

音響喇叭箱用粒片板之研製(一)

膠合劑與粒片板比重對振動特性之影響

黃彥三 黃國雄 張上鎮 吳政道

摘要

本研究計畫旨在探討高衰減作用粒片板之製造，謀求改善國產粒片板之振動特性，作為喇叭箱之材料，藉以提高喇叭箱之附加價值與市場競爭力。因而採用具有塑性性質之EVA膠合劑製造粒片板，並測其振動特性，同時其強度性質與厚度膨脹率亦予以測試。

試驗之結果歸結如下：

1. 粒片板之強度性質隨EVA膠合劑混合比之增加而降低，厚度膨脹率則隨之而增加。
2. 在不同膠合劑之種類與混合比下，強度性質隨比重之增加而增加，然厚度膨脹率受比重增加之影響不明顯。
3. 對數衰減率及損失彈性係數隨EVA膠合劑混合比之增加而顯著增加。
4. 對數衰減率不受比重增加之影響，而損失彈性係數隨比重增加而有明顯增加之趨勢。
5. 粒片板之音速隨EVA膠合劑混合比之增加而降低。
6. 音速隨比重之增加而有略增之趨勢。

關鍵詞：粒片板 自由振動 對數衰減率 損失彈性係數 動彈性係數 音速

黃彥三、黃國雄、張上鎮、吳政道，1989. 音響喇叭箱用粒片板之研製（第一報） 膠合劑與粒片板比重對振動特性之影響林業試驗所 研究報告季刊,4(2)：83-95

Manufacturing of Particleboards for Acoustic Cabinets (I) Effects of Adhesives and Board Density on Vibrational Properties of the Particleboard

Yan-San Huang Gwo-Shyong Hwang Shang-Tzen Chang Jeng-Dow Wu

[Summary]

Particleboard is often used to make speaker cabinets. Performance of the speaker cabinets can be enhanced by modifying the physical properties of the particleboard used. Value of the particleboard in turn depends on its acoustic performance. The objective of this research is to study the vibrational properties, especially, the effects of adhesives and particleboard density on the acoustic characteristics of the board. Elastic vinylacetate copolymers were used as adhesive modifiers in making the particleboards. Vibrational experiments were conducted to measure the damping properties of the particleboards, such as elastic moduli, loss moduli and logarithmic decrements. Other physical and mechanical properties of the particleboards were also measured.

The experimental results are summarized as follows:

1989年2月送審
1989年3月通過

主審委員：唐讓雷
翟思湧

1. Increase the ratio of ethylene vinylacetate (EVA) component in the adhesive formulation results in decreased mechanical strength of the particleboards, whereas thickness swelling of the particleboards is increased.
2. Mechanical strength of the particleboards increases with board density. The effect of board density on thickness swelling, however, is negligible,
3. Logarithmic decrements and loss moduli of the particleboards increase significantly with increasing ratio of EVA in the adhesive.
4. There is no apparent relationship between logarithmic decrements and the particleboard density, but loss moduli of the particleboards decrease significantly with increasing board density.
5. Sound speed transmitted by the particleboards decreases with increasing ratio of EVA in the adhesive, and tends to increase slightly with increasing board density.

Key words: particleboard, damping property, free vibration, logarithmic decrement, loss modulus, dynamic modulus, sound speed.

Yan-San Huang, Gwo-Shyong Hwang, Shang-Tzen Chang, Jeng-Dow Wu. 1989. Manufacturing of Particleboard for Acoustic Cabinets (I) Effect of Adhesives and Board Sp. Gr. on Vibration Properties. Taiwan. For. Res. Inst. New Series. 4 (2): 83-95

一、緒言

國內音響工業相當發達，而喇叭箱之製造廣泛地採用粒片板，根據鈴木氏與Victor公司合作研究美國產喇叭箱用粒片板之振動特性（鈴木等，1987），得知美國產喇叭箱用粒片板對低音與高音之響應（response）較佳，音質也較優良，此乃因為以該粒片板所製之喇叭箱能將音譜（sound spectrum）忠實地傳達出來，並能對由共振與共鳴所產生之強大的音放射加以抑制，因而可知，優良的喇叭箱用粒片板，須有較高之衰減特性（damping），即有較大之對數衰減率及損失彈性係數（loss modulus）。

然而影響粒片板振動特性之因子很多，如粒片形狀、樹種、粒片板比重、膠合劑種類及含膠量等。鈴木氏在數年前亦開始對喇叭箱用粒片板之製造加以研究，而國內目前尚無人從事此方面之研究，因此擬定本研究計畫，以謀求改善國產粒片板之物理性質，進而增進喇叭箱之音質，並提高產品之附加價值及市場上之競爭能力。

本計畫採用具有塑性性質之膠合劑製造粒片板，以振動試驗之方法測定粒片板之動彈性率，損失彈性率及對數衰減率。同時亦取得兩種國產商用粒片板作為比較之用，另外對於各種條件之粒片板進

行內聚強度、靜曲強度、厚度膨脹率等項目之試驗，以瞭解其實用性能。

二、材料與方法

(一)試驗材料

1. 粒片

取自粒片板廠所使用之廢料粒片，其粒片大小分佈為6mesh佔4.0%，10mesh佔8.9%，14mesh佔14.7%，18mesh佔6.2%，24mesh佔6.3%，36mesh佔22.1%，bottom佔37.9%，而粒片之含水率約為4%。

2. 膠合劑

本試驗所使用之膠合劑為尿素脂膠合劑（UF），係取自粒片板廠，其固形分為61%，醋酸乙烯—乙炔共聚物乳液膠合劑（Ethylene Vinylacetate Emulsion, EVA）由長春人造樹脂公司所提供，固形分為55%，丙烯醯胺—醋酸乙炔共聚物膠合劑（Vinylacetate-Acrylamide Copolymer, VA-AA），係自行合成，（張上鎮，撰寫中），固形分為43.2%。

膠合劑之使用，採單獨或混合方式，分述如下：

(1)UF 100%。

(2)UF 50% + EVA 50%。

(3)EVA90%+MDI (diphenyl methane diisocyanate) 10%。

(4)UF50%+VA—AA50%。

(5)EVA100%。

膠合劑於混合使用時，其混合比以固形分計算之，使用尿素膠時硬化劑之添加量為0.4%。

(二)試驗方法

1. 粒片板之備製

本試驗所製造之粒片板均為6mm×45cm×45cm之單層粒片板，板比重之設定在使用上(1)(2)(3)之膠合劑時為0.7、0.8、0.9，在使用上述(4)(5)之膠合劑時為0.8。使用100%UF膠合劑時熱壓溫度為180°C，第一段壓力30kg/cm²，時間60sec，第二段壓力15kg/cm²，時間為50sec，第三段壓力3kg/cm²，時間為10sec。而單獨使用或混合使用EVA、VA—AA時熱壓溫度為120°C，壓力亦採三段式與使用100%UF膠合劑者相同，而時間則分別為3min、5min、2min。每一條件下均製得2片粒片板。

2. 粒片板性質之測試

(1)參照CNS2216測試粒片板之靜曲強度、內聚強度、厚度膨脹率等性質。

(2)振動特性之測試如圖1所示，將試片一端固定，他端自由，藉自由振動法測定肱樑之自然振動頻率及衰減曲線，計算粒片板之動彈性係數 (dynamic modulus E')，損失彈性係數 (loss modulus E'')，對數衰減率 (logarithmic decrement λ)，音速 (sound speed V)。衰減曲線之測定係利用非接觸性變位計及示波器為之。

每一粒片板分別採取3個試片，故每一條件下

各種試片之個數均為6，同時每一試片之比重均予測試。

另外亦取得兩家國內粒片板廠所生產6mm厚之粒片板，進行測試，供作參考比較之用。

3. 振動性質之計算 (黃彥三，1976；吳順昭等，1974；西山等，1983；Moslemi，1967)

(1)動彈性係數，試片長度l (cm)，密度ρ (g/cm³)，厚h (cm)，振動頻率fr (Hz)時，肘樑之動彈性係數 (E') 以下式表示：

$$E' = \frac{48\pi^2 l^4 fr^2 \rho}{a_0^4 h^2}$$

$$a_0 = 1.8754$$

(2)對數衰減率如圖2所示對數衰減率 (λ) 以下式表示：

$$\lambda = 1_n \frac{A_0}{A_1} = \frac{1}{n} 1_n \frac{A_0}{A_n}$$

其中A₀為t=t₀時之振幅，A_n為經n次振動後之振幅。

(3)損失彈性係數 (E'') 以下式表示：

$$E'' = \frac{E' \lambda}{\pi}$$

(4)音速 (V) 以下式表示：

$$V = \sqrt{E' / \rho}$$

三、結果與討論

(一)粒片板強度與厚度膨脹率之測定

在不同膠水種類與混合比下製得之單層粒片板與國產三層粒片板之強度，厚度膨脹率之測試結果，如表1所示。

表1. 粒片板強度與厚度膨脹率之測試結果

Table 1. Test results of strength properties and thickness swelling of particleboards.

膠水種類與混合比(1) Kind of adhesive and mixed ratio(%)	合膠率 Resin content(%)	試驗片個數 Number of specimens	內聚強度 Internal bond (kgf/cm ²)	靜曲強度 MOR (kgf/cm ²)	靜曲彈性係數 MOE (kgf/cm ²)	厚度膨脹率 Thickness swelling(%)
UF:100	10	18	11.6±3.0 (0.80±0.07) ⁽³⁾	168.8±41.4 (0.79±0.07)	21270±4337 (0.79±0.07)	17.70±2.00 (0.80±0.07)
UF:50 EVA:50	10	18	8.8±1.7 (0.83±0.04)	121.3±27.3 (0.82±0.06)	16425±3141 (0.82±0.06)	27.67±3.45 (0.82±0.04)
EVA:90 MDI:10	10	18	7.0±1.8 (0.80±0.08)	78.4±15.8 (0.80±0.06)	7953±1515 (0.80±0.06)	29.21±3.07 (0.80±0.07)
EVA:100	10	6	5.2±1.0 (0.82±0.02)	62.5±10.2 (0.81±0.04)	6047±589 (0.81±0.04)	40.4±5.20 (0.80±0.02)
UF:50 VA-AA:50	10	6	6.8±1.0 (0.74±0.04)	134.3±11.9 (0.83±0.03)	18478±1854 (0.83±0.03)	29.33±4.08 (0.82±0.03)
UF:100 ⁽²⁾	不詳	6	9.9±1.0 (0.74±0.04)	161.1±17.0 (0.73±0.01)	19836±1559 (0.73±0.01)	9.73±0.75 (0.73±0.03)
UF:100 ⁽²⁾	不詳	6	18.8±2.4 (0.82±0.05)	149.2±23.5 (0.80±0.02)	21788±2443 (0.80±0.02)	6.28±0.74 (0.84±0.07)

①混合比以固形分計算Mixed ratio is based on solid content

②國產粒片板(三層構造) Domestic particleboard (3-layer structure)

③粒片板之比重Specific gravity of particleboard

1. 內聚強度

在合膠率均為10%之條件下，以UF100%製得之粒片板，其內聚強度最大，若以EVA50%取代UF，即UF50%+EVA50%，其內聚強度降低了25%，而以EVA100%時，其內聚強度更明顯地降低了55%，顯示EVA膠合劑混合比愈大時，對粒片板之強度性質有不利之影響，然而在EVA膠合劑中摻入10%之MDI後，其內聚強度亦可獲得相當程度之改善，因MDI中之異氰酸鹽富反應性能與活性氫原子產生化學反應，如與木材中之纖維素、半纖維素、木質素及EVA膠合劑等產生架橋反應，而使得內聚強度獲得提高。UF50%+VA-AA50%時粒片板之內聚強度與UF50%+EVA50%者相近。兩種國產三層粒片板之內聚強

度分別為9.9kg/cm²、18.8kg/cm²，前者之比強度(內聚強度/比重)與UF100%所製得之單層粒片板者相近，而後者則相差甚大，此可能由於其含膠率較大之故。另外如圖3所示，三種單層粒片板之內聚強度隨比重之增加而有增大之趨勢。其中以EVA90%+MDI10%之相關係數(r)最大，UF100%者次之，而UF50%+EVA50%者最小。

2. 靜曲強度與靜彈性係數

本試驗所製造單層粒片板之靜曲強度靜彈性係數(如表1所示)亦明顯地受EVA膠合劑混合比增加之影響，其趨勢與內聚強度之試驗結果相近，亦即在UF100%時其靜曲強度最大，若以50%EVA取代UF時則降低了28%，以100%EVA取代UF時更明顯地降低了62%。兩種國產三層粒片

板之靜曲強度較試驗中所製 UF 100% 之單層粒片板者為低，分別為 161.1kg/cm²、149.2kg/cm²，前者亦有較低之靜彈性係數，而後者之彈性係數較高。三種單層粒片板之靜曲強度與靜彈性係數均隨比重之增大而明顯增加（如圖 4、圖 5 所示），其相關係數均達 0.9 以上。同時如圖 6 所示，靜曲強度與靜彈性係數亦呈正相關之關係。

(3) 厚度膨脹率

由表 1 得知厚度膨脹率受 EVA 膠合劑之摻入

亦有負面之影響，即 EVA 膠合劑之混合比愈大，其厚度膨脹率愈大，國產三層粒片板之厚度膨脹率較試驗所製得 UF 100% 單層粒片板者顯著降低，此可能是由於國產粒片板之含膠率較高與其屬三層構造之故。另外試驗中所製得之單層粒片板，其厚度膨脹率受比重之影響不顯著。

(二) 粒片板振動性質之測試

粒片板振動性質之測試結果如表 2 所示。

1. 動彈性係數

表 2 粒片板振動性質之測試結果

Table 2: Test results of vibration properties.

膠水種類與混合比 ⁽¹⁾ Kind of adhesive and mixed ratio(%)	合膠率 Resin content(%)	試驗片個數 Number of specimens	比重 Specific gravity	動彈性係數 (E') (kgf/cm ²)	對數衰減率 (λ)	損失彈性係數 (E'') (kgf/cm ²)	音速 (V) (m/sec)
UF:10	10	18	0.80±0.06	27387±5755	0.1000±0.0023	869.7±176.6	1819±146
UF,50 EVA:50	10	18	0.82±0.05	22802±4948	0.2130±0.0110	1542.5±336.8	1639±141
EVA:90 MDI:10	10	18	0.80±0.06	13846±2748	0.4521±0.0365	1989.2±406.6	1297±93
EVA:100	10	6	0.80±0.02	12182±1586	0.6032±0.0297	2341.7±359.6	1221±59
UF:50 VA-AA:50	10	6	0.83±0.02	24029±4141	0.1268±0.0048	966.2±141.5	1682±122
UF-100 ⁽²⁾	不詳	6	0.75±0.01	28828±2258	0.0964±0.0020	884.2±71.9	1942±68
UF:100 ⁽²⁾	不詳	6	0.84±0.03	28982±5583	0.1008±0.0016	930.2±181.5	1834±163

(1) 混合比以固形分計算 Mixed ratio is based on solid content

(2) 國產粒片板 (三層構造) Domestic particleboard (3-layer structure)

由表 2 得知，動彈性係數亦受 EVA 膠合劑混合比之影響非常顯著，亦即隨混合比之增加而顯著減少，EVA100% 所製粒片板之動彈性係數不及 UF 100% 者之一半。又 UF 50%+EVA 50% 與 UF 50%+VA-AA 50% 者之動彈性係數相近。國產三層粒片板之動彈性係數與 UF 100% 所製單層粒片板者亦相近。與表 1 之靜彈性係數相比較，得知各條件之粒片板動彈性係數均大於靜彈性係數，又可得知當 EVA 膠合劑混合比愈大時，兩者之差異更為明顯，在 EVA 90%+MDI 10% 與 EVA 100% 兩條件製得之粒片板，其靜彈性係數分別為動彈性係數之 57% 與 50%。

比重與動彈性係數之關係如圖 7 所示，UF 100% 與 UF 50%+EVA 50% 之粒片板動彈性係數均

隨比重之增加而顯著增高，EVA 90%+MDI 10% 之粒片板比重增加時，動彈性係數之增加較不明顯。鈴木氏所製粒片板比重在 0.5~0.8 之間，亦有相同之傾向（鈴木等，1987）。

2. 對數衰減率

如表 2 所示，對數衰減率受 EVA 膠合劑混合比之影響非常顯著，即 EVA 100% 所製粒片板之對數衰減率為 UF 100% 者之 6 倍，VA-AA 膠合劑對對數衰減率增加效果遠較 EVA 膠合劑為小。國產三層粒片板之對數衰減率與試驗所製 UF 100% 之單層粒片板者相近，顯示粒片板之對數衰減率受粒片板結構之影響不明顯。

比重與對數衰減率之關係如圖 8 所示，不論使用任何膠合劑，衰減率均不受比重之影響，然而對

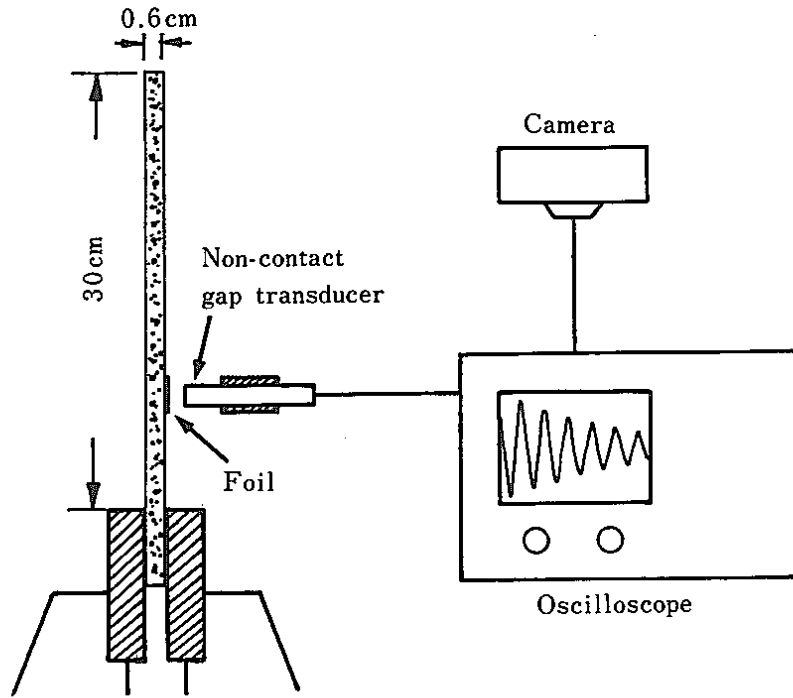


圖 1. 自由振動特性之測試裝置
Fig. 1. Apparatus for free vibration test.

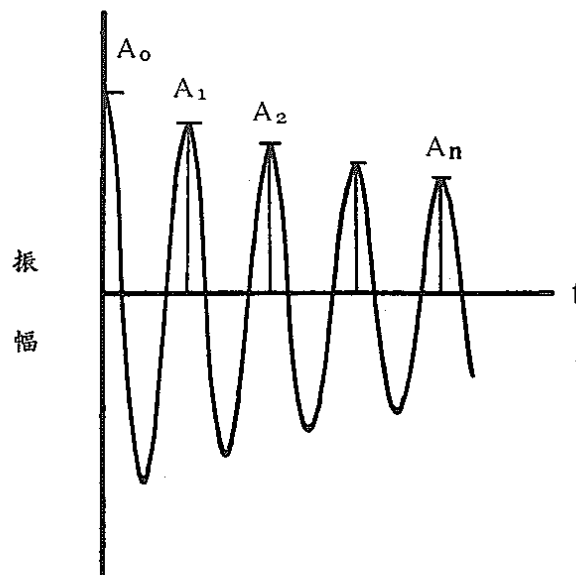


圖 2. 自由振動之衰減曲線
Fig. 2. Damping curve of free vibration.

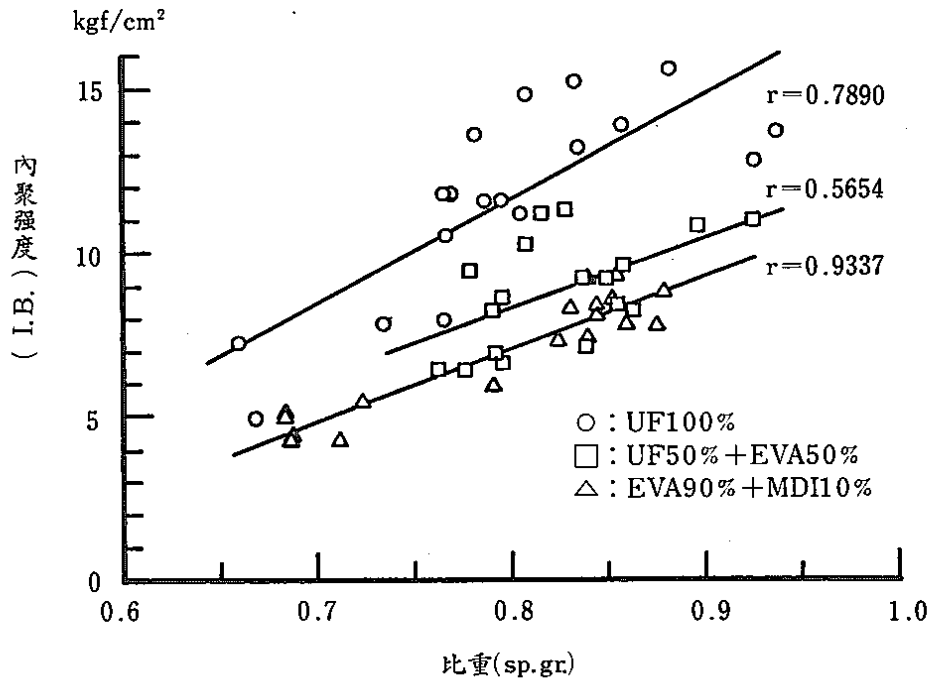


圖 3. 比重與內聚強度之關係

Fig. 3. Relationship between specific gravity(sp.gr.)and internal bond(I.B.).

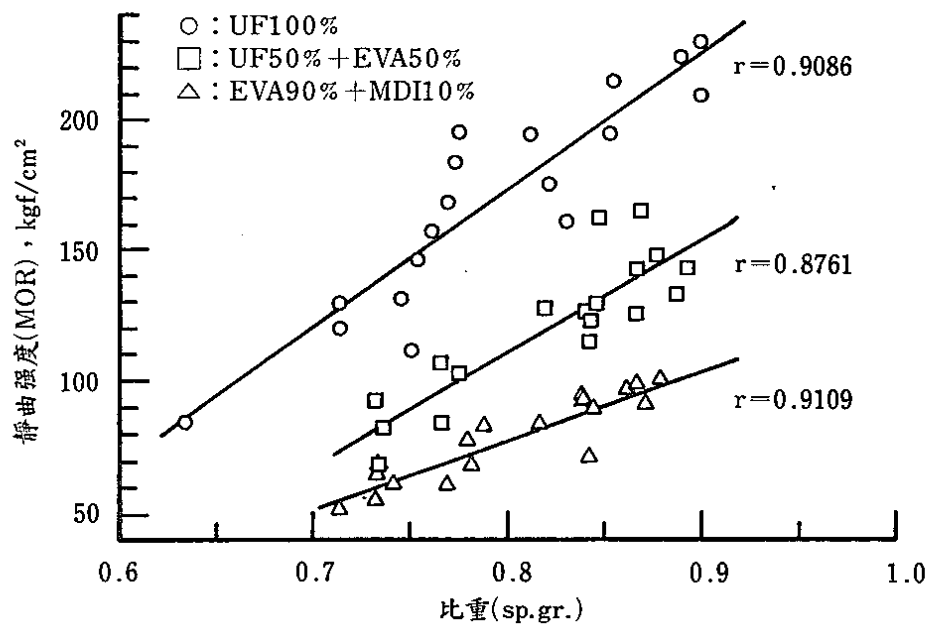


圖 4. 比重與靜曲強度之關係

Fig. 4. Relationship between specific gravity(sp.gr.)and static bending modulus of rupture(MOR).

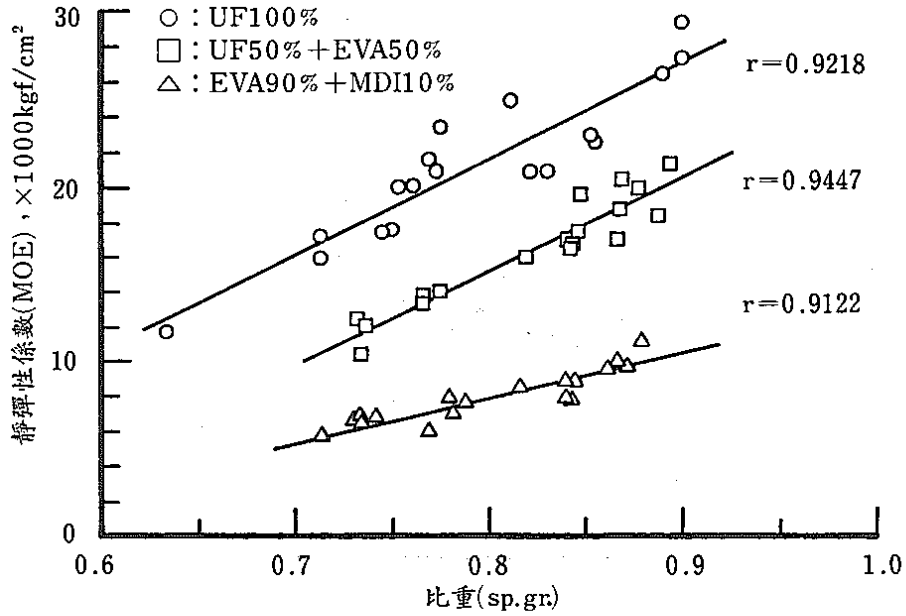


圖 5. 比重與靜彈性係數之關係

Fig. 5. Relationship between specific gravity(sp. gr.)and static bending modulus of elasticity(MOE).

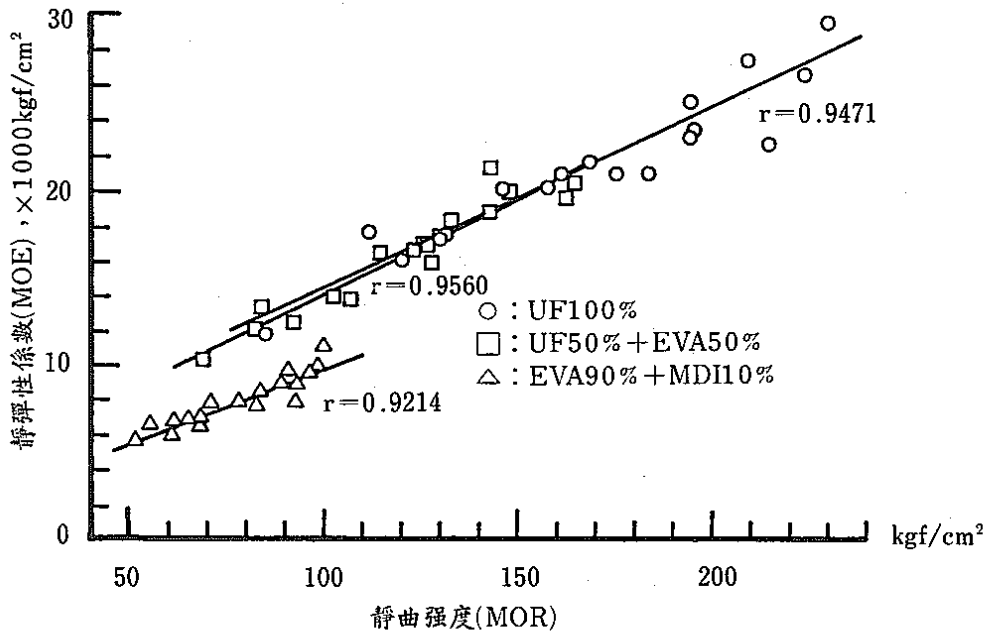


圖 6. 靜曲強度與靜彈性係數之關係

Fig. 6. Relationship between static bending modulus of rupture(MOR)and static bending modulus of elasticity(MOE).

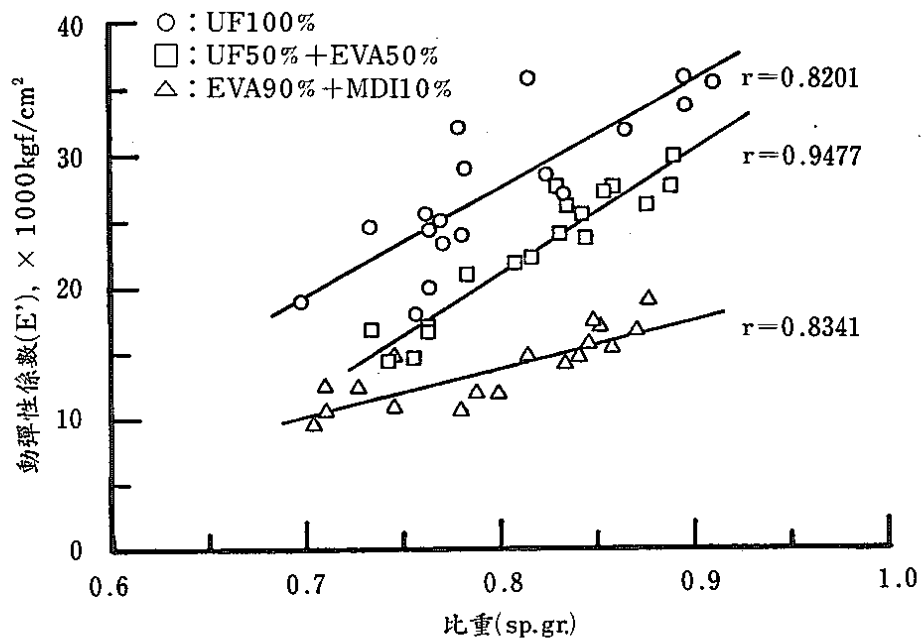


圖 7. 比重與動彈性係數之關係

Fig. 7. Relationship between specific gravity(sp. gr.)and dynamic modulus(E')

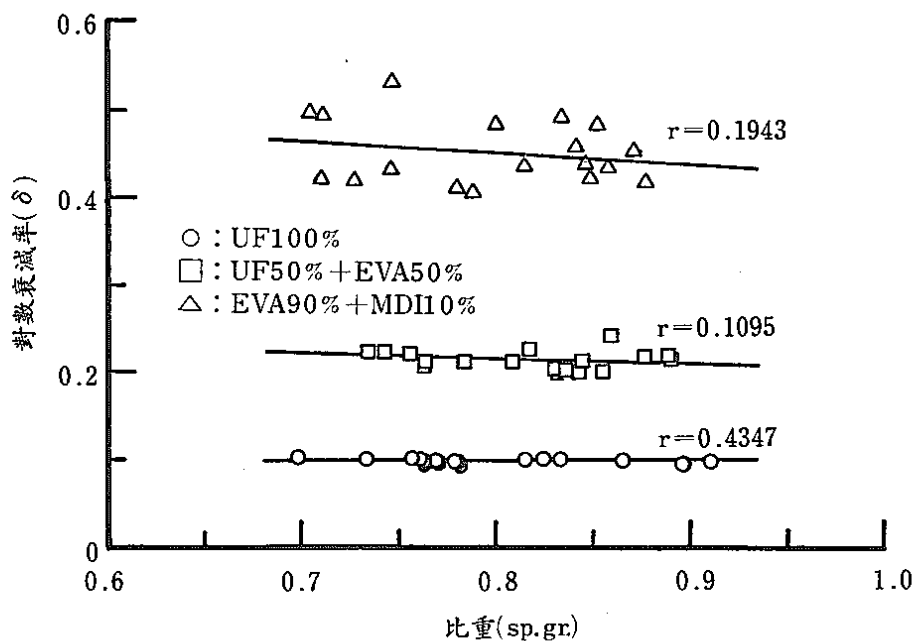
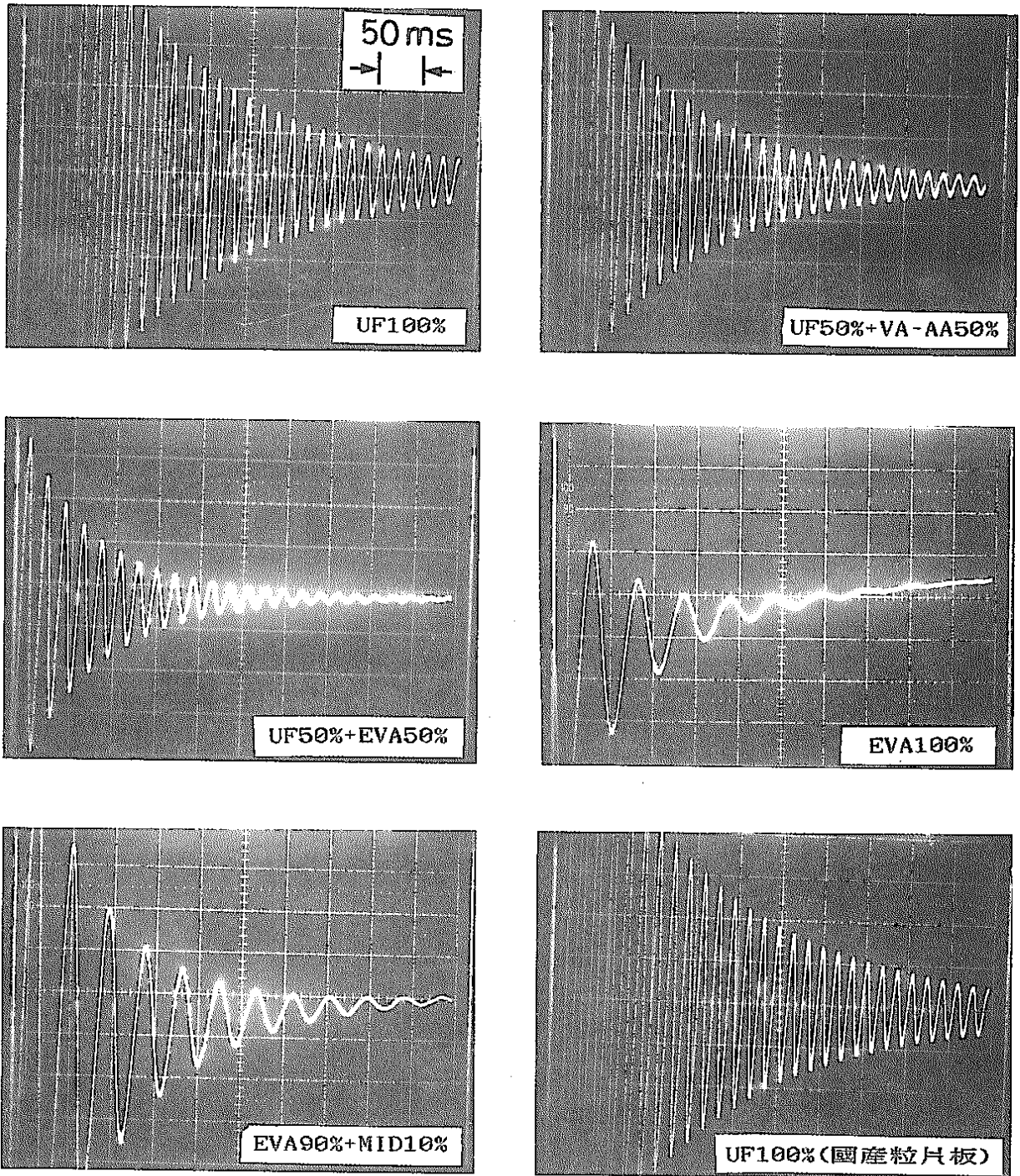


圖 8. 比重與對數衰減率之關係

Fig. 8. Relationship between specific gravity(sp.gr.)and logarithmic decrement (λ).



照片 1. 自由振動衰減曲線之測試結果

Photo. 1. Results of damping curve in free vibration test

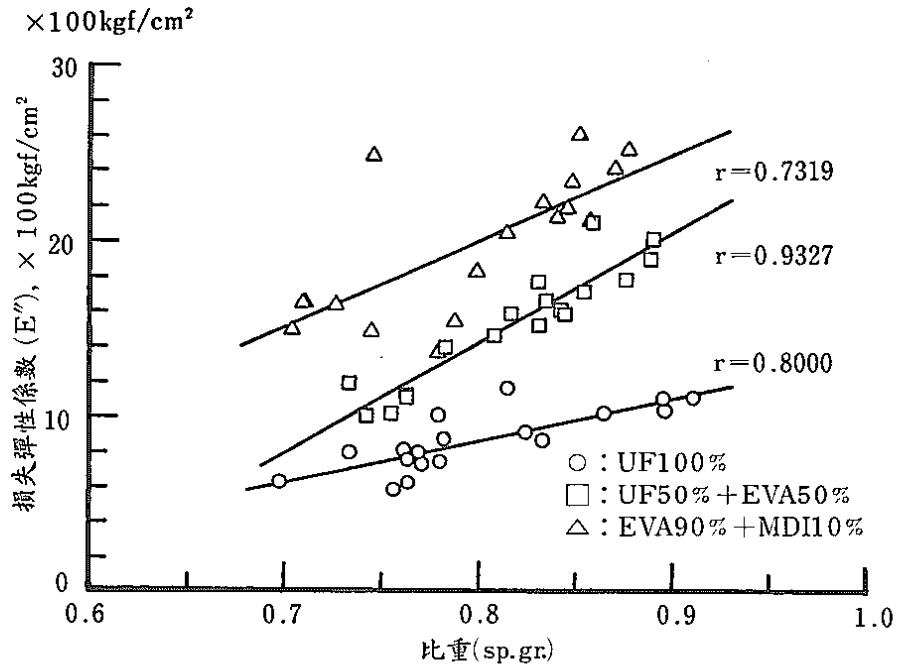


圖 9. 比重與損失彈性係數之關係

Fig. 9. Relationship between specific gravity(sp.gr.)and loss modulus(E'')

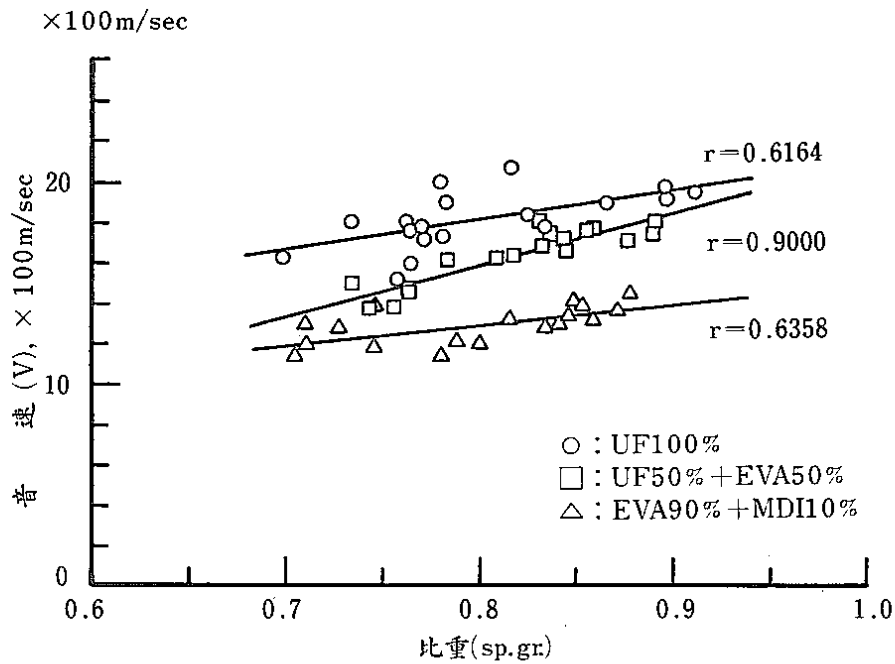


圖 10. 比重與音速之關係

Fig. 10. Relationship between specific gravity(sp.gr.)and sound speed(V).

數衰減率明顯地受膠合劑之種類與混合比所左右。而鈴木氏之試驗中，顯示衰減率與比重呈負相關（鈴木等，1987）。另外在照片 1 不同製造條件粒片之板試片之自由振動衰減曲線中，膠合劑對對數衰減率之效應亦明顯可見。

3. 損失彈性係數

如表 2 所示，損失彈性係數隨 EVA 膠合劑混合比之增加而顯著增加，同時亦可得知對數衰減率大者，其損失彈性係數亦大，以 EVA100%製得粒片板之損失彈性係數為 UF100%所製粒片板之 2.7 倍。UF50%+EVA50%之損失彈性係數與 UF50%+VA—AA50%者差異顯著，而後者與 UF100%者（包括國產三層粒片板）相近。

比重與損失彈性係數之關係如圖 9 所示，兩者呈正相關，與動彈性係數之情形相似，惟動彈性係數較大者，其損失彈性係數較小。鈴木氏之研究亦有相同之趨勢（鈴木等，1987）。

4. 音速

如表 2 所示，試驗中所製粒片板之音速以 UF100%者為最大，平均比值為 1819m/s，與鈴木氏所研製同比重粒片板之音速（1910m/s）相近（鈴木等，1987），由表 2 亦得知粒片板音速隨 EVA 膠合劑混合比之增加而顯著減少。

比重與音速之關係如圖 10 所示，音速隨比重之增加而有略增之趨勢，其中以 UF50%+EVA50%者較為明顯。音速增加時音響效果較佳，故採用比重較高之粒片板較為有利。另一方面，音響喇叭箱用粒片板需要較高的對數衰減率，而對數衰減率受比重之影響不太明顯，故以整體而言，比重高者較佳。

本試驗結果顯示使用 EVA 膠合劑製成之粒片

板可使對數衰減率明顯增加甚多，此為正面效果。但另一方面，此種粒片板之強度降低不少，吸水膨脹率增加，彈性係數及音速下降甚多，此為負面效果。因此應探討 UF 與 EVA 之適當混合比，以減少負面效果，發揮正面效果。同時就製造成本而言，EVA 之價格為 UF 之數倍，在實用上應設法降低 EVA 之混合百分比。由表 1、表 2 知 UF50% + EVA 50%所製粒片板與 UF100% 者相比較時，對數衰減率增加 2.1 倍，動彈性係數減少 17%，音速減少 10%，內聚強度減少 24%，靜曲強度減少 28%，吸水膨脹率增加 56%，故應可再減少 EVA 膠合劑之混合百分比，使負面效果減至最小限度。

四、結論

綜合以上試驗之結果與討論可獲得結論如下：

(一)在 UF 膠合劑中摻入 EVA 膠合劑後，粒片板之強度性質隨 EVA 膠合劑混合比之增加而降低，厚度膨脹率則隨之增加，對粒片板之品質均為不利之影響。

(二)在不同膠合劑之種類與混合比下，強度性質隨比重之增加而增加，但厚度膨脹率受比重增加之影響不明顯。

(三)對數衰減率及損失彈性係數隨 EVA 膠合劑混合比之增加而增加，顯示 EVA 膠合劑對音響喇叭箱用粒片板之製造有正面之效果。

(四)對數衰減率不受粒片板比重增加之影響，但損失彈性係數則隨比重增加而有明顯增加之趨勢。

(五)粒片板之音速隨 EVA 膠合劑混合比之增加而降低，對音響效應有負面效果。

(六)音速隨比重之增加有略增之趨勢。

参考文献

- 鈴木正治、藤川晋也、井上章 1987, 内部摩擦の大きいパーティクルボードについて 木材學會誌Vol.33, No. 2, P. 127~135。
- 張上鎮 醋酸乙烯—丙烯醞胺膠合劑之試製及其應用：I 反應條件對樹脂性質之影響，撰寫中。
- 黃彥三 1976, 木材在自由振動時之動粘彈性，中華林學季刊 Vol. 9, No. 1, P. 107~114。
- 吳順昭、黃彥三、高健章 1974, 強制振動法木材動粘彈性係數之測定。中華林學季刊 Vol.7, No.2, P. 49~59。
- 西山靜男、山口善司、池谷和夫、奥島基良 1983, 音響振動工學，コロナ社 P. 89。
- A.A. Moslemi 1967, Dynamic viscoelasticity in hardboard. For. Prod. J. Vol.7, No.1。

本所研究人員在外界發表之報告或論文調查表

作者	出版年月	報告(或論文)題目	刊物名稱及卷期
王維洋	1989	參加「第五屆國際植物病理學會議」紀要	

Wang, Song-Yung and Chih-Ming Chiu. 1988. The wood properties of Japanese cedar originated by seed and vegetative reproduction in Taiwan III: The variation of microfibril angles of tracheids. *Mikuzai Gakkaishi* 34(11):881-888.

Pan, Fuh-Jiunn. 1989. Psyllid resistance of F progenies of some leucaena hybrids. Proceedings of Leucaena psyllid control workshop in Bogor, Indonesia 1989.

Caspar, T. W. Bernhardt, Tsan-Piao Lin, S. Pilatro, J. Preiss and C. Somerville. 1989. Altered regulation of B-amylase activity in mutants of *Arabidopsis* with lesions in starch metabolism. Proceedings of the National Academy of Science, USA. 1989.