

第8回木質ボードシンポジウム (II) 完

日本木材加工技術協会関西支部

パネル討論会 (II) エンジニアードウッド

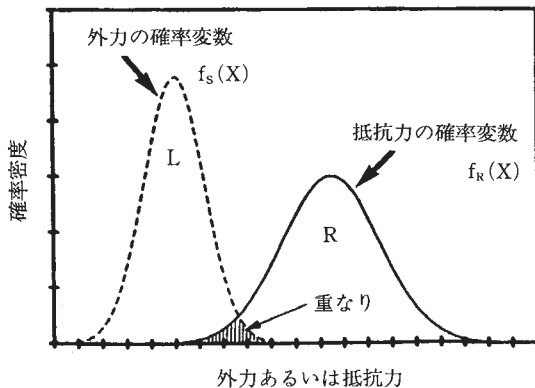
1) 木質材料の構造信頼性

森林総合研究所 林 知行氏

木質構造の設計法が、許容応力法から信頼性設計法へと移行しつつあり、木質材料においても構造信頼性が重要となる傾向にある。

信頼性という言葉は一般的に広い意味に用いられているが、信頼性工学でいう信頼性とは「アイテムが与えられた条件で規定の期間中、要求された機能を果たす性質」(JIS Z 8115)、また信頼度とは「アイテムが与えられた条件で規定の期間中、要求された機能を果たす確率」と定義されている。ここでアイテムとは「信頼性の対象となるシステム(系)、サブシステム、機器、装置、構成品、部品、素子、要素などの総称またはそのいずれか」とされている。

構造信頼性の基礎概念を表すものが、第1図のL-Rモデルである。Lは荷重(Load)、Rは抵抗力(Resistance)である。L-Rモデルは、対象によってS-S (Stress-Strength) モデルあるいは荷重-強度モデルなどと呼ばれることもある。第1図の縦軸は確率密度であるが、相対度数や頻度で



第1図 L-Rモデル

あると解釈できる。横軸は部材の強さあるいは作用する荷重の大きさである。左の山は荷重の確率密度曲線であり、右の山は抵抗(部材や接合の強さ等)である。この図が示す意味は、部材に作用する荷重や抵抗値はいずれも一定値ではなく、ばらつきを持っているということ、また部材の破壊は両者が重なりあったとき、すなわち、 $L > R$ の時に生じるということである。したがって、重なり部分は大きいほど破壊の確率が高くなり、信頼性は低下する。逆にその部分が小さいほど信頼性は高い。

構造設計とは、L-Rモデルからみると、Rを左右に移動させて適当な位置を見つけ出すことにはほかならない。Rを右に移動させるということは、部材の断面を大きくしたり、普通構造材を上級構造材に置き換えることと同じ意味である。

許容応力法による設計では、部材に生じる応力が許容応力より下であれば、Rの位置はどこでも良い。右に大きく移動すれば安全性は向上し、経済性は低下するが、左へ移動すればその逆となる。結局、許容応力法では、Rの位置の設定は全くの勘と経験と度胸によって決定されることになる。何故なら、安全性や信頼性を評価するための手段が全く存在しないからである。

一方、構造信頼性設計では、部材の信頼性が破壊の確率や安全性指標によって容易に定量化される。したがって、安全性・信頼性と経済性とのバランスを考えた意志決定が、科学的根拠に基づいて行えることになる。信頼性工学では正規分布、対数正規分布、ワイブル分布等いろいろな分布関数が使われ、そこでは統計分布が重要な意味もってくる。同じ平均値と標準偏差をもった分布でも、分布の形態によって破壊の確率が全く異なるが、すべての確率関数を平均値と標準偏差だけで割り切ってしまう傾向にあるので注意を要する。

さて、構造信頼性を向上させる方法としては、①R(強さ)の右方向への移動、②そのバラツキの減少、③プルーフローディング(保証荷重)、④応力等級区分(ストレスグレーディング)、⑤欠点除去、⑥積層効果と中心極限定理、⑦エレメントの配置、⑧複合化、⑨欠点分散などがある。

一方、構造信頼性の低下要因としては、①寸法効果、②クリープと耐久性が考えられる。L-Rモデルからみると、②は時間の経過とともにRが左の方向に移動する現象と考えられる。従来は平均値のみに注意をはらってきたが、Rの移動とともに破壊の確率が増加するから、もっと分布の形態に留意しながら信頼性を考えた上で、荷重継続時間や耐久性の研究を進めて行く必要があろう。

2) エンジニアードストランドランバー (ESL) の製造と特性

ウエアーハウザージャパン(株)上田道彦氏

ESLは、家具用の製材品であるオーク材やメープル(イエローポプラ)材の代替品として開発された。強度性能はそれらの70%程度の性能が保持され、家具用に限定されているが、将来的には住宅構造部材への展開が考えられている。

この材料は、従来のOSBが発展したもので、OSBでは表層に配向性をもたせ、内層はランダムという構造になっているが、最近の傾向としてそれらを直交させたOSBが多くなり、ボードの安定性を高めている。これに対して新しい材料であるESLは、全層にわたって配向を一定の方向としている点に特徴がある。原料はアスペンが主体で、フレークの厚みは0.2mm、幅が3mm、長さが8~12mmが一般的で、含水率2~3%にまで乾燥し、内層にイソシアネート系、表層にフェノール樹脂を用いるボードが多いが、接着剤添加率はOSBに比べてかなり高い。

ダボによるL型接合強度に特徴があり、曲げモーメントを負荷すると、素材や合板に比べてかなり強度が低い傾向があるが、ジョイント部分をメタルプレートにすると逆に高強度が得られる。

曲げ性能については、配向方向のMORおよびMOEの平均値は、それぞれ460kgf/cm²、84ton/cm²であり、広葉樹合板に比べてかなり良い。接着剤の添加量が多いため、IBは8.4kgf/cm²とかなり高い

が、ばらつきが大きく、この点はフレークへの接着剤の分布を均一にすることで改良できる。釘保持力はほとんど合板のそれと同等であるが、木口の釘保持力は他材料よりも高い値が得られている。24時間吸水厚さ膨張率は10~15%、相対湿度50%から90%に変化したときの長さ方向の膨張率は、エレメントの配向方向で0.02%、直交方向で0.2%である。また、熱的变化に対しても極めて安定している。

経済的にみると、ESLはむく材に比べてそれほど安くないが、性能の安定した材料を一定の長さで供給できるため、材料の歩止りを約20%向上できるし、技術的な進歩でコストダウンも期待できる。

構造的な面からみると、ベイマツやスプールのディメンションランバーに比べると60~70%の強度を有するが、比重がやや高く0.735である。PSL(パラレルストランドランバー)の新しい製品であるPSL300は、これに比べて軽くて強度もかなり高く、ESLと競合している。今後、再生木材(reconstituted wood products)は、資源問題の観点、あるいは燃える、腐などの木材の欠点を克服したり、技術進歩の恩恵を受け易いことから、ますます発展していくものと考えられよう。

3) OSBやLVLの米国性能基準

APA Michael O'Halloran氏

性能基準は、いわゆる製造基準あるいは製品規格とは性格を異にしている。後者は、非常に指針的かつ製造技術に関しても制限的で、新しい樹種をその材料に導入する場合も、多くの研究実績の積み上げが求められる。一方、性能基準では製品に付与された性能が一番大切で、例えばパネルの場合に必要なとされるスパン長のように、製品の用途に応じた性能が重視され、特に使用環境における荷重に対する耐力に重きが置かれる。したがって、製造方法に関してはフレキシブルで、性能さえ達成できれば新しい手段による製造も可能である。このことから、APAではOSBやCom-Plyなどの新しい材料を、合板と同一の用途に使用できるようにしたが、また、むしろこれら3種の材料を同じように使用しようとするところから性能基準の考え方も発展してきたといえる。

APAの場合、性能基準はOSBについて確立されてきた経緯があるが、この基準は同時に合板やLVL, Com-Plyについても当てはめることになる。構造用パネルとしてのOSBの性能基準を決める場合には、北米における2×4工法の床や屋根あるいは壁材料に使われた時の荷重、あるいは実際の建築中においては雨で濡れる場合を考えて、湿潤状態での強度性能についても考慮して設計されてきた。

性能基準については通常二つの判断が下される。一つはテストによる認定、もう一つは実際に一定の性能のものが生産されているかどうかという品質検査である。テストによって性能を認定する際には、実際の使用状況に合わせた実験室レベルでの強度試験を行うことになっている。この中には積雪荷重を想定した均等荷重試験や住宅内での使用状況、例えば椅子や机の足から負荷される荷重を想定した集中荷重試験や、根太間隔を想定して負荷する強度試験が含まれている。この際、基準となる強度は実際の使用状況で求められる値がベースになっている。同じ様な趣旨で、地震や風力による影響を考慮した壁のせん断試験が行われる。また、湿潤時での強度試験あるいは寸法変化の評価も重要になってくる。

要約すると、性能基準を根拠とする有利性は、①種々の製造方法の導入が可能となり、したがって現場から材料に要求される性能が提案され、それに合った材料を開発していくことになる。②性能基準では、同じ性能が対象となる製品すべてに適用されるが、製造基準によると製造する手段を規定しているため、対象の製品について制限的にならざるを得ない。③全ての性能値を包含した製品表示を行うことができることで、消費者に対しての説明を重視したものになる。

ところで、最近のエンジニアードウッドを取り巻く傾向として、原材料のコストと安定供給、未利用樹種の利用などが挙げられる。さらに、集成材、I型ビーム、トラス、LVL, Com-Ply, OSB, PSL, ESL, OSBを表面に使用したフォームコアパネルなど、多くの種類の製品が次々に現れていることも指摘される。これらの状況に対して、

スピーディーに判断を下すことが要求されてきており、性能基準でしか対応が困難になってきている。性能基準のもう一つの特徴は、公開されていない製造方法でも製品の性能さえ満足すれば認めるところにあり、これは新しい技術の発展の促進にもなる。LVLの性能基準に関しては、目下ASTM, APA, AITCから草案が提出されてきており、今後性能基準が設定されれば、比較的簡単なビルディングコードを認めることも可能で、建築家がデザインするときにユニホームな基準の設定が可能となってくるであろう。

なお、北米を中心に確立されてきた性能基準の考え方に関しては、日本でも強い関心が持たれており、木質ボードの湿潤状態での強度の取り扱い、施工後に雨で濡れた場合の釘の保持力の問題、長期使用に対する耐久性の評価方法などについて熱心な討議が行われた。

パネル討論会 (III) 機械装置とプラント

1) ラウテのLVL製造プラント

住友商事(株) 荻田健二氏

現在、ラウテのレースは世界に600台、速度も300 m/min という驚異的な速度のレースもあり、またプレスラインも世界に200ほど、またこのLVLについては8ライン、それぞれ5~7名で運転している。LVLは1940年代に飛行機のプロペラやストラクチャー及び曲がり部分に使用され、フィンランドではすぐに応用が家具の方面に向けられた。一方、構造用LVLの対抗商品である集成材は、接着剤の開発とともに工業製品として変わってきた。1868年にUSAFPLで構造用LVLの研究が始まり、1972年にTJIのマイクロラムの生産が始まった。一方、フィンランドではメタセラ合板会社(現在は、フィンフォレスト社)が、1973年にラウテ社と共同開発の形でスタートしている。1975年にパイロットプラントの建設が始まり、翌年稼動、1978年に商業生産が開始された。その後そのプラントはオーストラリアに売却し、1986年に全自動のレイアップが可能ラインが入っている。LVLの製造ラインのコンセプトは、合板のそれとほぼ同じである。

パイロットプラント (Pappa-Model) の能力は

9千～1万5千 m^3 /年、レイアップは手で行い、スカーフまたはバットジョイントを使用、グルーイングは両面塗布を採用し、当然クロス板を入れることも可能である。造作用を目的にしたユリア樹脂も使えるようになってきている。幅が約4～6フィートの単板を使用し、薄い表面板を使用することもできる。現在、ホットプレスの開口部が一つである1オープニングラインの生産能力は9千～1万5千 m^3 、2オープニングラインは2万～4万 m^3 である。マルチオープニング（開口部が4）ラインは机上のものである。現在、2オープニングラインが主流になっており、フィンランド、USA、日本に納入され、2万～3万 m^3 /年の生産能力を有している。自動レイアップで、スカーフジョイントを採用し、コアだけはバットジョイントとしている。グルーはUSA以外はすべてエクストルーダー（押出し）を使用し、USAのマイテック社だけはスプレー方式を採用している。

ラウテのLVLシステムの実績としては、

IPL社（オーストラリア）1976年

メタセラ社より移設。ラジアータパインを原料。5千 m^3 /年

METSA-SERLA社（フィンランド、現在フィンフォレスト社）1980年、1986年

プレス長が14mとなり、全長23mの構造用LVLを製造している。スプルースを原料。

MITEK社（USA）1985年 プレス長が24.8m。

基本的にはプレス長を長くすることは可能で、製品の長さには限度がないが、運搬に問題があり、24m以上は不可能である。

KEIOU社（日本）1990年 16mの2オープニングプレスラインで、樹種は特定しないで、ダグラスファー、ヘムロック、ラジアータパイン、サザンパインなどについて現在テスト中。

TEMBEK社（カナダケベック州）1991年

24mライン。樹種はアスペン。

ルイジアナパシフィック社 開発機種で、本年夏に稼働の予定。厚物の構造用LVLを製造するため高周波プレスとホットプレスを組合せている。現在150mm厚のものが製造可能。

METSA-SERLA社で製造したスプルースの

LVLについてみると、曲げ性能は高く、集成材に比べても非常に良い数字がでていいる。また、製材品に比べると、木材の欠陥、例えば生節、死節、繊維の潜り込みなど強度的に弱いものが、スライスして重ね合わせることにより分散されるとともに、強度のばらつきが小さくなる傾向がある。

なお、同じ樹種でも産地により材質が大きく異なる場合もあるので、ラウテ社では提供された原木で試験的にLVLを製造してテストサンプルを作るとともに、フィンランドの大学との関係も深いので種々のデータも提供できる。現在、ラジアータパインについて検討されており、節の問題もあるが、ルーズとタイトが交互にくる単板を暴れさせずに一度に大量のものをいかに高速で乾燥できるかについてのデータを集積しつつある。

2) ジンベルカンパ社木質ボードの現状と新開発技術

ジンベルカンパ社 Paul Niedermaier氏

ジンベルカンパ社は100年以上の経験を有し、世界55カ国に600の納入実績を持ち、研究・開発を活発に行っている。ここでは連続プレスと蒸気インジェクションプレスについて紹介する。

(1) 連続プレス「Contiroll system」

長年にわたる多段プレスの製造を通じて得られたプレスフレーム、油圧・水圧シリンダー、プレステーブル等に関する設計技術を生かして、1977年に連続プレス「Contiroll system」の第1バージョンが欧州に導入された。現在、他社の連続プレスも含めて世界に約60台稼働あるいは建設中であるが、その内稼働中の37台が当社の製品であり、さらに10台が製作あるいは据え付け調整中である。

Contiroll連続プレスは、プレスフレーム・サポートビーム、プレスフレーム、熱板、ローリングロッド・ヘッド及びエンドレススチールベルトから成っている。とくにプレスコンポーネントは、すべてプレスフレーム・サポートビームの中に内蔵され、プレスの動応力を完全に吸収するように設計され、耐力基礎は不要である。プレスフレームは油圧プレスラムと熱板を保持し、駆動ドラムとスチールベルトが常に適性な位置をとるように調整するベルトトラッキング装置がプレスの各端、上部、下部に付いている。固定・可動熱板とスチールベルト間にはローリングロッドのヘッド

がある。本装置で発生する摩擦は非常に僅かで、注油の必要はない。また、帯状に加熱・加圧する方法が採用され、各ゾーン毎に個別に調整可能である。油圧ラムは、プレス全長を通じてフレーム毎に調整できるが、同時にフレーム内の圧力グループに組み入れられ、プレスの幅や長さを通じて正確な厚さ調整が可能である。さらに、上下層を同等の熱および圧力とすることによりバランスの良いボードとなる。

Contiroll 連続プレスの長所の一つは、単段または多段プレスでのチャージングで生じるデッドタイムを短縮できることである。通常、ボード厚が薄いほど多段プレスの総サイクル時間に占めるデッドタイムの割合が大きく、その結果生産能力が低下する。連続プレスはこのデッドタイムがないので、厚さが薄いボードでも生産率が一定であり、効率良く生産できる。また、厚さが3～40mmのフルレンジのボードが製造できる。その他、原料の配合から熱圧までの時間を常に一定に保つことができ、樹脂・含水率等を最適かつ一定に保つ結果、品質のばらつきが最小となる。また、マットの圧縮率を調整することにより、独特の厚さ方向の密度分布をつくる。最適のプレキユア時間とすることにより、サンディング量が減少する。側面のトリミングの最小化が可能であるとともに、クロス方向のトリミングが不要で、1～3%以上の節約ができる。技術的最適条件により、物理的特性が同じ製品でも密度が低い(3～5%減)ボードが生産可能である。ボード幅の変更も容易にでき、市場のニーズに細かく対応できるなどの特徴がある。

(2) 蒸気インジェクションプレス

従来の熱板方式のプレスでは、厚物パネルを経済的に製造する能力に限界があったが、このプレスの開発により解決された。蒸気プレスでは、蒸気により熱エネルギーを速くかつ効率良く供給できるので、蒸気をマットに噴射すると、温度が瞬時に上昇し、熱硬化性樹脂が急速に硬化する。したがって、プレスサイクルが非常に短い。このプレスの可能性は、当社の試験工場および6カ所の生産プラントで実証済みで、OSB、パーティクルボードおよびMDFなどの厚物パネルの生産に向い

ている。

蒸気インジェクションプレスの熱板には、マットに蒸気を噴射するための穴があり、適正な蒸気分配を可能にする上側熱板用吊りスクリーンとマットをプレスに運搬するとともに蒸気分配用の下側スクリーンとがある。このプレスでは、高度のマイクロプロセッサシステムにより、油圧、クロージング速度、リアルタイムモードでの蒸気インジェクションタイミングなどの機能が適正に制御されている。

このプレスの特徴として、①プレス時間が短いこと。例えば、19, 40, 90mm厚 MDF では、25秒のデッドタイムを含めてそれぞれ54, 90, 114秒であり、従来のプレスでは40mm厚で約16分かかっていたのに比べてかなり短縮されている。②瞬間加熱によりボードの厚さ方向の密度が均一である。③密度が低いにもかかわらず、従来のMDF並の特性をもつ。④100mm厚以上の極厚ボードの製造に適している。⑤ラッカー塗装に向く表面の硬度が高いボードが製造可能。⑥サンディング量が、片面につき0.2mm程度と非常に少ない(従来は両面で3mm必要)。⑦エネルギー消費量が少なく、必要熱容量は従来の80%である。⑧特殊な接着剤は必要ではない、などが挙げられる。

3) 木質系材料の製造におけるシステム制御技術 メジャレックスジャパン(株) 佐藤勝久氏

国内の木質ボード製造プロセスでは、エレクトロニクスの進歩により重量や水分制御など部分的な自動化が進められているが、コンピュータを駆使したトータルな制御、品質や生産管理などの面は他業界に比べて遅れている。

プロセスの計測としては、圧力、温度、スピード、回転数流量、レベル等があり、計器レベルでの下位ループ制御に使用される。木質ボード製造プロセスでは坪量センサと水分センサがあり、連続プレスである場合は、プレス後の厚みを直接計測するキャリパ・センサが制御及び品質管理上有効である。これらのセンサをベースとしてSCC(スーパーバイザリコンピュータ・システム)ループとしての重量制御と水分制御が確立される。さらに目標値最適化制御、処理量最大化制御、グレードチェンジ制御等がある。

センサによる品質計測は、SCC ループの基礎であり、またその計測精度が重要である。センサとしては、①センサ自身の安定性(低ノイズ)、②環境条件に適している(長寿命及び保守性)、③自動標準化機能を備えている(ダート堆積、温度変化に対する補償機能)、④安全性(放射能及びX線に対する安全性)、⑤真の代表値計測をするためのゲージプロセッシング技術をもつ、ことなどが条件である。

坪量センサ：超高濃度のアメリカシウム線源を使用し、アイオンチェンバー、すなわち電磁箱でワイヤーとボードを一緒に測り、ワイヤーの重量を差し引いてボードの重量を求め、電圧をアンプを通してパルスに変えて測定値とする。小測定スポットサイズによりストリーク測定能力に優れ、3点標準化法により塵、堆積、線源減衰等による測定誤差を排除している。ユニバーサル・キャリブレーション (UNICAL) により、全銘柄に渡り、単一キャリブレーションが、また独自のデジタルデータ処理により、測定経路100%計測が可能であるなどの特徴をもつ。

水分センサ：ボード表面に赤外線を照射し、反射してきたものをビームスプリッターで分け、基準となる波長 $1.8\mu\text{m}$ と水分によって影響される波長 $1.9\mu\text{m}$ での信号の強さの比から含水率を測定するものである。固定式の水分センサが用いられているが、幅方向の水分のばらつきが測定できるような小型のスキヤニングセンサを取り付け可能であろう。

キャリパ・センサ：連続プレスなどでボードの厚さを連続的に測定できる。ボードの上部にあるオシレータでパルスを出し、ボードの下部にあるレーザを用いて磁界の減衰からボードの厚さを計測するもので、エバーベアリングにより非接触型である。密度や化学組成に影響されず、ボードのフラッター、温度変動、速度変化、静電気及びシートアングルの反りなどにも影響されないし、機械的なミスライメントは自動的に補正される。

木質ボード製造プロセス制御での最大の課題は、原材料の急激な変化に対応した制御を行い、製品の品質変動を最小限に抑えることにある。そのためには従来の下位ループ制御及び坪量制御や水分

制御等の単独ループのフィードバック制御から DCS を含むコンピュータ計測制御システムによる各制御ループ間の非干渉制御及びデッドタイム、遅れ時間を考慮したフィード・フォワード制御、協調制御等を基本としたトータル制御が必要である。制御としては、①スキヤニング重量センサで計測したプリプレス後のマットの重量とシャイブオフ後の水分センサで計測した値を同期させて測定誤差を排除した絶乾重量を求め、この値をフィードバック値とし、オペレーター入力あるいは登録された目標値と比較、エラー分を操作端に出力して制御する絶乾重量制御、②ブレンダ後の水分センサで計測した値をドライヤ温度でフィードバック制御する水分制御、③レジンあるいはワックス等の添加比率制御、④シェイブ・オフ・ロールのレベルを時間的協調及び干渉変数に対する協調を考慮して、スピード変更による製品品質変動を最小にするための協調スピード変更制御、⑤ホットプレスのデッドタイムを最小にするための生産量最大化制御、⑥銘柄替えによる規格外品を最小にするための協調グレード変更制御、⑦その他、自動リジェクト制御、ダイジェスタ制御、リファイナ制御等がある。また、分散型コンピュータ制御システム (DSC) の採用により製造工程のシステム化が完成、さらに統計的品質管理 (SPC)、統合生産管理 CIM 化へと発展する。

現在、木質ボード業界が抱えている良質の原材料の確保及び他業界と同様の 3 K による人手不足等の諸問題に対する対策として、コンピュータ・システムによるトータル・プロセス制御の導入の要求が増すものとみられる。

文責：今村祐嗣 (京大・木質科学研究所)

梶田 熙 (京都府立大学農学部)

