

フェノール樹脂含浸強化 LVL の曲げ強度特性

本多 琢 己

Bending Properties of Phenolic Resin Impregnated Compressed Laminated Veneer Lumber

Takumi HONDA

Summary : Rotary-cut veneers of akamatsu were impregnated with low-molecular weight phenolic resin and pressed into compressed laminated veneer lumber. The effects of phenolic resin concentration and compression rate on bending properties of compressed laminated veneer lumber were investigated.

Following results were obtained: MOE and MOR of compressed laminated veneer lumber increased with increasing compression rate. The compressed laminated veneer lumber made from the veneer with high phenolic resin concentration is excellent in bending properties, even if compression rate is equal. When veneers impregnated with phenolic resin were compressed into laminated veneer lumber, bending properties is improved best. Regardless of compression rate, bending work to proportional limit decreased with increasing compression rate.

要旨: 低分子フェノール樹脂を含浸したアカマツロータリー単板を用い自己接着（接着剤を用いない）により熱圧成型する方法で強化 LVL を作製し、曲げ強度特性に及ぼすフェノール樹脂含浸量および圧縮率の影響を調べた結果、以下のことが明らかとなった。

1. MOE 及び MOR は圧縮率の増加に対してほぼ直線的に増大することが認められた。また、圧縮率が同じ場合、高濃度のフェノール樹脂溶液に漬浸した単板を用いて作製した方が曲げ強度特性に優れている。
2. 単板に対する樹脂含浸処理だけでは曲げ強度特性の改良がほとんど期待できないことから、さらに圧密化も併せて行う必要がある。
3. フェノール樹脂溶液によるすべての処理濃度の試験体に共通して圧縮率の増加に伴って比例限度までの曲げ仕事量が減少するという特徴が見られる。

1 はじめに

横圧縮による圧密処理は木材の強度特性や耐摩耗性の向上に極めて有効な方法である。代表的な材料にはフェノール樹脂を含浸した単板を積層、圧縮、硬化した Compreg がある¹⁾。また、木材に緩和な脱成分処理をした後に樹脂含浸・圧密処理を行うことで、さらなる高強度木質材料の製造を目指した研究も報告されている²⁾³⁾。

一方、エクステリア市場に占める木材製品の割合の低さから、エクステリアは木材の需要拡大にとって最後の切札になり得るとまで言われている⁴⁾。フェノール樹脂を含浸したロータリー単板を用いて作製した LVL は重

量減少率の改善効果が大きいことから、エクステリア製品への応用が期待されている⁵⁾。

本研究では、アカマツロータリー単板に耐久性・耐候性・寸法安定性に優れているフェノール樹脂を含浸し、自己接着（接着剤を用いない）により熱圧成型する方法で強化 LVL を作製した。その曲げ強度特性に及ぼすフェノール樹脂含浸量および圧縮率の影響を調べた。この荷重-変形曲線には一般的な LVL とは異なる特徴が見出されたので、破壊までの弾性域と塑性域の比率に着目し、成型条件との関係で整理した。

なお、アカマツ材を用いたのは以下の理由による。樹種転換の推進によりアカマツの資源化の見通しが立ちつつあること、アカマツ材は一般的に曲がり、節が多くかつ小径であるため従来のような製材品や集成材のラミナ

のようにエレメントが大きい利用方法では有効利用が難しいこと、および樹脂含浸性が比較的良いことである。

2 実 験

2.1 試験体の作製

アカマツロータリー単板（厚さ 2 mm、MC=9.9%）を 10%、20%、30%、40%、50%（固形分）に調整した水溶性フェノール樹脂（PX-341、アイカ工業株式会社）溶液中に 1 週間含浸した。以下、濃度 10% のフェノール樹脂溶液での処理を PF 10% のように記す。次式から含浸率を算出した。

含浸率（WPG）%

$$= ((1 \text{ 週間風乾後の重量} - \text{気乾重量}) * 100 / \text{気乾重量})$$

含浸率は PF 10% で 30.9%、PF 20% で 40.3%、PF 30% で 53.5%、PF 40% で 64.8%、PF 50% で 75.1% であった。単板構成は 8 Ply とし、裏割れ面が中心に向くように積層し、温度 140℃、圧力 1.96 Mpa で 40 min 圧縮し、厚さ 15.5 mm（圧縮率（Cr）= 3%）、14 mm（Cr = 12.5%）、12 mm（Cr = 25%）、10 mm（Cr = 37.5%）、8 mm（Cr = 50%）に圧縮成型した。単板間には特に接着剤を塗布しなかった（自己接着）。

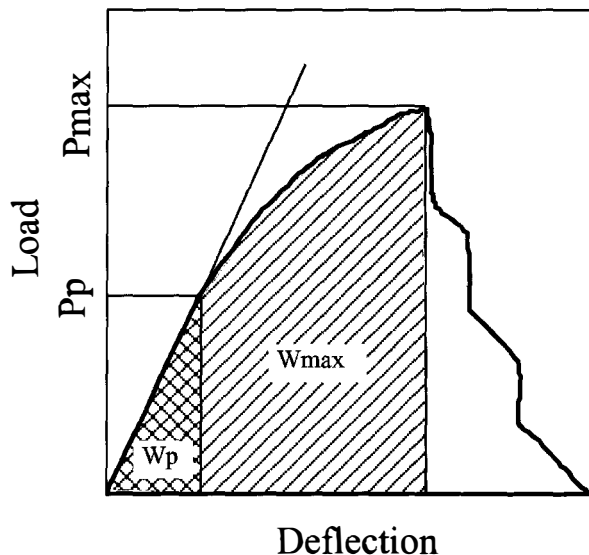


Fig. 1 Relationship between load-deflection curve and work in bending.

Note: Pmax: maximum load in bending,
Pp: load at proportional limit in bending,
Wp: work to Pp, Wmax: work to Pmax.

2.2 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、スパンを厚さの 16 倍とし、3 点曲げの中央集中荷重方式で行った。曲げ強度試験における荷重-変形曲線から曲げヤング係数（MOE）、曲げ破壊強度（MOR）および曲げ比例限度強度（ σ ）を算出した。また、荷重-変形曲線の下面積によって示される曲げ仕事量について破壊荷重 Pmax までの曲げ破壊仕事量（Wmax）および比例限荷重 Pp までの曲げ比例限仕事量（Wp）を算出した（Fig.1）。

なお、20℃、65%RH の恒温恒湿室中で 3 週間以上試験体を養生させた後、同環境下で測定を行った。

3 結果及び考察

3.1 フェノール樹脂含浸強化 LVL の製造条件と比重

Fig.2 にフェノール樹脂含浸強化 LVL の Cr と比重（SG）の関係を示す。フェノール樹脂含浸強化 LVL の比重はフェノール樹脂溶液濃度に関わらず Cr が高いほど高い。また、Cr の同じ試験体ではフェノール樹脂溶液濃度が高いほど SG は高い。

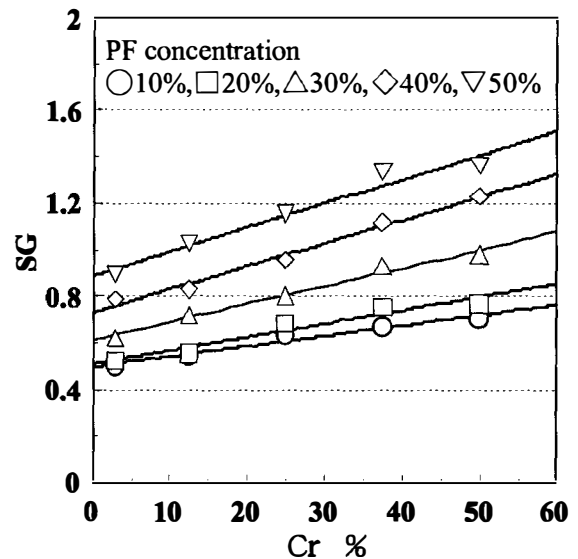


Fig.2 Specific gravity vs compression rate.

3.2 フェノール樹脂含浸強化 LVL の製造条件と曲げヤング係数

Fig.3 にフェノール樹脂含浸強化 LVL の Cr と曲げヤング係数の関係を示す。フェノール樹脂含浸強化

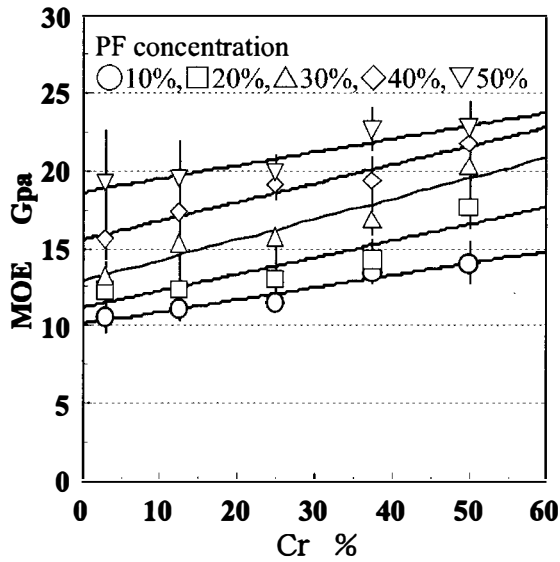


Fig. 3 MOE vs compression rate.

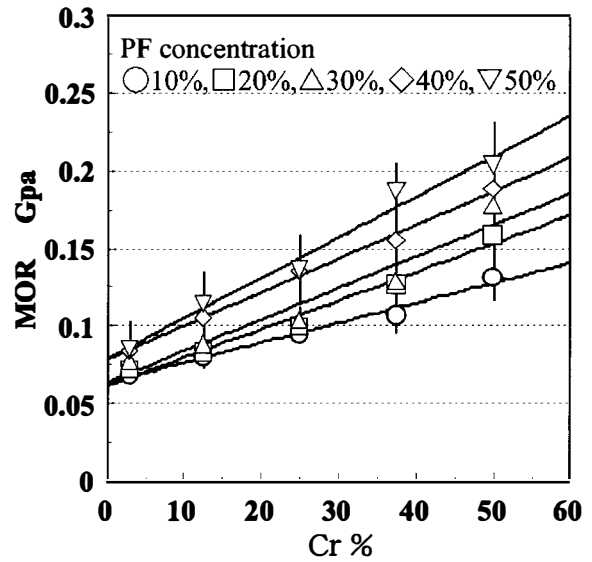


Fig. 4 MOR vs compression rate.

LVL の MOE はフェノール樹脂溶液濃度に関わらず Cr が高いほど大きい。また、Cr の同じ試験体ではフェノール樹脂溶液濃度が高いほど MOE は大きい。フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤を用いて常法によって作製した 8 PlyLVL の MOE が 10.4 Gpa 程度であることから、MOE を増大させるには樹脂含浸だけでは不十分であり、さらに圧密化を行う必要がある。

Fig.3 から明らかなように MOE と Cr の関係はほぼ直線関係 ($Ry^2 = 0.83 \sim 0.96$) になる。MOE に対する Cr の一次回帰直線を WPG ごとに求め、その回帰直線の傾き (SLc) を Table.1 に示す。SLc は Cr に対する MOE の増分と同じである。SLc は WPG の増加に従って大きくなる傾向を示す。一方、MOE と WPG の関係もほぼ直線関係 ($Ry^2 = 0.93 \sim 0.99$) になる。MOE に対する WPG の一次回帰直線を Cr ごとに求め、その回

帰直線の傾き (SLw) を Table.1 に示す。SLw は WPG に対する MOR の増分と同じである。SLw は Cr の増加に従って増加する傾向を示すが、Cr = 50% では大きく減少する。

3.3 フェノール樹脂含浸強化 LVL の製造条件と曲げ破壊強度

Fig.4 にフェノール樹脂含浸強化 LVL の Cr と MOR の関係を示す。フェノール樹脂含浸強化 LVL の MOR はフェノール樹脂溶液濃度に関わらず Cr が高いほど大きい。また、Cr の同じ試験体ではフェノール樹脂溶液濃度が高いほど MOR は大きい。フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤を用いて常法によって作製した 8 PlyLVL の MOR が 0.85 Gpa 程度であることから、MOR を増大させるには樹脂含浸だけでは不十分であり、

Table. 1 Slope of the regression line.

	SLc			SLw	
	MOE (Gpa)	MOR (Mpa)		MOE (Gpa)	MOR (Mpa)
WPG	30.9%	0.182	Cr	3.0%	0.078
	40.3%	0.195		12.5%	0.108
	53.5%	0.203		25.0%	0.131
	64.8%	0.208		37.5%	0.120
	75.1%	0.191		50.0%	0.085

Notes:SLc:slope of the regression line of MOE or MOR at Cr.
SLw:slope of the regression line of MOE or MOR at WPG.

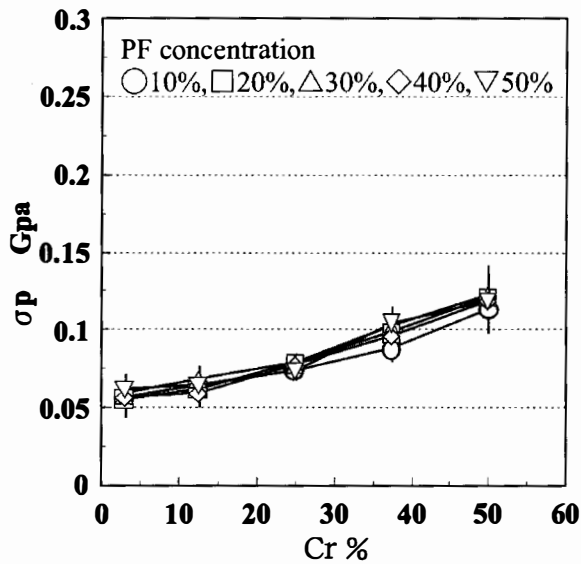


Fig. 5 σp vs compression rate.

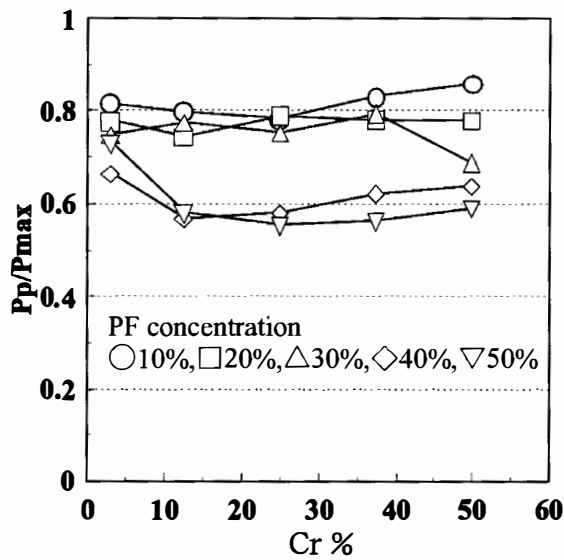


Fig. 6 Pp/Pmax vs compression rate.

さらに圧密化を行う必要がある。

Fig.4 から明らかなように MOR と Cr の関係はほぼ直線関係 ($Ry^2 = 0.93 \sim 0.99$) になる。MOR に対する Cr の一次回帰直線をフェノール樹脂溶液濃度に対する WPG ごとに求め、その回帰直線の傾き (SLc) を Table.1 に示す。SLc は Cr に対する MOR の増分と同じである。SLc は WPG の増加に従って大きくなる傾向を示す。一方、MOR と WPG の関係もほぼ直線関係 ($Ry^2 = 0.88 \sim 0.98$) になる。MOR に対する WPG の一次回帰直線を Cr ごとに求め、その回帰直線の傾き (SLw) を Table.1 に示す。SLw は WPG に対する

MOR の増分と同じである。SLw は Cr の増加に従って大きくなる傾向を示す。

Fig.5 にフェノール樹脂含浸強化 LVL の Cr と σ_p の関係を示す。 σ_p は Cr の増加に従って大きくなる一方フェノール樹脂溶液濃度の増加に対してはほぼ等しい値を示す。

Fig.6 にフェノール樹脂含浸強化 LVL の Cr と Pp/Pmax を示す。PF 10%、PF 20% の試験体では Pp/Pmax は Cr に関わらずほぼ一定値を示し、破壊は脆性的である。PF 30% の試験体の場合、Cr を最大の 50% にしたとき Pp/Pmax が急減し、PF 40% の試験体の性質に近づく。これに対して PF 40%、PF 50% の試験体では Cr が 3% の場合を除いて Pp/Pmax が 0.6 程度と低く、破壊も粘り強い。

3.4 フェノール樹脂含浸強化 LVL の製造条件と曲げ仕事量

一般に構造材料は高強度かつ高靱性であることが望ましい。前述の通りフェノール樹脂含浸単板を積層・圧縮する方法によれば高強度の LVL が製造できる。しかし、Fig.6 に見られるようにフェノール樹脂溶液濃度の低い、あるいは Cr の低いフェノール樹脂含浸強化 LVL は脆性的な破壊挙動を示す。さらに高圧縮率のフェノール樹脂含浸強化 LVL においては、圧縮に伴うクラックの発生や割れの進展などの損傷の力学的性質に及ぼす影響が考えられる。そこで、Pmax までの Wmax に対する Pp までの Wp の比 ($Wp/Wmax$) を指標にフェノール樹脂含浸強化 LVL の靱性の評価を行うこととする。この

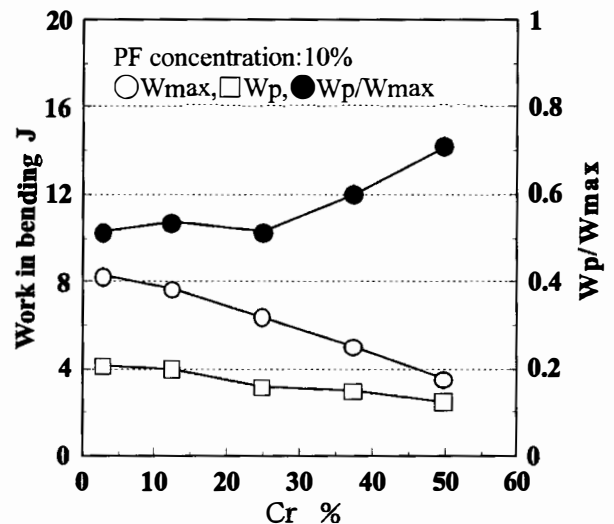


Fig. 7 Wmax, Wp and Wp/Wmax vs compression rate.

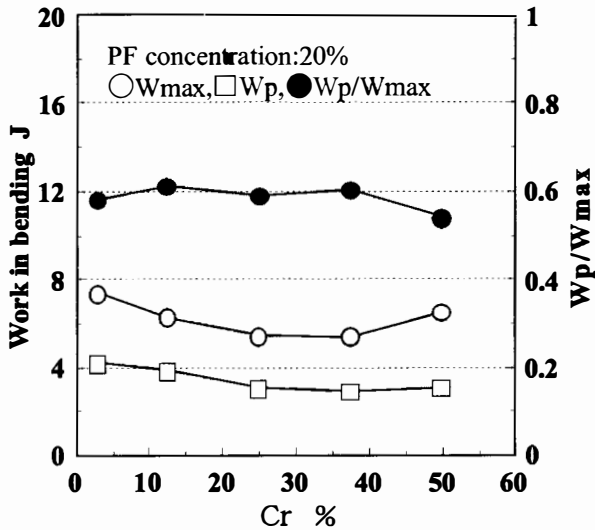


Fig. 8 Wmax, Wp and Wp/Wmax vs compression rate.

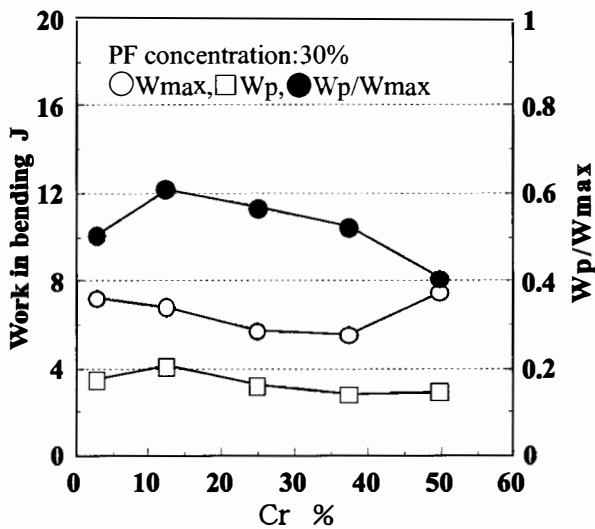


Fig. 9 Wmax, Wp and Wp/Wmax vs compression rate.

場合、 W_p/W_{max} が低いほど塑性域におけるエネルギー吸収割合が高く、粘り強い材料と言える。Fig. 7~Fig. 11 に 5 種類のフェノール樹脂溶液濃度について、 P_{max} までの W_{max} と P_p までの W_p および両者の比 (W_p/W_{max}) を示す。Fig. 7 の PF 10% の試験体の場合、 W_p/W_{max} は Cr が 25% 以下の範囲でほぼ一定 (≈ 0.5) となるが、さらに Cr を増加させるとおよそ 0.7 にも達し、かなり脆くなる。 W_{max} も Cr の増加に伴って顕著に減少する。PF 10% のように PF 樹脂溶液濃度が低い場合は WPG がさほど高くないことから、フェノール樹脂による木材の可塑性が十分でない。そのため高圧縮率の試験体においては、横方向の大変形に伴う微細な破壊

等の発生が W_{max} の減少に影響するものと考えられる。Fig. 8 に示す通り PF 20% では W_p/W_{max} はほぼ一定の値 (≈ 0.6) を示し、 Cr の影響はほとんどない。Fig. 9 は PF 30% の場合で、 Cr の増加に従って W_p/W_{max} は減少し、 Cr が 50% で最小の 0.4 程度となる。Fig. 8 の PF 20% に比べて P_p 以降の曲げ仕事量 ($W_{max}-W_p$) が増加しており、粘り強さが増している。Fig. 10 の PF 40% では、この傾向が顕著になり、 W_p/W_{max} は Cr が 12.5% 以上の範囲で 0.4 を下回り、より強靱化されていることが伺える。また、 W_{max} の値も Fig. 8 の PF 30% に比べて増加している。Fig. 11 の PF 50% は PF 40% とほぼ同様の傾向を示す。

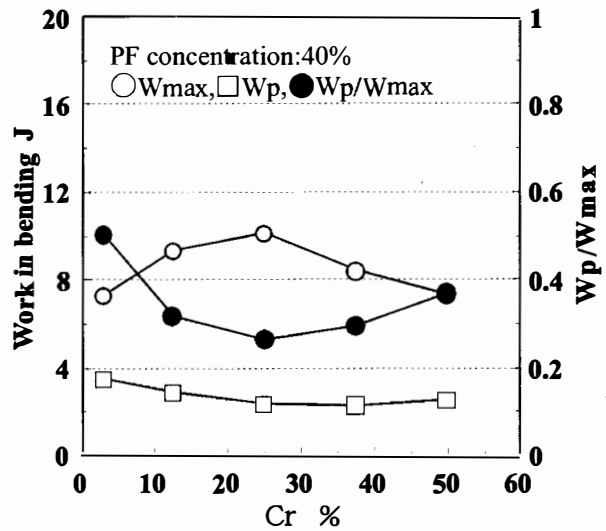


Fig. 10 Wmax, Wp and Wp/Wmax vs compression rate.

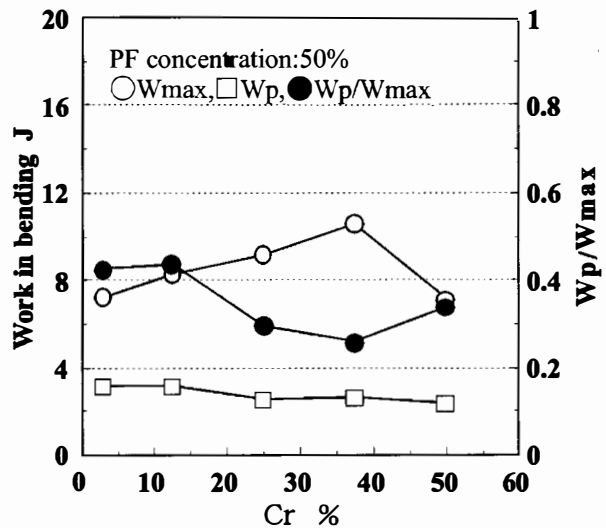


Fig. 11 Wmax, Wp and Wp/Wmax vs compression rate.

4 ま と め

低分子フェノール樹脂を含浸したアカマツロータリー単板を用い自己接着（接着剤を用いない）により熱圧成型する方法で強化LVLを作製し、曲げ強度特性に及ぼすフェノール樹脂含浸量および圧縮率の影響を明らかにした。

文 献

- 1) 日本木材学会編：“木材の科学と利用技術Ⅲ， 3，スーパーウッド”， p.44-47 (1993)
- 2) 矢野浩之：木材工業， 58(4)， 150-152 (2003)
- 3) 矢野浩之：木材研究・資料， 37， 21-31 (2001)
- 4) 木口実：木材保存， 25(3)， 98-111 (1999)
- 5) 木質複合材料技術研究組合編：“木質複合材料研究成果報告書”， p.377-394 (1998)