フィラメント織物のせん断振動特性

(第2報) せん断角の大きな領域における振動減衰挙動

金沢大学教育学部 松 平 光 男 (会員)

Vibrational Property of Filament Weaves Based on Shear Deformation

Part 2: Vibrational Damping Behavior at Large Shear Angle

Mitsuo Matsudaira

Faculty of Education, Kanazawa University

Abstract

In order to study basic phenomenon of dynamic drape of filament weaves, damping behavior of fabric shear vibration in the large shear deformation region ($>0.035\text{rad}$); that is, the region in which the vibration damped non-linearly with time, was investigated in detail in relation to shear property of the fabric. It was shown that the non-linearity increased with the shear angle and the increase was mainly caused by the increase of shear hysteresis. The damping behavior of silk filament weaves was typed in four patterns and the patterns corresponded well with the four combinations of basic mechanical parameters of shear property; G and $2HG$, in the degree of changes with shear angle, obtained by KES system. Bending vibration behavior changed less than the shear vibration for four typed silk fabrics, and it was suggested that dynamic drape behavior of 性 clothes was more related with shear property than bending property.

(Received May 29, 1991)

摘 要

目的 フィラメント織物のせん断変形に基づく揺動振動特性について、せん断角の大きな ($>0.035\text{rad}$) 領域における減衰挙動をせん断特性との関連で検討し、動的ドレープ挙動の基礎知見を得る。

成果 振動の非直線性はせん断角が大きいほど顕著であり、これは主にヒステレシス変化によるものである。減衰率のせん断角依存性から、絹フィラメント織物の減衰挙動は4種のパターンに分類でき、これらはKESシステムで得られる力学パラメータ、 G 、 $2HG$ のせん断角による変化率の大小の組み合わせで区別される分類と対応する。衣服の動的ドレープ挙動には曲げ振動特性よりもせん断振動特性の方が効いていると思われる。

(平成3年5月29日受理)

1. 緒 言

婦人用薄手布には触感の良さと外観の美しさが要求されているが、ブラウスやドレスなどの衣服の場合、とりわけ後者の比率が高いと思われる。衣服の外観の美しさは、色、柄、デザインを無視した場合、身体の動きに伴って揺動する現象、すなわち動的ドレープ挙動に大きく依存しているであろう。

筆者はすでに、衣服の動的ドレープ挙動に影響を

及ぼす布の基本力学特性のひとつである面内せん断変形を考え、織物のせん断変形に基づく揺動振動特性について、その基礎理論および基本的現象について報告しており^{1,2)}、また前報では動的ドレープ挙動が美しいと言われる絹フィラメント織物のせん断揺動振動特性に及ぼす張力依存性を検討している³⁾。フィラメント織物のせん断振動特性では、せん断振幅角の小さな領域では、振動は時間に対して直線的に減衰したが、せん断振幅角が大きくなると振動は

非直線的に減衰した。これまでの報告では、前者の直線部の領域でのみ検討したが、本報告では、後者の非直線的領域について検討する。また布の曲げ変形に基づく振動特性についても調べ、せん断振動との関連を検討する。

2. 実験

2.1 実験方法

布のせん断揺動振動特性は、KES-LABO-MODEL-F3 せん断テスターを改良した試験機（振動テスター）を用い、布の下端に線状の剛体重錘を付加し、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り付けた。重錘の質量は布の振動が最も長時間持続する条件を選び³⁾、0.5 kg/m とした。試料布の有効寸法は、5 cm × 20 cm で KES システム⁴⁾の標準試験⁵⁾に用いられる寸法に基づいた。これは、振動特性の結果を KES 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。振動テスターによる測定モデル図を Fig. 1 に示す。

Fig. 1 Simple model of shear vibration tester with a plate shaped fabric.

布のせん断特性は、KES-FB1 を用いて測定し、せん断剛性 G やヒステレシス 2HG を得る。ただし、せん断時の布の張力は上記の振動実験と同一条件で行い、これらの特性値は各々対応するせん断角におけるせん断力-せん断角曲線の勾配およびヒステレシス幅とする。

布の曲げ変形に基づく振動特性については、KES-LABO-MODEL-F2 曲げテスターを用いた。本装置の原理モデル図を Fig. 2 に示すが、布を曲げて2枚の薄板にはさみ、振子の動きにより布の曲げ変形に基づく減衰振動を得る。

布の曲げ特性は KES-FB2 を用いて測定し、曲げ

Fig. 2 Simple model of bending vibration tester with a bent fabric.

モーメントと曲率との関係より、曲げ剛性 B と曲げヒステレシス 2HB を得る。

実験はすべて温度 295 ± 3 K、湿度 $60 \pm 10\%$ RH 環境下で行った。

2.2 試料

動的ドレープ挙動が外観上重要視される婦人用薄手布の中から、その最も代表とされる絹フィラメント織物を対象とした。前報³⁾で用いた試料布の中から比較的良好に振動する布7種類を選んだ。これらは主にブラウス、ワンピース等の婦人用薄手布として多用されている絹織物であり、たて糸、よこ糸ともに無撚のフィラメント糸よりなる布群; Habutae, たて糸、よこ糸ともに強撚のフィラメント糸よりなる布群; Georgette, たて糸は無撚（一部弱撚）で、よこ糸が強撚のフィラメント糸よりなる布群; Dec-hine の3群に分類される。これらはすべて製織後セリシン除去を施した平織組織の後練織物である。用いた試料の詳細を Table 1 に示す。

3. 結果

3.1 振動特性およびせん断特性

布のせん断変形による揺動自由減衰振動特性の代表的な結果の2例を Fig. 3 に示す。ここに示す曲線は、布の左右方向の振動の最大振幅値を結んで得た

Fig. 3 Typical two examples of the damping behavior of shear vibration; damped most linearly (above) and damped most non-linearly (below).

ものである。これらは Table 1 の試料の中で特に長時間振動が持続した試料であり、振動のせん断振幅角の減衰が時間に対して最も直線的な絹 Georgette-No. 7 (a) および最も非直線的な絹 Habutae-No. 2 (b) の結果である。他の試料の結果はこれらの間にあった。せん断振幅角が小さい場合 (<0.035 rad), 一般に振動は時間に対して直線的に減衰するが³⁾, 今回検討の対象としたせん断角の大きな領域

では、振動の振幅角は一般に非直線的に減衰するといえる。またこの非直線性はせん断振幅角に大きく依存し、せん断振幅角が大きいほど非直線性が顕著であった。

時間変化に対するせん断振幅角変化の割合 (減衰曲線の接線) を減衰率 (k) と定義し、今回検討した全ての布について、せん断振幅角 0.035, 0.070, 0.105, 0.140, 0.175 rad における減衰率を求め、そのせん断角依存性を調べた。その結果、減衰率は全ての試料でせん断振幅角が小さい場合に小さく、せん断振幅角が大きくなるに従い大きくなった。この傾向は Fig. 4 に示す代表的な試料 4 点の結果に要約され、他の試料 3 点もこれらの曲線のいずれかのパターンに従うことが分かった。すなわち、せん断振幅角が小さいときに減衰率が小さく、せん断振幅角依存性も小さい No. 7 [A], せん断振幅角が小さい時は比較的大きな減衰率を示すが、せん断振幅角依存性が小さい No. 4 [B], せん断振幅角が小さいときには比較的大きな減衰率を示すが、せん断振幅角依存性が大きい No. 3 [C], せん断振幅角が小さいときには比較的小きな減衰率を示すが、せん断振幅角依存性が大きい No. 2 [D] の 4 パターンで分類されることが示された。試料 No. 1 は [D] タイプに属し、No. 5, 6 はともに [B] タイプに属した。

次にこれらの布のせん断特性図を求めたところ、上記の振動特性で分類された 4 パターンに対応して、せん断特性も Fig. 5 に示す 4 パターンでモデル的に示されることが分かった。ここで、たて軸 F_s はせん断力を表し、よこ軸 ϕ はせん断角を表す。これらのせん断特性から得られる特性値で考えると、

Table 1 Details of Samples

Fabric Name	Sample No.	Density(/m)		Counts(tex)		Twist(/m)		Weight (g/m ²)	Thickness* (mm)
		Warp	Weft	Warp	Weft	Warp	Weft		
Habutae	1	5500	2800	13.9	11.3	<100	<100	110.7	0.221
	2	5500	2800	8.5	11.1	<100	<100	79.1	0.174
Dechine	3	6100	3700	6.9	6.8	<100	3000	60.4	0.186
	4	5500	3900	7.4	7.6	<100	2800	64.5	0.187
	5	5100	4600	2.7	9.1	700	2900	59.7	0.174
Georgette	6	4600	4100	3.2	3.0	2600	2900	25.4	0.158
	7	6200	4700	2.2	2.1	2800	2900	24.3	0.152

* Thickness is measured at the pressure 49 Pa.

Fig. 4 Dependency of the damping ratio (k) of shear vibration on shear angle.

[A] はせん断角に対するせん断剛性 G およびヒステレシス $2HG$ の変化が小さく, [B] は G の変化は大きい $2HG$ の変化は小さく, [C] は G の変化は小さい $2HG$ の変化が大きく, [D] は G および $2HG$ の変化が大きくなっている. すなわち, G および $2HG$ の変化率の大小の組み合わせで分類されることが分かった.

3.2 曲げ特性

曲げ変形に基づく振動特性は, 一定の平衡曲率に達するまでの布の曲げ振動を時間に対して求めたものであり, 結果の2例を曲率 (K) 対時間の関係で Fig. 6 に示す. せん断振動特性で4パターンに分類された4点の試料について, 曲率 (K) の時間変化を減衰率 (h) と定義して曲率依存性 (曲率 (K) 対減衰率 (h) の関係) を調べた結果が Fig. 7 である. 4点の試料間の減衰率の値や曲率依存成パターンにおける相違はせん断振動の場合に比べて小さく, いずれもほぼ同様な挙動を示している.

これら4点の試料の曲げ特性の結果を曲げモーメント (M) 対曲率 (K) の関係で Fig. 8 に示す. [A] は曲げ剛性 B もヒステレシス $2HB$ も小さいが, [D] は B も $2HB$ も大きくなっている. [B], [C] は両者の中間的な値を示した. しかしながら, 曲げ特

Fig. 5 Four typed patterns of shear property (shear force vs. shear angle) of silk filament weaves.

性図としてはいずれも曲率依存性が小さくほぼ同様な形で表されている.

4. 考 察

絹フィラメント織物のせん断変形に基づく振動特性について, せん断角の大きな, 振動が非直線的に減衰する領域で検討した. 減衰率のせん断角による変化は KES システムで得られる布のせん断特性値の変化によって解釈することができ, 4種類のせん断特性パターンに分類できた. 一般にせん断剛性やヒステレシスの変化が少ない布は, 減衰率の変化も少ないが, 両者の変化の大きな布は減衰率の変化も大きい. それに対して, 曲げ振動では減衰率の変化は少なく, 曲げ特性も試料間でほぼ同様な挙動を示した. このことは, 衣服の動的ドレープ挙動には布

Fig. 6 Typical two examples of the damping behavior of bending vibration.

Fig. 7 Dependency of the damping ratio (h) of bending vibration on curvature (K).

の曲げ特性よりもせん断特性が大きく効いていることを示唆している。

前報まで¹⁻³⁾は、振動が時間に対して直線的に減衰する領域、すなわち、せん断角の小さな領域 (< 0 ・

Fig. 8 Bending properties of four typed silk filament weaves according to shear vibration.

035rad) でしか検討していなかった。その場合、せん断剛性 G やヒステシス $2HG$ が一定となるため、布の運動方程式を解き、一定な減衰率と $2HG/\sqrt{G}$ との関係を導くことができた^{1,2)}。しかしながら、せん断角が大きな領域 ($> 0.035\text{rad}$) ではせん断剛性もヒステシスも一般的には変化し、減衰率も大きく変化するため、いままでのような単純な関係は求められない。一般にせん断角が大きいほど振動の減衰の非直線性は顕著となったが、これは糸同士が押しつぶし合うことによる、一種のジャミング効果に基づくヒステシスの増大がもたらしているものであり、糸-糸間や繊維-繊維間の摩擦がせん断角の大きな領域で大きくなっていることを意味している。この典型的な例として試料 No. 2 があげられ、Fig. 2 (b) のせん断振動特性と Fig. 5 [D] のせん断特性に顕著に示されている。

Table 2 Shear and Bending Vibration Duration Time, Drapé Coefficients, Combination of Shear and Bending Paramters for Four Typed Silk Filament Weaves.

Type	Sample No.	Shear Vibration(s)	Bending Vibration(s)	Drapé Coefficient(%)	2HB/B (/m)	$2HG_0/\sqrt{G_0}$ ($\sqrt{N \cdot rad/m}$)
[A]	7	21	30	37	42.6	0.004
[B]	4	11	29	40	31.3	0.028
[C]	3	9	28	35	34.2	0.034
[D]	2	17	27	42	30.6	0.013

静的ドレープ挙動の目安ともなるドレープ係数 (D_i) を曲げ特性, せん断特性の基本的力学量および自重から次式によって算出し⁶⁾, せん断振動持続時間および曲げ振動持続時間とともに Table 2 に示す。

$$D_i = -21.31 + 288.06 \left(\frac{B}{W} \right)^{1/3} + 352.55 \left(\frac{2HB}{W} \right)^{1/2} + 5.34 \left(\frac{G}{W} \right)^{1/3} + 27.19 \left(\frac{2HG}{W} \right)^{1/2} \quad (1)$$

ただし, B: 曲げ剛性 (gfcm²/cm), W: 自重 (mg/cm²), 2HB: 曲げのヒステレシス (gfcm/cm), G: せん断剛性 (gf/cm/degree), 2HG: せん断角 0.5 および 5 度におけるせん断力のヒステレシスの平均値 (gf/cm)

ドレープ係数が小さいほど曲面にまわりついてよく垂れ下がると考えられるが, 今回用いた布はすべて小さなドレープ係数を示しており, 振動の持続時間とは必ずしも対応していない。布の曲げ振動特性に関しては, 2HB/B が小さいほど振動が長時間持続することがわかっているが⁷⁾, 今回検討した試料のその値は極めて類似した値であり, (Table 2), このこともせん断振動程顕著な差異が認められなかった理由のひとつであろう。Table 2 にはせん断角 0rad におけるせん断特性値の組み合わせ $2HG_0/\sqrt{G_0}$ ³⁾ の値も示してあるが, この値が小さいほど振動は長時間持続しており, 前報の結果³⁾ と対応している。たとえば, せん断振幅の大きな領域では減衰が早くても, 小さな領域では減衰が遅く長時間振動が持続する布も存在することを示している。

今後は実際の衣服で予想される, せん断バックリング (座屈) が生じるせん断角が更に大きな (>0.2rad) 領域での検討が必要と考えている。この場合

バイアス方向の曲げも同時に起こるため, 現象としては複雑になるが, より実際の衣服の動的ドレープ挙動に近付くものと考えている。さらに, 実際の衣服形態の試料についての揺動挙動と外観の美しさとの関連についても検討したい。

5. 結 論

絹フィラメント織物のせん断変形に基づく揺動振動挙動について, せん断角の大きな (>0.035rad), 振動が時間に対して非直線的に減衰する領域で検討し, 以下の結論が得られた。

- (1) 振動の非直線性はせん断振幅角が大きいほど顕著であり, これは特にせん断力のヒステレシスが大きく変化していることに起因している。
- (2) 減衰率のせん断角依存性から, 絹フィラメント織物のせん断振動の減衰挙動を 4 種のパターンに分類できた。これらは KES システムで得られる力学的特性値 G, 2HG のせん断角による変化率の大小の組合せで区別される分類と対応した。
- (3) 曲げ振動挙動はせん断振動挙動に比べ布間の差異は小さく, 衣服の動的ドレープ挙動には曲げ特性よりもせん断特性の方が効いていることが示唆された。

参考文献

- 1) 松平光男, 川端季雄; 繊維機械学会誌 (論文集), **39**, T 175 (1986)。
- 2) 松平光男; 日本家政学会誌, **38**, 393 (1987)。
- 3) 松平光男; 繊維機械学会誌 (論文集), **44**, T 133 (1991)。
- 4) 川端季雄; 繊維機械学会誌 (繊維工学), **26**, p 721 (1973)。
- 5) 川端季雄; 「風合い評価の標準化と解析」第 2 版, 日本繊維機械学会, 大阪, (1980)。
- 6) 丹羽雅子, 瀬戸房子; 第 14 回繊維工学研究討論会要旨集, p. 8 (1985)。
- 7) 泉加代子, 丹羽雅子; 家政学雑誌, **32**, 390 (1981)。