織布の動的ドレープの解析

金沢大学教育学部 松 平 光 男 (会員)
京都大学工学部 川 端 季 雄 (会員)

An Analysis of Dynamic Drape of Woven Fabric.

Mitsuo Matsudaira*, Member and Sueo Kawabata**, Member

*Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa.

**Department of Polymer Chemistry, Kyoto University, Kyoto.

Abstract

In order to investigate dynamic drape of woven fabric, vibrational property of weave was analysed theoretically and experimentally. The motion of weave was considered to be shear deformation and the shear vibrational property was analysed using differential equation. Vibration tester, which was modified KES-LABO-MODEL shear tester, was used to examine the motion of the weave. It was shown that weave with buckling like sine wave (buckled-shaped weave) was considered to be equivalent to plate-shaped weave by some correction of weave characteristics such as shear stiffness and weave mass. Women's thin dress fabrics were examined their vibrational properties and their amplitude angles of vibration decreased linearly with time. This means that their shear vibration damp by frictional effect between fibres and/or between warp and weft yarns in the weave and that viscostic effect in the weave can be neglected in the range observed. Viscostic effect of air resistance is also neglected when the length of weave is small (smaller than 0.1 m), but it becomes distinct if the length is large (larger than 0.5 m). The amplitude damping angle is in proportion to $2HG_0/G_0$ which are characteristic values of weave shear property measured by KESF system. (Received 20, June, 1986)

摘 要

目的 重力場における織布の揺動振動とせん断特性との関係を解析し、衣服の動的ドレープと布物性との関連を明らかにする。

成果 平板状の織布および正弦波状に曲げバックリングした織布（屈曲布）の揺動振動特性を布の面内せん断変形特性と結び付けた。屈曲布の振動は平板布の振動に一部修正を加えることにより取扱えることを明らかにした。婦人用薄手布の揺動振動は布の面内せん断変形特性での摩擦効果によって減衰し、その減衰角はせん断力のヒステリシスとせん断剛性との比に直線関係を示す。 (昭和61年6月20日受理)

1. 緒 言

曲げバックリング（屈曲）からなる多くのひだのある衣服が身体の動きに伴って揺動する現象は衣服着用時の形態の美観に関連している。この現象をここでは一括して動的ドレープと呼ぶ。この動的ドレープについては、これまでの研究では婦人用スカートのすその揺動追跡¹⁻³⁾、あるいはスカートの揺動と感覚との関係^{4,5)}などが検討されている。またこの動的ドレープは、一般には布の曲げ変形およびせん断変形を伴う動きが主体と考えられるため、布の曲げ特性と動的ドレープとの関係が詳しく解析され報

告されている⁶⁻⁸⁾。しかし織構造を持つ布（以下織布と呼ぶ）の場合、着用中の屈曲を伴う布地の動きをみると、屈曲のため曲げ剛性が増大し、織布特有の低いせん断剛性による面内せん断変形が主たる役割を持つ場合が多い。例えば織布はたて糸—よこ糸間の交差角を変化することにより、容易に面内せん断変形を生じる。本研究ではせん断変形に基づく動的ドレープについて解析し、織布の揺動振動特性と力学的性質との関連を解明する。

2. 理 論

織布は一般に面内のせん断剛性が比較的小さく、

Fig. 1 Three major types of weave vibration.

せん断変形が容易に生じる。図1(a), (b)に示すように、屈曲した形態の布がわずかに揺動する場合、変形は布の面内せん断変形が主体となっている。本報では布の曲げ変形の影響を無視して、純粋にせん断変形のみが関係する揺動について検討する。最も単純なせん断変形は図1(c)で、平板状の織布がせん断変形により矢印方向 (X 軸方向) へ揺動する場合であり、まずこの変形について検討する。

2.1 平板状の織布のせん断揺動振動

平板状の織布が上端を固定して垂下長 l で図2のように垂下している場合を考える。固定端に座標の原点をとって X, Y 座標を決め、面内の一様なせん断変形を伴う X 軸方向への揺動振動を仮定する。いま X 軸方向を布の幅方向と定義し、布の単位幅当りの質量を m_f とし、一般に単位幅当りの質量 m_w の重錘が布の下端に付加されている場合を考える。

Fig. 2 Vibration model of plate-shaped weave based on shear deformation.

この考慮は問題の一般化とともに、実験時の下端振動検出装置の付加による効果を付与するためでもある。布の動的せん断特性に関しては次式を仮定する。

$$F_s = G\varphi \pm H + \eta_f \frac{d\varphi}{dt} \tag{1}$$

- ただし、 F_s ; 単位幅当りのせん断力 (N/m)
- G ; 単位幅当りのせん断剛性 (N/m · rad)
- φ ; せん断角 (rad)
- η_f ; 布のせん断変形における単位幅当りにかかる粘性抵抗係数 (N · s/m · rad)
- H ; せん断力 F_s の内部繊維 (あるいは糸) 間摩擦によるヒステレシス (N/m), X 軸の正方向への移動時は正符号, 逆のときは負符号をとる

- l ; 垂下長 (m)
- b ; 布の幅 (m)
- m_f ; 布の単位幅当りの質量 (kg/m)
- m_w ; 重錘の単位幅当りの質量 (kg/m)

布の面内せん断自由振動の運動方程式は φ の小さな領域では次式となる。

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} + C \frac{d\varphi}{dt} + K\varphi \pm D = 0 \tag{2}$$

ただし、 I は振動系の慣性 2 次モーメントで、

$$I = m_f l^2 b / 3 + m_w l^2 b \tag{3}$$

ここで右辺第 1 項は布の慣性項で、第 2 項は重錘の慣性項である。 C は粘性抵抗係数で、布自身の粘性抵抗 η_f によるものと空気の抵抗によるものが含まれている。空気抵抗については次のように求められる。布の一点 (x, y) における微小面積 ds が受け

る両側面からの空気抵抗によるモーメント増加 dM は,

$$dM = 2 \cdot \eta_a \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cdot y \cdot ds \quad (4)$$

ただし, η_a は布の単位面積当りの空気の粘性抵抗係数 ($N \cdot s/m^2 \cdot rad$) である. 従って布面での面積分を求めると,

$$M = 2 \eta_a \int \frac{d\varphi}{dt} \cdot y \cdot ds = \eta_a b l^2 \frac{d\varphi}{dt} \quad (5)$$

布のせん断変形における粘性効果に基づく抵抗モーメントは $\eta_f \cdot b \cdot l d\varphi/dt$ であるから,

$$C = bl(\eta_f + \eta_a l) \quad (6)$$

また, K は弾性抵抗係数で, φ , m_f , m_w が小さいときには近似的に,

$$K = bl(G + \frac{m_f g}{2} + m_w g) \quad (7)$$

ただし, g は重力の加速度 ($\approx 9.8 m/s^2$) である. D は摩擦効果項で,

$$D = \pm blH \quad (8)$$

ただし, φ の増加過程では正符号をとり, φ の減少過程では負符号をとる.

(2)式を時刻 $t=0$ において $\varphi=\varphi_0$ の条件で解くと, 自由振動の始めの半サイクルについては(2)式の左辺の正負の符号は負となり, その解は, $C^2 < 4IK$ の減衰振動の場合を考えると,

$$\varphi_{(0)} = \frac{D}{K} + (\varphi_0 - \frac{D}{K}) \sqrt{\frac{4IK}{4IK - C^2}} \cdot e^{-Ct/2I} \cdot \cos\left(\frac{\sqrt{4IK - C^2}}{2I} t + \gamma\right) \quad (9)$$

ただし, $\gamma = -\tan^{-1}(C/\sqrt{4IK - C^2})$

周期; $T = 4\pi I / \sqrt{4IK - C^2}$

半サイクル後の最大負振幅 φ_1 は,

$$\varphi_1 = \frac{D}{K} - (\varphi_0 - \frac{D}{K}) \exp\left(\frac{-C(\pi - \gamma)}{\sqrt{4IK - C^2}}\right) \quad (10)$$

次の戻りの半サイクルについては(2)式の左辺の正負の符号は正となり, その解は,

$$\varphi_{(0)} = -\frac{D}{K} + (\varphi_1 + \frac{D}{K}) \sqrt{\frac{4IK}{4IK - C^2}} \cdot e^{-Ct/2I} \cdot \cos\left(\frac{\sqrt{4IK - C^2}}{2I} t + \gamma\right) \quad (11)$$

また, このサイクルの終りで速度がゼロになるときの最大振幅 φ_2 は,

$$\varphi_2 = -\frac{D}{K} - \left\{ \frac{2D}{K} - (\varphi_0 - \frac{D}{K}) \exp\left(\frac{-C(\pi - \gamma)}{\sqrt{4IK - C^2}}\right) \right\}.$$

$$\exp\left(\frac{-C\pi}{\sqrt{4IK - C^2}}\right) \quad (12)$$

ここで減衰振動の振幅が直線的に減少すれば, 後述するように粘性効果は存在しないが, 振幅が非直線的に減少する場合には, 下記のように粘性効果のみを分離してそのパラメータを求めることができる. 半サイクルごとの振幅の極大値を求めると,

$$\varphi_0 = \varphi_0$$

$$\varphi_1 = \alpha - (\varphi_0 - \alpha)e^{-\beta}$$

$$\varphi_2 = -\alpha - (\varphi_1 + \alpha)e^{-\beta}$$

$$\varphi_3 = \alpha - (\varphi_2 - \alpha)e^{-\beta}$$

$$\varphi_4 = -\alpha - (\varphi_3 + \alpha)e^{-\beta}$$

.....

$$\varphi_m = (-1)^{m-1} \alpha - (\varphi_{m-1} - (-1)^{m-1} \alpha)e^{-\beta}$$

ただし, $\alpha = D/K$, $\beta = \pi C / \sqrt{4IK - C^2}$

$n = 2m$ ($m \geq 1$) 番目の極大値に注目すると,

$$\varphi_n = -\alpha - 2\alpha e^{-\beta} - \alpha e^{-2\beta} + \varphi_{n-1} e^{-2\beta} \quad (13)$$

それ故,

$$\frac{\varphi_{n+1} - \varphi_n}{\varphi_n - \varphi_{n-1}} = \exp\left(\frac{-2\pi C}{\sqrt{4IK - C^2}}\right) \quad (14)$$

このことは極大値間の差より粘性抵抗 C が求まることを示している. (13)式より φ_n を求めると,

$$\varphi_n = \varphi_0 - (\alpha + 2\alpha e^{-\beta} + \alpha e^{-2\beta} - \varphi_0 e^{-2\beta} + \varphi_0) \cdot$$

$$\frac{1 - e^{-2\beta(m-1)}}{1 - e^{-2\beta}} \quad (15)$$

となり, (15)式を使って摩擦効果項 D を求めることもできる.

(i) 粘性効果を無視できる場合

(2)式で $C=0$ の場合, 解(9)は,

$$\varphi_{(0)} = \frac{D}{K} + (\varphi_0 - \frac{D}{K}) \cos \sqrt{\frac{K}{I}} t \quad (16)$$

となり, 次の半サイクルでは, 解(11)は,

$$\varphi_{(0)} = -\frac{D}{K} + (\varphi_1 + \frac{D}{K}) \cos \sqrt{\frac{K}{I}} t \quad (17)$$

ただし, 周期; $T = 2\pi \sqrt{I/K}$

角振幅は 1 サイクルごとに

$$\Delta\varphi = \frac{4D}{K} = \frac{4blH}{K} \quad (18)$$

だけ減衰し, 最大振幅は時間に対して直線的に減少することを示す.

(ii) 粘性, 弾性抵抗のみが存在する場合

この場合は(2)式で $D=0$ とおき, 解(9)は,

$$\varphi_{(t)} = \varphi_{0A} \sqrt{\frac{4IK}{4IK - C^2}} \cdot e^{-Ct/2I} \cdot \cos\left(\frac{\sqrt{4IK - C^2}}{2I} t + \gamma\right) \quad (19)$$

$$\text{ただし, } \gamma = -\tan^{-1}(C/\sqrt{4IK - C^2})$$

$$; T = 4\pi I / \sqrt{4IK - C^2}$$

これは通常の粘弾性の自由減衰振動を示し、振幅は指数関数的に減衰する。極大値の対数を時間に対してプロットすると直線関係が得られ、その傾き k は、

$$k = -\frac{C}{2I} \quad (20)$$

となり、粘性抵抗 C が求まる。(9), (11), (16), (17) および (19) の場合について、最大振幅値の減少の様子を図 3 に示す。

Fig. 3 Damping of maximum amplitude angle with time in shear vibration for three typical conditions.

2.2 曲げバックリング (屈曲) 形態を持つ織布のせん断揺動振動

上端を固定した織布が図 4 のように屈曲を伴っ

Fig. 4 Vibration model of buckled-shaped weave based on shear deformation.

て、 Y 軸方向に長さ l で垂下している場合の X 軸方向への揺動振動を考える。布の上端が固定され、下端が X 軸方向に振動するとき、厳密には各種の複雑な変形が混在するものと考えられるが、前述のような織布では、布の面内せん断剛性が小さいため、布のせん断変形のみを考慮すればよい。このことは観測によっても簡単に確かめることができる。図 4 に示すように、屈曲した布の下端が X 軸方向に一樣な水平変位 u を持つ場合、布特性による抵抗力を求めると次のようになる。屈曲した布の X - Y 平面へ投影したせん断角 φ は、

$$\varphi = \frac{u}{l} \quad (21)$$

図 4, 5 に示すように、 X 軸方向で考えた小区間

Fig. 5 A part of vibration model of buckled-shaped weave based on shear deformation.

dx' の布片と X - Y 平面とのなす角を θ とすると、その布片に生じているせん断変形のせん断角 φ' は、

$$\varphi' = \varphi \cos \theta \quad (22)$$

布片の幅 dx' は、

$$dx' = \frac{dx}{\cos \theta} \quad (23)$$

従って布片の下端にかかる接線力 df_s' は、

$$df_s' = (G\varphi' \pm H + \eta_l \frac{d\varphi'}{dt}) dx' \quad (24)$$

(22) および (23) を (24) 式に代入し、かつ X 軸方向へのせん断力成分 df_s を求めると、

$$df_s = df_s' \cos \theta$$

$$= (G\varphi \cos \theta \pm H + \eta_l \cos \theta \frac{d\varphi}{dt}) dx \quad (25)$$

X 軸上で測った布幅 (X - Y 軸上へ投影した幅) を $\tilde{b}$ (m) とし、全布幅について (25) 式を積分すると X

軸方向の単位幅当りのせん断力 $\tilde{F}_s$ (N/m) が求まり、

$$\tilde{F}_s = \tilde{G} \varphi \pm H + \tilde{\eta}_f \frac{d\varphi}{dt} \quad (26)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} \tilde{G} &= \frac{G}{b} \int_0^b |\cos \theta| dx \\ \tilde{\eta}_f &= \frac{\eta_f}{b} \int_0^b |\cos \theta| dx \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

(27)式の積分は屈曲布の屈曲状態で決る定数であり、振幅 a 、波長 p の正弦波形状形態の屈曲布の場合、

$$S_1 = \frac{1}{b} \int_0^b |\cos \theta| dx \quad (28)$$

とすると、 $\tilde{b}$ を P の整数倍にとる場合、 S_1 は表 1 のようになる。

Table 1 Correction Coefficient of Buckled-shaped Weave According to the Sine Wave.

p/a	1	4/3	2	8/3	4	8
s_1	0.325	0.394	0.505	0.592	0.716	0.884
s_2	4.188	3.231	2.305	1.866	1.464	1.140

すなわち、屈曲した布では、その布の特性 $\tilde{G}$ 、 $\tilde{\eta}_f$ を、

$$\left. \begin{aligned} \tilde{G} &= S_1 G \\ \tilde{\eta}_f &= S_1 \eta_f \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

と置換することにより、平板状の布と同等に取扱うことができる。

布の質量については、単位幅当りの質量は屈曲することにより見掛け上増大することになり、振幅 a 、波長 P の正弦波の場合、

$$S_2 = \frac{1}{b} \int_0^b \frac{dx}{|\cos \theta|} \quad (30)$$

とすると、 S_2 は表 1 のようになる。

すなわち、屈曲した布では、布および重錘の質量 $\tilde{m}_f$ 、 $\tilde{m}_w$ を、

$$\left. \begin{aligned} \tilde{m}_f &= S_2 m_f \\ \tilde{m}_w &= S_2 m_w \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

と置換することにより、平板状の布と同等に取扱うことができる。

空気の粘性抵抗については、形態が異なるため、新しい粘抵抗係数 $\tilde{\eta}_a$ が必要であり、これの誘導は複雑であり、後述するように計測によって求める必要がある。

以上のように、屈曲形態を持つ布のせん断揺動振動については、 $X-Y$ 平面上への投影面が作る平板

状の布の振動に置換することができる。すなわち、(2)式の運動方程式の係数だけを変えて適用できることを理論的に結論づけることができる。

3. 実験

3.1 実験方法

まず平板状試料により布の自由揺動振動特性とせん断特性との関係を求め、また空気抵抗などの粘性効果の有無を調べた。実験に用いたせん断振動試験機は、KES-LABO-MODEL-F3 せん断テストを改良したもので、布の下端に線状の剛体重錘 (0.2 kg/m) を付加し、下端の移動量 u を検出するため、差動トランスのコアを取付けた。試料布の寸法は、 $l=0.05$ m、 $b=0.2$ m で KESF システム⁹⁾の標準試験¹⁰⁾に用いられる寸法に基づいた。これは KESF システムで常用されるせん断特性値であるせん断剛性 G やせん断力のヒステレシス $2HG$ と関連づけるためである。

次に試料布の寸法として $l=0.05$ m、 $\tilde{b}=0.2$ m とした屈曲状試料の自由揺動振動実験を行い、理論式(29および31)の妥当性について検討した。布の屈曲形態としては振幅対波長の比を 1 対 4 とした正弦波形状とし、1 波長分の試料について検討した。図 6 に屈曲状試料の実験の様子を写真で示す。空気抵抗

Fig. 6 An appearance of experiment for the buckled-shaped weave by the modified KES-LABO-MODEL shear tester (vibration tester).

の寄与を検討するため、アクリル製の真空中箱 ($4.0 \cdot 10^3$ Pa) でも振動実験を行い、大気圧下 ($1.0 \cdot 10^5$ Pa) の結果と比較した。実験はすべて $22 \pm 3^\circ\text{C}$ 、 $60 \pm 10\%$ RH 環境下で行った。

3.2 試料

動的ドレープ特性が外観上重要視される婦人用薄手布¹¹⁾を選び、その中で多用されている織物のうち、たて糸、よこ糸ともに無撚のフィラメント糸よりな

Table 2 Outlines of Samples

	Name	Yarn	Sample Number	Thickness (mm)	Weight (g/m ²)
Silk	Habutae	Filament	5	0.13-0.24	50-110
Polyester*	Habutae	Filament	5	0.09-0.22	50-80
Rayon	Habutae	Filament	5	0.09-0.15	60-80
Cupra	Habutae	Filament	6	0.09-0.12	70-100
Acetate	Habutae	Filament	5	0.12-0.16	60-100
Nylon	Habutae	Filament	5	0.09-0.11	50-70

* These polyester weaves are called silk-like polyester.

る羽二重を用いた。試料の概略を表2に示す。

4. 結果

4.1 平板状の織布のせん断揺動振動特性

平板状の布のせん断揺動自由減衰振動特性の結果例を図7に示す。これは表2の試料中で減衰が最も遅いレーヨン布の結果で、減衰挙動をみると、振動数2.5 Hzで、振幅が時間に対して直線的に減少していることがわかる。この減衰挙動は他の試料についても同様であった。すなわち、このせん断変形振動では、実験の振動数範囲(2~4 Hz)では、布の減衰振動特性がせん断特性のヒステレシス H に

起因し、空気の粘性抵抗を含む粘性効果が無視し得ることを示している。布のせん断変形におけるせん断力のヒステレシスは交差糸間あるいは繊維間の摩擦力に基づくと考えられるので、このクーロン摩擦がせん断振動の減衰特性を与えることになる。

減衰直線の傾きを表2の試料について求め、素材別の群内平均値を用いて振動の減衰特性をモデル化して図8に示す。各試料群内の標準偏差も示した。

Fig. 8 Relationship between maximum amplitude angle of weave shear vibration and time for various filament weaves.

レーヨン、キュプラおよびシルク布は減衰が小さく、振動が長く持続し、ポリエステルやナイロン布では減衰が大きいことが明らかに示されている。ここで扱ったポリエステル布はシルクを模倣して製造され、いわゆるシルクライクポリエステル^{12,13)}として市販されている布であるが、シルクに比べると減衰が大きい。

4.2 KESF システムで得られるせん断特性値との対応

表2の試料について KESF システムを用いて布の面内せん断変形の特性値、すなわち、せん断剛性 G およびせん断力のヒステレシス $2HG$ を測定した。ただし、振動実験条件と対応させるため、布張力；

Fig. 7 An example of weave shear vibration obtained by the vibration tester.

1.96 N/m, 最大せん断角: ± 0.035 rad の条件下で測定した. せん断角ゼロ rad におけるせん断剛性 G_0 およびヒステリシス $2HG_0$ を考える. 角振幅の減少である(18)式は, $G=G_0$, $H=HG_0$ とおくと,

$$\Delta\varphi = \frac{4bHG_0}{G_0} \left/ \left(1 + \frac{m/g}{2G_0} + \frac{m_w g}{G_0} \right) \right. \quad (32)$$

となる. そこで表2の試料について振動実験より求めた実測値 $\Delta\varphi$ と $2HG_0/G_0$ との関係を図9に示す. $\Delta\varphi$ と $2HG_0/G_0$ との間には明らかな直線関係が成立し, 相関係数 $r=0.97$ で,

$$\Delta\varphi = 1.57 \frac{2HG_0}{G_0} - 0.0029 \quad (33)$$

なる回帰式が得られる. 次に(32)式を用いて算出した $\Delta\varphi$ と $2HG_0/G_0$ との相関を求めると, 係数 $r=0.97$ で,

Fig. 9 Relationship between amplitude damping angle and shear characteristics for various filament weaves.

$$\Delta\varphi = 1.66 \frac{2HG_0}{G_0} - 0.0027 \quad (34)$$

となり, (33)式と極めて良く一致している. すなわち, $\Delta\varphi$ と $2HG_0/G_0$ との間には直線関係が成立し, $2HG_0/G_0$ が小さいほど減衰の振幅角減衰量 $\Delta\varphi$ が小さく, 良く振動することを示している. このことは KESF システムで得られる $2HG_0$, G_0 より布のせん断揺動振動特性を推定できることを意味している. また, 逆に布のせん断振動実験を行うことにより, 振動の減衰の様子から布内の粘性抵抗や空気抵抗の有無を推定でき, 摩擦項のみで減衰する場合にはその振幅角減少量より摩擦に基づくヒステリシスとせん断剛性との比を推定することができる. 従って, 簡単なせん断振動実験を行うことにより, 布内におけるヒステリシス効果を確認でき, 実際の垂下布の揺動を近似的かつ直接的に推定することができる.

4.3 屈曲状の織布のせん断力の点検

形態保持の難しい屈曲布のせん断抵抗力を精密に測定することは困難であったので, 直線状に屈曲した布1波長に相当する形態で, かつ力学的対称性をもたせた形態の布を用いてモデル実験を行った. 図10(a)に示すように, 振動方向(X軸方向)と一定角度 $\pi/4$ で交わる2枚の布を, X軸方向へせん断変形させたときのせん断力 $2\tilde{F}_s$ を測定した. ここで得られた $\tilde{F}_s$ と, 図10(b)のようにX軸方向と平行な1枚の布のせん断力 F_s とを比較したところ, せん断剛性 G とせん断力のヒステリシス H は,

Fig. 10 Shear deformation of plate-shaped weave having $\pi/4$ inclined plane (a) and parallel plane (b) to the deformation direction.

$$\left. \begin{aligned} \widetilde{G} &= 0.73\,G \\ \widetilde{H} &= 0.95\,H \end{aligned} \right\} \tag{35}$$

なる関係が得られた。 (29)式の関係を使って屈曲布の値を算出すると、

$$\left. \begin{aligned} \widetilde{G} &= 0.72\,G \\ \widetilde{H} &= 1.00\,H \end{aligned} \right\} \tag{36}$$

これは実測値と良く一致する。

4.4 屈曲状の織布のせん断揺動振動特性

振幅対波長の比を 1 対 4 とした正弦波形状に屈曲した試料を用いて振動実験を行った。 その結果、屈曲布の減衰挙動は 4.1 で示した平板状の布と同様、振動の角振幅が時間に対して直線的に減少する傾向を得た。 そこでレーヨン布 1 種類について減衰振動の減衰角および周期を厳密に測定し、 (29)式および(31)式の置換による修正を施したせん断特性値より理論的に算出した減衰角および周期と比較して表 3 に示す。 せん断剛性、布および重錘の質量を、 (29)式および(31)式で表される置換を行うことにより、 無修正の結果に比べ、理論値と実測値とがより良く一致することが確認された。 このことは、前述の 4.3 の結果と併せて、 (29)および(31)式で示される置換が妥当であり、この置換により屈曲布を平板状の布と同等に取扱うことができることを実験的に証明している。

4.5 織布のせん断揺動振動に及ぼす空気抵抗効果

平板状試料の場合も屈曲状試料の場合も垂下長が小さい ($l=0.05\,\text{m}$) 試料では、大気圧下 ($1.0 \cdot$

$10^5\,\text{Pa}$) および真空中 ($4.0 \cdot 10^3\,\text{Pa}$) と振動特性において差異は認められず、両条件下とも角振幅は時間に対して直線的に減少した。 すなわち、 (2)式の $C=0$ であり、布の粘性抵抗 η_1 および空気の粘抵抗 η_0 ともに無視し得る量であった。

ただし、屈曲状試料で垂下長を 10 倍 ($l=0.5\,\text{m}$) にした場合、減衰振動の角振幅減衰は非直線的となり、粘性抵抗が効くようになった。 布の粘性抵抗は前述の実験で無視できることがわかっているのに、この粘性抵抗は空気の抵抗と思われる。 例えば試料の屈曲形状の振幅対波長の比を 1 対 4 とした正弦波形状の屈曲試料の場合、 (14)式より C を求め、 (6)式を用いて空気抵抗を算出すると、 $\widetilde{\eta}_0=4.3 \cdot 10^{-2}(\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2 \cdot \text{rad})$ を得た。 (6)式よりわかるように、空気抵抗による粘性効果は $\eta_0 \times$ 垂下長の関係になっており、垂下長の大きな試料では無視できない量となる。

5. 考 察

織布のせん断特性は布の張力によって変化するが⁽¹⁴⁾、今回の実験では重錘の質量が小さな領域である ($m_w \leq 0.2\,\text{kg}/\text{m}$) ものの、布自体の質量に比べて大きく ($m_w > 20\,m_l$)、布にかかる張力は均一状態にあると近似した。 布のせん断特性はせん断角にも大きく依存するが⁽¹⁴⁾、一般の揺動振動ではせん断角が小さく、せん断角依存性が顕著にならない範囲であるから、このことはそれほど問題にならない。

重錘を取除いた場合、布にかかる張力は自重によって分布するが、布の自重程度の張力では布のせん断特性に大きな影響を与えず、せん断剛性やヒステレシスも一定値を示す⁽¹⁴⁾。 すなわち G および H を

Table 3 Comparison of the Experimental Results with Calculated Results for the Amplitude Damping Angle and Periodic Time of the Shear Vibration.

	$\Delta\phi_{\text{experiment}}$ (rad)	$\Delta\phi_{\text{theory}}$ (rad)	$T_{\text{exp.}}$ (s)	$T_{\text{the.}}$ (s)
Buckled-shaped Weave	4.4×10^{-3}	$4.51 \times 10^{-3}*$	0.35	$0.357*$
		4.63×10^{-3}		0.307
Plate-shaped Weave	4.0×10^{-3}	4.04×10^{-3}	0.33	0.327

* Shear stiffness and mass are corrected according to the sine wave of the buckled-shaped weave.

一定値とみなせるので本理論式の適用が可能である。衣服の実際の揺動はこのような場合が多いと考えられる。

より垂下長の大きなカーテンのような場合、あるいは自重が極端に大きな布の場合、自重の効果が現われると思われるが、この場合には試料を張力分布に従っていくつかの層に分割し、おのおのの層の張力に対応する G および H を用いて本理論式が適用できる。

布の自重が影響しない図 1(b) のような水平に横たわる屈曲布の場合、重力効果による振動回復力をゼロとして一般式より導くことができる。この場合振動は G が回復力となり、布の質量を振動させる。

実際の衣服の動的ドレープとの対応はできなかったが、本報ではモデル化したせん断揺動振動に基づく動的ドレープの基礎理論について検討した。今後は実際の衣服の動的ドレープ挙動、またそれと美観との対応などを検討したい。

6. 結 論

垂下状態にある織布の揺動振動特性を調べるため、小せん断変形領域 (< 0.04 rad) における平板状の布および屈曲状の(曲げバックリングを伴った)布のせん断振動について理論的に検討した。併せて基本的な実験を行い、次の結論を得た。

- (1) 平板状の衣服用織布は一般に、 $2 \sim 4$ Hz の振動数域で垂下長が小さい (< 0.1 m) 場合、そのせん断揺動振動の減衰はほとんどせん断のヒステレシス効果に起因する。
- (2) 屈曲状の布のせん断揺動振動は、正弦波形状に屈曲した布の場合、それと等価な平板状の布に置換でき、せん断剛性やヒステレシスも平板

状の布の値を修正した値を用いて解析できる。ただし、垂下長が大きい (≥ 0.5 m) 場合、空気抵抗による粘性効果が現れる。

- (3) 織布のせん断変形時における粘性抵抗は本実験揺動現象の範囲内では無視できる量である。
- (4) せん断振動における振幅角の減衰量は、KESF システムで得られるせん断角ゼロにおけるせん断力のヒステレシスとせん断剛性との比 $2HG_0/G_0$ と直線関係を示し、 $2HG_0/G_0$ を布の揺動振動特性の特性値として扱うことができる。この特性値を用いて布の揺動挙動を推定できる。
- (5) 振動テストを用いる簡単な実験により、織布内の摩擦効果と粘性効果の有無を推定でき、織布の揺動挙動に関係する基本的なパラメータを分離できる。

文 献

- 1) 上野, 木村, 長谷川: 織消誌, **16**, 404 (1975)
- 2) 上野, 江幡: 織消誌, **17**, 43 (1976)
- 3) 上野, 江幡, 大洞: 織消誌, **18**, 301 (1977)
- 4) 熨斗, 小林, 山田: 織学誌, **33**, T-470 (1977)
- 5) 小林, 熨斗: 織機誌, **33**, P304 (1980)
- 6) 泉, 丹羽: 家政学雑誌, **32**, 390 (1981)
- 7) 泉, 丹羽: 家政学雑誌, **34**, 96 (1983)
- 8) K. Izumi and M. Niwa: Proceedings of 3'rd Japan-Australia Joint Symposium, p. 725, 日本繊維機械学会 (1986)
- 9) 川端: 織機誌, **26**, P721 (1973)
- 10) 川端: “風合い評価の標準化と解析” 第2版, 日本繊維機械学会 (1980)
- 11) S. Kawabata: “HESC Standard of Hand Evaluation” vol. 2, 日本繊維機械学会 (1980)
- 12) 和田: 織学誌, **37**, P429 (1981)
- 13) 三石: 織学誌, **38**, P42 (1982)
- 14) 松平, 川端, 丹羽: 織機誌, **37**, T49 (1984)