

氏名	やま うち ひで ふみ 山 内 秀 文
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学位記番号	論 農 博 第 2417 号
学位授与の日付	平 成 14 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	スパイラルワインディング法を応用した円筒形単板積層材の製造技術

論文調査委員 (主査) 教授 川井秀一 教授 則元 京 教授 小松幸平

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、紙管の製造に用いられるスパイラルワインディング法を応用した中空円筒形単板積層材(円筒形LVL)の製造技術と応用に関する一連の開発研究のうち、基本的な部分についてまとめたものである。

第一章では、円筒形LVLの材料設計に必要な基礎データとして、まず、木理の傾斜及びその傾斜が層毎に正負となるような積層構成(交錯積層)が材料の弾性率に及ぼす影響を検討した。また、単板が交錯積層構成を持つ場合のLVLの隣り合う単板層のバットジョイント間の距離(避距)と引張強度の関係を検討した。その結果、各層の単板の木理傾斜を円筒の長軸に対し $\pm 10^\circ$ 以下にすれば、層間のせん断変形の拘束により、木理傾斜による弾性率の低下が無視できることを明らかにした。また、スギ及びアカマツの単板を用いた場合、それぞれの避距を単板厚さの12倍及び15倍以上とすれば、強度に対するバットジョイントの影響が無視できることを明らかにした。さらに、交錯積層によって、木理傾斜に伴う強度の低下も抑制できることが判った。

第二章では、円筒形LVLの製造に適した接着剤及び接着剤塗布方法を検討した。まず、常温・短時間の圧縮で成形できる速硬化型接着剤について検討した。ここでは、ユリア樹脂に耐水性と耐老化性を補う目的でイソシアネート系樹脂接着剤を混合し、強酸性の硬化剤で速硬化させるものと、速硬化型のレゾルシノール・メタアミノフェノール共縮合樹脂に通常のレゾルシノール・フェノール共縮合樹脂を配合したものについて検討した。種々の接着耐久性試験の結果、ユリア樹脂をベースとしたものは構造用としての耐水性に問題があったが、レゾルシノール樹脂系のもの、特に通常の硬化速度を持つ樹脂と速硬化性樹脂を重量比2/1で混合したものは、優れた速硬化性と構造用として十分な接着強度と耐久性を示した。次に、圧縮したまま加熱する場合について、生産の効率化と洗浄廃液の低減を図る目的で、薄葉紙を接着剤のキャリアーとしてイソシアネート樹脂系接着剤を用いる方法を新たに考案した。この方法によってイソシアネート樹脂を圧縮・加熱して硬化させた場合、レゾルシノール樹脂を用いた接着に比べ、耐水性能がやや低い傾向が見られるが、実用上は十分な接着強度を示した。また、この方法は 30 g/m^2 以下の塗布量で接着が可能であった。しかし、圧縮圧力が低い場合や被着材の含水率が低い(5%以下)場合には、接着不良が生じる危険性があることが判った。

第三章では、円筒形LVLの実験的な製造装置を設計・試作し、これを用いて円筒形LVLを製造した。まず、帯状単板の調製については、市販の工業用動力ミシンを改良した縫合装置を試作し、帯状単板を製造して、この装置が実験用として十分な縫製能力を持つことを確かめた。次に、円筒形LVL製造装置の設計・試作を行い、帯状単板を用いて円筒形LVLを試作した。接着剤には第二章で検討したレゾルシノール系接着剤を混合比2/1(通常樹脂/速硬化樹脂)で使い、各層を圧縮圧力約1MPa、圧縮時間約5分で常温圧縮して、内径250mm、10層、長さ3500mm、木理傾斜角約 $\pm 10^\circ$ の交錯木理構造の円筒形LVLを製造した。

第四章では、第三章で試作した円筒形LVLの曲げ、圧縮の各性能及び内圧に対する抵抗強さを試験した。曲げ試験には100t長柱曲げ・圧縮試験機を用い、全スパン6000mm、一定モーメント区間の長さ2500mmの4点曲げ試験を行った。その結果、1)円筒形LVLの曲げヤング率(MOE)は積層数にほとんど影響されないこと、2)曲げ強度(MOR)は断面

の扁平変形が一因となって、積層数の減少に伴い低下すること、3) 中空部分に耐挫屈補強材を挿入した積層数10層の円筒形 LVL では断面の扁平変形を抑制することはできるが、MOR 値は挿入しないものとはほぼ同じであること、4) MOE は単板の樹種に依存し、それぞれの樹種の素材とはほぼ同等であること、5) 複合樹種を用いたものは、それぞれの樹種の弾性率と断面二次モーメントから算出される MOE の値と良好な一致をみること、及び6) 交錯積層が MOE の向上及び吸脱湿に伴うねじれの抑制に効果があることなどを明らかにした。圧縮試験では、製造条件の相違による圧縮ヤング率及び圧縮強度の変化の傾向が、曲げ試験におけるそれとはほぼ同様であることを明らかにした。内圧に対する抵抗を評価するために、長さ 495 mm の円筒形 LVL 試験体にエアバックを用いて内圧を作用させ、試験体が破裂する圧力を求めた。その結果、内圧抵抗強さは、平板試験で求めた壁の引張強度を用いた計算値と良く一致することを明らかにした。また、接着層に用いられたイソシアネート樹脂接着剤含浸紙層は耐内圧強さを高める効果を持つことを確認した。なお、章末に円筒形 LVL を建築に用いた実例を、そこで用いた接合方法の概要と共に示した。

論文審査の結果の要旨

寺社建築のような伝統的建造物では、これまで丸柱に素材丸太を用いることが多く、場合によっては集成材でこれを代替してきた。近年、木質資源の枯渇、とりわけ長大材の枯渇が深刻であり、また集成材の円柱加工は手間がかかり、歩留まりも悪い。一方、円筒形材料は軽量であり、中空部分を建物の配管・配線や空調のダクトに用いるなど、木材円柱に無い付加機能を与えることができる。これらを積極的に活かせば、建築用途のみならず、土木分野への展開も期待できる。

本論文は、スパイラルワインディング法を応用した中空円筒形単板積層材(円筒形 LVL)の製造技術と応用に関するものである。材料自体に新規性が高いので、実用化には製造装置や製造技術、利用技術に到る一連の研究開発が必要であるが、ここでは円筒形 LVL の構造用としての性能付与のための材料設計、接着技術、製造装置の設計・試作、円筒形 LVL の製造と材質試験など、円筒形 LVL の生産システムの開発及び材料の性能評価に関する基本的な研究を取りまとめている。

得られた主要な成果は以下のとおりである。

- (1) 木理の傾斜及び単板の交錯積層が材料の弾性率に及ぼす影響、並びに交錯積層構成 LVL の隣り合う単板層のバットジョイント間の距離(避距)と引張強度の関係を検討した。その結果、単板の木理傾斜を円筒の長軸に対し $\pm 10^\circ$ 以下にすれば、木理傾斜による弾性率の低下が無視できることを明らかにした。また、避距をすぎあるいはアカマツ単板厚さの15倍以上とすれば、強度に対するバットジョイントの影響が無視できること、また交錯積層によって木理傾斜に伴う強度の低下も抑制できることが判った。
- (2) 円筒形 LVL の製造に適した常温速硬化型及び加熱硬化型接着剤を検討した。その結果、通常のレゾルシノール・フェノール共縮合樹脂に速硬化型のレゾルシノール・メタアミノフェノール共縮合樹脂を重量比2/1の割合に配合した接着剤は優れた速硬化性と構造用として十分な接着強度及び耐久性を示した。また、加熱硬化型のイソシアネート樹脂系接着剤に関しては、薄葉紙を接着剤のキャリアーに用いる実用的な塗布方法を新たに考案した。
- (3) 円筒形 LVL 製造装置の設計・試作を行い、厚さ 2.5 mm の帯状単板を用いて内径 250 mm、10層、長さ 3500 mm、木理傾斜角約 $\pm 10^\circ$ の交錯木理構造の円筒形 LVL を製造した。さらに、試作した円筒形 LVL の曲げ、圧縮の各性能及び内圧に対する抵抗強さを調べた。その結果、1) 円筒形 LVL の曲げヤング率は積層数にほとんど影響されず、単板の樹種に依存し、その素材とはほぼ同等であること、2) 曲げ強度は断面の扁平変形が一因となって、積層数の減少に伴い低下すること、3) 圧縮性能に関しては、圧縮ヤング率及び圧縮強度の変化の傾向が、曲げ試験におけるそれとはほぼ同様であること、4) 内圧抵抗強度と積層数あるいは内径との関係を求め、円筒形 LVL がコンクリートの打ち込みに十分耐えうることを示した。

以上のように、本論文は、スパイラルワインディング法を応用した円筒形 LVL の製造技術の開発に成功し、実用化に向けた一連の基本技術を確立したものであり、木質材料科学並びに関連する木材工業の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成13年12月20日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。