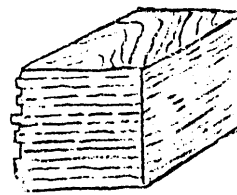


単板積層材の技術開発

- 北米での歴史と現状から -

北村 維朗



はじめに

第2次世界大戦の終戦以来40年、私連日本国民は嘗々として山の緑をふやす努力を続けて来ました。その努力はようやくみのり始めております。国民の手で築き上げた人工林の面積は1千万ヘクタールにおよび、人工林の適切な管理を怠らなければ、現在35%まで下がっている木材の自給率も、21世紀に入る頃には国産材が木材供給の主要な部分を賄うことになるだろう、とされています。

しかし、こうして築き上げた1千万ヘクタールの森林は、果して本当に豊かな国民の財産となるのでしょうか。これを本当に国民の富とするためには、私達自身が「人工林材」の優れた利用体系を、これから編み出さなければなりません。林産試型LVLのシステムとその製品は、こういった理念のもとに研究開発された新技術と新素材であります。このシステムと製品は今のところ、プロトタイプとも言うべき段階で、今後も多くの改良が加えられて行くと思われませんが、遠からず、多くの優れた点が多方面の人々に認められ、カラマツ、トドマツ等の人工林材が、これによって、優れた商品に変身して行くことになるかと期待されます。

林産試型LVLと同じ系統の単板積層材は、時を前後して海外諸国でも研究開発が進められておりますが、研究開発の姿勢や足どりについて彼我の比較をおこなってみることは、林産試型の今後の改良発展のために大いに参考になるものと思われれます。

LVLの誕生 = 省資源を目指した技術開発

LVLというのは laminated veneer lumber の略で、単板を積層して造った木材という意味です。

我が国では単板積層材という名称が与えられていますが、これが開発された北米では、parallel-laminated veneer (平行に積層された単板) とか unidirectionally laminated veneer (一定方向に積層配列された単板) と呼ばれており、LVL という場合は、狭義のランバー、つまり厚さ5~12.5cm、幅5cm以上のサイズにひき割ったものを指しているようです。

単板の繊維方向を同方向にそろえて積層した製品は、1940年代から航空機の部材や家具の骨組みとして利用されておりました。我が国でもピアノの部材や机の引き出しの前板、木製ドアの^{かまち} 框材等に使われていましたが、当時はLVLと呼ばれず、一般的には平行合板と呼ばれていました。この種の単板積層材は高価で限定された用途に向けられており、原料もそれなりに精選されておりましたので、製造コストの上昇は製品性能の信頼性の対価として容認されておりました。

単板積層材が新しい材料として注目され始めたのは1960年代でした。60年代の米国は名実共に自由世界の旗頭として目ざましい経済発展を進めておりました。住宅建設も50年代から引き続いて140~160万戸の高水準を維持しており、活況を呈しておりました。このような情勢の中では当然、木材需要の爆発的な高まりと、資源の枯^か 渴^{かつ} が憂慮されるようになるわけです。確かにこの年代に北西部のダグラスファー(米松)の大径優良材は著しく値上がりし、その上昇率は10年間で、70~80%におよんでいました。そんな状況の中で米松に替わって比較的小径のサザンパインを合板に利用する技術開発がおこなわれています。また60年代の末期には自然保護運動の高まりもあり、木材産

業は、木材をより効率的に、むだなく利用することを義務づけられるような風潮になって来ました。

さらに60年代は航空宇宙技術の進歩に代表されるように、驚異的な技術開発が次々におこなわれた時代でもあります。この時代、LVLの開発を刺激したと思われる大きな技術開発があります。それは石油化学におけるクメン法の定着であり、これによって石炭酸樹脂接着剤は非常に安くなりました。1955年当時、合板の接着剤コストはダブルグレーライン当たり18~26円/m²であったものが、1968年には8~13円/m²と半減しております。安くなったフェノール樹脂接着剤を利用して、森林資源の利用の集約化を図ろうという考えから生れたのが北米のLVLと考えられます。

接着コスト節約を最重点としたプレスラム方式

古く1944年、第2次大戦のさ中、単板積層材は航空機用材料として研究されておりました。LUX-FORDはシトカスプールのロータリー単板(3.75mm)を使って航空機用単板積層材を研究し、スプールの無欠点材と同等の強度が得られることを

知りました。1950年PRESTONは単板を薄くすればする程積層材の強度が向上し、無欠点木材の強度に近づくことを確かめました。

優れた材料が得られると分かってはいても、これを工業化して生産する為には膨大な基礎研究の蓄積が必要です。たとえば、一般のパネル材料よりはるかに厚いLVLのアSEMBリーに十分な熱エネルギーを加えて接着剤を硬化させる方法を開発する必要があります。1958年、McKEANとSMITHは、接着剤を塗付する前に単板を予熱して接着剤の反応エネルギーとして利用する技術を研究しました。また長さに関りのある単板を使って長い製材型の材料とするためには、単板を長手方向に連結する必要があります。1963年、MAL-ARKEYはたてつぎ単板で長尺の積層材を作りましたが、KOCHとWOODSONは単純なバットジョイントでも積層材の曲げ剛性には大きな低下がないことを見いだしました。

以上のような社会的および技術的背景のもとに、1970年前後にアメリカとカナダの研究機関が相ついで独自の単板積層材技術を発表しました。同時にいくつかの民間会社からも、それぞれ特色ある

表1 主要な単板積層材の名称と特徴

名称	開発した機関	樹種	単板厚 (mm)	ジョイント方法	製品厚 (mm)	特徴
L V L	カナダ林産研究所 (カナダ)	ダグラスファー	6.25	階段状バットジョイント	37.5	バットジョイント避距 15 cm, 2 プライずつ 逐次接着
ボルトウッド	南部林産試験所 (アメリカ)	〃	〃	〃	〃	—
プレスラム	マジソン林産研究所 (アメリカ)	サザンパイン ダグラスファー	12.5 6.25	〃	〃	厚単板, 熱板乾燥, 蓄熱を接着に利用, ジョイント避距 30~40 cm
マイクロラム	トラスジョイスト社 (アメリカ)	ダグラスファー	2.5 3.1	クラッシュラップ ジョイント	37.5 62.5	ロータリープレス方式, 材長 24m, 高性能強度部材, ジョイント避距 27 cm
ラミネヤ	ウエヤハウザー社 (アメリカ)	ダグラスファー	—	積層材のフィン ガージョイント	37.5	構造用集成材テンション ラミナ用等
ストラクトラム	シンプソン社 (アメリカ)	ダグラスファー	2.3	クラッシュラップ ジョイント	—	—
V G L	〃	〃	〃	〃	〃	木材乾燥用積木
ケルトウッド	メサリトン社 (フィンランド)	—	—	—	—	—

単板積層材の計画が発表されました(表1)。

マジソンの林産研究所(FPL)はプレスラムという方式を発表しました。この方式は厚いロータリー単板の熱板乾燥と、単板乾燥のために与えられた熱エネルギーを接着剤の硬化に利用する、というのが特徴です。ロータリー単板は12.5mmという厚いものですが、これはできる限りグルーラインの数を減らして、接着工程と接着剤のコストを軽減するためです。接着コストはこの方式の成否のカギを握るものと考えられ、当時の接着剤価格がkg当たり160円から半分の80円程度に値下がりすることを希望的観測としておりました。

プレスラムの初期の製品は比較的小径で低価格のサザンパインを原料として、4プライ;厚さ50mmでNo.2グレードの構造用製材(ジョイスト材)に対応するものとして紹介されていました。単板は長さ120cm程度で避距を40cm程度にとったバットジョイントでした。性能は曲げ強さが構造用製材の82%,曲げ剛性が95%で、製材とほぼ互角の性能を持っていましたが、厚い単板を使っているので裏割れが深く、これがせん断強度に影響してブロックせん断試験では製材の約60%でした。生産コストは当時の金額で16,000円/m³程度と試算され、当時のサザンパインの208ジョイストの市況が22,000円/m³で、これと十分に競争可能という見方でした。

製材の代用品から高性能の新材料へ

FPLのプレスラム方式は1970年に省資源型技術の“概念”として発表されたのですが、1985年の現在まで、具体的なパイロットプラントまたは技術移転にまでは至っていないようです。最大の難点は、熱板乾燥を終わった厚単板の熱エネルギーを失わないように維持し、熱を持った単板に接着剤を塗布し、そのまま連続的に圧縮して単板に残っている熱で接着剤を硬化させる、というプロセスです。接着剤はアセンブリータイムが十分に長いことと、低いグルーライン温度で迅速に硬化するという条件が必要になってきます。このために高価なフェノールレゾルシノール樹脂接着剤を必要

とし、試算でも接着剤コストは全製造コストの39%を必要とするということになっています。

また1973年の第1次オイルショック以来、世界的な不況時代に入り、住宅建設の勢いが衰え、当初予期した製材の高騰はありませんでした。したがって、プレスラムは製材対等の性能と、収率の高さだけで構造用製材と勝負するわけにはいけなくなりました。

一方では、高価なフェノールレゾルシノール樹脂に替えて合板用の一般的なフェノール樹脂(価格が約半額)を利用する技術開発もおこなわれていますが、各種の性能を向上させるための試みが、次々と出されています。原木はサザンパインからダグラスファーに代わり、単板厚は12.5mmから6.25mmと薄くなり6プライとなりました。こうした結果、同じ等級の原木を使った場合、単板積層材は一般製材より1~2等級上級の構造用材が得られることが明らかになりました。しかしこの反面、生産コストの試算値は26,000~31,000円/m³と倍増することになります。1976年に発表されたレポートでは、プレスラムの生産の経済分析が精密におこなわれていますが、製材用の3等の原木を原料として、製品の半数が高強度部材として販売できるならばプレスラムは採算ベースに合うとの見通しを得ることになります。ただし、当時としては単板積層材の優れた性能も、金銭的に適正評価を得る段階には至っておらず、適切な非破壊的等級評価手段の完成によってそれが可能になるとしていました。

この非破壊的等級評価手段は最近ではかなり発達して来ており、ストレスグレーディング^{*}やプルーフローディング^{**}等が北米を中心に徐々に普及して来ています。

性能向上への努力は現在も続けられており、1984

* 機械的応力等級区分技術;構造用木材を或る種の装置を通すことにより、自動的・連続的に強度的性質の区分をおこなう技術。

** 保証荷重試験;構造用材料や構造体に、一定の負荷条件を加え、最小限その応力条件下での安全を保証すること。

年の研究では、単板厚は3.125mmまで薄くし、6ないし12プライ37.5mm積層材の表裏層に近い2または4層のグルーラインを、ガラス繊維-フェノール樹脂複合材料で強化した材料を試験しています。これはガラス繊維-フェノール樹脂複合材料が、(強度×体積)を単位とする価格では非常に安く、ダグラスファー上級材の1/4の価格であることに目を付けたものです。3.125mm-12プライでは最外層の2層をガラス繊維で強化すると、3等のダグラスファー原木を使ったもので、70%がMOE(曲げヤング係数)=155ton/cm²のクラスに入り、35%が170ton/cm²以上のクラスに格付けされます。これについては58,000円/m³程度の市場価格を予想しています。

”材料”生産ではなく”商品”生産で (マイクロラムの場合)

トラスジョイスト社のマイクロラムは開発の当初から高性能強度部材を目指しており、ダグラスファーの2.5~3.1mm単板を使った25~12プライのもので発表しています。単板のたてつぎは、ジョイント部でオーバーラップさせ、アセンブリーを強圧で圧縮する際に押しつぶす“クラッシュドオーバーラップジョイント”にしています。これは単板が薄く、プライ数が多いために可能になることです。ジョイントの避距は27cm程度と推定されます。曲げ強さは830kg/cm²、曲げヤング率は168ton/cm²、引張り強さは467kg/cm²と報告されており、材質的には極めて優れた材料であります。

トラスジョイスト社は、これをそのままの“材料”としては市場化しませんでした。同社がマイクロラムの開発企画を始めたのは1967年でしたが、1972年にはマイクロラムを弦材としたトラスとして市場化しました。その後は多種類の“ビーム”として、いずれも極めて加工度の高い“商品”として工場から出荷しています。

マイクロラムは多くの単板積層材の中で、最も成功している例で、すでに日本上陸の計画さえも始まっている手ごわい相手ですが、成功の原因は次のように整理されると思われます。

-) 強度性能が優れている。
-) 単板を超音波グレーディングによって品質保証している。
-) 長さ33mの長大材を提供できる。
-) 公の機関によって許容設計値が指定されている。
-) 高度加工品として市場化した。

製造工程の簡略化

ウェヤーハウザー社のラミネータは、単位長さの積層材に造ってから、フィンガージョイントによって長尺化したものです。集成材の外層のテンションラミナ用として売り出している強力な材料です、単板厚は2.5~3.125mm、積層材厚さは37.5mmです。

これもマイクロラムと同様に許容設計値が公にオーソライズされており、許容引張り応力は154kg/cm²と指定されており、積層材の初めの長さは2.4mで一般の合板工場のホットプレスがそのまま使え、あとはフィンガージョイントラインを含む集成材工程があれば良いことになり、至って簡略化された工場生産されることとなります。全長にわたってバットジョイントが一つも入っていないのですが、分散配置したバットジョイントを持つ積層材と、フィンガージョイントでたてつぎをした積層材とどちらが強いのでしょうか。

これについてはJUNGやYOUNGQUISTの研究があります。ダグラスファー6.25mm、6プライの積層材で試験したところ、分散配置した単板バットジョイント(避距;20cm)をもつ積層材の引張り強さは平均304kg/cm²(変動係数;13.6%)に対し、フィンガー長27.8mmのフィンガージョイントによるものは415kg/cm²(変動係数;14.8%)で、フィンガージョイントでたてつぎした積層材の方に軍配が上がりました。いかなるジョイントもないクリアーな積層材に対する比では、単板バットジョイントを持つ積層材は63%、フィンガージョイントでつないだ積層材は85%でした。

バットジョイントは、その影響を最小限に抑えることは可能ですが、ジョイントの個所で、単板

1枚分の断面が欠損することは明らかなので、これを改善して、ジョイントの無い材料の材質に近づける方法はこの外いくつかあります。

単板ジョイントをスカーフジョイントにする。

表層単板だけをスカーフジョイントにする。

表層の単板だけ薄くする。

少プライの積層材をスカーフジョイントにして更に積層する。

以上のような方法は、いずれもバットジョイント法より強度を改善しますが、の方法でも、荷重を単板面方向から受ける曲げ荷重の場合には、35%程の強度増があります。の方法は極めて高い性能を示し、ノージョイントのものと同程度差がありません。YOUNGQUISTら(FPLでプレスラムの開発に当たった)は、この方法が、比較的薄いパネルの製造から始まるという点で、一般の合板工場の工程に組み込みやすいということとで評価しています。

LVLの長所

“まとめ”に代えて、多数の文献にあげられたLVLの長所を整理してみました。

(資源的見地から)

森林資源の利用歩留まりが高まり、資源保護、

乱開発の防止に役立つ。

(工場経営の見地から)

原木の利用歩留まりが高い。

ノコズが少なく、工場騒音が軽減され、作業環境が良くなる。

曲がり材、短尺材等低級原木の利用が可能。

小径原木からでも、長尺、幅広、厚物の生産ができる。

製品の性能を設計できる。

防腐、防虫剤、難燃処理剤の処理が容易。

生産コストは一般製材より高つくが、収率の向上と性能の向上によって相殺できる。

(材質性能の見地から)

材質性能が高い。

強度、物性が均一である。

板面に垂直の圧縮強度が強い。

節、目切れ等天然の欠点が強度に与える影響が非常に小さくなる。

(利用者の見地から)

天然木から得られない長尺のものが得られる。

製品の性能が予測できる。

未熟材が除かれる。

信頼性が高く、安全係数を過大にとる必要がない。

価格が上級製材より安い。

資料

市販ダグラスファーLVLの許容設計値(表2)、文献に発表されたLVLの曲げ試験データ(表3)、および引張り試験データ(表4)をそれぞれ示しました。

表2 市販ダグラスファーLVLの許容設計値(単板厚3.125~2.5mm)

商 品 名	断面寸法 (mm)	単 板 ジョイント	MOE (10 ³ kg/cm ²)	許容設計 引張応力 (kg/cm ²)	許容設計 曲げ応力 (kg/cm ²)
ラミネヤ [®] 22 Ft テンション ブライランパー - 集成材の外側5%のラミ ナに使用 ^{b)}	37.5 × 137.5	な し	155	154	187
- 2.4 mジョイントなし	37.5 × 137.5	な し	155	168	211
マイクロラム [®]	18.8 × 87.5	クラッシ ュラップ	148	154	197 ^{a)}
			141	141	176 ^{a)}
			119	105	134 ^{a)}

注) a) ;材せい12インチ用,それ以外の材せい(d)では(12/d)を乗じる。

b) ;保証荷重試験をおこなったフィソガージョイントたてつぎ材

表3 文献に発表されたLVLの曲げ試験データ

研究者	試料サイズ (mm)	単板 ジョイント	樹種 ^{a)}	単板 厚さ (mm)	材 等 級	平均 MOR 垂直 (kg/cm ²)	変動 係数 (%)	平均 MOE 垂直 (10 ³ kg/cm ²)	平均 MOR 水平 (kg/cm ²)	変動 係数 (%)	平均 MOE 水平 (10 ³ kg/cm ²)	試料数	
Jung	37.5 × 87.5	なし	DF	6.25	無選別	714	11	179	607	30	169	14	
						低級	592	12	158	595	29	156	14
						中級	669	13	174	552	19	172	14
						上級	731	12	196	637	14	197	14
Koch	37.5 × 87.5	バット	SP	6.25	混合	654	20	134	—	—	92		
Kunesh	37.5 × 57.5	クラッシュ ユラップ	DF	3.13 2.5	C級 D級	—	—	162	803	11	164	33	
						無欠点 材	824	14	143	877	12	150	24
Mody & Peters	50 × 50	なし	SP	12.5	無欠点 材	824	14	143	877	12	150	24	

表4 文献に発表されたLVLの引張り試験データ

研究者	試料サイズ (mm)	単板 ジョイント	樹種 ^{a)}	単板 厚さ (mm)	材 等 級	平均 引張強さ (kg/cm ²)	変動 係数 (%)	MOE (10 ³ kg/cm ²)	試料数	
Bohlen	37.5 × 87.5	バット	DF	6.25	製材II	296	14	155	94	
Bryant	18.8 × 87.5	なし	DF	4.69	C級	287	20	143	21	
						3.13	397	14	144	21
						2.5	397	16	152	21
					D級	4.69	187	26	113	21
						3.13	268	23	123	21
						2.5	388	18	127	21
Jung	37.5 × 87.5	なし	DF	6.25	無選別	422	17	185	14	
						低級	387	15	160	14
						中級	427	17	177	14
						上級	471	11	208	14
Kunesh	37.5 × 57.5	クラッシュ	DF	3.13 2.5	C級と D級	452	12	143	362	
Moody	37.5 × 87.5	バット	DF	3.13	C上	374	5.7	145	9	
						C下	392	12	146	9
						C上	322	11	141	9
						C下	320	11	136	9
			SP	3.13						

注) a); DF=ダグラスファー, SP=サザンパイン