

# 気泡緩衝材の性能に及ぼすリサイクルの影響

赤澤正久\*・大竹 望\*\*・工藤邦男\*

## Effect of Recycling on the Performance of Air Cellular Cushioning Materials

Tadahisa AKASAWA\*, Nozomu OTAKE\*\* and Kunio KUDOU\*

This paper deals with the effect of recycling of polyethylene on the cushioning performance of air cellular cushioning materials. The effects of the number of times of recycling and the blend ratio of the recycled polyethylene from used products such as bags to virgin polyethylene were evaluated. According to the static test results, the quality of the recycled materials was nearly equal to that of virgin material when the number of times of recycling is up to 3. The impact tests showed that the permanent deformation increased as the number of times of recycling increased. The period of time after manufacturing had no effect on the cushion factor. Further studies are required to clarify the effect of the mixing ratio on the quality.

**Keywords :** Recycling, Polyethylene, Air cellular cushioning material, Cushioning efficiency

ポリエチレン製の気泡緩衝材を、リサイクル使用すると、その緩衝性能の劣化が懸念されるため、リサイクル材とバージン材の性能を比較検討した。ポリエチレン製気泡緩衝材だけを原料としてリサイクルする場合のリサイクル回数の影響、および、バージン原料と市中から回収したポリエチレン製品からの再生原料の混合比が緩衝材の性能に及ぼす影響を評価した結果、リサイクル材の緩衝性能は、リサイクル回数3回まではバージン材と同等またはバージン材より若干優れること、また製造年月の差は緩衝性能に影響しないことが明らかとなった。ただし、回収原料の混合比が緩衝材の性能に及ぼす影響については、さらに詳細に検討する必要がある。

キーワード：リサイクル、ポリエチレン、気泡緩衝材、緩衝性能

### 1. 緒言

ポリエチレン製の気泡緩衝材の多くは使用後廃棄される消費資材である。最近、環境負荷低減のために、これを回収し再利用することが行われようとしているが、そのリサイクル率と緩衝特性の関係を明らかにした報告例はない。回収-再利用の工程を経た材料では、

その緩衝性能の劣化が懸念される。

本研究では、リサイクルされた気泡緩衝材の性能がバージン材と比べ、どのように違うかについて比較検討した。ここでは、ポリエチレン製気泡緩衝材だけを原料としてリサイクルする場合のリサイクル回数の影響と、市中から回収した一般ポリエチレン製品を再生原料として用い、バージン原料と混合した場

\*神奈川大学 工学部 機械工学科 (〒221-8686 横浜市神奈川区六角橋3-27-1) : Kanagawa University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering 3-27-1 Rokkakubashi, Kanagawa-ku, Yokohama 221-8686, Japan

合に、その混合比が気泡緩衝材の性能に及ぼす影響を評価した。なお、気泡緩衝材の使用状況を考慮すると、JISによる適正荷重下だけの評価は実用的とはいえず、広い範囲の試験条件で評価した。

## 2. 実験方法

### 2.1 試料

供試材は、すべてポリエチレン製の気泡緩衝材で、一枚の厚さが約4 mmのものを、一辺150 mmの正方形に切り出した。1 m<sup>2</sup>当りの質量は0.080 kgである。この供試材の気泡面を下向きにして数枚重ね、厚さ25ないし29 mmとなったものを静的圧縮試験の試験片とし、50ないし54 mmとなったものを衝撃荷重試験の試験片とした。

Table 1に各供試材の配合を示す。Aはバージン材であり、流通の主流である。A以外の材料は混合材である。すなわち、Aの製造工程で発生する余材を再利用した原料(R)

Table 1 Source of cushioning materials

Sample name	Source
A (J2000* & S1998**)	Polyethylene (virgin)
B (J2000 & S1998)	R*** 80% + M**** 20%
C (S1998)	Recycled B 20% + M 80%
D (S1998)	Recycled B 40% + M 60%
E (S1998)	Recycled B 60% + M 40%
F (S1998)	Recycled B 80% + M 20%
G (S1998)	Recycled B 100%
H (S1998)	Recycled G 100%
I (S1998)	Recycled H 100%

\*: Produced in January 2000

\*\* : Produced in September 1998

\*\*\*: Polyethylene recycled from manufacturing process

\*\*\*\*: Polyethylene, recycled from market

と、市中から回収されたプラスチックバッグなどの一般ポリエチレン製品を原料とした回収原料(M)を混合して調製したものである。CからFまでの供試材は、Bをリサイクルした原料と回収原料Mの混合比を変えた試料である。リサイクル回数を評価するための供試材は、B、G、H、Iであり、リサイクル回数はBが1回、Gが2回、Hが3回、Iが4回である。AとBの2種類は1998年9月と2000年1月に製造され、CからIまでの9種類は1998年9月に製造された供試材であり、ボール箱に入れ常温無負荷で保管した。

### 2.2 厚さの測定

試験片の厚さは、定盤の上に置いた試験片の上部にプラスチックの平板(厚さ4.1 mm)を当て、約0.2 kPaの圧力を加え30秒後に圧力を加えた状態で試験片の四隅をハイトゲージで測定し、その平均値で求めた。

### 2.3 静的圧縮試験方法

供試材の性能試験は、JIS Z 0235 1997に準拠して行った。Fig. 1に、自作した試験装置の概略を示す。ボール盤(吉田鉄工所製、

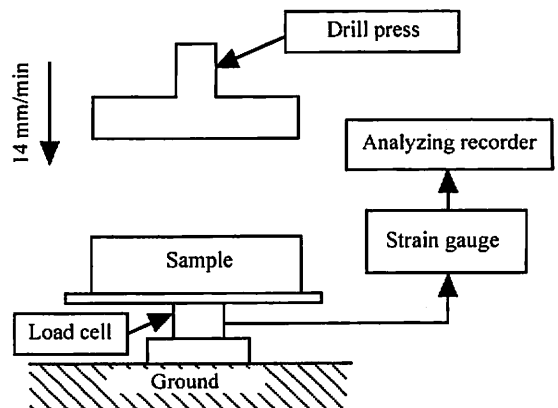


Fig. 1 Set-up of static test apparatus

YUD-540) の送り機構を利用して試験片に負荷をかけ、ロードセル (共和電業製、LC-2TN) により圧縮荷重とひずみを測定した。試験片厚さの測定は、試験前と負荷を除いて3分経過したときに、前項の方法で測定した。圧縮試験は同一条件で3回ずつ行なった。これにより圧縮応力  $\sigma^{1)}$ 、エネルギー  $E^{2)}$  (圧縮荷重-ひずみ線図の曲線下の面積)、緩衝係数  $C^{2)}$  を算出し、応力-ひずみ線図と緩衝係数-応力線図を作成した。

## 2.4 衝撃荷重試験方法

JIS Z 0235 1997 に準拠して試験を行った。Fig. 2 に自作した試験装置の概略を示す。試験片の上方 600 mm の高さから、おもりを1分間隔で5回自由落下させた。おもりの質量は、4、8、10、12、14、16、20、22 kg である。おもりが落下し、衝撃時に生じる加速度の最大値、すなわち、最大加速度  $G$  を各回毎に測定した。そして、5回の測定値から、1回目を除く残りの4回の平均値を最大加速度とした。試験は同一条件で3回ずつおこない、前項と同様に試験片の厚さを測定した。測定値から静的応力  $\sigma_s^{1)}$  と衝撃永久ひずみ

$S_p^{1)}$  を算出し、最大加速度-静的応力線図、衝撃永久ひずみ-静的応力線図を作成した。ここで、静的応力とは、おもりの全質量に重力加速度を乗じた荷重を、試験片の試験前の面積で除した値であり、単位面積当たりの荷重で示す。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 リサイクル回数の影響

#### 3.1.1 静的荷重試験の結果

Fig. 3 に示す応力-ひずみ線図を用いてリサイクル回数の影響を解析した。この図の試験片は、バージン材 100% の材料 A、M を混合した B、B を繰り返しリサイクルした G、H、I である。すなわち、図は、A を繰り返しリサイクルしたときの繰り返し回数の影響を比較したものとなっている。この図から、バージン材 A の応力推移曲線よりもリサイクル材の曲線の方が上方に移動していることがわかる。このことは、単位体積当たりの吸収エネルギーは、リサイクル材の方が大きいことを示している。しかし、リサイクル材は、ひずみが約 70% 以下であれば、バージン材との差はほとんどない。ひずみが 70% をこ

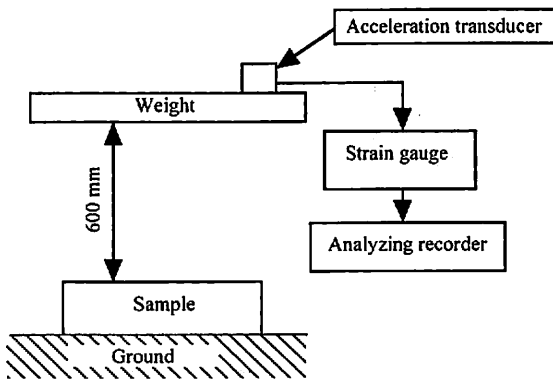


Fig. 2 Set-up of impact test apparatus

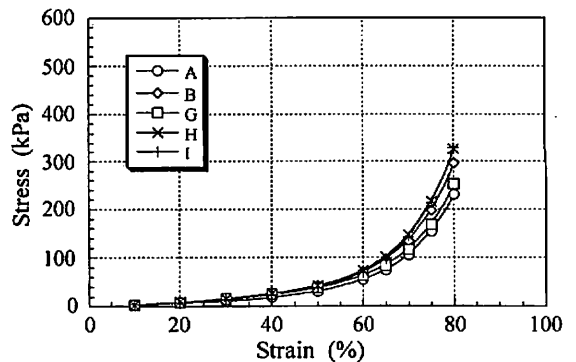


Fig. 3 Stress and strain curves in static test

える応力下では、緩衝材の機能を越え、緩衝していない状態に近くなる。したがって、このような状況では被包装品に大きな応力が加わることになり、緩衝材の意義が失われた状態となる<sup>2)</sup>。

Fig. 4には、A、B、G、H、Iの緩衝係数と応力の関係を示す。これらの図から、リサイクル材は、バージン材よりも曲線が右方向に移動しており、値の推移が高応力寄りになっていることがわかる。また、リサイクル材は、緩衝係数が最小値をとったあとの値の増加率がバージン材より小さい。Table 2に緩衝係数の最小値とその時の応力の値を示す。これからBとGは他よりも緩衝性能がわずかに優れていることがわかるが、その程度は試料1枚程度である。1回から3回までのリサイクル回数であれば、その緩衝性能に差は

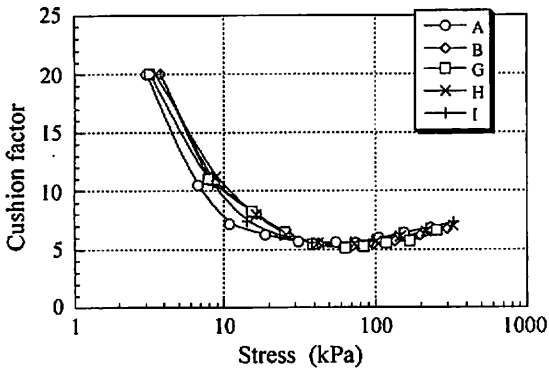


Fig. 4 Cushion factor as a function of stress

Table 2 Relationship between minimum cushion factor and stress

Sample name	Minimum cushion factor	Stress (kPa)
A	5.62	55.5
B	5.27	70.6
G	5.16	63.4
H	5.48	73.5
I	5.56	38.7
Average of all the samples in Table 1	5.41	64.1

ほとんど見られないといえる。リサイクル回数4回目のIでは、緩衝係数の最小値をとる応力値が著しく低くなっている。このことから、リサイクル回数が或る値以上になるとバージン材と同等の性能は得られなくなるものと思われる。緩衝係数の値は、リサイクル回数が1ないし3回の材料では、全般にバージン材Aより高い応力側になるが、適当な条件下で使用して最適な負荷がかかる範囲<sup>2)</sup>では大きな差はない。また、バージン材Aより高い応力側になることは、緩衝材の適用範囲が広がることを意味している。

### 3.1.2 衝撃荷重試験の結果

衝撃荷重試験の結果から、緩衝材の性能を評価するとき、最大加速度-静的応力線図が用いられる。一般に、緩衝材にとって最適な負荷状態は、すり鉢状の最大加速度-応力線図で、最大加速度が最小値をとる近傍であることが知られている<sup>3)</sup>。

今回の試験で得られた最大加速度-静的応力線図 (Fig. 5) では、曲線はすり鉢状にはならず、最大加速度の最小値を特定できなかった。図では、リサイクル回数の増加にともない、最大加速度値を示す曲線は上方に移動

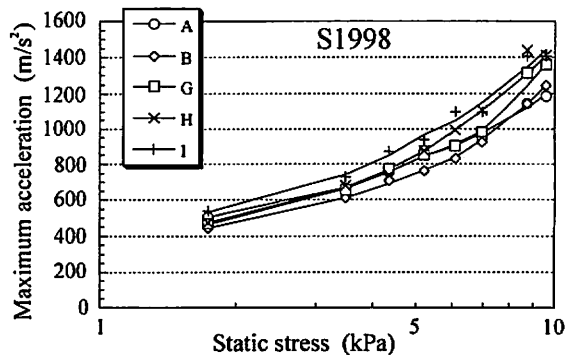


Fig. 5 Curves of maximum acceleration versus static stress

している。特に、Bは低応力側の広い範囲でバージン材より小さな最大加速度値を示している。このことは、被包装品にかかる最大加速度が小さいこと示し、緩衝性能が優れていることを意味する。

Fig. 6に、衝撃永久ひずみ、すなわち試験片厚さ減少率と静的応力の関係を示した。ここで、試験片厚さ減少率とは、衝撃荷重試験後規定の時間を経過したときの試験片厚さの減少量を、試験前の厚さで除してパーセントで表した値であり、JISではこの衝撃荷重試験における値を衝撃永久ひずみと定義している。この図に示すように、リサイクル回数が増えると、衝撃永久ひずみの値も増加した。このことは、リサイクルの回数が増えると、

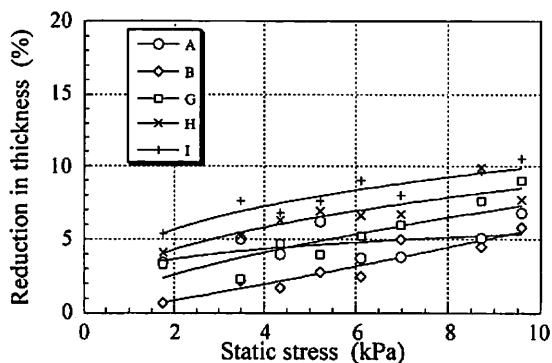


Fig. 6 Curves of reduction in thickness versus static stress

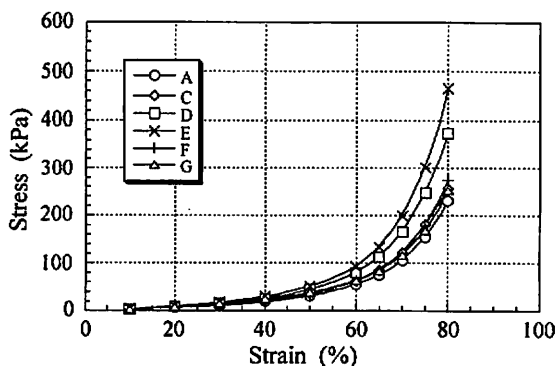


Fig. 7 Stress - strain curves

その緩衝材に生じる衝撃永久ひずみが大きくなることを意味する。

### 3.2 回収原料の混合比の影響

バージン材を製造工程から回収して原料としたRと、市中から回収した一般ポリエチレン製品を原料とした回収原料Mの混合比を変えて気泡緩衝材を製造し、RとMの混合比の影響を検討した。

#### 3.2.1 静的圧縮試験の結果

Fig. 7の応力-ひずみ線図に示すように、DとEの吸収エネルギーはバージン材に比べ非常に大きくなった。その他のリサイクル材はバージン材とほとんど差を認めなかった。Fig. 8の緩衝係数-応力線図では、このDとEはバージン材よりも緩衝係数の最小値をとる近傍の応力値が大きくなった。一方、FとGはこの応力値が小さいものの、緩衝係数の値がAよりも小さくなっていった。Cとバージン材の間には、緩衝係数の最小値とそのときの応力値において、有意差を認めなかった。特に、EとGは、Aと比べ差が顕著であった。これらのことから、回収原料Mを40%用いたEは、Aよりも高い応力での使用に適し、また、Mが20%のGは、Aと同

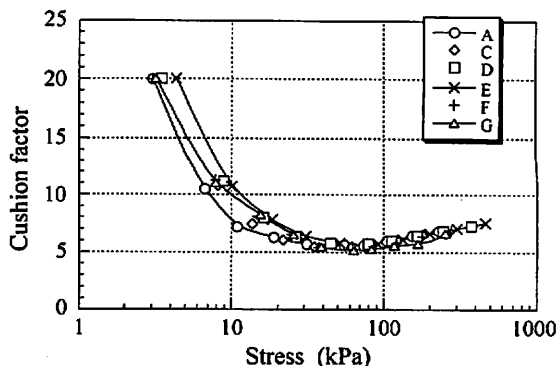


Fig. 8 Cushion factor as a function of stress

条件で使用するのであれば、厚さが薄くて済むので経済的である<sup>4)</sup>といえる。

### 3.2.2 衝撃荷重試験の結果

Fig. 9 の最大加速度－静的応力線図から、回収原料 M の混合比が 40% 以下の E、F、G は、バージン材に比べ広範囲で最大加速度の値が小さくなっていることがわかる。また、Fig. 10 の衝撃永久ひずみ（試験片厚さ減少率）－静的応力線図から、E はバージン材に比べ厚さの減少率が小さくなっており、バージン材より復元力があるといえる。しかし、衝撃によってつぶれた気泡数は、E 材がバージン材にくらべて多かったため、総合的には E 材の品質が優れているとはいえない。気泡の破損は、混合材料の不均一分布や回収原料

M 製造時の触媒の影響に起因する可能性がある。

回収原料 M の混合比が緩衝性能に及ぼす影響については、さらに広範囲な条件で製造した試験材について調べる必要がある。

### 3.3 保存期間による違い

製造後の経過年月が長い S1998 材は、気泡の空気が抜けて J2000 材よりも緩衝性能が劣るのではないかと予想していた。しかし、Fig. 11 から、適正な負荷のかかる範囲では、製造後の経過年月による差はほとんどないことがわかった。また、リサイクル材とバージン材のそれぞれの特性も、製造後の経過年月の差の影響を認めることはできなかった。

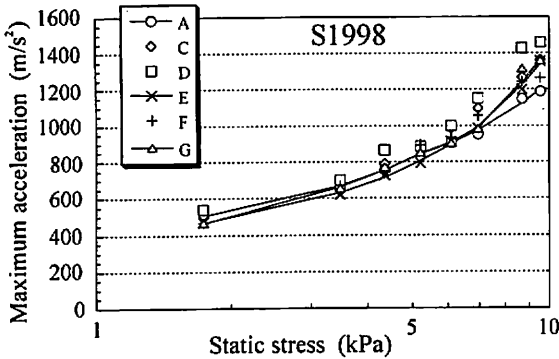


Fig. 9 Curves of maximum acceleration versus static stress for long-stored virgin PE

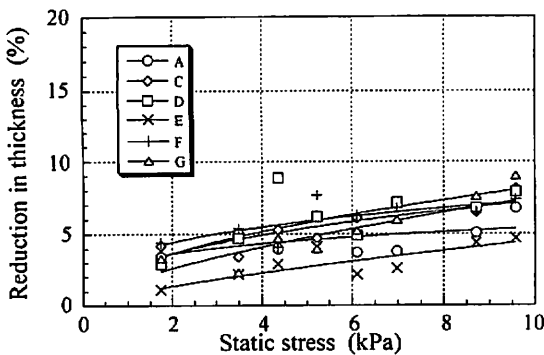


Fig. 10 Curves of reduction in thickness versus static stress

## 4. 結論

緩衝材の性能に及ぼすリサイクル回数の影響を、静的圧縮試験と衝撃荷重試験の結果で評価した。その結果、次の結論が得られた。

- 1) リサイクル材の緩衝性能は、リサイクル回数 3 回まではバージン材と同等またはバージン材より若干優れていた。
- 2) 回収原料の混合比が 40% の材料は、他

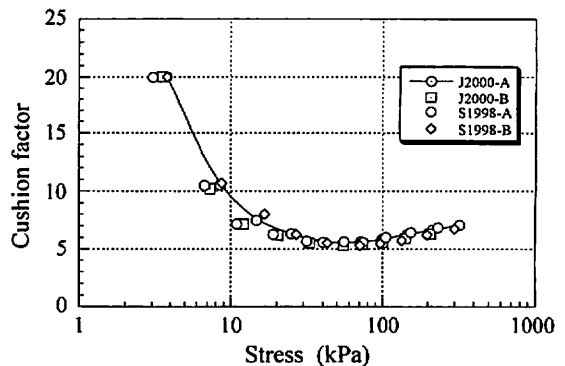


Fig. 11 Cushion factor as a function of stress

の混合比の材料に比べて、静的および動的試験の結果は優れていたが、混合比が緩衝材の性能に及ぼす影響については、混合材料の均一性や原料製造時の触媒の影響などについてさらに詳細に検討する必要がある。

3) 製造年月の差が緩衝性能に及ぼす影響は、認めることはできなかった。

## 5. 謝辞

川上産業株式会社から試験材料を提供していただいた。ここに記して、謝意を表す。

## <引用文献>

- 1) 包装用緩衝材料の評価試験方法、JIS Z 0235-1997
- 2) “新包装技術便覧”(日本包装技術協会編)、日本生産性本部、p.1264 (1971)
- 3) “パッケージ大百科”(越山了一監訳)、朝倉書店、p.127 (1994)
- 4) 名田祐久、“パッケージの実務”、日刊工業新聞社、p.78 (1968)

(原稿受付 2001 年 8 月 27 日)

(審査受理 2001 年 11 月 5 日)