ピアノ響板用材の選別とその動力学的性質との関連*

小 野 晃 明**

Relationship of the Selection of Wood Used for Piano Soundboards
to the Dynamic Mechanical Properties

by

Teruaki ONO

(Faculty of Engineering, Gifu University, Kagamigahara)

The dynamic Young's modulus and the internal friction of many specimens made of a trunk of Akaezomatsu and that of Kuroezomatsu were measured using a flexural vibration method, and the comparison in these properties between Akaezomatsu and Kuroezomatsu was made. In order to find out the difference in dynamic properties of the wood classified by the experience of piano industry, these specimens were classified into the high grade wood used for grand piano soundboards, the medium grade wood used for upright piano soundboards and the low grade wood which is not used for soundboards, and their properties were investigated statistically.

The main results obtained are as follows:

(1) It was observed that in acoustical properties Kuroezomatsu was not inferior to Akaezomatsu when used for the soundboards of musical instruments, and that the percentage of the low grade wood of the former was about twice that of the latter. It was also found that such a high percentage of the low grade wood was mainly caused by the colour of Kuroezomatsu. Consequently, it seems that the reason why Kuroezomatsu is not used for the soundboards is not because of its acoustical properties, but because of its low yield.

(2) The results of the statistical investigation on the properties of the classified wood agreed with the general opinion on the physical properties which are desirable for the wood for soundboards. Consequently, it was found that the selection method of the wood for soundboards used in piano industry, which was learned through experience, was marvelous.

(Received Nov. 19, 1980)

キー・ワード：アカエゾマツ，クロエゾマツ，等級別ピアノ響板材，動的ヤング率，内部摩擦

1 緒 言

楽器響板用木材には、古くからトウヒ属のドイツトウヒ、アカエゾマツ、シトカスプルス材が用いられている。現在楽器業界では、これらの板材を熟練者の経験によって響板用良材および不良材に選別して使用している。しかし、これまでにこれら良材、不良材の振動的性質の違いを調べた研究は、わずかに深田¹⁾、立道²⁾がある程度で少く、その把握はまだ充分ではない。また、上述材の確保はしだいに難しくなっている傾向にあるので、材の有効利用および他樹種などによる代替策を検討するためにも、それを明確にし、その原因

を解明する必要がある。

このたび、筆者はアカエゾマツ、クロエゾマツの原木を入手する機会を得た。アカエゾマツと同地域に生育する同じトウヒ属のクロエゾマツは、現在アカエゾマツほど楽器材および建築材として評価されていないが、これまでに力学物性から見たその原因は明確にされていない。

そこで、これらの問題を解明するために、アカエゾマツ、クロエゾマツの樹幹各部から多数の試験片を製作し、比重のほか、たわみ振動法により振動的性質を表す尺度として一般に用いられる動的ヤング率および内部摩擦を繊維方向について測定し、まず両樹種のこれら物性の異同について調べた。つぎに、これらの試験片をピアノメーカーの経験によって高級（グランドピアノ用）材、中級（アップライトピアノ用）材、不良

* 本報を「楽器響板用木材の動力学的性質に関する研究（第1報）」（Studies on the Dynamic Mechanical Properties of the Woods Used for Soundboards, I）とする。

原稿受理 昭和55年11月19日

** 正 会 員 岐阜大学工学部 各務原市那加門前町

材に分けてそれらの物性の違いを統計的に調べた。さらに不良材を不良原因別に分類して、不良原因となった材内欠点が物性に及ぼす影響などについても検討した。本報ではこれらについて報告する。

2 測定方法および試料

2・1 測定方法

動的ヤング率および内部摩擦の測定は、横断面長方形の棒状試験片の両端自由のたわみ振動法を用いて行った。その測定装置および計算法は、既報で述べたので省略する。

本研究では、測定試験片数が多いので、比重、動的ヤング率、内部摩擦の測定および計算は、計測器と計算器を結んだシステムで行った。それを Fig. 1 に示す。比重は図中のデジタルノギスゲージで試験片寸法を、デジタルてんびんで試験片質量をそれぞれ測定して求めた。動的ヤング率は、フレクシカウンターで得た試験片の共振周波数から求めた。内部摩擦は、電磁オシログラフによる減衰振動の記録から、デジタルノギスゲージで振幅を読み取ることにより求めた。

なお、用いた振動様式は基本振動、振動方向は接線方向、測定周波数は約 500~600 Hz である。また、測定は温度約 23℃、関係湿度 55~65% の恒温・恒湿室で行った。

2・2 試料および試験片

供試木は、北海道大学天塩演習林で 1977 年 8 月伐採したアカエゾマツ (*Picea glehnii* Mast.) およびクロエゾマツ (*Picea jezoensis* Carr.) である。アカエゾマツは、樹令 325 年、胸高直径 62 cm、樹高 25 m であり、クロエゾマツは、樹齢 150 年、胸高直径 52 cm、樹高 22 m である。これらの原木から、髄を通る南北方向の正まきの板を根元から樹冠部にわたって取り、この板を天然乾燥の後、含水率 7~8% まで人工乾燥した。

この板から、厚さ (t) を接線方向、幅 (w) を半径方向、長さ (l) を繊維方向とした、 $10(t) \times 20(w) \times 300(l)$ mm の寸法の試験片をできるだけ多く製作したが、この内、割れ、節、傷などの大きな欠点を有する試験片を除いたので、測定試験片数はアカエゾマツが 287 本、クロエゾマツが 295 本にとどまった。これらは約 1 年間保管した後測定したが、測定時の含水率は 10~

11% 程度である。

3 実験結果および考察

3・1 アカエゾマツおよびクロエゾマツ材の比重、動的ヤング率、内部摩擦

アカエゾマツおよびクロエゾマツ材の多数の試験片の比重 ρ 、動的ヤング率 E 、内部摩擦 Q^{-1} を測定した結果、平均値とその標準偏差は、アカエゾマツ材が $\rho_A = 0.427 \pm 0.017$, $E_A = (1.19 \pm 0.17) \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$, $Q_A^{-1} = (6.08 \pm 0.83) \times 10^{-3}$, クロエゾマツ材が $\rho_K = 0.428 \pm 0.021$, $E_K = (1.29 \pm 0.12) \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$, $Q_K^{-1} = (5.83 \pm 0.37) \times 10^{-3}$ であった。また、これらのヒストグラムは Fig. 2 のようである。図中の太短い線は平均値であり、図は標準偏差の半分を 1 ステップにとって示したものである。したがって、ステップの幅はばらつきの程度を表す。

図から、クロエゾマツ材は、楽器響板用良材として好んで用いられているアカエゾマツ材と比べ、音響特性が劣っているとは認められない。また、これらの平均値は、筆者の楽器響板用シトカスプルス材に関する既報の結果とよく似ている。したがって、一樹幹だけの結果ではあるが、クロエゾマツ材は物性的には響板材として用い得るといえる。

つぎにこれら諸量の相関関係を調べた。その結果、比重とヤング率の相関係数は、アカエゾマツ材が 0.26、クロエゾマツ材が 0.05、比重と内部摩擦の相関係数は、アカエゾマツ材が 0.03、クロエゾマツ材が 0.19、ヤング率と内部摩擦の相関係数は、アカエゾマツ材が -0.79、クロエゾマツ材が -0.58 であった。

このように、比重とヤング率の相関係数は、一般の値に比べて小さい。また、ヤング率と内部摩擦のそれは、両樹種とも大きい値となっているが、これら相関関係については、次の 3・2 節で試験片をピアノ響板材の観点から、等級別に分けて検討する。

なお、本実験のデータから、諸量の樹幹内分布およびその樹幹内変動などもある程度みられるが、それについては別報に譲る。

3・2 等級別響板材の特性

現在楽器業界では、響板材を熟練者が経験によって等級別に選別し使用している。しかし、これら等級別

Fig. 1. The system for measuring specific gravity, dynamic Young's modulus and internal friction, and for statistical data processing.

Fig. 2. The frequency histograms for the specific gravity ρ , the dynamic Young's modulus E and the internal friction Q^{-1} of the specimens made of a trunk of Akaezomatsu and that of Kuroezomatsu.

Number of Akaezomatsu specimen=287, number of Kuroezomatsu specimen=295.
Short heavy lines show average values.

Table I. The specific gravity, the dynamic Young's modulus and the internal friction of Akaezomatsu and Kuroezomatsu specimens classified into three grades.

Wood species	Grade	Specific gravity	Young's modulus $\times 10^{11}$ (dyne/cm ²)	Internal friction ($\times 10^{-3}$)	No. of specimen	
					No.	% of total
Akaezomatsu	High	$0.425 \pm 0.014^{*1}$	$1.27 \pm 0.11^{*1}$	$5.74 \pm 0.52^{*1}$	125	44
	Medium	$0.425 \pm 0.015^{*1}$	$1.17 \pm 0.15^{*1}$	$6.08 \pm 0.73^{*1}$	101	35
	Low	$0.434 \pm 0.022^{*1}$	$1.04 \pm 0.17^{*1}$	$6.81 \pm 0.99^{*1}$	61	21
Kuroezomatsu	High	$0.419 \pm 0.015^{*1}$	$1.39 \pm 0.08^{*1}$	$5.54 \pm 0.27^{*1}$	63	21
	Medium	$0.424 \pm 0.018^{*1}$	$1.29 \pm 0.10^{*1}$	$5.85 \pm 0.31^{*1}$	98	33
	Low	$0.435 \pm 0.022^{*1}$	$1.24 \pm 0.12^{*1}$	$5.96 \pm 0.37^{*1}$	134	45

*1 Standard deviation.

材の振動的性質の相違は、深田¹⁾、立道²⁾が調べている程度で少く、また統計的に調べたものはない。そこで、前述の試験片を某ピアノメーカーに実際に行われていると同様な経験によって高級（グラントピアノ用）材、中級（アップライトピアノ用）材、低級（不良）材に分けてもらい、それらの比重、動的ヤング率、内部摩擦の違いを統計的に調べた。その結果を Table I に、またそれらのヒストグラムを等級別に Fig.3, 4 に示す。

表および図から、等級の高い材ほど、すなわち材質の良い材ほど比重が小さく、ヤング率が大きく、内部摩擦が小さいこと、またばらつきが小さいことなどが明りょうにみられる。この結果は、響板材に望ましい物理的性質に関する一般的見解と一致する。したがって、現在のピアノ業界で行われている熟練者の経験に基づく響板材の材質判定法は、極めて優れていることがわかった。

また、表の最右欄から、アカエゾマツは材質の良い

Fig. 3. The frequency histograms for the specific gravity ρ , the dynamic Young's modulus E and the internal friction Q^{-1} of Akazomatsu specimens classified into three grades. Number of specimen=287. Short heavy lines show average values.

試験片ほど採取割合が大きいが、クロエゾマツは逆にそれが小さいことがわかる。したがって、クロエゾマツが響板材として用いられない理由は、3・1節の結果とから物性的理由ではなく、この歩どまりの低さの点にあると思われる。この原因は、次節で検討する。

つぎに、これら等級別材の諸量の相関関係を調べた。その結果を Table II に示す。表から、比重とヤング率の相関は、材質の良いものほど高いこと、また高・中級材は全試験片から得られた前節の値と比べて大きく改善されていることが明らかにみられる。したがって、一般に示されている高い相関は、材質の特に良いものについていえることであることがわかる。また、ヤング率と内部摩擦の相関は、クロエゾマツははっきりしないが、3・1節の全試験片でも高い相関が得られたことをあわせ考えると、材質とは関係なく高い。つまり、比重とヤング率の相関とは違って、材質の良し悪しとは関係なく、ヤング率の大きいものは内部摩擦が小さいといえよう。このような指摘はこれまでに知見していない。

Table II. The correlation coefficients of specific gravity ρ -Young's modulus E , ρ -internal friction Q^{-1} and E - Q^{-1} on Akazomatsu and Kuroezomatsu specimens classified into three grades.

Wood species	Grade	Correlation coefficient		
		ρ - E	ρ - Q^{-1}	E - Q^{-1}
Akazomatsu	High	0.76	-0.23	-0.63
	Medium	0.42	-0.03	-0.74
	Low	0.24	-0.04	-0.76
Kuroezomatsu	High	0.80	0.19	-0.25
	Medium	0.45	0.15	-0.34
	Low	0.03	0.02	-0.59

なお、3・1節で述べた諸量の相関およびこの表からもわかるように、クロエゾマツはアカエゾマツに比べて、全体に相関が低い。この原因は、今のところ不明であり今後の問題として残る。

3・3 不良材の検討

Fig. 4. The frequency histograms for the specific gravity ρ , the dynamic Young's modulus E and the internal friction Q^{-1} of Kuroezomatsu specimens classified into three grades. Number of specimen=295. Short heavy lines show average values.

従来にも楽器響板に不良とされた材の比重、動的ヤング率、内部摩擦について調べたものは若干あるが、さらに不良原因別に検討したものは、深田が年輪幅の大きな材、あて材、腐れ材を調べている程度で極めて少い。そこで、前節の不良材の不良原因およびその原因となった材内欠点と物性との関係を調べるために、前述のピアノメーカーにさらに不良原因別に不良材を分類してもらい、原因別に物性値を調べた。その結果を Table III に示す。なお、表に示した欠点のほか、年輪幅、比重、入皮などいくつかの不良原因が存在したが、これらの不良材は極めて少数であるので省略した。また、一不良材でいくつかの不良原因を持つものは各原因ごとに数えたので、試験片の合計数は、Table I の低級（不良）材数とは一致しない。

まず、不良原因となった欠点と最右欄の試験片数の関係からみよう。表から、欠点のうち材色がクロエゾマツに特有で、その材中最も多いこと、両樹種ともに試験片の多い欠点は、あておよび目流れ（Curved

grain）で、節および目切れは少いことなどがみられる。この前者の結果は、前節のクロエゾマツの歩どまりを低くする主な原因が材色であることを示す。したがって、クロエゾマツが響板に用いられない理由は、主に美観による歩どまりの低さにあるといえよう。

つぎに、材内欠点と特性との関係をみると、(1)あて材は比重が大きく、動的ヤング率が小さい、(2)目流れ材は動的ヤング率が小さく、内部摩擦が大きい、(3)材色および腐れ材は前述の中級材と比べ、物性的にあまりそん色なく、音響材として用い得ることなどが特徴的である。

これまでに、材内欠点と振動的性質の関係を調べた研究は比較的多くあるが⁵⁾、このうち参考になるものとして前述の深田のほか、松本の動的ヤング率、内部摩擦に及ぼすあて、節、木理傾斜角の影響、D. Holz の有節材の動的ヤング率および内部摩擦の周波数依存性などの研究が挙げられる。彼らは、これらの欠点材が、正常材に比べ、動的ヤング率が小さく、内部摩擦が大

Table III. The specific gravity, the Young's modulus and the internal friction of the low grade woods classified by defects.

Wood species	Defect	Specific gravity	Young's modulus $\times 10^{11}(\text{dyne/cm}^2)$	Internal friction ($\times 10^{-8}$)	No. of specimen	
					No.	% of total
Akaezomatsu	Reaction wood	$0.450 \pm 0.014^{*1}$	$0.99 \pm 0.14^{*1}$	$6.69 \pm 0.74^{*1}$	21	23
	Knot	$0.438 \pm 0.021^{*1}$	$1.10 \pm 0.21^{*1}$	$6.94 \pm 1.22^{*1}$	13	14
	Loosened grain	$0.448 \pm 0.018^{*1}$	$1.17 \pm 0.14^{*1}$	$5.99 \pm 0.45^{*1}$	6	7
	Curved grain	$0.432 \pm 0.021^{*1}$	$0.99 \pm 0.18^{*1}$	$7.18 \pm 0.96^{*1}$	33	36
	Decay	$0.414 \pm 0.016^{*1}$	$1.03 \pm 0.16^{*1}$	$6.38 \pm 0.81^{*1}$	18	20
Kuroezomatsu	Reaction wood	$0.451 \pm 0.018^{*1}$	$1.19 \pm 0.10^{*1}$	$5.97 \pm 0.28^{*1}$	50	30
	Knot	$0.424 \pm 0.012^{*1}$	$1.21 \pm 0.08^{*1}$	$6.25 \pm 0.41^{*1}$	10	6
	Loosened grain	$0.437 \pm 0.028^{*1}$	$1.21 \pm 0.14^{*1}$	$6.07 \pm 0.30^{*1}$	13	8
	Curved grain	$0.433 \pm 0.021^{*1}$	$1.19 \pm 0.13^{*1}$	$6.29 \pm 0.33^{*1}$	26	16
	Decay	$0.411 \pm 0.022^{*1}$	$1.22 \pm 0.12^{*1}$	$6.02 \pm 0.40^{*1}$	10	6
	Colour	$0.433 \pm 0.018^{*1}$	$1.30 \pm 0.12^{*1}$	$5.80 \pm 0.36^{*1}$	57	34

*1 Standard deviation.

きい、また木理傾斜角が大きくなると、動的ヤング率が減少し、内部摩擦が増大することを報告している。彼らの結果から、表にみられた上の(1)、(2)の特徴は理解できる。腐れ材については、その材を調べたところ青変材であった。これを生ずる青変菌は、木材組織をほとんど侵さないで、(3)の結果は当然といえる。材色については、若干考察したが、これを生ずる原因は不明であり、従来にも材色と特性との関係について調べた研究もほとんどないので、今のところ本実験の結果について言及することはできない。

したがって、欠点と特性の関係を検討した結果、腐れ(青変)および材色の不良材は、現在美観の点で使われていないが、物性的には響板材として使用し得ること、また本実験の試験片の振動特性を劣化した主な欠点は、あておよび目流れであることなどがわかった。

4 結 言

アカエゾマツ、クロエゾマツ樹幹から多数の試験片を製作し、たわみ振動法による動的ヤング率、内部摩擦のほか、比重を測定して、ピアノ響板材の観点から種々検討した。得られた主な結果は次のようである。

(1) クロエゾマツは、楽器響板材として好んで用いられているアカエゾマツに比べ、音響特性が劣っているとは認められないが、不良材の発生率が約2倍となり、その原因は主に材色であることがわかった。

したがって、クロエゾマツが響板に用いられない理由は、音響特性によるものではなく、主に美観による歩どまりの低さの点にあると思われる。

(2) ピアノメーカーによって分けられた高級材、中級材、不良材は、その順に比重が大きく、動的ヤング

率が小さく、内部摩擦が大きいという統計の結果を得た。

この結果は、楽器響板材に望ましい物理的性質に関する一般の見解と一致する。したがって、ピアノ業界の経験に基づく響板材の選別法は極めて優れていることがわかった。

(3) 不良材を不良原因となった欠点別に分類して検討した結果、腐れ(青変)および材色の欠点を原因とする不良材は、中級材と比べ、物性的にあまりそん色なく、物性的には響板材として用い得ることが明らかとなった。

本研究の供試木は、岐阜大学工学部故片岡明雄教授のご努力により、北海道大学農学部附属演習林川瀬清教授、滝川貞夫助教授、同学部林産学科深沢和三助教授ならびに多くの関係者の皆様の特別なご厚意を得て入手できたものである。また、本研究を実施するにあたり、京都大学木材研究所、則元京講師に有益な助言をいただいた。上記の皆様へ深甚の謝意を表します。

(昭和55年4月1日 第30回日本木材学会大会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 深田栄一, 音響学会誌, **7**, 49 (1951).
- 2) 立道有年, 応用物理, **29**, 451 (1960).
- 3) 片岡明雄, 小野晃明, 木材誌, **21**, 543 (1975).
- 4) 片岡明雄, 小野晃明, 木材誌, **22**, 436 (1976).
- 5) 木材学会組織と材質研究会編, “材質指標と材料としての性質との関連”(1980).
- 6) 松本 島, 九大農演報, **36**, 1 (1962).
- 7) Holz, D., Holztech., **14**, 195 (1973).