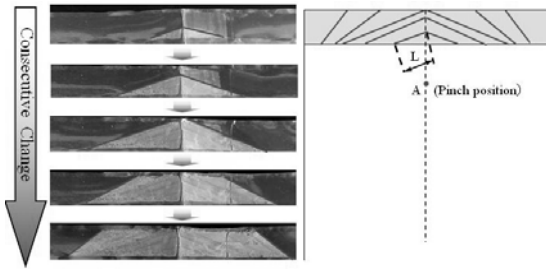


Fig.2 Consecutive observation of peel-open behavior for a standard pillow pouch

2.3 袋の開封強度の推算式

前項の開封面の長さ(L)の変化を幾何学的に考察した結果を Fig.3 に示した。図に示されるようにフィルム表面の摘み位置(力点:A)とその裏側に位置するセンターシールを持ち、フィルムに対して垂直方向に引張って開封する場合を考える。この時、力は力点(A)を中心として同心円状に広がると仮定する。開封面の長さ(L)は、力点(A)と同心円とシール部の中心線の交点および同心円とシール部下側との交点によって作られる2等辺三角形の底辺、または、力点(A)と同心円とシール部の上側および下側の交点によって作られる2等辺三角形の底辺として表せる。ここで、力点(A)からシール部までの距離を(a)、シール巾を(w)とした場合、開封面の長さ(L)は、同心円の半径(x)が $a + w$ よりも小さい場合には、下記(3)式より求められる。また、同心円の半径が $a + w$ よりも大きい場合には、下記(4)式より求められる。なお、前項にて包材

の剥離強度(F)は、(1)式に示すようにシール部剥離界面の長さ(開封面の長さ:L)と単位接着長さ当たりの剥離強度(単位剥離強度:P)との積で表されるが、袋の剥離開封の場合、Fig.3 に示すように、摘み位置を通る中心線を対称に2つの剥離界面が生じる。従って、剥離強度(F)は(2)式に示されるように、開封面の長さ(L)の2倍の値と単位剥離強度(P)の積として表される。

$$F = L \times P \quad \dots (1)$$

$$F = 2L \times P \quad \dots (2)$$

$$(x - a) < w : L = \sqrt{b^2 + (x - a)^2} \quad \dots (3)$$

$$(x - a) \geq w : L = \sqrt{(b - c)^2 + w^2} \quad \dots (4)$$

但し、 $b = \sqrt{x^2 - a^2}$, $c = \sqrt{x^2 - (a + w)^2}$

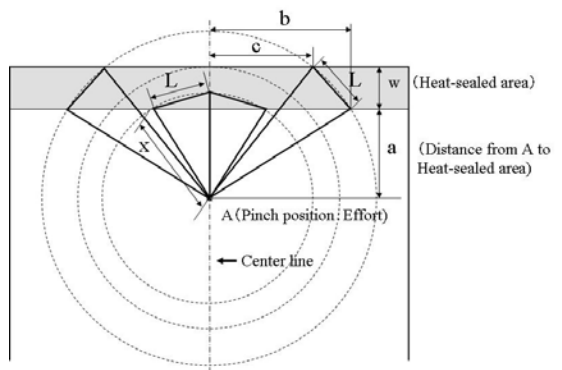


Fig.3 Geometric model of the peel-open process of a standard pillow pouch

3. 実験方法

3.1 試料フィルム

試料に用いたフィルムの性状を Table 1 に示す。一般的である凝集剥離タイプのイージーピールフィルムを用いた。フィルム A および B はグンゼ(株)製の接着層(シーラント)を用い、フィルム C および D には三井化学東セロ(株)製のシーラントを用いている。なお、各フィルムを製袋する際のヒートシール条件には、剥離強度のばらつきに大きく影響するシーラントのはみ出しや流れ出しの発生を極力無くした条件を用いた。

Table 1 The list of pouch materials

No.	Film construction	Thickness
A	OPP(20)//EP-1(30)	50 μ m
B	OPP(20)//ES-1(30)	50 μ m
C	PET(12)//KT-9361(30)	42 μ m
D	PA(15)//PA(15)//CMPS(50)	80 μ m

3.2 単位剥離強度の測定

開封強度(F)の推算に必要な単位剥離強度(P)の測定を行った。測定には、試料フィルムをシール巾(w)10mm で既定の寸法に製袋シールしたサンプル袋のシール部分を切り出して用いた。尚、ピロー袋の場合には、Fig.4 に示すようにエンドシール部とセンターシールが重なる領域(フィルムが4枚重ね)と重ならない領域(フィルムが2枚重ね)が存在し、各々の領域では製袋時にかかるシール圧や熱が異なるため単位剥離強度(P)も異

なることが予想された。そこで、これらの領域を製袋した袋から各々短冊状に切り出し、サンプルとした。測定には、引張試験機(TG-50kN (株)ミネベア製)を用い、Fig.5 に示すように JIS 法³⁾に基づき、巾15mm、長さ100mmのフィルムを、ヒートシール部を中心に180°開き、試験片の両端を引張試験機のつかみ治具に取付け、300mm/minの速度で引張り剥離させ、その間の最大荷重[N/15mm]から単位剥離強度(P)[N/m]を算出した。但し、フィルムが4枚重なる領域はセンターシール巾に合わせ巾を10mmとした。

3.3 開封性強度変化の推算値と実測値の比較

前記4種類のフィルムを用いて推算式から導き出した開封強度(F)の変化と実際に袋を開封した際の開封強度(F)の変化を比較評価し開封の幾何学モデルと推算式の妥当性を検証した。推算値は前述した推算式に各パラメーターを入力し求めたが、力点(A)からシール部までの距離(a)の値は30mmとし、同心円の半径(x)の値は1mm刻みで連続的に変化させた。実測値は各フィルムを規定の寸法に製袋した後、袋表面の力点(A)の位置を推算式と同位置に定めセンターシールと袋表面をチャックでつまみ、3.2と同様な方法で剥離開封を行い、この時の開封強度を求めた。測定は23±5%RHの恒温恒湿条件下で行った。

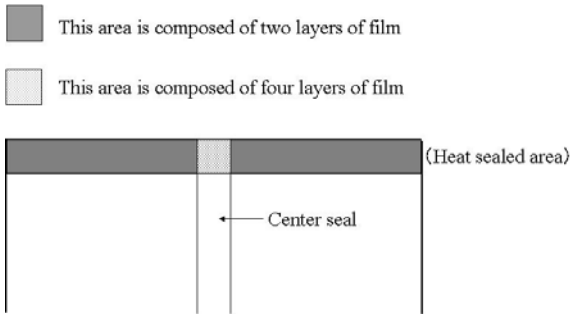
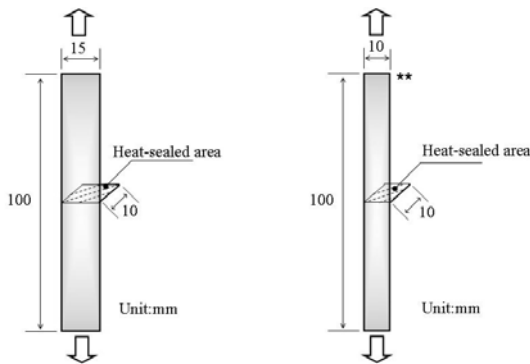


Fig.4 Schematic diagram of the heat-sealed area



* This specimen was cut from the area of two layers of film
 ** This specimen was cut from the area of four layers of film

Fig.5 Example of the peel test

3.4 摘み位置が開封強度に与える影響の検討

推算式を用いて力点(A)となる摘み位置からシールまでの距離(a)が開封強度(F)に与える影響についてフィルム D を用いて検討した。

力点(A)からシール部までの距離(a)を15mm、30mm および 45mm に設定し、推算値と実測値の比較を行い開封強度(F)の変化を調べた。

3.5 包装設計における開封の幾何学モデルの応用検討

包装設計において、フィルムの単位剥離強度(P)から袋の最大開封強度(F_{max})を予測することができれば、試料の作成や評価の繰り返しを省くことができ、検討期間の短縮化や迅速化を図ることができる。

例えば、高齢者女性をターゲットとした製品を設計する場合、高齢女性の引っ張り力²⁾を考慮し袋の最大開封強度(F_{max})を 20N 以下とすることが望ましいが、今回の簡易推算方法が妥当であれば、各フィルムの単位剥離強度を知るだけで、この指標(20N)を満たす設計かどうかを瞬時に判断することが可能となる。

そこで、ひとつの実施例として前記 4 種類のフィルムを用い、製品袋にした場合の最大開封強度(F_{max})を評価し指標(20N 以下)を満たすかどうかの検証を行うことで、包装設計への応用を試みた。

なお、力点(A)からシール部までの距離(a)の値は 30mm、シール巾(w)の値は 10mm とした。最大開封強度(F_{max})の推算は、前述 3.2 で求めたシール領域毎(フィルムが 2 枚重ねとフィルムが 4 枚重ねの領域)の単位剥離強度(P)を用いて補正した。推算値および実測値は、3.3 と同様の方法により求めた。

さらに、フィルムが 2 枚重ねの領域の単位剥離強度(P)のみを用いて求めた最

大開封強度(F_{max})の1次式の直線と推算式と実測より求めた最大開封強度(F_{max})の値を比較評価し、シール領域毎の単位剥離強度(P)による補正の必要性についても検証した。

3.6 応用例の検討

今回の幾何学的理論に従えば開封面の長さ(L)を底辺に持つ二等辺三角形の頂点の一つがシール部上側の中心にある時に開封面の長さ(L)は最も長くなり開封強度(F)は最大となることから、開封強度が最大となる時の開封面付近のシール巾を狭くすることや意図的に未シール部を作ることによって開封面の長さ(L)を短くし、最大開封強度(F_{max})を低く抑えることが出来ると考えられる。実際に Fig.6 に示ようにフィルム D を用いてシール巾を部分的に 10mm から 6mm に裁断した袋を作製し開封強度(F)の推算値と実測値を求めた。なお、力点(A)からシール部までの距離(a)の値は 30mm とした。

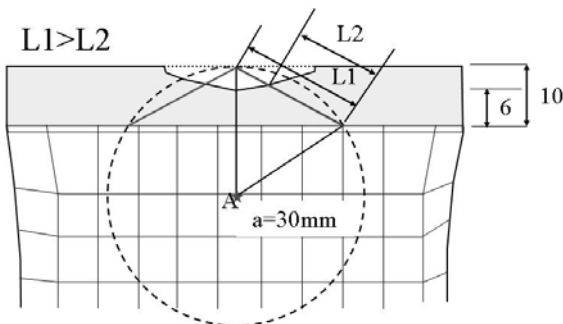


Fig.6 Application example of the estimation method

4. 結果

4.1 単位剥離強度の測定

試験に用いた4種類のフィルムの単位剥離強度(P)を Table 2 に示す。いずれのフィルムもフィルムが2枚重ねの領域とセンターシールが重なる4枚重ねの領域では単位剥離強度(P)が異なった。

全体的に、2枚重ね領域の値は、4枚重ね領域のそれと比較し高い値を示す傾向が見られた。これは、フィルム枚数が増えるほど、中心のシールとへの伝熱量が少なくなることが原因のひとつであると考えられる。

但し、フィルム C では2枚重ねの領域と4枚重ねの領域での単位剥離強度(P)の大小関係が逆転しているが、これはフィルムの厚み、熱の伝わり、シール部のホットタック性等が影響した結果と考えられる。各々の領域での単位剥離強度(P)が異なることから、開封強度(F)の推算を厳密に行うには Fig.7 に示すように、開封面の長さ(L)がエンドシール部のフィルムが2枚重ねの領域と4枚重ねの領域にどのような比率で存在するかを求め、比率分けした開封面の長さ(L)に各々の領域の単位剥離強度(P)をかけて求めるのが好ましいと予想される。特に2つの領域の単位剥離強度(P)が大きく異なる場合や、フィルムが4枚重ねとなる領域が大きい場合は配慮が必要である。

Table 2 Unit peel strength (P) of each film

Film No.	Unit peel strength [N/m]	
	Two layers	Four layers
A	0.26×10^{-3}	0.17×10^{-3}
B	0.38×10^{-3}	0.14×10^{-3}
C	0.63×10^{-3}	0.79×10^{-3}
D	0.78×10^{-3}	0.57×10^{-3}

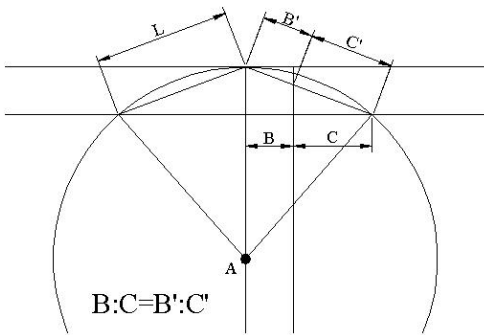
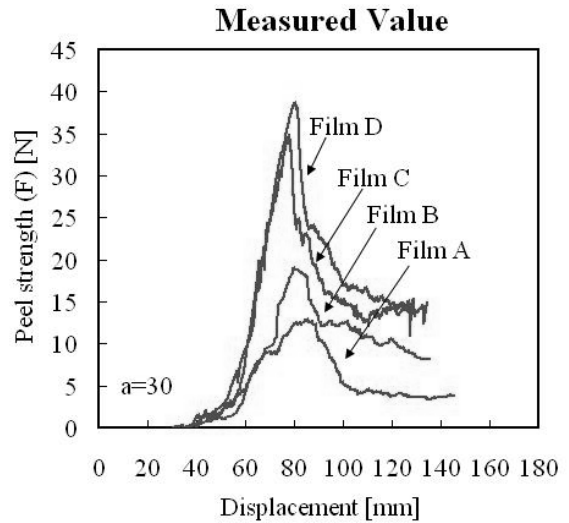
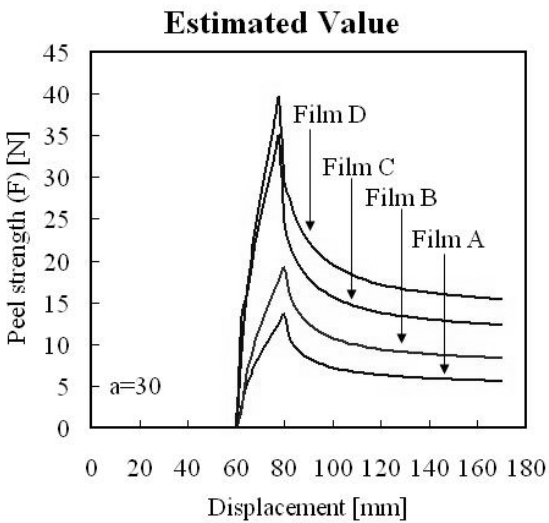


Fig7. Schematic diagram of peeling line according to the heat sealed area

4.2 開封性強度推算値と実測値の比較

推算式より求めた4種類のフィルムの開封強度(F)の変化の推算値と引張試験機を用いて求めた開封強度(F)の変化の実測値を比較したグラフを Fig.8 に示す。推算値の変位には、摘み位置から広がる同心円の半径(x)の2倍の値を用いた。実測値の変位は、引張り試験機の上下チャック間の距離を表す。いずれのフィルムも推算値は実測値に似た波形を示し、開封面の長さ(L)が最大となる近辺でどちらも最大開封強度(F_{max})となり、その後、低下する傾向を示した。この結果から開封の幾何学モデルおよび推算式の妥当性が検証された。

但し、フィルム A および B のグラフのピーク形状がフィルム C および D に比べ



鈍くなっている。これは A,B では剥離開封時に剥離界面の粘りがフィルム C および D に比べ強く滑らかな開封性が得られなかったことに起因すると考えられる。このようにフィルムの性質（剥離界面の粘り、ラミネート強度等）によっては、開封強度の推算は可能であるが、厳密には実測値の波形が推算値とずれる可能性もあり、このずれの補正が今後の課題となる。

4.3 摘み位置が開封強度に与える影響の検討

力点(A)からシール部までの距離の関係を袋平面上に表した結果を Fig.9 に示す。シール巾が一定の条件下では、Fig.9 に示すように力点(A)がシール部に近いほど同心円がシール部上側に接する時、すなわち最大開封強度 (F_{max})の時の開封面の長さ(L)は短くなる。つまり、力点(A)からシール部までの距離(a)が短いほど開封に必要な力は少ないことが予想される。実際に推算値と実測値を比較すると Fig.10 のようになる。この結果より、袋表面の摘み位置（力点：A）が開封強度(F)に大きく影響し、袋表面の摘み位置がシール部に近い程、少ない力で開封できることが分る。また、力点(A)からシール部までの距離(a)と最大開封強度(F_{max})の関係を式で表すと以下のようなになる。

$$F_{max} = 2L \times P$$

F_{max} のとき、 $L = \sqrt{b^2 + w^2}$ となるため、

$$F_{max} = 2\sqrt{b^2 + w^2} \times P \quad \dots (5)$$

として表せる。

更に(5)式に、 $b = \sqrt{x^2 - a^2}$ を代入すると

$$F_{max} = 2\sqrt{x^2 - a^2 + w^2} \times P \quad \dots (6)$$

また、 F_{max} のとき、 $x = a + w$ であるため、

$$F_{max} = 2\sqrt{2aw + 2w^2} \times P \quad \dots (7)$$

となる。

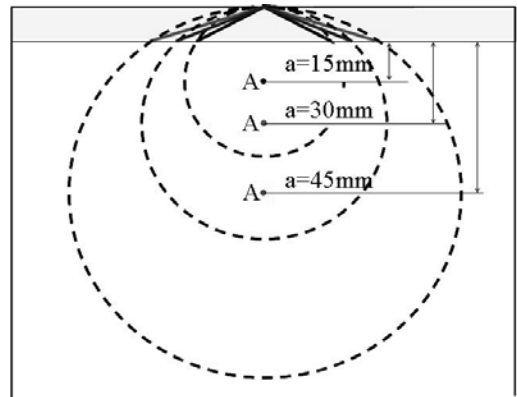


Fig.9 Relation between the pinch position and the corresponding peeling line

(7)式にシール巾(w)および単位剥離強度(P)の値を代入し力点(A)からのシール部までの距離(a)連続的に変化させると Fig.10 の波形の上を示す曲線のような

り、力点(A)からシール部までの距離(a)の値が増加するに従い、最大開封強度(F_{max})も増加する傾向にあることが分かる。

また、今回の幾何学的理論に従えば、開封時の摘み位置を意図的にシール部近くに指示するデザインにすることや、シール部近くを摘み易く(滑り難い加工等)をすることで開封性が向上することが期待できる。

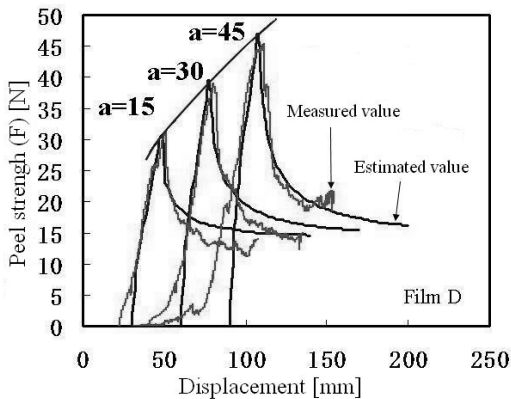


Fig.10 The effect of the pinch position to peel strength

4.4 包装設計における開封の幾何学モデルの応用検討

包装設計への応用を試みる目的で、4種類のフィルムにおいて最大開封強度の比較を行った。Fig.11には、フィルムが4枚重ねの領域も考慮した最大開封強度(F_{max})の推算値と実測値をプロットした。また、比較のため4枚重ねの領域を考慮しない推算値を直線で示している。

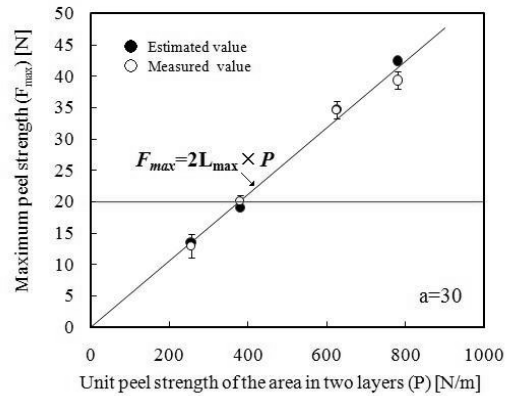


Fig.11 Comparison between maximum peel strength values and the index peel strength value

いずれのフィルムも最大開封強度(F_{max})の推算値と実測値は近い値を示した。また、最大開封強度(F_{max})の指標値とした20N以下に収まる条件は、フィルムAおよびBであることが分かる。

また、今回の試験条件においてはフィルムが2枚重ねの領域の単位剥離強度(P)のみを用いて推算を行った場合(グラフ中の直線)と4枚重ね領域を考慮した場合(グラフ中のプロット)で、顕著な差は見られなかった。厳密な推算には領域毎の単位剥離強度(P)を考慮すべきだが、領域毎の単位剥離強度(P)が大きく異なる場合や、フィルムが4枚重ねの領域が広い場合を除いては、フィルムが2枚重ねの領域の単位剥離強度(P)のみを使用する方が簡便であると考えられる。

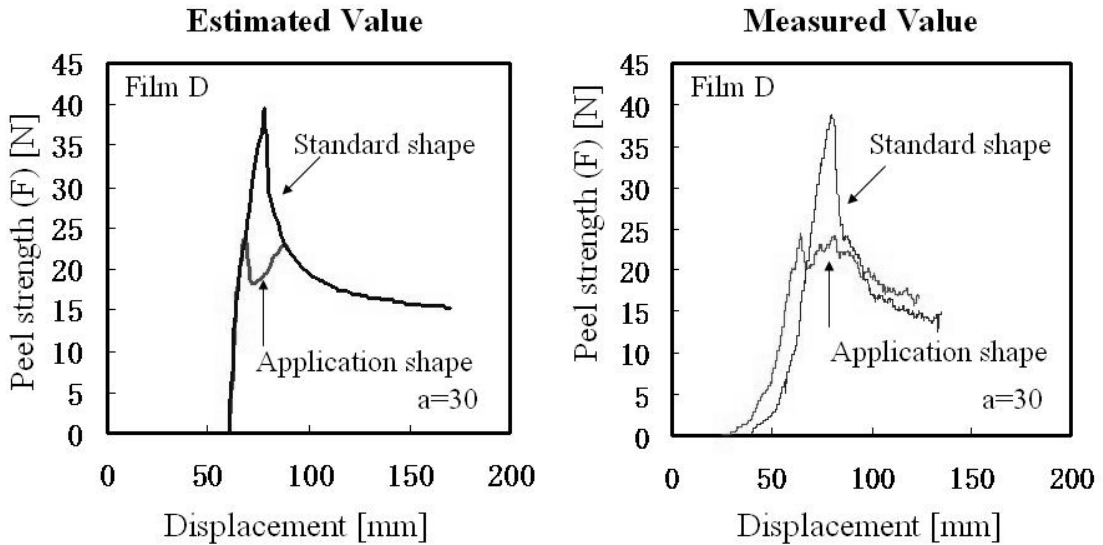


Fig.12 Comparison of the peel strength between the standard shape and the application shape (shown in Fig.6)

4.5 応用例の検討

一般的な直線状のシール形状と応用例のシール巾を部分的に狭くした形状の開封強度(F)の変化を推算値と実測値と比較したグラフを Fig.12 に示す。推算値および実測値ともに最大開封強度(F_{max})が低く抑えられている。また、推算値と実測値は似た波形を示し、異形状のシール形状においても本研究の推算式が利用出来ることが証明された。

5. 考察

従来ピロー包装袋の剥離開封強度(F)を知るにはフィルムの単位剥離強度(P)からの経験的予測と実際に製袋し開封強度を測定する方法が主であった。本研究

によって、ピロー包装袋の剥離開封強度(F)をフィルムの単位剥離強度(P)から製袋することなく推算することが可能になり、易開封袋設計に応用できる可能性が示唆された。

なお、本研究において実測値と推算値のグラフに若干のずれが生じている理由として、推算値は理想的にシールした状態の開封面に係る力を推算したものであり、これに対し実測値はシール面の中での強度のぶれ、フィルムの伸びの影響、フィルム自体を持ち上げる力等が含まれるため、違いが生じたと考えられる。

また、実際に人が袋を剥離開封する際の負荷を正確に評価するには、本研究で論じた垂直方向の動きだけでは語れないと考えている。開封時の手首の動き、そ

れに伴う引張り角度の変化、フィルムの表面性状等多くのパラメーターが関わっていると考えている。今後、更に検討を進めるには人間工学的検討も必要であると考えている。

大会包装学会要旨集、p.306 (2008)
3) JIS Z 0238 (1998)

(原稿受付 2010年10月25日)

(審査受理 2011年4月7日)

6. 結論

- (1) ピロー包装袋を開封する際の開封面の長さ変化の幾何学モデルを開発した。
- (2) ピロー包装袋の開封面の長さ変化を幾何学的解析した結果を基に開封強度の簡易推算式を開発した。
- (3) 推算式が引張試験機を用いて測定した実測値と一致することを確認し、開封の幾何学モデルと推算式の妥当性を証明した。
- (4) ピロー包装袋開封時の摘み位置が開封強度に影響を与えることを証明した。
- (5) 推算式が易開封包装設計に応用できることを証明した。

7. 謝辞

本研究に関する試験サンプルをご提供頂いた各社様に感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) 松野一郎：日本包装学会、第9回年次大会要旨集、p.4 (2000)
- 2) 朝日卓治：第46回 全日本包装技術

袋型容器の剥離開封の幾何学的検討

リサイクルPET フィルムの未延伸と延伸フィルムの熱接合及び熱接合部の評価