カーペットの圧縮変形理論

大阪府立繊維工業指導所 木 村 和 臣* (会員)

京 都 大 学 川 端 季 雄** (会員)

京 都 大 学 河 合 弘 廸** (会員)

Compressive Deformation Theory of Carpets

Kazutomi Kimura,* Sueo Kawabata** and Hiromichi Kawai**

*Sakai Branch of Textile Research Institute, Osaka Prefecture, Osaka

**Department of Polymer Chemistry, Kyoto University, Kyoto

Abstract

To enable the compressive deformation properties of some kinds of carpets to be calculated, their compressive mechanism has been analyzed.

With the aid of some hypotheses presented, the theoretical equations have been derived on the basis of the thin rod theory on elastica.

The experimental curves on flocked or tufted carpet have been compared with the theoretical ones with fairly good agreement, thus verifying that the above hypotheses and theoretical equations are almost right.

(Received December 6, 1969)

摘 要

目 的 カーペットのバイルの圧縮変形曲線を数値計算するための理論式を誘導し、カーペットの設計資料とする。

成 果 (1) カットバイル カーペットの簡単なモデルを導入してバイルの圧縮変形の理論式を誘導した。

(2) 電植カーペットおよびバイル糸に単糸を用いたタフテッド カーペットにその理論式を適用した結果、かなりの精度があることを確認できた。

(昭和44年12月6日受理)

1 緒 言

カーペットの圧縮変形についての研究はいままで多数報告されているが、いずれもカーペットを各種の方法で圧縮し、荷重、変形量や仕事量を測定し、たとえばこれらを風合いとの関係に結びつけようとするカーペットの評価法の研究が多い。そのため希望する風合いのカーペットを得るには経験と勘によるいわゆる *trial and error* の方法に頼っているのが現状である。

しかし希望する風合いのカーペットを得るにはカーペットの力学的性質、特に圧縮特性を計算で制御する必要がある。こうしてカーペットの風合いの設計の可能性が生まれてくるものと思われる。これにはまずカーペットに圧縮変形を与えた場合に生ずる反弾力の発生の基礎的な機構の力学的理論解析が必要であるが、この方面の研究がいままで少ない。

われわれはこの問題の研究に着手しており、基本的問題については、かなりの成果を得たので報告する。

2 理 論

2.1 カーペットの基本構造とモデル化

カーペットのうちでカットバイル カーペットには電植(flocked), タフテッド(tufted), ウイルトン(Wilton), アクスマンスター (Axminster) など多数の種類があるが、まずこれらのカーペットの基本構造としては1本のまっすぐな長さ l の細棒が垂直方向となす角が β で基布に植えられたものとする。

カーペットを圧縮した場合はこの長さ l の1本の細棒に垂直圧縮荷重 P を加えたとき細棒の曲げのために生じる圧縮特性が基本特性となり、それに細棒が多数集合した場合の集合体効果を加えた複雑な圧縮特性を考える必要がある。ただし、細棒は第1図のように格子状に等間隔に位置し、曲げは同一方向に、かつ棒の面上への投影が格子線上にあるように生じるモデルを設ける。このモデルを圧縮すると第2図に示す圧縮角 α (細棒の先端における接線と垂直方向との角) が大になり、隣接の細棒

第1図 カーペットのモデル

第2図 圧縮変形のモデル

の先端同志が接触しはじめる。このときの荷重を特に $P\alpha_m$ とし、またこのときの圧縮角を最大圧縮角 α_m とすると、細棒の本数: n (本/cm²) と細棒の直径 D_c (cm) とから α_m は第3図より

$$\alpha_m = \cos^{-1}(D_c \times \sqrt{n}) \quad \dots\dots(1)$$

となる。細棒自身が繊維の集合体である場合は糸の断面の圧縮変形効果を導入して D_c を決めなければならない。

つぎに細棒をさらに圧縮しても最大圧縮角 α_m は一定値をとり、荷重 $P(P > P\alpha_m)$ の作用点が細棒の根元の

第3図 パイル先端の拡大図

第4図 圧縮変形のモデル ($P > P\alpha_m$)

方へ移動することは幾何学的に明らかである。写真観測によると第4図に示しているように細棒は重なり部分ではまっすぐで、重なり部分を離れると曲がり始める。一方第3図からわかるように細棒の先端部分で細棒は互に接し、あとはわずかに離れることは幾何学的に導ける。全体としての形状は先端部から根元にかけては、はじめはほとんど曲率は0、細棒が互に分離するにつれてその曲率を増加させていく。

以上の形状をつぎのように単純化する。

第4図で0点から0'点まで細棒の曲率は0、0'点から細棒は徐々に曲率を増加させるものとする。すなわちこの0'点では細棒の曲げモーメントは0であるとみなす。このときの0'点をつぎのように求める。

第5図において細棒を圧縮力 $P(P > P\alpha_m)$ で曲げていくとき、 α_m を一定という条件を入れるには、 P の作用点を0点から0'点へ移さざるを得ない。すなわち0'点より先端へは細棒の曲げモーメントは0と仮定しているので、結局棒を P なる荷重で曲げ圧縮したとき、自由端のとり角度を α_m とすればこの条件を満たす細棒の長さ $0_00'$ は自動的に決まる。この0'点を新しい力の作用点とする。

以上の圧縮変形モデルで荷重 P と高さ h との関係を示す理論式を導く。

第5図 圧縮荷重 ($P > P\alpha_m$) の作用点の移動のモデル

第6図 圧縮変形形態

2.2 細棒1本の圧縮による曲げ変形

実際のカットパイルカーベットを圧縮する場合、圧縮形態は第6図で示すような(A), (B)いずれかの曲げ形態が生じることはまずなく、この2つの種類の形態が混在している場合が多い。この圧縮形態を決定する条件はパイルの初期形態および加圧方向、加圧板とパイルの先端との摩擦係数である。また荷重とパイルの高さ（または長さ）との関係は圧縮形態によって決定される。

2.2.1 圧縮形態(A)の場合

1 端固定の細棒の曲げの問題であり、この理論式は第7図より下記の非線形微分方程式が成り立つ。

第7図 一端固定の細棒の曲げモデル

$$EI \frac{d\theta}{ds} + Py - Rx = 0 \quad \dots\dots(2)$$

$$R = \pm \mu P, \quad (\text{加圧過程は正, 除荷重過程は負をとる}) \quad \dots\dots(3)$$

ただし

EI ; 曲げ剛性 ($\text{g} \cdot \text{cm}^2$)

P ; 荷 重 (g)

h ; 細棒の高さ (厚さ) (cm)

l ; 細棒の長さ (cm)

θ ; P 点における細棒の接線と垂直方向との角(度)

α ; 0点における θ の値

s ; 0点からの弧の長さ

R ; 水平方向の力 (摩擦力)

μ ; 細棒の先端と加圧板との摩擦係数

とする。

$$(2) \text{式の両辺を } s \text{ で微分し, } \sin\theta = \frac{dy}{ds}, \quad \cos\theta = -\frac{dx}{ds} \quad (3)$$

式とからつぎの式を得る。

$$\frac{d^2\gamma}{ds^2} + B^2 \sin\gamma = 0 \quad \dots\dots(4)$$

ただし, $\theta + \varphi = \gamma$, $\varphi = \tan^{-1}(\mp \mu)$, $B^2 = \frac{P}{EI} \sqrt{1 + \mu^2}$ とおく。

(4)式の両辺に $d\gamma$ を乗じ、積分すると

$$\frac{1}{2} \left(\frac{d\gamma}{ds} \right)^2 = -B^2 \cos\gamma + C \quad (C: \text{積分定数}) \quad \dots\dots(5)$$

境界条件 $\frac{d\gamma}{ds} = \frac{d\gamma}{ds} = 0$ のとき $\theta = \alpha$ であるから積分定数 C は

$$C = -B^2 \cos(\alpha + \varphi) \quad \dots\dots(6)$$

$\frac{d\gamma}{ds}$ は減少関数であるから(5), (6)式より

$$ds = \frac{-d\gamma}{\sqrt{\frac{1}{2} B^2 \cos\gamma - \cos(\alpha + \varphi)}} \quad \dots\dots(7)$$

したがって、細棒の長さ l は

$$l = \int ds = \int_{\alpha}^0 \frac{-d\gamma}{\sqrt{\frac{1}{2} B^2 \cos\gamma - \cos(\alpha + \varphi)}} \\ = \frac{1}{2B} \int_0^{\alpha} \frac{d\gamma}{\sqrt{\sin^2\left(\frac{\alpha + \varphi}{2}\right) - \sin^2\frac{\gamma}{2}}} \quad \dots\dots(8)$$

ここで

$$\sin\frac{\gamma}{2} = K \sin\phi = \sin\left(\frac{\alpha + \varphi}{2}\right) \sin\phi \quad \dots\dots(9)$$

とおくと θ の範囲が $0 \sim \alpha$ のとき γ のとる範囲は $\varphi \sim \varphi$

$+\alpha$ となるから(9)式より $\sin\phi$ は $\frac{\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha + \varphi}{2}\right)}$ と1との間

をとる。すなわち ϕ の範囲は $\phi_0 \sim \frac{\pi}{2}$ となる。ただし

$$\phi_0 = \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha + \varphi}{2}\right)} \right\}$$

$$\text{また, } \sqrt{\sin^2\left(\frac{\alpha + \varphi}{2}\right) - \sin^2\frac{\gamma}{2}} = K \cos\phi \quad \dots\dots(10)$$

であるから(9)式の両辺を ϕ で微分すると

$$d\gamma = \frac{2K \cos \phi d\phi}{\sqrt{1-K^2 \sin^2 \phi}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

となり, (9), (10), (11)式より(8)式は

$$l = \frac{1}{B} \int_{\phi_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\phi}{\sqrt{1-K^2 \sin^2 \phi}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

となる. 細棒の高さ h は

$$h = \int_{\alpha}^0 dx = \int_{\alpha}^0 (\cos \theta) ds = \frac{1}{B} \int_{\phi_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos(\gamma - \varphi) d\phi}{\sqrt{1-K^2 \sin^2 \phi}} = \dots\dots\dots (13)$$

しかるに

$$\cos(\alpha - \varphi) = 2K \sin \varphi \sin \phi \sqrt{1-K^2 \sin^2 \phi} + \cos \varphi \quad (1-K^2 \sin^2 \phi)$$

であるから

$$h = \frac{2K \sin \varphi}{B} \int_{\phi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sin \phi d\phi + \frac{\cos \varphi}{B} \left(2 \int_{\phi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-K^2 \sin^2 \phi} d\phi - \int_{\phi_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\phi}{\sqrt{1-K^2 \sin^2 \phi}} \right) \quad \dots\dots\dots (14)$$

となる.

つぎに細棒が傾斜角 β (細棒と垂直方向とのなす角) で基布に埋め込まれているときは θ の積分範囲が $0 \sim \alpha$ であったのを $\beta \sim \alpha$ に, すなわち(12), (14)式で $\phi_0 \rightarrow \phi_\beta$ とすればよい.

$$\text{ただし, } \phi_\beta = \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin \left(\frac{\beta + \varphi}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\alpha + \varphi}{2} \right)} \right\}$$

以上の式から簡単のために $\mu=0$ のときを要約して説明すると下記のとおりである.

$$P = \frac{EI}{l^2} \cdot F^2 \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, K \right) \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$h = \sqrt{\frac{EI}{P}} \cdot \left\{ 2E \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, K \right) - F \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, K \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{ただし, } K = \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \phi_\beta = \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin \left(\frac{\beta}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right\}$$

曲げ剛性 EI , 細棒の長さ l , 傾斜角 β , 圧縮角 α を与えると(15)式より荷重 P が求まり, その P と α を(16)式に代入すると細棒の高さ h が求まる. すなわち x と P との関係が決定できる.

われわれがこの理論式を使う場合にはコンピューターで計算するか, またはあらかじめ数表 (第1~5表) を作成しておけば便利である.

具体的計算例

$\mu=0$, $\beta=30^\circ$, $EI=1335.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$, $l=4 \text{ cm}$ のときは(15),

(16)式と第4表よりたとえば $\alpha=50^\circ$ を与えれば

第1表 数 表 ($\mu=0$, $\beta=0$)

$\alpha(^{\circ})$	$F^2 \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right)$	$2E \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right) - F \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right)$
0	2.46741	1.57079
10	2.47680	1.56181
20	2.50544	1.53487
30	2.58408	1.49013
40	2.62452	1.42753
50	2.71915	1.34724
60	2.84170	1.24915
70	2.99719	1.13331
80	3.19253	0.99945
90	3.43754	0.84721

第2表 数 表 ($\mu=0$, $\beta=10^\circ$)

$\alpha(^{\circ})$	$F^2 \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right)$	$2E \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right) - F \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right)$
20	1.11615	1.01126
30	1.57309	1.14799
40	1.85532	1.17092
50	2.07657	1.14035
60	2.28101	1.07460
70	2.49169	0.98138
80	2.72461	0.86404
90	2.99408	0.72412

第3表 数 法 ($\mu=0$, $\beta=20^\circ$)

$\alpha(^{\circ})$	$F^2 \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right)$	$2E \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right) - F \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right)$
30	0.73755	0.76689
40	1.17662	0.90346
50	1.49661	0.93042
60	1.76693	0.90000
70	2.02245	0.83055
80	2.28542	0.73030
90	2.57532	0.60300

第4表 数 表 ($\mu=0$, $\beta=30^\circ$)

$\alpha(^{\circ})$	$F^2 \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right)$	$2E \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right) - F \left(\frac{\pi}{2}, \phi_\beta, k \right)$
40	0.56359	0.60171
50	0.96374	0.71211
60	1.28851	0.72239
70	1.58141	0.68162
80	1.86961	0.59985
90	2.17492	0.48536

$$P (\alpha=50) = \frac{0.96374}{4^2} \times 1335.3 = 80.43 (\text{g})$$

$$h (\alpha=50) = \sqrt{\frac{1335.3}{80.43}} \times 0.71211 = 2.901 (\text{cm})$$

同様にして α を 90° まで与えて計算した結果を第6表で

第4表 数表 ($\mu=0, \beta=40^\circ$)

$\alpha(^\circ)$	$F^2\left(\frac{\pi}{2}, \phi_B, k\right)$	$2E\left(\frac{\pi}{2}, \phi_B, k\right) - F\left(\frac{\pi}{2}, \phi_B, k\right)$
50	0.46790	0.46911
60	0.83838	0.54513
70	1.16321	0.53532
80	1.47312	0.47392
90	1.79249	0.37368

第6表 ピアノ線の計算結果 ($\mu=0, l=4, \beta=30^\circ$)

$\alpha(^\circ)$	40	50	60	70	80	90
$P(g)$	47.0	80.4	107.5	132.0	156.0	181.5
$h(cm)$	3.21	2.90	2.54	2.17	1.75	1.32

示した。

2.2.2 圧縮形態(B)の場合

同じ長さの細棒を形態(A)と異なり形態(B)で圧縮するとき、写真観測によると圧縮形態(B)の細棒の長さ l のうち約 $1/3$ が圧縮形態(A)の圧縮を受けて、これと P が釣合っているので圧縮形態(B)の場合の荷重 P_B は圧縮形態(A)の理論式の中の l を約 $l/3$ において近似的に求まる。

したがって、同じ細棒の高さに対応する圧縮力について $P_B \div 9P_A$ を得る。

同一長さの細棒の場合、同じ圧縮を行なうのに圧縮形態(B)の荷重は圧縮形態(A)の荷重の約9倍である。ただし自由端の水平位置を変えて圧縮するとこの比率は若干変化する。

また座屈荷重について比較すると圧縮形態(A)の場合の座屈荷重 P_{CrA} は

$$P_{CrA} = \frac{\pi^2 EI}{4l^2}$$

圧縮形態(B)の場合の座屈荷重 P_{CrB} は1端固定他端回転の場合であるから

$$P_{CrB} = \frac{2.046 \pi^2 EI}{l^2}$$

となり^{6,7)}

$$P_{CrB} = 8.184 \times P_{CrA}$$

となる。すなわち同一長さの細棒について、この場合は圧縮形態(B)の座屈荷重は圧縮形態(A)の座屈荷重の約8.2倍必要である。前者の約9倍と異なるが以下ではすべて近似的に8倍とおくことにする。

2.3 細棒集合体の圧縮による曲げ変形

細棒の集合体を圧縮した場合、全部の細棒が圧縮形態(A)のみで圧縮されたときの荷重を P_A とする。そして圧縮形態(A)、(B)が同時に生じたとき、それぞれの生じる確率を N_A, N_B とすると圧縮荷重 P として下記の式を適用する。

$$P = P_A \cdot N_A + 8P_A \cdot N_B = P_A(N_A + 8N_B) \cdots \cdots (17)$$

ただし $N_A + N_B = 1$

またこの場合でも第8図で示すように2.1の圧縮変形モデルが成り立つとする。

第8図 圧縮形態(A)、(B)の混在した場合の圧縮変形モデル

したがって、17式の圧縮荷重 P に対応する細棒の高さ h は圧縮形態(A)のみの計算で行なう。すなわち(12)、(14)式から h と P_A との関係を求め、その P_A に $(N_A + 8N_B)$ を乗ずれば h と P との関係が求まる。このように圧縮形態(A)が基本となって計算できるため、圧縮形態(A)のみが起きた場合の細棒の集合体について理論解析をすれば簡単に混在する場合が計算できる。

2.3.1 計算方法

まず細棒の集合体の設計を下記のとおり与える。

細棒の長さ; l (cm)

細棒の直径; D_c (cm)

摩擦係数; O

細棒本数; n (本/cm²)

曲げ剛性; EI g・cm²/1本

傾斜角; β (度)

最初(15)、(16)式に l, β, nEI を定数として代入し、圧縮角 α ($\beta \leq \alpha \leq \alpha_m$) を変数として、代入すると細棒の高さ h と荷重 P との関係が α を変数として求まる。また最大圧縮角 α_m は(1)式より求まる。

$\alpha = \alpha_m$ に到達したときの圧縮荷重を $P\alpha_m$ とすると、 $P > P\alpha_m$ に対してはすでに述べたように力の作用点が棒の先端部から根元に向かって移動する。この点の位置と P との関係を求めるため、まず、第9図のように l_2 ($l_2 < l$) を適当にえらんで、作用点の位置をまず定め、この l_2 と α_m を与えて(15)式よりこの形態を保つのに必要な力 P を計算する。 l_2 を変えながらこれに対応する P を

第9図 荷重 (P) と高さ (h) との関係

同時に計算し, P と l_2 の関係が得られる. また P と α_m を(16)式に代入し, P と h_2 の関係が得られる. 与えられた P に対し, l_2 が求まっているので

$$l_1 = l - l_2 \quad (18)$$

$$h_1 = l_1 \cos \alpha_m \quad (19)$$

$$h = h_1 + h_2 \quad (20)$$

こうして P と h の関係が求まる. 最後に N_A , N_B を決

第10図 圧縮特性の計算例
— 細棒の長さ l を変えたとき — 第11図 圧縮特性の計算例
— 曲げ剛性 (EI) および細棒数 (n) を変えたとき —

定して(17)式より実際の P を求める. h はカーペットのパイル部の厚みに相当する.

以上の計算方法で l , EI , n , β および N_A をそれぞれ変えた場合の計算結果を第10, 11, 12, 13図で示し

第12図 圧縮特性の計算例
— 傾斜角 β を変えたとき — 第13図 圧縮特性の計算例
— 圧縮形態の混在した場合 —

た. カーペットの厚みには細棒の長さ l , 細棒本数 n の影響が大であり, 圧縮形態, 曲げ剛性 EI は初期の反撥力のみに影響することがわかる.

具体的な計算例

電植カーペットの例を計算する.

$\mu=0$, $\beta=30^\circ$, $l=0.26\text{cm}$, $EI=7.7074\text{g}\cdot\text{cm}^2/\pi\text{cm}^2$
 $n=6091\text{本}/\text{cm}^2$, $D_c=0.0042\text{cm}$ のとき(1)式より $\alpha_m=70^\circ$, また, この場合は圧縮形態(A)のみであるから(17)式より $P_A=P$ とし, α が $0\sim 70^\circ$ までは(15), (16)式と第4表とより h と P との関係が求まる. その結果を第7表に示した.

第7表 電植カーベットの2, 3の計算結果
 $(P < P\alpha_m)$

$\alpha(^{\circ})$	40	50	60	70
$P(\text{g}/\pi\text{cm}^2)$	64.26	109.8	146.9	180.3
$h(\text{cm})$	0.208	0.188	0.165	0.141

$\alpha=70^\circ$ に到達した後の変形は(18), (19), (15), (16)式より

$$h_1 = (l - l_2) \cos 70^\circ$$

$$P = \frac{1.58141}{l_2^2} \times 7.7074$$

$$h_2 = \sqrt{\frac{7.7074}{P}} \times 0.68162$$

が得られる. l_2 を $l \sim 0$ までの任意な値を与えて, P と $h_1 + h_2$ の関係を上式より得ればよい. 若干の計算結果を第8表で示した.

第8表 電植カーベットの2, 3の計算結果
 $(P\alpha_m < P)$

$l_2(\text{cm})$	$P(\text{g}/\pi\text{cm}^2)$	$h_2(\text{cm})$	$l_1(\text{cm})$	$h_1(\text{cm})$	$h(\text{cm}) = (h_1 + h_2)$
0.24	211.6	0.1301	0.02	0.0068	0.1368
0.20	304.7	0.1084	0.06	0.0205	0.1289

2.3.2 細棒が細棒の束でできている場合

(タフテッド カーベットの場合)

タフテッド カーベット では細棒に相当するのは太いパイル糸である. この場合パイル糸のつぶれ効果を導入する必要が生ずる. パイル糸の直径が D_c から D_c' になったとする.

いま, カーベットのパイル数を $n(\text{本}/\text{cm}^2)$ とし, パイル糸の単糸は直径 $d(\text{cm})$ の単繊維が n_y 本集まって構成されているとし, それが圧縮されて, たて n_{y1} 本, よこ n_{y2} 本の長方形断面を形成したとする. 第14図より

$$n_{y1} \times n_{y2} = n_y$$

$$n_{y1} \times d = D_c'$$

$$n_{y2} \times d = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

となり

$$D_c' = n_y \times d^2 \times \sqrt{n} \dots\dots\dots(21)$$

第14図 つぶれ効果のモデル

となる. しかしに普通のカーベットではパイル密度はゲージ: G , ステッチ: S で表示しているのでパイル数 n は

$$n = \frac{1}{2.54^2} \times \frac{2S}{G} \dots\dots\dots(22)$$

となる. したがって(1)式より細棒が単糸の場合の最大圧縮角 α_m は

$$\alpha_m = \cos^{-1} \left(\frac{2n_y \times d^2 \times S}{2.54^2 \times G} \right) \dots\dots\dots(23)$$

となる. その他の計算方法は2.3と同様である.

具体的計算例

タフテッド カーベットを例にとり,

$G = \frac{5}{32}$, $S = 7.5$, $l = 1.01\text{cm}$, 番手 $1/1.8$, $EI = 9.881\text{g}\cdot\text{cm}^2/\pi\text{m}^2$, $\beta = 20^\circ$, $n_y = 334\text{本}/\text{糸}$, $d = 4.13 \times 10^{-3}\text{cm}$,

とおく. そしてこの場合は製造方法からくる構造上, はば $N_A = N_B = 0.5$ の混在型であることが推定されるし, また構造観測からも認められる. (23)式より

$$\alpha_m = \cos^{-1} \left(\frac{2 \times 32 \times 10^{-6} \times 334 \times 4.13^2 \times 7.5}{2.54^2 \times 5} \right) = 85^\circ$$

となり, (17)式からは

$$P = 4.5P_A \dots\dots\dots(24)$$

となる. したがって, 圧縮角 α が 85° までは(15), (16)式と第3表より h と P_A との関係が求まり, (24)式より h と P との関係が求まる (第9表).

第9表 タフテッド カーベットの2, 3の計算結果
 $(P \leq P\alpha_m)$

$\alpha(^{\circ})$	$P_A(\text{g})$	$h(\text{cm})$	$P(=4.5P_A)$ ($\text{g}/\pi\text{cm}^2$)
30	7.144	0.902	32.1
40	11.398	0.841	51.3

また $\alpha_m = 85^\circ$ のときは $F^2 = 2.42535$, $2E - F = 0.66965$ として同様に計算すればよい (第10表).

第10表 タフテッド カーペットの2, 3の計算結果 ($P\alpha_m < P$)

$l_2(\text{cm})$	$P_A(\text{g}/\pi\text{cm}^2)$	$h_2'(\text{cm})$	$P(=4.5P_A)(\text{g}/\pi\text{cm}^2)$	$l_1(\text{cm})$	$h_1(\text{cm})$	$h(=h_1+h_2)(\text{cm})$
0.9	29.56	0.387	33	0.11	0.00959	0.39659
0.7	48.90	0.301	220	0.31	0.02702	0.32802

3 実 験

3.1 装置と方法

第15図で示したように垂直方向のみの力を検出できる

第15図 圧縮試験機の概略図

ようにスラストベアリング2個を用いた特殊な圧縮試験機を試作した。

(15), (16)式の確認のためのピアノ線の実験では、圧縮形態(A)の場合には μ を0にするために第16図のようにピ

第16図 圧縮形態(A)のピアノ線の実験

アノ線の先端にベアリングを用い、圧縮形態(B)の場合には第17図のようにピアノ線の先端を固定し、回転のみを

第17図 圧縮形態(B)のピアノ線の実験

与えた。

カーペットの実験では厚さ 5mm のガラス板 (5cm×5cm) を加圧板とした。カーペットの試料の大きさは直径 2cm の円の面積 (πcm^2) である。

また第18図で示したようにカーペットの荷重変形曲線

第18図 パイルのみの圧縮変形曲線の分離法

からバックリング（基布）の荷重変形曲線を減じてパイルのみの荷重変形曲線を分離し、これと理論値とを比較した。実験時の温湿度はすべて20°C, RH65%である。

3.2 結果と考察

3.2.1 ピアノ線

ピアノ線 ($0.6\text{mm}\phi$, $E=2.1\times 10^4\text{kg/mm}^2$) で測定した結果, 圧縮形態(A)では $\mu=0$, $\beta=0^\circ$, $l=4.1\text{cm}$ (第19図) と $\mu=0$, $\beta=30^\circ$, $l=4.75\text{cm}$ (第20図) である.

第19図 圧縮形態(A)の実験結果と理論値

第20図 圧縮形態(A)の実験結果と理論値

また図中の変形量は元の高さ(圧縮前)から圧縮後の高さを減じたものとした.

いずれも理論値が実験値に一致しているので(15), (16)の精度がよいことを裏づけている. また, 圧縮形態(B)の場合では第21図で示すように $\mu=1$, $\beta=0^\circ$, $l=11.5\text{cm}$ のときはピアノ線の先端の固定の位置によって異なるがいずれも圧縮形態(B)の理論値に近い.

第21図 圧縮形態(B)の実験結果と理論値

第22図 未圧縮の側面(電植カーペット)

第23図 圧縮時の側面(電植カーペット)

3.2.2 電植カーペット

第22, 23図は樹脂固定法による圧縮前後の電植カーペットの断面写真である. 明らかにA型の圧縮形態が生じている. 第24図は $\beta=30^\circ$, $l=0.26\text{cm}$, $EI=7.7074\text{g}\cdot\text{cm}^2/\pi\text{cm}^2$, $n=6091\text{本}/\text{cm}^2$, $D_c=0.0042$ の場合の測定結果で点線が $\mu=0$, 一点鎖線が $\mu=0.2$ の理論値である. パイルの高さが $0.12\sim 0.14\text{cm}$ の付近では大きな相

第24図 電植カーペットの実験結果と理論値

違点があるが, 荷重-除重サイクルの中心線はかなりよく一致している. この相違点の付近では圧縮形態(B)が不安定な形で存在していると推定すれば解決するが大きなヒステリシスなどまだその原因が未解決である.

3.2.3 タフテッドカーペット

第25図はパイル糸の番手 $1/1.8$, $G=5/32$, $S=7.5$, $l=1.01\text{cm}$, $\beta=20^\circ$, $n_y=334\text{本}/\text{糸}$, $EI=9.881\text{g}/\pi\text{cm}^2$,

第25図 タフテッドカーペットの測定値と理論値

第26図 未圧縮の側面と単位パイル
(タフテッドカーペット) 第27図 圧縮時の上面
(タフテッドカーペット)

$d=4.13 \times 10^{-3} \text{cm}$ のときの測定結果と $\mu=0$ のときの理論値がある。このときの圧縮挙動は第26, 27図で示した。明らかに圧縮変形モデルが正しいことがわかる。いずれも電植カーペットの場合と類似しており、荷重—除重曲線の中心線と理論値がかなりよく一致している。

最後にこれらの計算はすべて基布の特性の影響を差引いて行なった。実際の特性は計算特性に基布の特性が直列に加算されるが、その加算法は直列モデルによる変形加算であるから簡単である。

4. 結 語

カットパイルカーペットの圧縮変形モデルと理論の適用により、実際の電植カーペットや、パイル糸に単糸を用いたタフテッドカーペットのパイルの圧縮変形曲線の数値計算が可能であることを確認できた。またその計算は表を用いて簡単に行なえる。

今後は希望する力学特性（風合いなど）のカーペットもその圧縮変形曲線がわかればコンピューターによるシミュレーションを利用して、そうした特性をもつように設計できる。

おわりに討論をいただいた京都大学工学部高分子化学教室内の集合体力学研究会に謝意を表す。

文 献

- 1) D.G. Clegg, S. L. Andersen ; J. Text. Inst., T347, (1962)
- 2) D.G. Feather ; J. Text. Inst. T573, (1967)
- 3) K. C. Laughlin, G.E. Cusick ; Text. Res. J. 72, (1968)
- 4) D. W. Hadley, D. Preston ; J. Text. Inst. T194, (1967)
- 5) N. W. McLachlan ; Ordinary non linear differential equation in engineering and Physical science (1950) London. Oxford university press.
- 6) S.P. Timoshenko ; Theory of Elastic stability. 53, 76 ~81, (1961) London McGraw-Hill Book.
- 7) 奥村, 材料力学, 298 (1966) コロナ社
- 8) 木村, 川端, 河合 ; 日本繊維機械学会第22年次大会講演論文集 105-6 (1969)
- 9) 木村, 川端, 河合 ; 第5回繊維連合会講演会前刷. 213 (1969)