

## 最適緩衝設計手法の応用

### 第1報：突起物を有する製品への適用

中嶋隆勝\* 寺岸義春\* 高田利夫\* 野上良亮\*

#### An Application of the Optimum Cushioning Design Method for Packaging

##### (1) An Application to Products with Protuberances

Takamasa NAKAJIMA\*, Yoshiharu TERAGISHI\*,  
Toshio TAKADA\*, Ryosuke NOGAMI\*

An optimum cushioning design method for reducing the cushion volume and for properly designing the cushion shape has been developed.

Firstly, the present optimum design method was modified to be applicable to products with protuberance. Secondly, the effect of the protuberance length on the optimum shape of cushions calculated by this newly developed design method was investigated.

The results are summarized as follows.

- (1) The protuberance length shorter than a certain value does not affect the optimum shape of cushion.
- (2) The thickness and the volume of cushion as well as the cost of packaging materials increase linearly with the length of protuberance. On the other hand, the strain decreases linearly with the length of protuberance.
- (3) The strain of cushion required for minimizing its volume is larger than that required for maximizing its thickness. Furthermore, the area of cushion and the cost of packaging material at minimum volume is smaller than those at maximum thickness.
- (4) The height of products dose not affect the optimum shape of cushion.

Keywords : Package, Optimum cushioning design, Dropping shock, Protuberance, Strength of product, Cushion, Environment of transportation

適正包装化を進めていくために、著者らは最適緩衝設計手法を開発した。本研究では、その手法を改良して、突起物を持った製品にも適用できるようにした。また、製品の突起物長さや緩衝材の最適な形状の関係などについても調べた。以下に、得られた主な結論を記す。

- (1) 突起物が十分に短ければ、最適な緩衝材の形状は突起物の長さに影響されない。
- (2) 突起物の長さに対して、緩衝材の厚さ、使用量、包装材料費は単調増加し、緩衝材の最大ひずみは単調減少する傾向が確認できた。
- (3) 緩衝材の使用量を最小化した場合の方が、厚さを最小化した場合よりも、最大ひずみは大きな値となり、緩衝材の受け面積、包装材料費は小さな値となる傾向が確認できた。
- (4) 緩衝材の最適形状は、製品の高さ（製品の受け面方向の寸法）には影響されない傾向が確認できた。

キーワード：包装、最適緩衝設計、落下衝撃、突起物、製品強度、緩衝材、輸送環境

\* 大阪府立産業技術総合研究所（〒550 大阪府大阪市西区江之子島2-1-53）：Osaka Prefectural Industrial Technology Research Institute, 2-1-53, Enokojima, Nishi-ku, Osaka-shi, Osaka, 550

## 1. 緒言

流通過程において重要な役割を果たす緩衝材も、製品が消費者の所まで届けられると、その大部分は廃棄物となり、環境保護、省資源の観点から、多くの問題が発生する。そのため、緩衝材の特性を最大限に生かし、適正包装化を進めていくことは、企業の利潤追求の目的だけでなく重要な課題である。

著者らは、これまでに緩衝材の緩衝特性を精度よく把握するための研究<sup>1)2)</sup>及び従来の緩衝設計手法<sup>3)</sup>を改良して緩衝材の厚さ、緩衝材の使用量および段ボールを含んだ包装材料費のうちのどれでも最小化できる緩衝設計手法の開発<sup>4)</sup>などを行ってきた。しかし、実際には、突起物、段差などを含んだ複雑な形状をした製品や重心の位置が偏った製品などがたくさん存在している。そこで、これらの製品に対しても適用できるように最適設計手法を改良する必要がある。

本研究では、突起物を含んだ製品を対象とし、製品が落下衝撃を受けたとき、突起物が底突きせず、しかも、最適化が十分になされる設計システムを考案した。そして、それによって、製品の突起物が緩衝材の最適形状などに及ぼす影響について検討した。

## 2. 最適緩衝設計手法

### 2.1 設計変数

実際に緩衝材を設計する際、まず、製品の形状などに合わせて、コーナパッド、サイドパッドなどの緩衝材の形式を決定し、次に、輸送環境や製品の強度などから緩衝材の詳細な寸法を決める。

本手法では、緩衝設計の自動化の基礎的な部分を確立するため、緩衝材の形状や詳細な寸法については特に考慮せず、最も緩衝特性に影響を与える緩衝材の厚さと面積にのみ注目した。すなわち、緩衝材の形状は直方体で、設計変数は緩衝材の厚さ $t$ と面積 $A$ の2変数であるとした。

### 2.2 最適化目標

緩衝材の厚さ、緩衝材の総使用量、包装材料費（緩衝材と外装段ボールの材料費の和とした）を最適化の目標（目的関数）とし、これらのうち1つを選択できるようにした。

緩衝材の厚さの最小化は、従来の設計手法でも採用されていたもので、この最小化によって包装貨物の寸法が最小化される。また、これによってコンテナへ積載できる貨物数の増加や倉庫に保管するスペースの削減などもたらされる。

一方、緩衝材の総使用量の最小化は、緩衝材の無駄使いを省き、廃棄物の量を削減するという観点から重要である。しかし、使用体積を最小化すれば、緩衝材の厚さの最小化が実現できない。貨物寸法の増加に伴って増加する段ボールの使用量を考えると、2つの目的関数の相互関係について考える必要がある。

そこで、これら2つの最適化の目標をそれぞれ適度に満足させるために、包装材料費の最小化について考えた。これによって、緩衝材と段ボールの使用量を同時に抑えることが可能となった。また、コストという目的関数は、緩衝材の種類を変えた場合にも通用する関数である。このため、緩衝材の寸法だけでなく、緩衝材の種類も設計変数として含めた

最適設計を行うことが可能となる。

### 2.3 設計仕様

本設計手法で考えた落下衝撃のモデルを Fig. 1 に示す。ここで、本システムに入力が必要な仕様を以下のように設定した。

- (1) 輸送環境のレベル (落下高さ)
- (2) 緩衝材の特性 (応力-ひずみ線図)
- (3) 緩衝材の許容ひずみ ( $\epsilon_0$ )
- (4) 製品の許容衝撃加速度 ( $\alpha_a$  or  $G_a$ )
- (5) 製品の受け部の強度 ( $\sigma_a$ )
- (6) 製品の質量、外寸法 (突起物を含む)
- (7) 突起物の長さ ( $X$ )
- (8) 製品の受け部の面積 ( $A_a$ )
- (9) 緩衝材、段ボールの単価

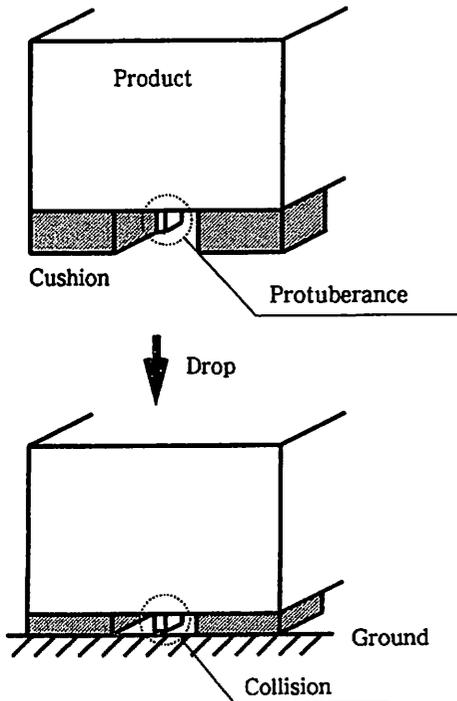


Fig. 1 Illustration of drop collision modeling of a packaged cargo of product with protuberance

ここで、(6) 製品の外寸法及び (9) 緩衝材、段ボールの単価は、包装材料費を最適化する際、包装材料費を算出するために用いた。

### 2.4 プログラムの概要

本システムでは、前報<sup>4)</sup>を改良して、最適設計寸法を次のような手順で決定した。

まず、緩衝材の最大ひずみ  $\epsilon$ 、最大応力  $\sigma$ 、単位体積当たりの吸収エネルギー  $e$  がある値 ( $\epsilon_0, \sigma_0, e_0$ ) になるような緩衝材の形状すなわち厚さと面積の組み合わせにどのようなものが存在するかを調べる (Fig. 2 の①上のすべての点)。次に、設計の制約条件を満足する範囲を調べる (Fig. 2 の中の②~⑤の制約条件が満たされる斜線の部分)。これらが重なった部分が設計可能な寸法の集合となる (Fig. 2 の太線上)。

Fig. 2 で示した①~⑤の条件の内容は次のとおりである。

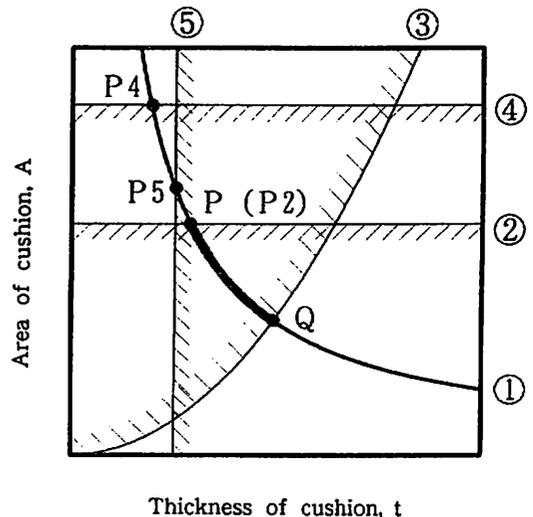


Fig. 2 Condition of restraints and design curve where cushion strain and stress are  $\epsilon_0$  and  $\sigma_0$ , respectively.

①上の点は、最大ひずみが $\epsilon_0$ となる緩衝材の形状を表した点であり、緩衝材が吸収する全エネルギーと落下エネルギーとが等価であることからその曲線が導き出される。その等式は次式である。

$$Ate = MgH$$

ここで、 $A$ は緩衝材の面積、 $t$ は緩衝材の厚さ、 $e$ は緩衝材の単位体積当たりの吸収エネルギー、 $M$ は製品の質量、 $g$ は地球の重力加速度、 $H$ は落下高さである。

②～⑤は制約条件である。

②は製品に発生する衝撃加速度が製品の許容衝撃加速度以下となる制約条件であり、次式で表される。

$$\frac{A\sigma}{M} < \alpha_a$$

③は緩衝材が座屈しないという制約条件であり、次式<sup>9)</sup>で表される。

$$A > \left(\frac{4}{3}t\right)^2$$

ただし、受け面の形状は正方形に近いものとする。

④は緩衝材の面積が製品の受け部の面積以下となる制約条件であり、次式で表される。

$$A < A_a$$

⑤は製品の突起物が衝撃によって底突きしないという制約条件であり、次式で表される。

$$t(1 - \epsilon) > X$$

ここで、 $t(1 - \epsilon)$ は緩衝材が衝撃によって最も変形したときの厚さであり、それが突起物の長さ $X$ よりも長くなければならないと

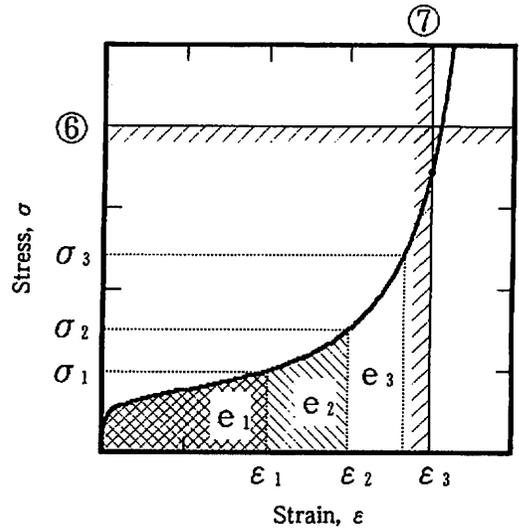


Fig. 3 Illustration of restraints for cushion strain and stress as well as the relationship between  $\epsilon$ ,  $\sigma$  and  $e$ .

いう意味である。

これらの制約条件を満足する範囲の中で設計の最適化目標を最も満足する点は、目的関数を緩衝材の厚さまたは包装材料費とした場合、点Pである。また、目的関数を緩衝材の使用量とした場合、目的関数の値がFig. 2の太線上であればすべて同じ値となる。そのため、第2の最適化目標を厚さの最小化と設定し、点Pが最も最適化目標を満足している点であるとした。すなわち、点Pは最大ひずみが $\epsilon_0$ となるときの緩衝材の最適形状である。

以上の作業をFig. 3の $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ のように $\epsilon$ と $\sigma$ に対する制約条件 (Fig. 3の⑥及び⑦)を満足するすべての最大ひずみに対して最適設計を行った結果、最も最適化目標を満足する点が本設計仕様に対する緩衝材の最適形状となる。

Fig. 3で示した⑥及び⑦の制約条件は次のとおりである。

⑥は緩衝材に発生する最大応力が製品受け

部の強度 $\sigma_a$ 以下でなければならないという制約条件である。

$$\sigma \leq \sigma_a$$

⑦は緩衝材の最大ひずみが緩衝材の許容ひずみ以下でなければならないという制約条件である。

$$\varepsilon \leq \varepsilon_a$$

これは緩衝材の劣化がひどくならないために設定した条件である。

以上の手順を Fig. 4 に示す。

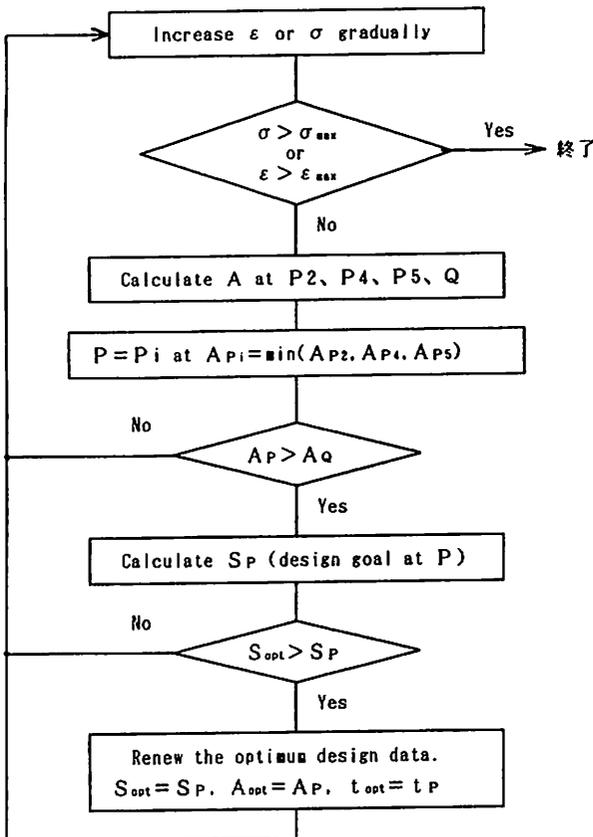


Fig. 4 Algorithm for finding the optimum design size of cushion.

### 3. シミュレーション

本シミュレーションで用いたすべての設計仕様を以下に示す。ここで、突起物の長さが、最適設計によって決定された緩衝材の形状や包装材料費などにどのように影響するかを調べるため、突起物の長さはさまざまな値に変えてシミュレーションを行った。ただし、ここでは、設計仕様の欄で記したように突起物を含む外寸法を一定とした。そのため、例えば、オーディオアンプのつまみのように製品本体の寸法とは独立して突起物の寸法が変化するものの場合、異なった傾向を示す可能性がある。この場合のシミュレーション結果とその傾向に対する考察は4.7で詳しく記述する。

- (1) 製品の質量：40kg
- (2) 製品の外寸法：800 × 600 × 600mm
- (3) 製品の許容衝撃加速度：588m/s<sup>2</sup> (60G)
- (4) 製品の受け部の面積：1200cm<sup>2</sup>
- (5) 製品の受け部の許容応力：1.0MPa
- (6) 緩衝材：発泡ポリエチレン45倍
- (7) 緩衝材の許容ひずみ：75%
- (8) 落下高さ：60cm (底面落下)
- (9) 緩衝材の数：底面に4個
- (10) コストを最小化する際、緩衝材、段ボールの単価をそれぞれ3200円/m<sup>3</sup>、100円/m<sup>2</sup>とした。

### 4. 結果と考察

#### 4.1 小さな突起物の場合について

Fig. 5及びFig. 6より突起物の長さがおおよそ0~1cmの範囲では、突起物の長さに関係なく緩衝材の形状は一定となる傾向が確認で

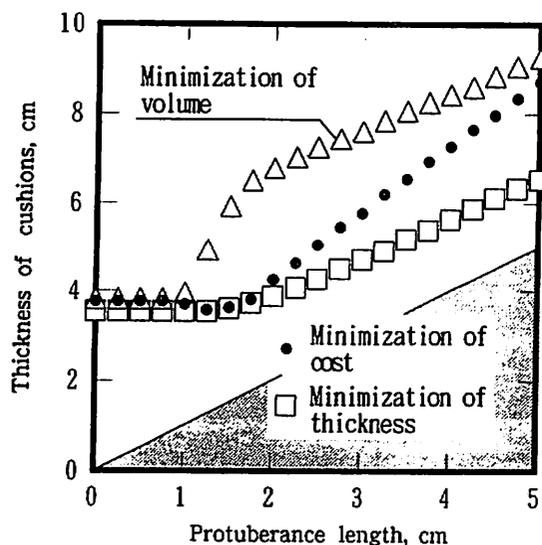


Fig. 5 Relationship between the thickness of cushion  $t$  and the protuberance length  $X$  calculated from the simulation results.

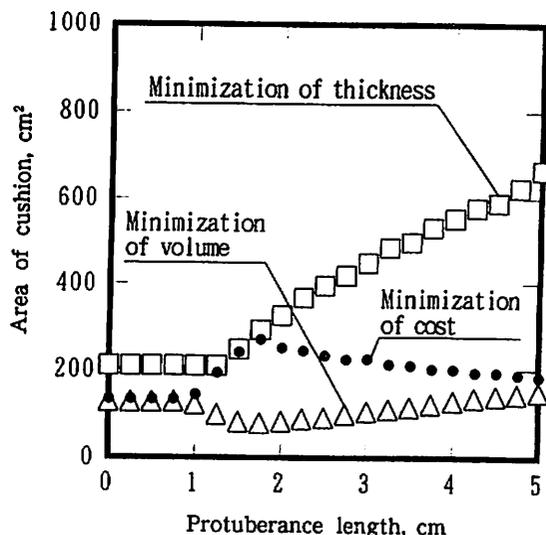


Fig. 6 Relationship between the area of cushion  $A$  and the protuberance length  $X$  calculated from the simulation results.

きた。この理由は以下のとおりである。

突起物がない製品に対して最適な形状の緩衝材が落下衝撃によって変形した時の厚さの最小値を $a$ とする。この時、製品に $a$ より短い突起物が付いていても、製品の底突きは起らない。このため、緩衝材の形状は変化しない。

ここで、本設計仕様での $a$ の値は、使用量、包装材料費を最小化した時、約1cmで、厚さを最小化した時、約1.3cmとなっており、緩衝材の形状が変化し始める時点とよく一致している。

また、緩衝材の厚さが $a$ よりも小さい範囲では、緩衝材の形状が変化しないため、緩衝材の使用量、緩衝材の最大応力、最大ひずみは一定の値を保ち (Fig. 7~Fig. 9参照)、包装材料費は突起物が長くなるにつれて単調に減少する (Fig. 10参照)。包装材料費がこの範囲内で単調に減少する理由は以下のとおり

である。

製品の突起を含んだ外寸法が一定であるため、突起物が長くなれば製品の受け面は奥に入る。また、緩衝材の厚さは一定である。そのため、包装貨物としての外寸法は小さくなり、必要となる段ボールの量は減少する。よって、緩衝材の材料費は一定で、段ボールの材料費が減少するため、包装材料費は減少することになる。

以下、4.6までは、突起物の長さが $a$ よりも大きい場合を中心として考察を進める。

#### 4.2 緩衝材の厚さについて

Fig. 5より、緩衝材の厚さは突起物が長くなるにしたがって単調に増加する (以下、一部で「緩衝材の厚さは単調増加する」と表現する) という傾向が確認できた。さらに、厚さを最小化した場合と体積を最小化した場合について見ると、緩衝材の厚さから突起物の

長さを引いた値 (Fig. 5 の斜線を引いた部分は突起物の長さ分を表している。すなわち、各プロットから斜線部分までの長さがこの値に相当する。) はあまり変化しないという傾向が確認できた。これより、突起物の長さが増加しても包装貨物の外寸法はあまり変化しないという傾向が予測できる。

厚さを最小化した場合、緩衝材の厚さが単調増加する理由は次のとおりである。

突起物が長くなれば突起物が底突きしないという制約条件はより厳しくなる。一方、その他の制約条件及び衝撃エネルギーの等価式、目的関数は変化しない。すなわち、Fig. 2 の⑤だけが右に移動し、制約条件を満足する範囲が一部失われ狭くなってしまふ。その上、その他の設計条件が同じであるため、設計の最適化目標の達成度合いが低下するのは明らかである。よって、最小化目標である緩衝材の厚さは単調増加する。

上記と同様に考えて、緩衝材の使用量を最小化した場合、緩衝材の使用量が単調増加することが予測できる。このことは Fig. 9 より確認できる。

#### 4.3 緩衝材の受け面積について

Fig. 6 より、緩衝材の厚さを最小化した場合、緩衝材の面積は突起物が長くなるにつれて単調に増加する傾向が確認できた。

また、緩衝材の使用量を最小化した場合の緩衝材の面積 (Fig. 6 の△) の方が、緩衝材の厚さを最小化した場合の緩衝材の面積 (Fig. 6 の□) よりも小さな値となる傾向が確認できた。この理由は以下のとおりである。

緩衝材の使用量を最小化した場合の方が、緩衝材の厚さを最小化した場合よりも、緩衝

材の厚さは大きく、緩衝材の使用量は小さくなるのは自明である。緩衝材の面積は緩衝材の体積を緩衝材の厚さで割ったものである。よって、緩衝材の使用量を最小化したときの方が緩衝材の面積は小さくなる。

#### 4.4 緩衝材の最大ひずみについて

Fig. 7 及び Fig. 8 より、落下衝撃時に発生する緩衝材の最大ひずみ及び最大応力は突起物が長くなるにつれて単調に減少するという傾向が確認できた。

緩衝材の使用量を最小化した場合、緩衝材の最大ひずみ及び最大応力が単調減少する理由は以下のとおりである。

落下エネルギーの等価式の中で、 $MgH$  が一定の値に設定されていることから考えて、緩衝材の使用量の最小化は緩衝材の単位体積当たりの吸収エネルギーの最大化と同等である。また、突起物が長くなれば、突起物が底突きしないという制約条件は厳しくなり、それ以外の設計条件は変化しない。このことから考えて、目的関数すなわち緩衝材の単位体積当たりの吸収エネルギーは単調減少することがわかる。ここで、緩衝材の最大ひずみ、最大応力、単位体積当たりの吸収エネルギーの間にはすべて一対一対応の関係がある。よって、緩衝材の最大ひずみ及び最大応力は単調減少する。

Fig. 7 及び Fig. 8 より、緩衝材の使用量を最小化した場合の緩衝材の最大ひずみ及び最大応力 (Fig. 7 及び Fig. 8 の△) の方が、緩衝材の厚さを最小化した場合の緩衝材の最大ひずみ及び最大応力 (Fig. 7 及び Fig. 8 の□) よりも、大きな値となるという傾向が確認できた。この理由は以下のとおりである。

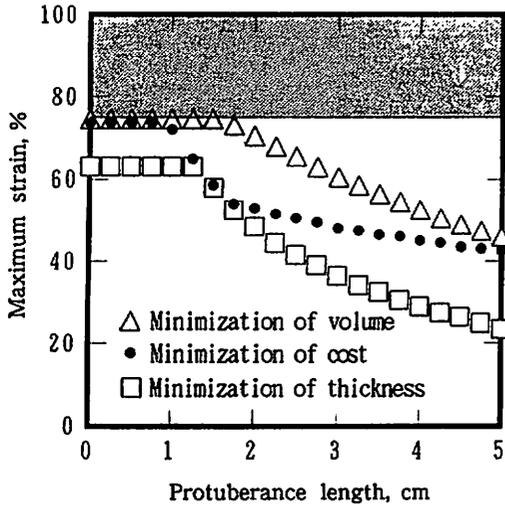


Fig. 7 Relationship between the strain of cushion  $\epsilon$  and the protuberance length  $X$  calculated from the simulation results.

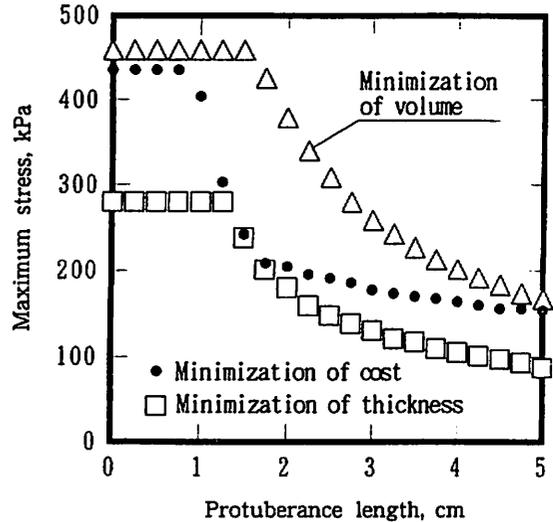


Fig. 8 Relationship between the stress of cushion  $\sigma$  and the protuberance length  $X$  calculated from the simulation results.

緩衝材の使用量の最小化は、緩衝材の単位体積当たりの吸収エネルギーの最大化と同等である。また、緩衝材の最大ひずみ、最大応力、単位体積当たりの吸収エネルギーの間に対対応の関係が存在することから、緩衝材の最大ひずみまたは最大応力の最小化とも同等である。よって、緩衝材の使用量を最小化した場合、緩衝材の最大ひずみ及び最大応力が最大化され、緩衝材の厚さを最小化したときよりも大きな値となる。

#### 4.5 緩衝材の使用体積について

Fig. 9より、緩衝材の使用量は突起物が長くなるにつれて単調に増加するという傾向が確認できた。

#### 4.6 包装材料費について

Fig. 10より、緩衝材の使用量を最小化した場合の包装材料費 (Fig. 10の△)の方が、

緩衝材の厚さを最小化した場合の包装材料費 (Fig. 10の□) より小さな値となる傾向が確認できた。この理由の1つとして、緩衝材の単価と段ボールの単価の比率が影響したのではないかと考えられる。

緩衝材の単価を段ボールの単価よりも非常に高く設定した場合、緩衝材の厚さを最小化すれば、必要となる段ボールが最小に抑えられるが、緩衝材の使用量の最小化は行われぬ。そのため、単価の高い緩衝材の使用量が増加し、包装材料費は、緩衝材の使用量を最小化した場合よりも大きくなる。

#### 4.7 製品寸法が及ぼす影響について

これまでのシミュレーションでは、突起物を含んだ製品の外寸法を一定としていたため、突起物が長くなれば突起物を除いた製品の寸法は小さくなる。一般的に、製品の脚やつまみを設計する際、突起物の寸法は製品本

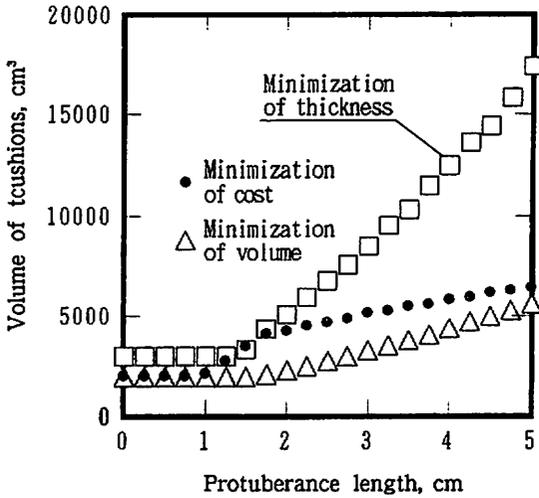


Fig. 9 Relationship between the total volume of cushions and the protuberance length  $X$  calculated from the simulation results.

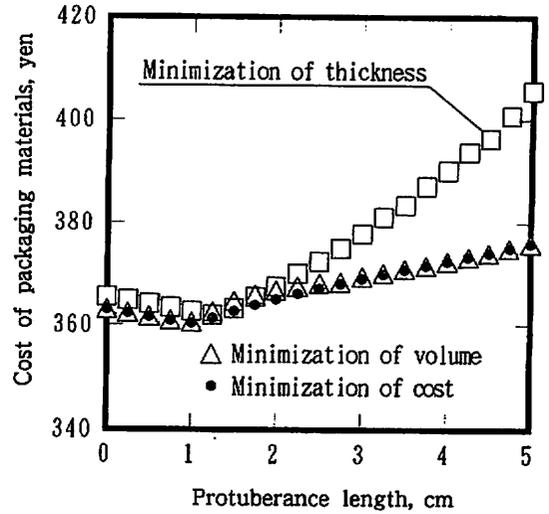


Fig. 10 Relationship between the cost of packaging materials and the protuberance's length  $X$  calculated from the simulation results where the size of product with the protuberance is constant.

体の寸法とは独立して決定することができる。このことから、ここでは突起物を除く製品の寸法を一定とし、突起物の長さが変化するとき、緩衝材の最適形状がどのように変化するかについて検討した。

シミュレーションの結果より、外寸法を一定にした場合と製品本体の寸法を一定にした場合を比較すると、緩衝材の最適形状、緩衝材の最大ひずみ、最大応力などに差は現れず、包装材料費、段ボールの使用量のみ異なった値となる傾向が確認できた。

包装材料費と突起物の長さの関係を Fig. 11 に示す。Fig. 11 より、突起物の長さが約 1cm 以下の範囲では、突起物を含む製品の外寸法が増加しているにもかかわらず包装材料費は一定の値を保つという傾向が確認できた。この理由は、4.1 の説明と同様、この範囲では緩衝材が最大限に変形したときの厚さ  $a$  が突起物の長さよりも大きく、緩衝材を含ん

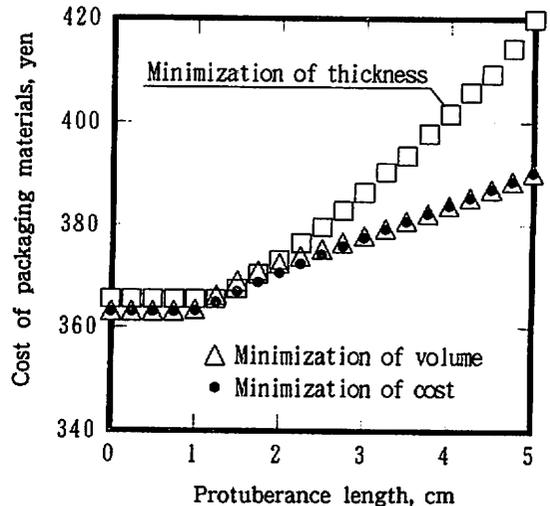


Fig. 11 Relationship between the cost of packaging materials and the protuberance length  $X$  calculated from the simulation results where the size of product without protuberance is constant.

だ貨物の寸法が変化しないためである。また、同様の理由で、緩衝材の形状も同じ形状となる。

Fig. 11の突起物の長さが約1cm以上の範囲では、包装材料費は突起物が長くなるにつれて単調に増加している。この傾向は、突起物が大きくなることによって、使用する段ボール及び緩衝材が増加することを考えると自明である。

緩衝材の使用量及び厚さを最小化した場合、製品外寸法の設定方法によって緩衝材の最適形状、最大ひずみ、最大応力に差が現れなかった理由は次のとおりである。

製品の寸法が変化すると、段ボールの使用量、包装材料費は変化するが、目的関数である緩衝材の使用量や緩衝材の厚さ、また、制約条件式や落下エネルギーの等価式などは変化しない。そのため、得られる緩衝材の最適形状、最大ひずみ、最大応力も変化しないことになる。

一方、包装材料費を最小化した場合、製品外寸法の設定方法を変えると、段ボールの使用量が変化し目的関数の値が変わるため、緩衝材の最適形状、最大ひずみ、最大応力が変化する。

シミュレーションによって、製品の寸法を変化させたとき包装材料費を最小化した場合の緩衝材の最適形状がどのように変化するかについて検討した。その結果、製品の寸法(突起物がある面の方向)が変化しても緩衝材の最適形状は変化せず、製品の幅または長さが増加すれば緩衝材の最適形状も変化するという傾向が確認できた。その変化の様子をFig. 12に示す。製品の幅または長さが増加すれば、包装材料費を最小化した場合の緩衝

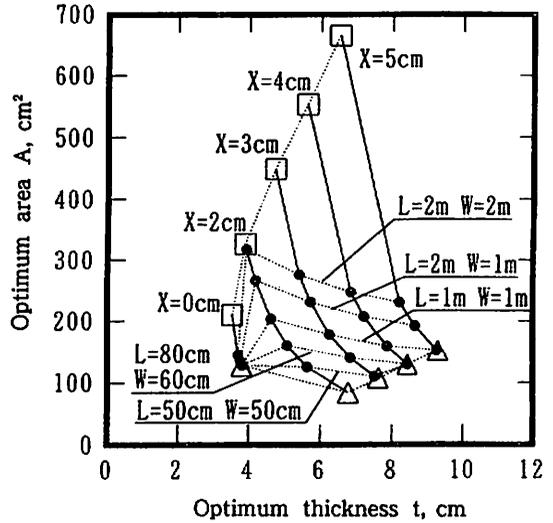


Fig. 12 Relationship between the shape of cushion and the shape of product.

- : Minimization of thickness
- △ : Minimization of volume
- : Minimization of cost
- X : The length of protuberance
- L : The length of product
- W : The width of product

材の最適形状は緩衝材の厚さを最小化した場合の最適形状に近づき、減少すれば、緩衝材の体積を最小化した場合の最適形状に近づく。この傾向の理由は次のとおりである。

緩衝材の厚さが変化すれば、使用する段ボールの量が増加する。そして、その増加する割合は段ボール箱の周辺長によって決定される。周辺長が長ければ少しの緩衝材の厚さの増加でも段ボールの使用量は大きく増加する。このため、段ボール箱の幅または長さが増大すれば、緩衝材の厚さを十分に薄くしなければ包装材料費の最小化ができなくなる。よって、製品の幅または長さが増加すると、緩衝材の最適形状は厚さを最小化した場合の最適形状に近づく。

一方、製品の幅、長さが一定であれば、製品の高さにかかわらず、緩衝材の厚さが変化したときの段ボールの量が変化する割合は一定である。すなわち、緩衝材の厚さの変化による包装材料費の変化する割合は製品の高さにかかわらず一定である。また、製品の高さが変化しても、制約条件、落下エネルギーの等価式等が変化しないことから考えて、緩衝材の最適形状は変化しない。よって、製品の外寸法の設定方法が変わっても、緩衝材の最適形状は変化しない。

## 5. 結 論

突起物を有する製品に対して最適な緩衝材の形状を決定する設計手法を開発することができた。また、製品の突起物が包装設計にどのように影響するかを本手法によるシミュレーションを行うことによって確認した。その結果、得られた主な結論を以下に記す。

(1) 突起物の長さが $a$ 以下の場合、最適な緩衝材の形状は突起物の長さに影響されない。ここで、 $a$ とは突起物がない製品に対して最適な形状の緩衝材が落下衝撃によって変形した時の厚さの最小値である。

(2) 突起物の長さが $a$ 以上の場合、緩衝材の厚さ、使用量、包装材料費は突起物が長くなるにつれて単調に増加し、緩衝材に発生する最大ひずみ、最大応力、緩衝材の単位体積当たりの吸収エネルギーは突起物が長くなるに

つれて単調に減少する傾向があった。

(3) 緩衝材の使用量を最小化した場合の方が、緩衝材の厚さを最小化した場合よりも、最大ひずみ、最大応力、単位体積当たりの吸収エネルギーは大きな値となり、受け面積、包装材料費は小さな値となる傾向があった。ただし、包装材料費に関しては、段ボール及び緩衝材の単価がこの傾向に影響する可能性がある。

(4) 製品の幅及び長さは、包装材料費を最小化したときの緩衝材の最適形状に影響を及ぼすが、製品の高さは緩衝材の最適形状に影響を及ぼさないことがわかった。

## <引用文献>

- 1) 中嶋隆勝、野上良亮、寺岸義春、高田利夫、材料、41 (460), 28 (1992)
- 2) 中嶋隆勝、野上良亮、寺岸義春、高田利夫、日本包装学会誌、2 (2), 85 (1993)
- 3) 豊田実、“新包装技術便覧 1” (星野茂雄ら編)、日本生産性本部、p.1267 (1971)
- 4) 中嶋隆勝、野上良亮、寺岸義春、高田利夫、日本機械学会論文集C編、59 (558), 624 (1993)
- 5) Harris, C. H. and Crede, C. E., "Shock and Vibration Handbook 3", McGraw-Hill, p. 41 - 39 (1961)

(原稿受付 1994年1月17日)

(審査受理 1994年5月31日)