

楽器用スプルー合板の振動特性^{*1}

祖父江信夫^{*2}, 中野晴之^{*3}, 浅野猪久夫^{*4}

Vibrational Properties of Spruce Plywood for Musical Instruments

Nobuo SOBUE^{*2}, Haruyuki NAKANO^{*3}, and Ikuo ASANO^{*4}

Dynamic Young's modulus E' and mechanical-loss tangent $\tan\delta$ of five types of spruce plywood were investigated by the free flexural-vibration method in relationship to the veneer construction of the plywood, the combining of different wood species of veneer for the crossbands of the plywood, lathe checks of the veneers, and glue layers of the plywood.

The lathe checks and the glue layers increased the $\tan\delta$ of the plywood.

The crossbands decreased E' and increased the $\tan\delta$ of the plywood in the fiber direction of face veneers. On the contrary, they increased E' and decreased the $\tan\delta$ in the orthogonal direction. The crossbands decreased the total vibrating-energy of the plywood when it two-dimensionally vibrated.

In the frequency range above 500 Hz the E' gradually decreased with an increase of frequency, but the tendency was diminished by combining crossbands of red meranti veneer whose Young's modulus is higher than that of spruce veneer.

単板の構成の異なる5種類のスプルー合板を作製し、動的弾性率 E' 、力学的損失正接 $\tan\delta$ におよぼす単板構成、メランチ単板の複合の影響、並びに単板割れや積層接着の影響について検討した。

単板割れや接着層によるエネルギー損失のため合板の $\tan\delta$ は素材に比べて増大した。直交単板は表板繊維方向の E' の低下と $\tan\delta$ の増大を来すが、横方向の E' の増大と $\tan\delta$ の低減の方向に働くので、合板が二次元振動する場合の振動エネルギー損失の減少に寄与する。

E' は 500 Hz 以上の周波数で漸減を示し、その程度は直交単板の挿入厚さに依存するが、メランチ単板の挿入により減少が抑制された。

1. 緒 言

ピアノやギターなどの発音体となる響板には伝統的にスプルー材が用いられている。しかし、近年良質の原木供給の減退による原木価格の高騰のため、高級手工品を除きたいわゆる普及品では一部に代替

樹種や合板を用いる方策が取られる様になり、量産品ギター等では合板を用いた響板が商品化されている¹⁾。しかし、響板では音のひびきなど音響的性質が問題となるので、振動の減衰など従来の構造用材や造作用材を目的とした合板では要求されない様な粘弾性的性質が重視される。楽器響板用材を目的として合板の振動的性質を検討したものには最近の Holz の報告²⁾があるが、他にはほとんど公表されていない。

本研究では、単板の構成の異なる5種類のスプルー合板を試作し、動的弾性率 E' 、力学的損失正接 $\tan\delta$ におよぼす単板の構成、スプルー単板とメランチ単板との複合の影響、並びに単板切削時の損傷

*1 Received June 21, 1983

*2 名古屋大学農学部 School of Agriculture, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464

*3 セントラル・ファイナンス(株) Central Finance Co., Nishiki-3, Naka-ku, Nagoya 460

*4 東京大学農学部 Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113

や単板の積層接着の影響など合板製造に係る因子につき基礎的な検討を行った。

2. 実験方法

2.1 供試合板の作製

供試スプルース材には、ギター響板用に選別された無欠点フリッチを用いた。スプルース材の気乾比重は 0.41, レッドメランチ材のそれは 0.58 である。

スプルースのまま目単板はロータリーレースによって作製した。直径約 50 cm の多爪チャックにまさ目木取りのフリッチ 22^{cm} × 22^{cm} × 60^{cm} (長さ) を偏心させて取り付け、切削を行った。単板厚さは 2 mm と 1 mm で、切削条件は刃物角 18°, にげ角 30°, 絞り率 90% である。得られた (15^{cm} ~ 20^{cm}) × 60^{cm} の単板をシアノアクリレート接着剤で 3 枚横つぎし、55^{cm} × 55^{cm} の正方形の供試単板を作製した。スプルース単板は 20°C, R.H. 約 30% の室内で自然乾燥させた。乾燥終了時の含水率は約 10% であった。

レッドメランチ単板は直径約 65 cm の原木からロータリー切削を行い、厚さ 2 mm の単板を得た。単板切削条件は刃物角 22°, にげ角 30°, 絞り率 90% である。単板は温風乾燥器 (60°C) によって 24 時間乾燥させた。乾燥終了時の含水率は約 6% であった。

作製した合板の単板構成は Fig. 1 のとおりで、各構成につき 3 枚ずつの合板を作製した。

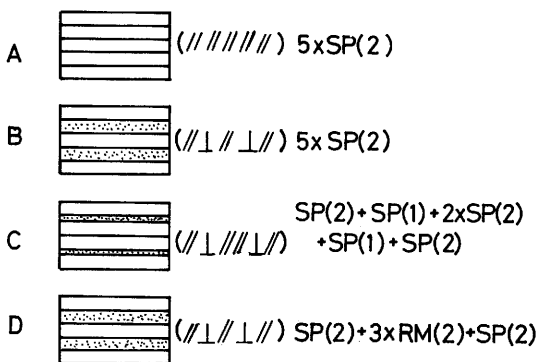


Fig. 1. Composition of veneers.

Notes: SP: spruce; RM: red meranti.

The number in each parenthesis denotes the thickness of veneers in mm.

接着剤にはレゾルシノール樹脂 (アイカネオレジン: PR-10) を用い、塗布量 30 g/ (30^{cm} × 30^{cm}), 圧縮圧力 9 kg/cm², 圧縮温度 120°C, 圧縮時間 500 秒とした。

2.2 振動試験方法

動的弾性率 E' と力学的損失正接 $\tan\delta$ は両端自由

はりのたわみ共振法によって測定した。試験体の加振とたわみの検出には電磁的方法を用い、共振曲線は励振周波数を自動掃引させて X-Y レコーダに描かせた。

振動試験には、材軸と合板表板の繊維方向との傾斜角 θ が 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° となる 7 種類の試験体を用いた。なお、 E' , $\tan\delta$ の周波数特性の検討には、 $\theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ の 3 方向の試験体を用い、1 次および 3 次振動によって E' , $\tan\delta$ を測定し、試験体の寸法を段階的に切り詰めることによって共振周波数を変化させた。試験時における試験体含水率は約 7% であった。

3. 結果と考察

3.1 単板構成と E' , $\tan\delta$ の異方性

響板は二次元振動をするので、木質系材料の様に異方性の大きな材料では、 E' , $\tan\delta$ の異方性を明らかにしておく必要があると考えられる。そこで、まず E' , $\tan\delta$ がほぼ一定値を示す低振動数領域における E' , $\tan\delta$ の異方性と単板構成との関係について検討した。Fig. 2 に結果を示す。

E' についてみると、平行構成合板 A はほとんど素材と等価である。合板 A の比重が素材 0.41 に対して 0.50 とやや大きくなっているため、合板 A の E' は若干増加している。直交単板が挿入された B および C の構成の合板では 0° 方向 (表板繊維に平行する方向) の E' が減少し、90° 方向 (表板繊維に直交する方向) の E' が増加するため、 E' の異方性は減少している。異方性の程度は直交単板の厚さ構成比に依存する。^{3),4)}

$\tan\delta$ についてみると、素材および合板 A では表板繊維の傾斜角の増大につれて単調に増加するが、他の構成の合板では 45° 付近でピークを示す。合板 A と素材を比較すると、合板 A では全体に $\tan\delta$ が増加している。これは単板切削時に生じた単板割れに起因するエネルギー損失の増加と接着層によるエネルギー損失の増加が原因したものと考えられる。直交単板を挿入した合板 B, C の場合、0° 方向では挿入された直交単板の $\tan\delta$ が大きいため $\tan\delta$ は平行構成合板 A の場合よりやや大きいが、90° 方向では挿入された表板に平行な単板の $\tan\delta$ が小さいため逆に $\tan\delta$ は減少する。45° 方向の様に弾性主軸から傾斜した方向では、前報⁴⁾ で明らかとなった様に、隣接する直交単板相互のカプリングによるねじれ変形の拘束効果のため、 $\tan\delta$ は減少する。すなわち、直交単板の挿入によって全体として $\tan\delta$ を小さく押えることができ、特に 45° ~ 90° 方向における $\tan\delta$

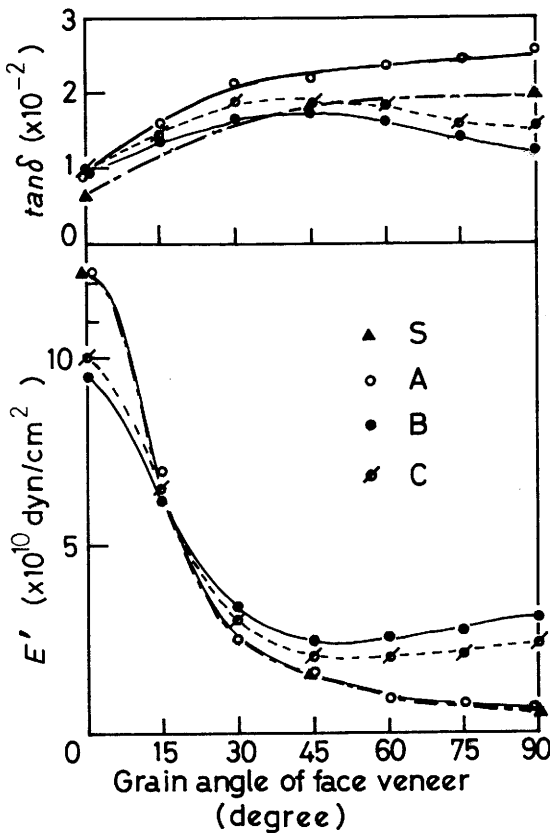


Fig. 2. Effect of veneer compositions on the relationship between dynamic Young's modulus E' or loss tangent $\tan\delta$ and the grain angle of the face veneer.
Notes: S: Solid wood; A-C: See Figure 1.

の低減効果が著しい。

芯材にメランチ単板を挿入した合板Dと同じ等厚交互直交構成で全てスプルス単板を用いた合板Bの比較を Fig. 3 に示す。また、前報において全てメランチ単板を用いて作製した合板の結果³⁾も合わせて示す。合板Dの E' 、 $\tan\delta$ は合板Bとメランチ合板の中間的な性質を示し、 $\tan\delta$ の小さな単板を挿入することによって合板の $\tan\delta$ を小さく押えることが可能なことが分る。このように異樹種単板の複合は、経済性の面からばかりでなく、複合による積極的な材質改良の面からも考慮する必要がある。

楽器響板として合板を利用する場合、合板にどのような E' や $\tan\delta$ の異方性を持たせるのが適当であるかについては、現在のところ明かではない。しかし、スプルス素材の代替として合板を利用するものと考えれば、まずスプルス素材の持つ E' 、 $\tan\delta$ の異方性に近づけることが目標となろう。この観点に立つならば、 E' については平行構成合板で実現できる

が、 $\tan\delta$ については何らかの改良が必要となる。

前述の様に、 $\tan\delta$ の増加の要因として単板切削中に発生した単板割れに起因するエネルギー損失の増加と接着層によるエネルギー損失の増加が考えられる。前者については切削方式や原木の軟化処理など切削条件の改善によってある程度の損傷を抑制することが可能だが、 $\tan\delta$ に影響する様なマイクロなクラックまで完全になくすることは難しい。後者については、接着によって $\tan\delta$ が若干増加することが知られている。単板割れの無い挽板積層材の結果では0~10%の $\tan\delta$ の増加がみられるが^{2),5)}、本実験の場合約37%の増加となり、挽板積層材に比べて大きな増加を示している。合板Aの場合には単板割れの影響が含まれ、接着層のみによる増加分をこれから分離することはできないが、接着層がやや厚かったことから判断すると、塗布時の粘度や塗布量が適正でなかったことの影響が考えられ、更に適切な接着条件を見いだす必要がある。

しかし、上記の様な $\tan\delta$ にマイナスに作用する

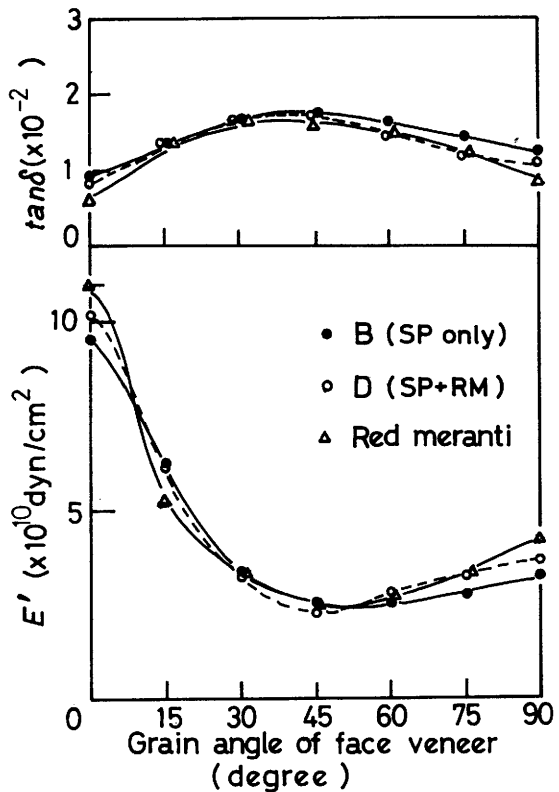


Fig. 3. Effect of the combination of red meranti veneers on the relationship between dynamic Young's modulus E' or loss tangent $\tan\delta$ and the grain angle of the face veneer.

Note: B and D: See Figure 1.

要因を抑制する方法には限度があり, より積極的な改善方法を考える必要がある。その一つとして, 他樹種単板や他材料の複合がある。Fig. 2の合板Cの場合の様に, わずかな直交単板の挿入によって $\tan\delta$ の低減が計れる。したがって, 弾性率の大きな単板を用いればその分だけ挿入単板厚さを薄くすることができるので, E' の低下を抑制し且つ $\tan\delta$ を低減させることができる。更に, 炭素繊維など軽量高弾性材料の複合も考えられる。

3.2 単板構成と E' , $\tan\delta$ の周波数特性

楽器音の範囲は低音からかなり高音までおよぶので, E' , $\tan\delta$ の周波数特性を調べることは重要である。ちなみに, 最も周波数範囲の広いピアノでは約30~4000 Hzである。

E' の周波数特性は Fig. 4のように, 500 Hz 付近から減少する。これは, 試験体のせん断変形によって, 見掛けの E' が減少するためである。0°方向について, 500 Hz 以下における E' の平均値を1として E' の変化を比で表わすと, Fig. 5のように直交単板の

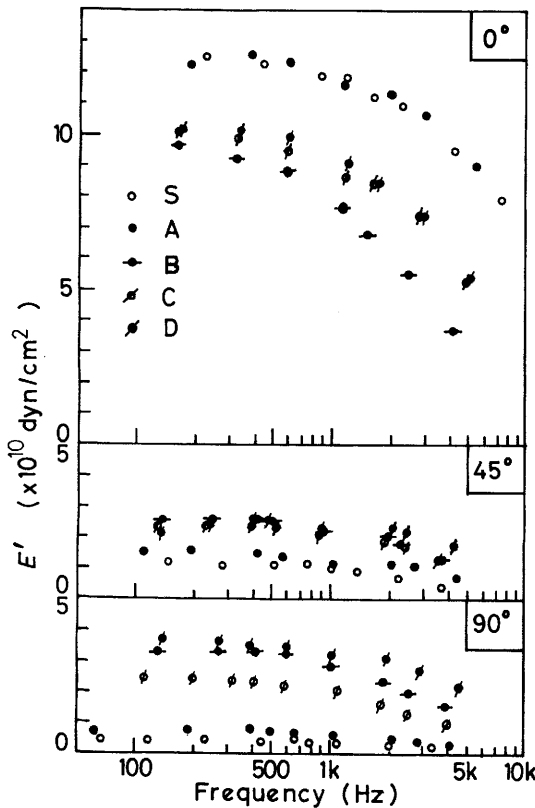


Fig. 4. Effect of veneer compositions on the frequency characteristics of dynamic Young's modulus in three essential directions.

Notes: S: Solid wood; A-D: See Figure 1.

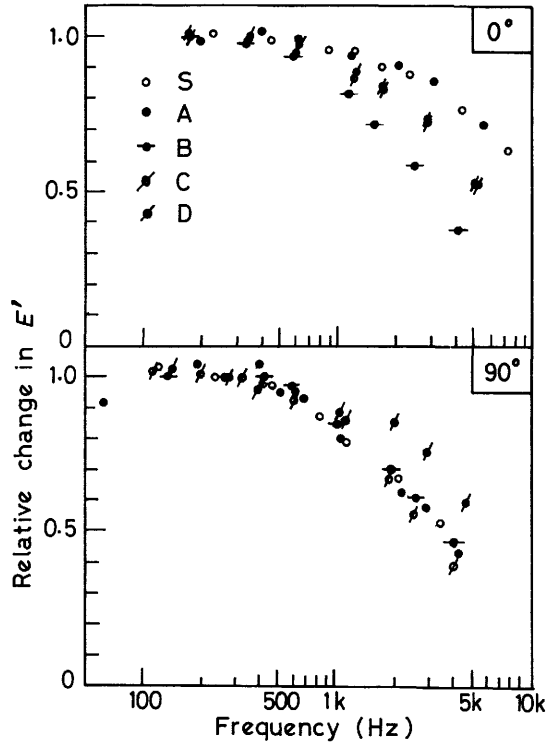


Fig. 5. Effect of veneer compositions on the relationship between the relative change in dynamic Young's modulus and the frequency of vibration.

Notes: S: Solid wood; A-D: See Figure 1.

挿入の多い合板ほど周波数の増加に対する E' の減少が著しい。しかし, 芯材にメランチ単板を挿入した合板Dは, スプルース単板を用いた同構成の合板Bに比較して E' の減少率が小さい。これは芯材メランチ単板のせん断弾性率がスプルースのそれより大きいことによるものと考えられる。同様に, 90°方向の結果を Fig. 5に示す。0°方向で単板構成の影響が著しいのに対し, 90°方向ではその影響は少ない。また, メランチ単板を複合した合板Dでは, 他の構成の合板に比べて高周波数域における E' の減少率が小さい。この様に, E' の周波数特性の改善の面からも異樹種単板の複合を考える必要があると思われる。

$\tan\delta$ の周波数特性は Fig. 6のように, 素材および合板でいずれも同様な対周波数変化を示す。すなわち2~3 kHzまではほぼ一定値を示し, それ以上の周波数で $\tan\delta$ の急激な増加を示す。高周波数域における $\tan\delta$ の増加は, 0°方向が45°, 90°方向に比べて大きい。0°方向では素材の $\tan\delta$ が最も小さい。45°方向では, 平行構成合板Aを除けば, 合板の $\tan\delta$ は全周波数範囲で素材のそれと同等かより小さい。ま

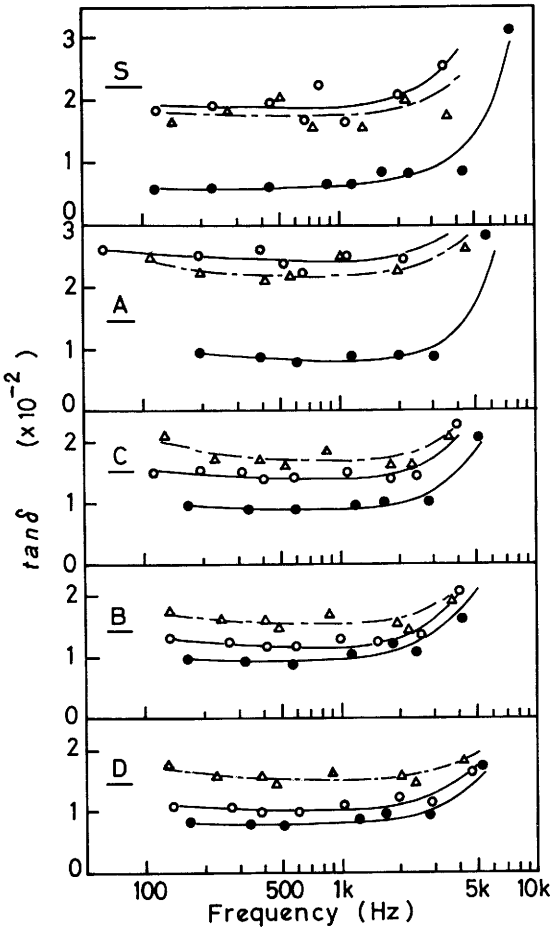


Fig. 6. Effect of veneer compositions on the frequency characteristics of the loss tangent in three essential directions.

Notes: S: Solid wood; A-D: See Figure 1.

●: 0°; △: 45°; ○: 90°

た、90°方向では、合板Aを除けば、合板の $\tan\delta$ は素材のそれより小さい。

4. 結 論

合板では構造や製造プロセスに付随する表板繊維方向の E' の低下と単板割れや接着層に起因する $\tan\delta$ の増加が認められるが、直交単板の挿入と異樹種単板の複合によってこの材質低下を抑制できることがわかった。すなわち、素材では横方向の E' が小さく $\tan\delta$ が大きな値を示すが、直交単板の挿入は素材に比べて横方向の E' を増加させ、また $\tan\delta$ を低減させることができる。このことは、響板が二次元振動するときの板全体の振動エネルギー損失を低減させることになるので、繊維方向の $\tan\delta$ を低減

させることと等価な効果が得られるものと考えられる。しかし、直交単板の挿入は表板繊維方向の E' を減少させるので、縦弾性率の高い異樹種単板を用い、挿入単板厚さを薄くすることによって E' の低下を抑制し、 E' の低下と $\tan\delta$ の低減効果のバランス点から単板構成を決める必要がある。

E' 、 $\tan\delta$ の周波数依存性についてみると、 E' は500 Hz以上で減少し、表板繊維方向では直交単板の挿入厚さの大きい合板ほど減少が著しい。これの改善には、せん断弾性率の大きな単板の挿入が効果的である。一方、 $\tan\delta$ の周波数依存性には、素材と合板で差は見られない。

異樹種単板の複合は、 E' の周波数特性の改善や表板繊維方向の E' の低下を抑制する手段として活用できることが明らかとなった。

ところで、従来、楽器用材の材質指標として木材の繊維方向の振動特性が問題とされてきたが、最近、直交方向の振動特性の重要性が指摘されている。安藤⁶⁾、箏用桐材の振動特性と箏製作者による評価との関係を検討し、箏用桐材では繊維に直交する方向の材質値のほうが製作者の評価とよく対応しており、胴板が二次元的に振動する場合にはヤング率やQuality Factor $Q (=1/\tan\delta)$ が小さい直交方向の値がむしろ問題となることを指摘している。このことから、合板の様に直交単板の挿入によって直交方向の振動特性を任意に設計することが可能であっても、これが響板材として利用する場合にどのように有利に作用するかについては新たな問として楽器製作者ら専門家による判定が期待される。

謝 辞

本研究の実施にあたり、供試材の提供に御協力いただいた日本楽器製造株式会社・今川勝彦研究室長に謝意を表します。なお、本研究は昭和56年度文部省科学研究費・奨励研究(A)の一部として実施した。

文 献

- 1) 河野賢ら：現代ギター，16 (9)，14-25 (1982)。
- 2) D. Holz：Holztechnologie，20，201-206 (1979)。
- 3) 祖父江信夫，岩崎吉男：木材学会誌，27，457-462 (1981)。
- 4) 祖父江信夫：木材学会誌，29，14-19 (1983)。
- 5) 祖父江信夫，岩崎吉男：木材学会誌，27，597-601 (1981)。
- 6) 安藤由典：日本音響学会講演論文集，1983。P. 363. (1983)。