

製材をたたいて選別する

藤原拓哉

はじめに

木材をたたいたときに発生する音によって、製材品の等級区分をする装置を林産試験場と株式会社岩崎が共同で開発しましたので、紹介いたします。

この装置は「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」に規定された機械等級区分製材を生産するためのもので、一般的に行われている目視による等級区分を自動化するためのものではありません。機械等級は目視等級と対応しているわけではなく、同じ機械等級がつけられた製材品であっても、目視等級ではそれぞれ別の等級に格付けされる可能性があります。

等級をつける理由

製材品の主要な用途は住宅などの建築材です。特に構造材として用いるのであれば、どれだけの強度を持っているか保証する必要があります。ここで注意しなければならないのは平均値を用いないということです。強度の平均値に対応する力を加えた場合、ほぼ半数が破壊をおこしてしまいます。通常は破壊するものが5%以下になる強度を用います(図1)。この場合、弱いものによって強度が決定されてしまうことになり、強度のバラツキの大きさが問題になります。バラツキが大きいということは、平均値からかけ離れて弱いものを含むということでもあるからです。製材品は他の建築材料に比べ強度のバラツキが大きいので、樹種で

ひとまとめにしてしまうと、非常に低い強度が設定されてしまいます。そこで、一つの樹種であっても強度と関係がある「何か」に着目してグループ分けし、グループごとに強度を設定するというのが合理的であるといえます。

見た目で判断することの問題点

さて、強度と関係がある「何か」と書きましたが、手っ取り早いのは見た目で判断できるものです。このように、製材品の外観により行う等級区分を目視等級区分といいます。通常はこの目視等級区分が行われていますが、問題がないわけではありません。合理的なグループ分けができないことです。確かに節が大きいものよりも小さなもののほうが強いという傾向は見られますし、年輪幅が極端に広いものが弱いという傾向も見られます。しかし、節の大きさ、割れの長さ、年輪幅などと、強度の相関はそれほど高くありません。この原因として、単純な測定と基準の設定しかできないことや、強度への影響は樹種によって異なるにもかかわらず、すべての樹種に対して同じ基準としなければならないこと、外観でしか評価しないため、製材品の内部についての情報がほとんど得られないこと、などが考えられます。このため、等級区分をしても等級内での強度のバラツキが大きく、等級が異なっても出現する強度の重なりも大きくなります(図2)。

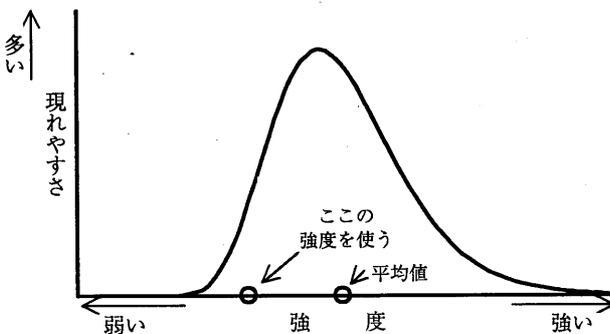


図1 強度の決め方

力をちょっとかけてみると

では、外観に替わるものとは何でしょうか。図3は曲げ破壊試験を行ったときの力とたわみの関係を示したもので、実線A、Bの樹種、断面、試験の条件は同じです。力を縦軸にとっていきますから、高いところまで伸びているAの方がBよりも強いことを表しています。横軸には中央でのたわみをとっています。AとBの違いを探してみると、直線部分の傾きはAの方がBよりも大きくなっていて、同じ量のたわみが生

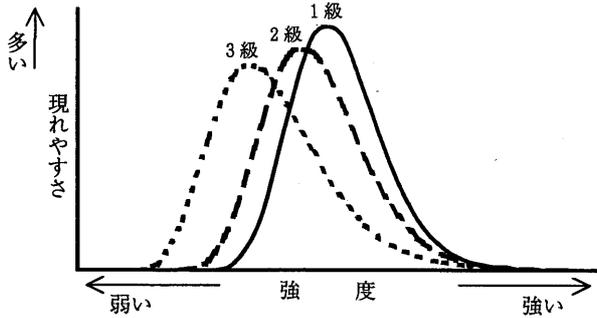


図2 目視ではうまく分けられない

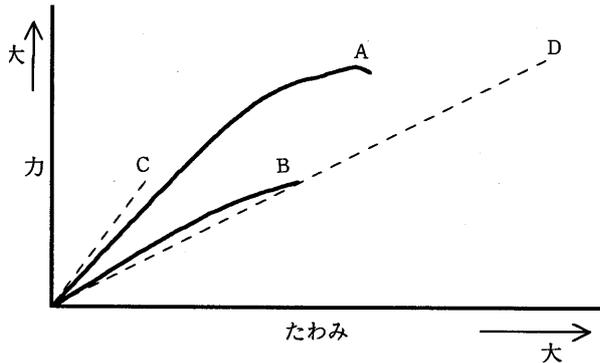


図3 力とたわみの関係

じるときの力もAの方がBよりも大きくなります。また、傾きが大きく弱いもの(点線C)や、傾きが小さく強いもの(点線D)はほとんど見られませんが、直線部分の傾きと強度が関係しているということがわかります。この傾きの大きさがヤング係数と呼ばれるもので、ヤング係数が大きい材料ほど、同じ力を加えたときの変形は小さくなります。ちなみに、ヤングというのはイギリス人の学者の名前に由来しています。

「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」の機械等級区分は、このヤング係数と強度の関係を応用したもので、曲げ試験による測定方法が規定されています。この方法では製材品の破壊がなく、かつ、力とたわみの関係が直線部分に収まる大きさの力を加えて行います。ヤング係数と強度の相関は目視等級区分に用いる因子と強度との相関よりも強く、機械等級区分では細かな区分も可能になり、目視等級区分では得られない極めて高い強度を持った製材品を選び出すこともできます。表1に許容応力度という構造計算のときに使われる強度を示します。なお、ヤング係数と強度との関係は木材独特のものです。

表1 エソマツ・トドマツの長期曲げ許容応力度

目視等級	機械等級	許容応力度 (kgf/cm ²)
1級	E150	165
	E130	130
2級	E110	100
	E90	95
3級	E70	70
	E70	55
		35

音でヤング係数をはかる

力をかけ、それによって起こる変形を測定しなくてもヤング係数を知ることができます。音を用いる方法です。音というのは空気の振動で、何か振動している物体があると、この振動が空気の振動となります。つまり、音を測定することにより、音の発生源となった物体の振動について知ることができます。棒状の物体が長さ方向に伸び縮みする振動は縦振動というもので、縦振動の振動数とヤング係数の間には次のような関係、

$$\text{ヤング係数} = (2 \times \text{物体の長さ} \times \text{振動数})^2 \times \text{密度}$$

がありますから、長さや密度、そして振動数がわかればヤング係数を計算することができます。このことは古くから知られていましたが、国内で木材への適用が注目されるようになったのは、ここ10数年ほどのことです。縦振動を起こすのは容易で、製材品の木口をかなづち等でたたきただけでよく、たたき強さは振動数に影響しません。振動数は音をマイクロホン等によってとりこみ、フーリエ変換という計算をすることによって知ることができます。

打撃音によるヤング係数の測定が曲げによるヤング係数の測定よりも優れている点として、断面の大きさによる制約がないことがあげられます。曲げの場合、同じ力を加えても、断面の大きなものほどたわみが小さくなります。たわみがあまりにも小さいと測定精度が落ちてしまうので、断面が大きいものほど大きな力を加えて、たわみを大きくしなければなりません。打撃音の場合には断面の大きさが変わっても、同じように測定できます。また、ねじれや曲りなどの狂いがあると、曲げでは正確な測定ができない恐れがありますし、たわみを正確に測定するためには、表面が平滑である方が望ましいので、実用上、プレーナー仕上げを行った製材品に限られてしまいます。一方、打撃音による測定は狂いや表面の状態の影響を受けません。

しかし、打撃音によるヤング係数の測定には弱点も

あります。マイクロホンを使うので、周囲の雑音を拾ってしまうということです。これについてはマイクロホンをできるだけ製材品の近くになるように設置することにより、雑音の影響を少なくすることができます。また、材長などから打撃音の振動数の範囲をあらかじめ絞り込むことができますから、範囲外の振動数が得られた場合には異常であると判断できます。もうひとつは振動を妨げないように配慮しなくてはならないことです。振動が妨げられると振動数がわかりにくくなったり、本来の振動数とは異なるものになったりします。

さらに注意すべき点として、打撃音法では曲げによる方法と同じ値のヤング係数が得られるわけではないということです。樹種や断面の大きさによって異なりますが、打撃音によるヤング係数は曲げヤング係数の1.1~1.2倍になります。図4はエゾマツ・トドマツ正角材の曲げヤング係数と打撃音によるヤング係数の関係を示したものです。この図からわかるように、両者の相関は非常に強く、この関係を利用して打撃音によるヤング係数から曲げヤング係数を高い精度で推定することができます。

装置の開発 - 1号機 -

1号機は林産試験場単独で設計、製作しました（写真1）。この装置の上には傾斜がつけられており、製材品はその上を自重によって滑り降りることで移動するものとしました。これは動力を空気に限定し、製造原価を引き下げするためです。その他の特徴は以下のとおりです。

寸法の測定に非接触で測定できる赤外線距離センサーを使用した。

重量の測定にビーム型ロードセルを使用した。

打撃音の測定には市販のFFTアナライザーを使用した。

ヤング係数の計算、および等級の判定はパーソナルコンピューターで行うこととした。

打撃に先立って、打撃面の位置決めを打撃用ハンマーで行うこととした。

打撃用ハンマーが振動を拘束しないよう、打撃用ハンマーをエアシリンダーのロッドへ間接的に取り付けた。

なお、選別機構も設計しましたが、製作はしておらず、等級の判定結果はパーソナルコンピューターのディスプレイ上のみ出力されます。

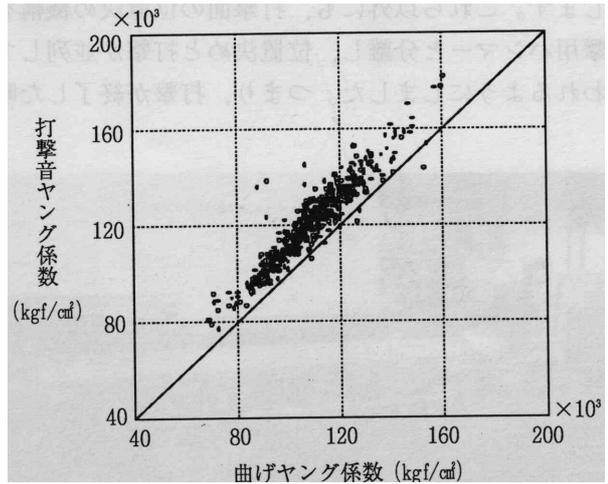


図4 曲げヤング係数と打撃音ヤング係数の関係

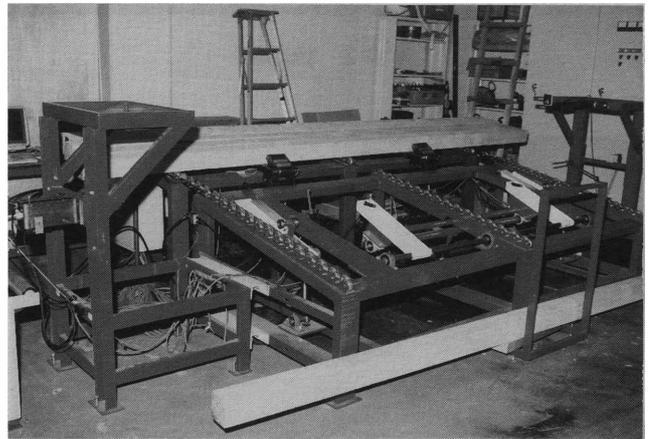


写真1 1号機

1号機は申し分のない精度を持っていましたが、問題点もありました。動作が遅く、動作の確実性に欠けていることです。よって1号機を踏襲しながら、動作の速度と確実性の向上を重視して、2号機を設計、製作しました。

装置の開発 - 2号機 -

2号機における最大の変更は製材の移動用にチェーンコンベアーを導入したことです。これにより速度が向上し、動作も確実なものになりました。さらに、1号機では打撃音の測定に市販のFFTアナライザーを用いていましたが、この部分に関してパーソナルコンピューターで行うようにしました。この変更はFFTアナライザーの価格分の製造原価を引き下げるだけでなく、測定した打撃音にさまざまな処理を施すことができるので、打撃音の異常を検出する能力が向

上します。これら以外にも、打撃面の位置決め機構を打撃用ハンマーと分離し、位置決めと打撃が並列して行われるようにしました。つまり、打撃が終了した時

点で、次の製材の位置決めも終了していますから、直ちに打撃に移ることができ、製材品1体当たりの処理時間は同じでも、一定時間に処理できる製材の数は増加します。判定結果の出力にはマーキングスプレーを採用しました。2号機の動作を写真2～6に示します。

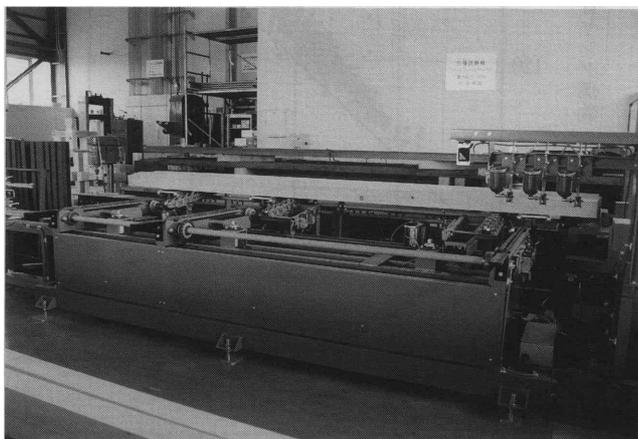


写真2 始動前

認定が必要

ところで、機械等級区分製材を生産するためには、認定を受けた等級区分装置を使用する必要があります。認定は社団法人全国木材組合連合会が行うことになっています。今回開発した打撃を利用した装置（E f装置とされています）の場合、樹種と寸法が限定された認定となります。認定の適合基準を以下に引用します。

樹種別、寸法型式別に選定した20体の試験体がそれぞれ下記のアおよびイの基準をみたしていること。

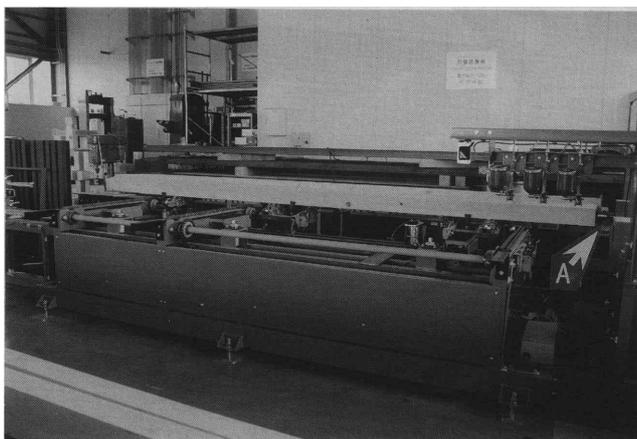


写真3 打撃面の調整
Aが製材を左へ押す

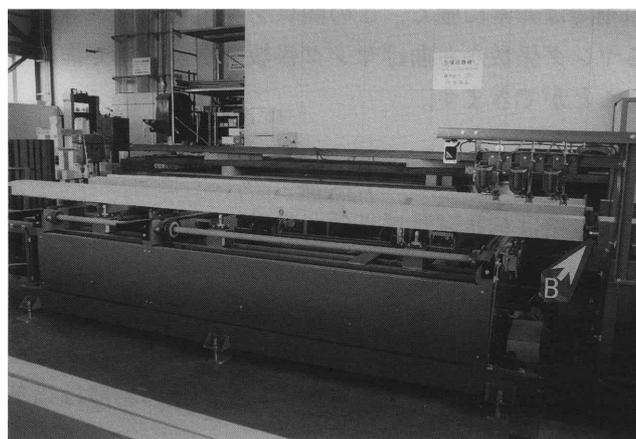


写真5 打撃
ハンマー-Bで製材をたたく

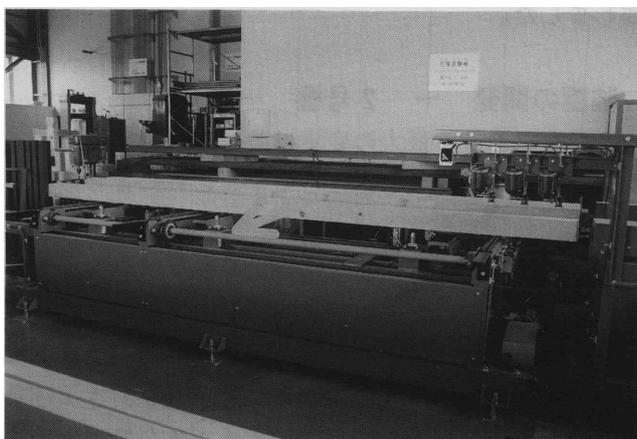


写真4 試験材の移動



写真6 測定終了

ア．E f 装置の再現性

E f 装置により試験体1体につき20回計測した試験データに基づき下記の式により計算した数値がいずれの試験体にあっても5%以下であること。

$$\frac{\text{最大値} - \text{最小値}}{20\text{回計測した平均値}} \times 100 (\%)$$

イ．E f 装置の計測精度

下記の式により算出した数値がいずれの試験体にあっても±5%の範囲にあること。

$$\frac{E f - E x}{E x} \times 100 (\%)$$

E f : E f 装置により20回計測した曲げヤング係数
(材料試験機により計測する曲げヤング係数と対比し得るようあらかじめ実施する試験データに基づいて換算される曲げヤング係数をさす)の平均値

E x : 材料試験機により計測した曲げヤング係数

今回開発した装置は、まだ認定を受けていませんが、この基準を満たしているか確認してみました。試験体として用いたのはエゾマツとトドマツの105×105×3,650mm正角材です。再現性と計測精度の両方で適合基準を満たしていました。

おわりに

これまでの一般的な木造建築は熟練者の経験により成り立っていたといえますが、大型の木造建築の登場、あるいは消費者の地震に対する安全性への関心の高まりなどに対応しきれるとは思えません。何らかの工学的な手法の導入が必要となり、材料の供給者には材料の強度のバラツキをおさえ、信頼性を向上させることが要求されます。機械等級区分の導入は製材品の強度の信頼性を向上させる最も有効な手段であると思いません。

(林産試験場 材料性能科)