A Measuring Method for the Durability of So-Strings

CHINEN Takuya^a, SAKAGUCHI Akio^b, KIMURA Hirokazu^c,
MATSUMOTO Yo-ichi^b, MOROOKA Hideo^{b,*}, MOROOKA Harumi^d

^a Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, Ueda, Nagano 386-8567, Japan

^b Faculty of Fiber Science and Technology, Shinshu University, Ueda, Nagano 386-8567, Japan

^c Technology Research Institute of Osaka Prefecture, Izumi, Osaka 594-1157, Japan

^d Faculty of Human Development, Toyama University, Toyama, Toyama 930-8555 Japan

Received 15 September 2010 ; accepted for publication 8 February 2011

Abstract

So (*Koto*) is a traditional Japanese horizontal harp; in order to establish a measuring system for quantitatively evaluating the durability of *So*-strings using *So*-nails (*Koto-zume*), the authors developed a measuring apparatus. The durability of three kinds of *So*-string (silk, multi-polyester, mono-polyester) were determined. The apparatus used a simulated standard *So*-nail playing method. A *So*-nail was attached to the shaft of a motor and rotated at a constant speed. The *So*-nail played the string until it was broken. The authors defined the number of times the string broke as an indicator of the durability of the *So*-string and developed standard experimental conditions to compare the durability of different strings. The length, tension and play speed were 20 cm, 147 N, and 180 rpm respectively. The silk, multi-polyester and mono-polyester strings broke at the times of 3267, 7450 and 11428 times, respectively.

Key Words: *So*, *Koto*, String, Play, Durability.

箏絃の撥絃耐久性の評価法

知念卓也^a, 坂口明男^b, 木村裕和^c, 松本陽一^b, 諸岡英雄^{b,*}, 諸岡晴美^d

^a 信州大学大学院工学系研究科, ^b 信州大学繊維学部, ^c 大阪府立産業技術総合研究所,

^d 富山大学人間発達科学部

1. 緒 言

現在、箏絃に使用されている繊維素材は絹とポリエステルである。一般に、絹絃は弾きやすく音色に優れているが破断しやすく、ポリエステル絃は破断しにくい弾きにくく音色に劣ると言われている。さらに、絹絃の値段はポリエステル絃の約3~5倍であるので、絹絃を使用するのはプロの一部の演奏家に限られている。このような理由から、破断しにくく同時に音色に優れ弾きやすい絹絃の改良が演奏家から長く望まれており、研究の必要性が認められる。一方、絹の需要が低下している絹産業界では、絹の需要を喚起する絹産業の発展が強く叫ばれており、絹絃の改良はその一助になるものと考えられ、研究の社会的必要性が認められる。

上記のような絹絃の改良を行うには、予め破断しやすさの

客観的評価法を確立しておく必要があると考える。箏上で箏絃が破断する主要位置は、箏演奏家によると、箏爪が接触する撥絃位置と絃の両端を支持する竜角・雲角の位置と言われている。竜角や雲角における破断は絃の押手奏法時に発生しやすく、その破断原因は竜角・雲角と絃間の圧力を主とする摩耗と、そのときの張力が主たる原因と推察される。それに対し撥絃位置における破断は、箏爪による絃の摩耗がその主たる原因であり、両者の破断機構は異なるものと推察される。筆者らは箏爪の撥絃による破断をより重要と考え、かつ破断にいたる過程における絃の音響学的性能の劣化をも検討すべきと考え、撥絃による絃の耐久性を検討する評価装置、すなわち箏絃の撥絃耐久性評価装置の開発を企画した。

箏絃に関する従来の研究は非常に少なく、以下の2報のみと思われる。神沢ら[1]は張力下の粘弾性弦の横振動解析

* 連絡先：信州大学繊維学部創造工学系先進繊維工学課程 386-8567 上田市常田3-15-1
E-mail: morooka@shinshu-u.ac.jp, Tel: +81-268-21-5362

を行い、弦の横振動の減衰特性とヤング率、粘性係数などの材料定数との関係を明らかにし、この解析の箏用絹糸への適用を考察している。また石倉ら [2] は、絹と類似の形態を持つポリエステル繊維を用いて絹製の箏絃と同様の構造を有する絃を試作し、その音質が絹製絃に近づくかを調べている。FFT 分析の結果では、絹製絃は高周波成分が少なく、基本モードの整数倍の音から構成される音を発したが、シルクライクポリエステル製絃は高周波成分を多く含み、基本モード以外の成分を多く持ち、従来のポリエステル製絃と同様の傾向を示すことを明確にしている。このように箏絃の改良は、合成繊維を用いて強度を増しかつ音色を絹に近似させるという方針で行われており、絹絃の改良という観点からの研究は行われていない。また箏絃の撥絃耐久性に関する研究もまったく見当たらない。

箏絃の撥絃耐久性評価装置の開発には、絃の破断評価に関する力学的撥絃耐久性と音響の変化・劣化に関する音響学的撥絃耐久性の2観点からの研究が必要と考える。本研究では、力学的撥絃耐久性評価装置の開発を目標とする箏絃の撥絃耐久性評価装置の開発と、その評価法に関する基礎的知見を得ることを主たる目的とした。

2. 箏絃の撥絃耐久性評価装置の概要

実際の箏絃の撥絃方法の概要を説明する。長さ 1.8 m の箏

S: So-string, $L=L_1+L_2$: string length, C1,C2:clamp, P:pulley,
T:tension ($=Wg$), W:weight, g: gravitational acceleration,
N: So-nail, M: motor

(a) Schematic diagram

(b) Appearance

Fig. 1 A measuring apparatus for the durability of So-string.

において竜角・雲角を両端の支持点とし、それらの間に箏柱（ことじ）を立て調律し、竜角に近い位置で箏爪（義甲）により撥絃している。絃は通常 13 本であるが、調律した絃長（竜角から箏柱までの長さ）は約 0.16 m~1.3 m である。箏爪の奏法は、絃の手前（あるいは向こう）から次の絃で止まる標準的奏法の他に、割連（われん）や散爪（ちらしづめ）、すり爪などの奏法がある [3]。

このように実際の箏の撥絃方法は複雑であるので、撥絃耐久性評価装置（以下、評価装置とする）の設計指針を、①絃の撥絃耐久性が理解しやすいこと ②箏爪による撥絃方法を単純化することの2点とした。これらの設計指針にしたがい、Fig. 1(a)の模式図に示す、標準的奏法を取り入れた撥絃耐久性評価装置を開発した。評価装置は絃固定部と撥絃部からなり、絃固定部は絃 (S)、把持部 (C1, C2)、プーリー (P)、

(a) side view

(b) top view

Fig. 2 Schematic diagram of contact position when So-nail comes in contact with So-string.

Fig. 3 So-nail and So-string during playing by the standard playing method.

錘 (W) から構成され、撥絃部は箏爪 (N)、モーター (M)、撥絃計数器 (Counter)、発振器 (Oscillator) で構成されている。箏絃 (S) を絃長 $L (= L1 + L2)$ 、張力 $T (= Wg)$ で把持部に固定し、モーターに取り付けた箏爪 (N) が回転して、把持部 C1 から絃長 $L1$ の位置を撥絃する。モーターの回転数は発振器で任意に設定し、撥絃回数 (= モーターの回転数) は撥絃計数器で計数する。Fig. 1 (b) は撥絃耐久性評価装置の外観図である。

箏爪は、Fig. 2 (a) のようにプラスチック製の継ぎ手 (Joint) を介してモーター軸に固定され、半径 r の円で回転し、箏爪が水平の位置のとき絃 (So-string) と接する。このときの接触状態は、Fig. 2 (b) に示すように、絃の糸軸と箏爪の先端との成す角度を 45° とし、箏爪の先端は絃の縁から 3 mm 突き出るように設定している。この角度は、実際に箏を標準的奏法で撥絃しているときの箏爪と絃との接触状態が Fig. 3 に示したように約 45° になっているので、 45° に設定した。

3. 実験

(1) 試料

実験に使用した絃は、Table 1 に示す市販の絹絃 (S1) とマルチポリエステル絃 (E1)、モノポリエステル絃 (E2) を用いた。S1 と E1 は 4 本単糸 (マルチフィラメント糸) から、E2 は 4 本のモノフィラメント糸の単糸からなる。箏爪には市販の生田流角箏爪 (象牙製、横 (幅) 17 mm × 縦 (長さ) 25 mm) を用いた。

Table 1 Detail of samples.

sample's symbol	name	fiber	counts (tex)	Number of fiber
S1	silk	silk 100%	1380/4	5216
E1	multi-polyester	polyester 100%	1080/4	1311
E2	mono-polyester	polyester 100%	1050/4	4

(2) 実験方法

上記の撥絃耐久性評価装置を用い、撥絃位置 $L1$ を 10 cm に固定し、絃長 L 、張力 T 、撥絃速度等を種々変化させ、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 5\% \text{ RH}$ の恒温恒湿条件で、絃が破断するまでの撥絃回数 (破断撥絃回数とする) を測定する。箏爪は摩耗するので、予備実験の結果より 30000 回を使用上限とした。実験回数は、Fig. 4, 6, 7, 8 については各条件で 3 回行いその平均値と標準偏差を用いた。Table 2 の場合は、各試料とも 10 回の実験を行い、その平均値と変動係数を求めた。

4. 結果と考察

(1) 撥絃耐久性の評価指標—破断撥絃回数—

試料絃の 3 種はいずれも 4 本単糸から成っているため、単糸 1 本が破断した時点で箏絃としての機能が発揮出来なくなる。Fig. 4 に絹絃 (S1) を試料として撥絃回数と発生する音の基本周波数との関係を示したが、撥絃回数の増加とともに基本周波数は少しずつ減少し、ある回数の時点で大きな破断音とともに基本周波数の急激な低下 (Fig. 4 の○印を参照) が生じる。同時に、Fig. 5 に示すような単糸の切断が確認できる。この時点で、試料絃は箏絃としての機能を発揮できなくなる。そこで、この時点における撥絃回数を破断撥絃回数

Fig. 4 Relationship between play times and fundamental frequency. (Sample: S1 (silk))

Fig. 5 Breaking site on a silk string.

と称することとした。すなわち、撥絃耐久性評価装置の撥絃により、撥絃時の基本周波数の急激な低下と箏絃としての機能を損なう明確な破断を生じたときの撥絃回数を破断撥絃回数 (Breaking play times) と定義した。この破断撥絃回数を力学的撥絃耐久性の評価指標とし、以下において評価装置の性能を検討する。

(2) 標準撥絃条件の設定

箏絃の撥絃耐久性を評価するときの標準的実験条件を標準撥絃条件と定義し、それを実験結果から設定することを試みた。

(i) 絃長の条件設定

Fig. 6 に絹絃の絃長と破断撥絃回数との関係を示す。絃長を 20 cm~100 cm にした理由は、実際の調絃時における竜角と箏柱間の長さが約 16 cm~130 cm であるので、実験の容易さを考慮して、これらの長さを採用した。図から分かるように、絃長が 20 cm~60 cm の間は 3000 回~5000 回付近の破断撥絃回数を取るが、80 cm~100 cm の絃長になるにしたがい、破断撥絃回数は急激に増加し、絃長 100 cm のときに約 26000 回に達した。これらの結果をみると絃長が長くなると

Fig. 6 Relationship between string length and breaking play times. (Sample : S1 (silk), $T = 147\text{N}$, 180 rpm).

Fig. 7 Relationship between tension and breaking play times. (Sample : S1 (silk))

破断撥絃回数は非常におおきくなるので、実験の容易さの観点から 20 cm の絃長を標準撥絃条件に採用することにした。

(ii) 張力の条件設定

Fig. 7 に絹絃の張力 T と破断撥絃回数との関係を示す。このとき、絃長は 20 cm, 撥絃速度は 180 rpm とした。図から分かるように、127.4 N 張力時には約 5000 回の破断撥絃回数を取り、張力の増加とともに破断撥絃回数は単調に減少し、166.6 N 張力時には約 1400 回に減少した。実際の箏上の張力は絃長・線密度・基本周波数の測定値と両端固定の弦の横振動の式⁴⁾を用いて計算したところ 147 N 前後であるので、147 N を標準撥絃条件に採用することにした。なお、石倉ら [2] も 147 N の張力を用いて実験しているので、このことも採用の根拠の一つとした。

(iii) 撥絃速度の条件設定

箏爪の撥絃速度 (1 分間当たりの回転数) と絹絃の破断撥絃回数との関係を Fig. 8 に示す。このとき、絃長は 20 cm, 張力は 147 N である。120 rpm~180 rpm の間はほぼ一定の 3500 回程度の破断撥絃回数であるが、210 rpm, 240 rpm と撥絃速度が増加すると破断撥絃回数は顕著に減少し、1700 回程度になった。これらの実験結果から、破断撥絃回数が減少しないが、もっとも速度がはやい 180 rpm を標準撥絃速度とした。

以上の実験結果と本研究が絹絃を基準とする理由から、標準撥絃条件を絃長 20 cm, 張力 147 N, 撥絃速度 180 rpm とした。なお、ポリエステル絃の破断撥絃回数に及ぼす絃長・張力・撥絃速度の影響は、絹絃に比べはるかにおおきな破断撥絃回数の値をとるものの、その傾向は絹絃の場合とはほぼ同様であった。しかし、種々の繊維素材や糸構造の異なる箏絃が今後出現する可能性もあるので、標準撥絃条件は今後改善の必要があると考える。

(3) 絹絃とポリエステル絃における破断撥絃回数の相違

上述の標準撥絃条件により測定した、市販の箏絃 3 種の破断撥絃回数を Table 2 に示す。番手や張力換算を行わない

Fig. 8 Relationship between play speed and breaking play times. (Sample : S1 (silk))

Table 2 Difference in breaking play times among So-strings.

item	unit	So-string		
		silk	multi-polyester	mono-polyester
(i) Original data				
breaking play times(BPST)	times	3267	7450	11428
Coefficient of variation	%	15	12	11
Ratio of BPST ①		1	2.28	3.49
(ii) Correction by yarn count				
BPST per unit count	times/ tex	2.367	6.898	10.883
Ratio of BPST ②		1	2.91	4.59
(iii) Correction by tension and yarn count				
tension per unit count	N/ tex	0.1064	0.136	0.1399
BPST per (tension per unit count)	times/ (N/ tex)	30704	54779	81686
Ratio of BPST ③		1	1.78	2.66

(i) 原データを用いた場合から破断撹絃回数の順をみると、モノポリエステル絃 (11428 回)、マルチポリエステル絃 (7450 回)、絹絃 (3267 回) の順になり、撹絃耐久性は同様の順で優れていると考えられる。箏演奏家や箏楽器店主の話によれば、やはり上述の順で撹絃耐久性に優れているといわれているので、本報の撹絃耐久性評価装置は箏絃の撹絃耐久性を評価する装置として、有効であると考えられる。

各試料は番手が異なるので tex 当たりの破断撹絃回数に補正(ii)しても、マルチポリエステル絃は絹絃よりも 2.9 倍、モノポリエステル絃は 4.5 倍、破断撹絃回数が優れている。

番手が異なると繊維・糸の 147 N に負荷されている張力は異なり、絹絃 (0.1064 N/ tex) よりもマルチポリエステル絃 (0.1360 N/ tex) ,モノポリエステル絃 (0.1399 N/ tex) にはよりつよい負荷が加わっている。そこで、[単位番手当たりの張力] 当たりの破断撹絃回数に補正(iii)してみると、マルチポリエステル絃は絹絃よりも 1.7 倍、モノポリエステル絃は 2.6 倍の破断撹絃回数を有している。

以上から、本撹絃耐久性評価装置で測定した破断撹絃回数からみて、マルチポリエステル絃は絹絃よりも 1.7~2.9 倍、モノポリエステル絃は 2.6~4.5 倍、撹絃耐久性に優れていると考えられる。

(4) 改良絹絃の設計指針に関する一考察

3 種の箏絃に関する損耗状態の写真観察 (Fig. 9) と撹絃耐久性の測定結果から、従来の絹絃の撹絃耐久性を向上させるための設計指針を考察する。Fig. 9 の撹絃部分の写真観察から、撹絃回数が増加するにしたがい、3 種の箏絃の損耗状態に明瞭な相違が観察できる。すなわち、3000 回撹絃後になると、絹絃の損耗が最も著しく、次いでマルチポリエステル絃、モノポリエステル絃の順になる。絹絃とマルチポリエステル絃は、繊維素材は異なるがマルチフィラメント糸の繊維集合体で、絹絃は繭糸で 5216 本、マルチポリエステル

Fig. 9 Difference in breakage among So-strings before and after playing.

絃は 1311 本で、後者の方が繊維 1 本当当たりの太さはおおきく、破断しにくいと考えられる。また、一般にポリエステル繊維の方が絹繊維より摩擦に強いといわれている。したがって、使用する絹繊維を摩擦につよい絹繊維に改良する設計指針が得られる。マルチポリエステル絃とモノポリエステル絃は、同じポリエステル繊維であるが、前者はマルチフィラメント糸が、後者は 4 本の太いモノフィラメント糸が使用されている。このことから、細い繊維は箏爪との接触により破断しやすいことが推定され、太い絹繊維の使用が必要と思われる。しかし、モノフィラメント糸のような太い絹繊維の創製は困難であるので、絹繊維束の表層を何らかの方法によりモノフィラメント糸の表層のように繊維束を接着・固定化する改良等が示唆される。以上から、絹絃を改良する設計指針として、摩擦に強い絹繊維を使用する方法と絹絃の表層をモノフィラメント糸のように改良する方法が本実験から示唆される。

5. 結 言

箏爪の撹絃による箏絃の破断のしにくさ (撹絃耐久性) を定量的に評価するために、標準的奏法をシミュレートした、箏爪をモーターの回転軸に取り付け、一定の回転速度で撹絃する撹絃耐久性評価装置を開発し、その装置を用いて市販の箏絃の力学的撹絃耐久性を検討し、本実験の範囲内で以下の諸結果を得た。

- 1) 撹絃時の基本周波数の急激な低下と箏絃としての機能を損なう明確な破断を生じたときの撹絃回数を破断撹絃回数と定義し、撹絃耐久性の評価指標とした。
- 2) 標準撹絃条件 (箏絃の撹絃耐久性を評価する標準実験条件) として、絃長 20 cm, 張力 147 N, 撹絃速度 180 rpm を選出した。
- 3) 標準撹絃条件により、市販の箏絃 (絹絃, マルチポリエステル絃, モノポリエステル絃) の破断撹絃回数を測定した結果、3 箏絃の中で撹絃耐久性に劣っていた絃は絹絃で、優れていた絃はモノポリエステル絃であった。この装置を用いて破断撹絃回数を測定するこ

とで、これまで一般に破断しにくいとされてきたポリエステル絨の方が絹絨よりも耐久性がたかい事を定量的に捉えることができた.

なお、本研究は平成 21 年度貞明皇后蚕糸科学技術研究助成（代表徳丸吉彦）を受けており、ご支援に深謝いたします.

References

- [1] Kamizawa K, Ishikura H, Yamashita S, Nakajima M (1996) J Text Mach Soc Japan (predecessor journal of J Text Eng), **49**, T92-T95
- [2] Ishikura H, Yamashita S, Torigai H, Taniyama Y, Kamizawa K, Nakajima M (1996) J Text Mach Soc Japan (predecessor journal of J Text Eng), **49**, T175-T182
- [3] Nihon Sankyoku Kyokai (1983) "Sankyoku no tebiki", pp38-43, Koudansha
- [4] Sakurai Y, Obata S (1970) "Shindoh · shougeki no keisoku", 5, Asakurashoten