

間伐材・低質材利用の理想像

京都大学木材研究所 教授
佐々木

光

昨年11月、旭川市において京都大学木材研究所の佐々木光教授が「最近開発された木質構造材料の将来性」についてと題し講演された。

木材の利用にあたっては、木材を単に再生可能な資源と考えるべきではなく、生態系資源として人類との共存関係が乱されないような利用でなければならない。また、その一助として一度利用された木質材料を再利用する循環サイクルを確立して、木材がより有効に利用されるべきであると述べられ、当面の問題として間伐材、低質材の加工技術について言及された。

ここでは、当日の講演内容から積層材として利用されているものについてのお話の部分をご紹介します。

はじめに

一般に木材は再生可能な資源と言われています（私は単なる更新可能という言葉では使いたくないのです）。それは何故かと言いますと、木材は次のような特徴をもっているからです。

まず木材は生産過程において太陽エネルギーをうまく利用していること、これが一つの大きな特徴だと思えます。二つ目は生産過程が生態系に対して非常に公益的であり、生態系に対して有益な環境をもたらす点が、ほかの資源と違うところです。三つ目は上手に管理すれば、蓄積をどんどん増やすことができることです。物質不滅の法則に従うと、鉄はいつまでも一定量しかありませんが、木材は資源として増やすことができます。これは非常に大きなポイントだと思えます。最後に重要なことはそれを消滅させる時に無公害的に、あるいは時にはそれを公益的に消滅させることができることです。例えば朽ちていく過程で肥料となり、あるいは熱エネルギーとして利用することが可能であります。

以上のように、木材はほかの資源と大きく違う

特質を持っていますから、私は単なる更新可能な資源だと考えるべきでないと思っています。したがって、木材というのは理想的な循環系を確立して、人類との共存関係を打ち立てることが、どうしても必要なわけです。その中での利用であり、そのための研究であり、またそのための林業でなければならないと考えています。

当面する技術開発の焦点

それでは、いま何をやれば良いかということになりますが、まず一つは間伐材の利用技術開発を行うことです。これによって間伐作業を魅力あるものにし、我が国の林業の資源育成に役立てるということは、人間と森林との関係維持の上でぜひ必要なことです。

次に日本に限って言いますと、輸入材は将来ソ連カラマツが大きなウエートを占めると予想されます。このネジレの大きい、節の多い低質小径材のカラマツを、質の高い材料に加工する技術を持っていなければなりません。さらに将来的に見ると、骨組み材料以外の例えば合板に代替するような板材料、あるいは骨組み材料でも大断面を持つ

ものや曲面材料の開発，あるいは風合いを生かしたような使い方などの研究が必要ではないかと思えます。例えば合板の代替材料として配向性パーティクルボード，配向性ファイバーボードなどが考えられます。このほかにも，各種の積層，集成材料や，単板とパーティクルボードの複合材料，合板とファイバーボードあるいは他の無機質材料との複合によって，互いの欠点をカバーし，特性を発揮しあうような材料が，これからの開発の対象になると思っています。

これらのことと平行して，もう一つ重要なことを考えています。それは木材の複循環システム，あるいは複雑循環システムというようなものを，早く確立する必要があるということです。建築に使用された材料はほとんど棄却，焼却されていますが，この回収システムを確立し，構造用木材が耐用期限を過ぎたときこれをボード類に加工し，さらにそのボードが耐用年数になれば紙・パルプの原料とするような，利用分野における循環サイクルを確立する必要があります。もしこれが確立されれば，日本における林業と林産業は，外材に頼ることなく十分に需要と供給を満たすことができるかも知れない，そんな夢もっています。

このことはさておきまして，さしあたって今必要なことは間伐材，低質材の加工技術です。そこで問題となるのは，価格，採算性ということです。ベイツガ等の輸入競合木材がありますから，日本で間伐材を利用することは非常に困難なことです。しかし，森林の公益性というものを，もっと重要

に考えるならば，森林の育成に必要な間伐を促進させるために，間伐材の利用面に国はもっと多額の投資をしなければいけないと思えます。したがって，できるだけ公団，公営のような住宅では間伐材をもっと使うように，あるいは間伐材を指定材料にすることを，私は声を大にして申し上げたいと思っています。

どのような材料に加工すべきか

さて，本題に移りますが，私共の研究室で最近とり組んでおります研究と，海外におけるその関連分野の動向をお話します。

表-1に住宅に用いられています木質材料を分類して示します（横軸に構成要素の大小，縦軸に配向性のオーダーをとっています）。木材は本来一軸方向に方向性をもった材料であり，集成材，LVL，配向性ボードもそうですが，私は木材を構造的に利用する上で，この一軸配向というのが本当は基本になるべきと考えています。ところがランダムに配向されたパーティクルボード，ファイバーボードが，配向性をもつそれらよりも先に開発されました。今配向性ボード類が特殊な新製品のように言われていますが，木材の特性から考えるとこの方が正常な材料で，むしろランダムな配向の材料の方が特殊なものと考えべきです。したがって，ランダムなものは曲げ部材よりも耐力壁の面材など面内の剛性が高いという特徴を生かした使い方をすべきだと思います。

しかし，一軸方向に配向させますとほかの方向

表-1 住宅用木質材料の分類 1例

構成方法	大 ← (構成要素の寸法) → 小			
	一軸配向	集成材	LVL	配向性パーティクルボード
二軸配向	合板		直交配向性パーティクルボード	
ランダム			パーティクルボード	ファイバーボード
モールディング	湾曲集成材 成形合板	湾曲LVL 成形パーティクルボード	成形ファイバーボード	
複合	LVLを引張り ラミナとする 集成材	製材，合板，LVL， パーティクルボード等 の複合はり	パーティクルボード コア合板 ファイバーオーバー レイ合板	他材料との複合板 各種サンドイッチ板 構成パネル

が弱くなったり、伸び縮みが大きくなります。これを改善するため直交配向性パーティクルボードのような構成をもつものが考えられています。また、直交配向性ファイバーボードも今後開発されてくるだろうと思います。表の中段にある湾曲集材材、成型合板、湾曲LVL、成型パーティクルボード、成型ファイバーボードなどは、これらを三次元的に発展させたものと言えます。その下の欄にはこれらの複合材料が示してあります。これらの材料の製造に関して将来に向かって考えておかなければならない2、3の点があります。

まず構成要素の寸法が大きくなればなるほど、加工エネルギーは小さくて良いということが一点

表-2 木質材料製造に要するエネルギーの1例

材 料	製造エネルギー (万Kcal)
針葉樹製材	23.5
構造用フレックボード	24.0
LVL	95
針葉樹合板 (シージング)	98
アンダーレイメントパーティクルボード*	280
湿式ハードボード	490

注) 製品乾重1トン当たり消費するエネルギー量

* 下地用

です。一例として加工に要するエネルギーを製品別に比較しますと表-2のようになります。これは針葉樹製材を1としますと、フレック型のパーティクルボードは1.02, LVLは4.04, 針葉樹合板は4.17という比率になります。これに対して普通のパーティクルボードは11.91, ウェットのハードボードは20.85と大変なエネルギーを要します。そういう意味でせいぜい針葉樹合板あたりまでが、加工対象として将来有利なものと考えられていくと思います。そして、これより加工エネルギーが大きいものは特殊なものとして、他材料と複合させていくための部分的な使い方を考えていくべきではないかと思えます。

第二点は、エネルギーとは逆に要素の寸法が小さくなるほど省力加工ができるという点です。これからの加工は人件費が掛かってはいけません。この意味でLVLあたりが限界で、これより小さな

要素のものが有利です。

以上の諸点を配慮するとLVL, 配向性フレックボードあたりが合理的な加工としてあげることができます。

低質材のLVL化

これからLVL—単板積層材についてお話を進めていきます。その基本になっています思想は図-1に示してありますように、節のある製材は強度のバラツキが非常に大きいのですが、同じ節があってもLVLでは強度のバラツキが小さいとい

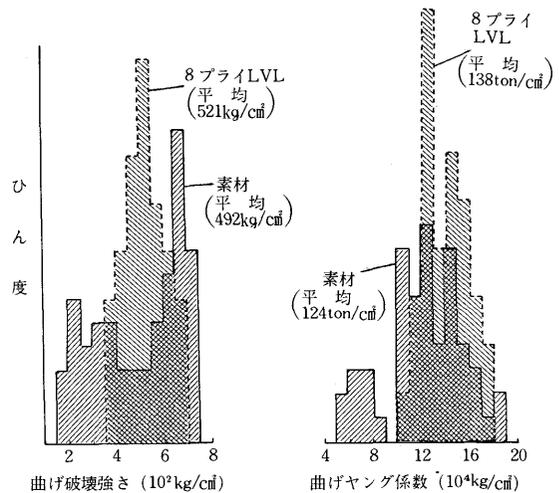


図-1 節の多い丸太を含むソ連カラマツ丸太から製造した2×4サイズのLVLと素材(製材)の曲げ性能の比較

うことです。実際に建築に使用される場合、このことは重要な意味をもっています。

そこで、まずお話ししたいのは、質が悪いため利用しにくい輸入カラマツをLVLに加工すれば、どんな性質のものができるかということです。このカラマツは節が多く、繊維傾斜が非常に大きい材ですから、製材すると狂ってしまい、製材として利用するには歩留まりが低くなってしまい問題です。これを単板にしますと繊維が斜走した単板になりますが、これを1枚ごとにひっくり返して積層して、LVLにしますと交錯木理をもったものとなり、非常に性質の良いものができます。

問題になるのは裏割れですが、裏割れはむしろ防腐剤の注入口のようになって浸透を助けますし、交錯木理を形成しているために強度的には互いに助けあって、横方向の強度を極端に低下させることがないように思います。

我々はいろいろな品等の原木を用い、製材とLVLの許容応力度を比較しましたが、曲げについて言いますと、製材では平均で54kg/cm²、節のないものは193kg/cm²、節のあるものは39kg/cm²という値になりますが、LVLではどんな悪い単板を組み合わせても165kg/cm²という値になっています。これは欠点分散することによって非常に強くなっていることを示すものです。

表-3 単枚の切削方法による裏割れ深さとLVLの曲げ性能の相違(飯島)

樹種	スギ			ヒノキ		
	製材	LVL		製材	LVL	
		R	V		R	V
裏割れ深さ(%)	—	63	9	—	60	25
曲げ破壊係数 MOR (kg/cm ²)	476	258	342	500	521	650
曲げヤング係数 MOE (10 ⁹ kg/cm ²)	68.9	38.5	74.3	124	138	135

注) R:ロータリー切削, V:パーティカルスライサー切削

次に表-3はLVLをロータリー単板で造ったときと、パーティカルスライサー単板で造ったときの材質の比較をしたものです。ロータリーレースの場合に、サイドドライブ方式を使うと非常に細くまでむけ、歩留まりが高くなります。スライサーの場合には、耳切りに手間がかかり能率的には落ちますが、かなり厚い単板(10~15mm)を突くことができます。歩留まりは多少落ちますが、接着剤の量は少なくてすみます。曲げ強さ(MOR-曲げ破壊係数)は、ロータリーに比べスライサーの方が良い結果を示しています。特にスギの場合に良くなります。カラマツはどちらでも強度は高いのですが、スギはロータリー単板では曲げヤング係数(MOE)が40ton/cm²くらいです。スライサーにするとその点が改良され、パーティ

カルスライサーも捨てがたいものだと思っています。また、スギとカラマツを混ぜたLVLの試験結果では、カラマツだけのLVLとたわみ量はそれほど変わらなくなります。スギは非常にたわみが大きく問題なのですが、カラマツと混ぜることによって、スギも構造用として使えるのではないかと考えています。これは富山の飯島さん達の研究成果です。

さて、次に間伐材のLVL化について述べます。京都近辺では大体15cm以下くらいの径のものが出荷されています。こういったものの利用として、大々的に宣伝されている7x7工法用の角材が考えられます。湿潤のまま市場に流通することさえできれば、大壁の骨組みなど見えがくれの部分で、構造的に強い材料として用いることができます。しかし、ご承知のように湿潤のまま市場に出回るといったことは非常に困難とされています。その辺りに流通の問題があります。

製材できるものは製材で使う方が、加工エネルギーの面で有利ですから、製材できるものは製材として使うべきです。寸法が足りない、あるいは根曲がり材のような曲がっている材、折損木、梢端木、それに節のある材、節の大きな材などは製材できませんから、より高度に加工していく方法を考える必要があります、これらを対象としたLVL製造について少しお話しします。

図-2は間伐材を対象とした動くLVL工場という研究プロジェクトを検討したときにたたき台となった設計図です。トレーラーの上にレースを積んで、そのレースで単板をむいて、町の工場に供給するような構想です。私の考えは町の工場が栄えるのはいけないう、林業にその利益が還元されるような形にする必要があります。そのためにはトレーラーの上にレースのほか、乾燥機や接着剤を塗付するフローコーターを置いて積層製品を作り、山の森林組合の工場でそれに突き板を張る。それによって地域産業として生かし、間伐材の加工で上げた収益を間伐作業に還元されるのが良いのではないかと考えております。

次に、もう一つの方向としてサイドドライブ方

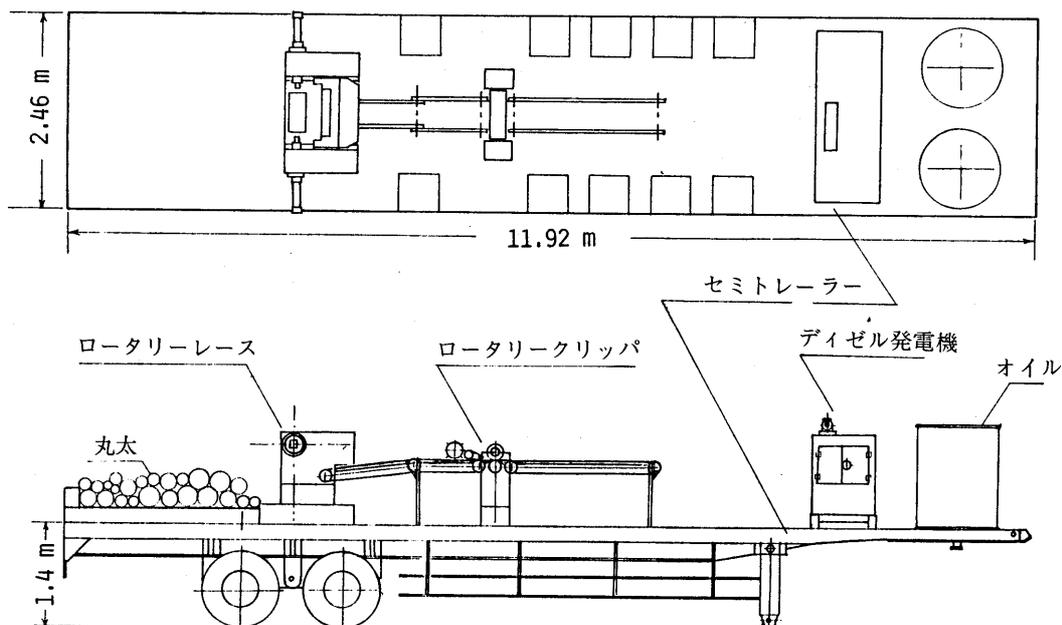


図-2 間伐材を対象とした移動式ベニヤ工場

式のロータリーレースの採用があります。このレースはノーズバーのところから丸鋸のようなものがでていて、これが回転して原木を回転させるメカニズムになっています。我々が実験に使用したのは、チャックがまったく駆動する力を持たないものです。このレースで長さ40 cmの原木から4 mm厚の単板を切削しますと、むき心の直径が3.5 cmまでむけます。スギは心材の弱い所でベンディングを生じ、アカマツは大きな節でスパニア

ウトしたものもありますが、ほとんど全部といっても良いほどきれいにむけます。平均径15 cmくらいのヒノキ、スギ、アカマツを切削しましたが、中には100%以上の歩留まりのものがありました。これは裏割れで単板が伸びて空気を計算していた結果ですが、いずれにしても60%以下のものは1本もありません。

裏割れを見ますと、むき始めのところは50~60%くらいの裏割れの深さですが、だんだん心の方

表-4 小径端材を原木とするLVLの曲げ性能

樹種	ヒノキ (25~28年生)		スギ (25~38年生)	
	未成熟部 ¹⁾	成熟部 ¹⁾	未成熟部 ²⁾	成熟部 ²⁾
単板採取部位				
単板の裏割れ深さ (%)	72.6 (12.9) ³⁾	56.3 (9.4)	68.9 (11.9)	52.7 (10.3)
同上 密度 (cm ⁻¹)	3.25 (0.70)	3.85 (0.91)	3.30 (0.78)	3.50 (0.76)
曲げヤング係数 MOE (10 ³ kg/cm ²)	85.4 (11.6)	90.0 (6.6)	50.3 (1.9)	65.3 (5.1)
曲げ比例限度力 (kg/cm ²)	202 (11.7)	209 (9.2)	139 (11.9)	171 (6.5)
曲げ破壊係数 MOR (kg/cm ²)	332 (9.3)	334 (20.2)	226 (15.4)	264 (14.1)
長期曲げ許容応力度 (kg/cm ²)	149	140	93	112

注) 1) 樹心より15年輪より内側を未成熟とした。
 2) 樹心より20年輪より内側と外側で区別した。
 3) 数値は8個の試験結果の平均値で()内の数字はその標準偏差である。

に行くに従って透けて、向こう側が見えるようなものも出てきます。しかし、節などがありますと木理が乱れており、積層したときに裏割れが交錯しますから、LVLにしたときそれほど性質の悪いものになるわけではありません。

このようにサイドドライブ方式で切削した厚さ4mm、長さ40cmの単板を、縦方向にバットジョイントでつなぎLVLを造り、これで2×4サイズの試験体を造って強度試験をしたのが表-4です。ジョイントの隣同志の間隙は10cm離れています。したがって4層ごとに同じ位置に縦つぎのバットジョイントがあります。ヒノキは25～28年生の材ですが、成熟材部と未成熟材部をMOEで比べてみますと、両方とも大体90ton/cm²くらいです。70ton/cm²以上あれば構造用材として立派に使えます。MORでも両方ともほとんど差はありません。そういう意味でヒノキの場合は未成熟材の部分は、ほとんど関係ありません。ところがスギの場合ですと、未成熟材部でMOEが50ton/cm²、MORが226kg/cm²と弱いのですが、しかし、思ったほど悪くないという安心感があります。むき心を3.5cmまでむいた単板でもLVLとして使った場合、樹種によって弱いものもありますが、それを知っておれば使いものにならないというものではないと思います。カラマツの場合も、節だらけの単板で造ったLVLで試験しましたが、曲げに関しては構造的に用いても、何んらさつかえないものと考えられます。

引張り特性が評価されたマイクロラム

話題はアメリカに移りますが、アメリカにダグラスファーを主体としたマイクロラムという製品があります。これは厚さ1.5～3mmくらいの単板をフェノール樹脂で、継ぎ目をラップジョイントさせて高温高压で接着したものです。20層～30層積層して節やジョイント部分を分散させ、引張

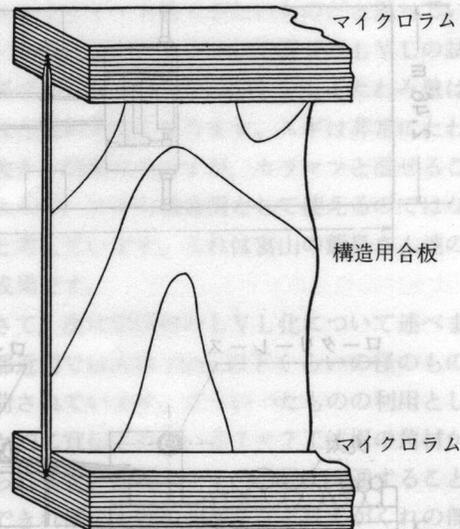


図-3 マイクロラムをフランジ材とするI型ビーム

り強度の非常に高い材料を得ています。図-3にマイクロラムの使用例を示しましたが、ウェブに合板、あるいはパーティクルボードを入れフランジ材としてマイクロラムを使ったI型ビームの例です。マイクロラムは高価ですから圧縮の方はマイクロラムをわざわざ使わなくても普通の素材で代用し、引張り側だけマイクロラムを使う場合もあります。何故かといいますと、マイクロラムは引張り強度のバラツキが非常に小さいからです。木材の引張り強度というのは、節がちよっとでもあると極めて敏感に低下します。したがって、引張り部材に素材を用いるのは非常に心配なのです。マイクロラムというのはその点を評価された新しい開発材料だといえます。

—ウェハーボード、配向性木質ボードについても、実例、実験結果を参考に詳細なご講演がありました。紙面の都合で割愛させていただきました。—