

ヤング係数のはかり方

性能部 構造・環境グループ 藤原 拓哉

■はじめに

筆者は2020年に開校した北海道立北の森づくり専門学院（略称：北森カレッジ）の外部講師を仰せつかり、2020年、2021年の2年間（1年につき、1回90分だけでしたが）務めさせていただきました。担当科目は木材の特徴や用途、製材品の種類や特徴、加工方法などについて学ぶ木材加工で、その中でも木材の強度特性について担当しました。講義は座学だけではなく、実験・実習を取り入れるようにというリクエストがありましたので、ヤング係数の測定を行うこととしました。本稿では、この講義の中で行ったヤング係数の測定について紹介いたします。

○ヤング係数とは

ヤング係数とは何かというと、力と力にともなう変形の大きさの関係を表す値で、変形が小さいほどヤング係数が大きくなるので、変形しにくさを表す値であるといえます。さらに木材の場合、ヤング係数は強度（破壊に必要な力の大きさ）と関連が強いので（図1）、強度の指標となり得ます。特に単独で用いる場合、密度（比重）や節径などの他の指標と比較して、最も精度の高い結果が得られます。

ヤング係数の測定方法は大きく分けて2通りあります。1つは定義どおり、力を加えて変形の大きさを測る静的な方法です。もう1つは振動を利用した方法で、木材を叩いて振動させ、1秒間に振動する回数や、木材を叩いて発生した波動が木材中を伝わる速度に基づく動的な方法です。前者については、木材が大きくなると大がかりな装置が必要となりますし、形状が一樣な角柱や円柱でないとヤング係数の計算が困難になるという問題があります。これに対し、後者

では断面の大きさや形による制限が少ないという特徴があります。振動数を測定する方法では木材の振動数を空気の振動数、すなわち音の周波数（音の高さ）として捉えることができます。音をマイクで収集し、分析することは、今どきのパソコンやスマホで十分に対応できるので、専用の装置は必須ではありません。一方、速度を測定する方法は特殊な装置を必要とします。講義では静的な方法として、おもりで曲げ変形させる重錘载荷法と動的な方法として叩いて発生した音の周波数を測定する打撃音法について紹介しましたが、実習は時間の制限もあって、丸太にも適用できる打撃音法のみとしました。

○重錘载荷法の手順

用意するもの

- ・おもり：測定対象によって変わります。今回は重量が3kg程度の鋼材を2つ使いました。
- ・ダイヤルゲージ：測定対象によって変わります。今回は測定精度0.01mm、測定範囲0～30mmのものを使いました。
- ・角材、またはウマ（建築工事現場で使われる作業台）等：支点として使います。
- ・メジャー：支点位置、おもりを載せる位置、ダイヤルゲージを当てる位置の調整に使います。
- ・ノギス：試験体の断面寸法の測定に使います。

手順1：試験体の厚さの14倍以上を目安に、支点の位置を調整します。

手順2：支点の中間部分にダイヤルゲージをセットします。

手順3：支点上に試験体を載せ、中央におもりを1つ載せます。試験体にガタつきがあれば、支点にクサビをかませるなどして、ガタつきを抑えます。

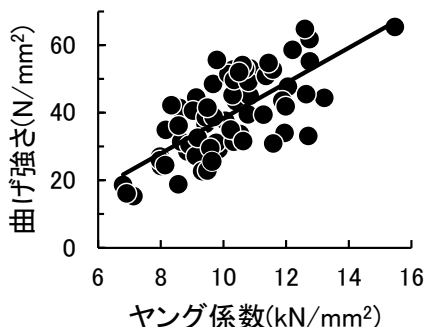


図1 ヤング係数と強度の関係（トドマツ206材）

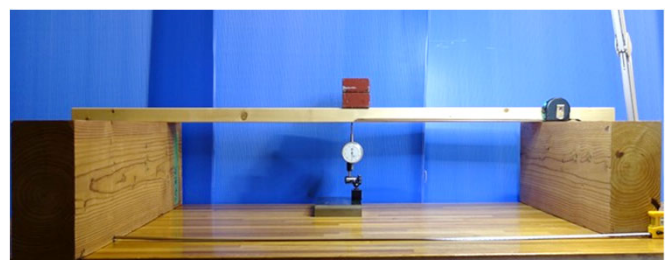


写真1 重錘载荷法によるヤング係数の測定

手順4：ダイヤルゲージ外周のリングを回し，針が0を示すようにします。

手順5：おもりを追加し，ダイヤルゲージの値を読み取ります。

手順6：次の式でヤング係数を計算します。

$$E = \frac{9.8 \times W \times L^3}{4 \times b \times h^3 \times y} \div 1000$$

この式では， E ：ヤング係数（キロニュートン毎平方ミリメートル，またはギガパスカル。以下， kN/mm^2 ）， W ：追加したおもりの質量(kg)， L ：支点の間隔(mm)， b ：材幅(mm)， h ：材厚(mm)， y ：ダイヤルゲージの読み(mm)を表します。

写真1に示した実施例では追加したおもりの質量=2.69kg，支点の間隔=1,000mm，材幅=89mm，材厚=38mm，ダイヤルゲージの読み=0.16mmでしたので，ヤング係数=8.43 kN/mm^2 が得られます。

○周波数分析アプリケーションソフト

音の周波数を分析するアプリケーションソフトは多数ありますが，講義では「HandyOscillo Ver.1.25」というフリーソフト (<https://www.vector.co.jp/soft/win95/art/se376225.html>) を使いました。これは汎用的な計測器であるオシロスコープを模したもので，とっつきにくい面もありますが，ヤング係数の測定に適した以下の機能を有しています。

- ・リアルタイムで処理できる

打撃音を収録すると，直ちにその周波数の分析と結果の表示が行われるので，測定をスムーズに進めることができます。

- ・レベルトリガ

ある程度大きな音を拾ったときから収録を開始するようにすれば，打撃音を的確に拾い出すことができます。HandyOscilloには，このレベルトリガと呼ばれる機能があります。

- ・ピーク周波数表示

打撃音法で必要なのは打撃音に含まれる音のうち，一番強い音の周波数です。HandyOscilloでは一番強い音の周波数を探し出して表示する機能があります。

○打撃音法の手順

用意するもの

- ・はかり：試験体の重量を測定します。
- ・メジャー：材長を測定します。
- ・ノギス等：断面の寸法を測ります。
- ・クッション材：振動を妨げないようにするために，試験体はスポンジ等の柔らかいものの上に置くよう

にします。

- ・パソコン：マイクロホンが使える，HandyOscilloがインストールされているもの

なお，アプリケーション以前のデバイスレベルの設定についてはハードウェア，OSによってまちまちなため，設定方法について省略します。

手順1：HandyOscilloの設定を行います。メニューで「設定変更」→「デバイス，周波数...」と選択し（図2），条件設定ウィンドウ（図3）を表示し，サンプリング周波数，窓関数，トリガ・レベルを図に示したように変更し，「設定」をクリックして，条件設定ウィンドウを閉じます。図4に示すメインウィンド

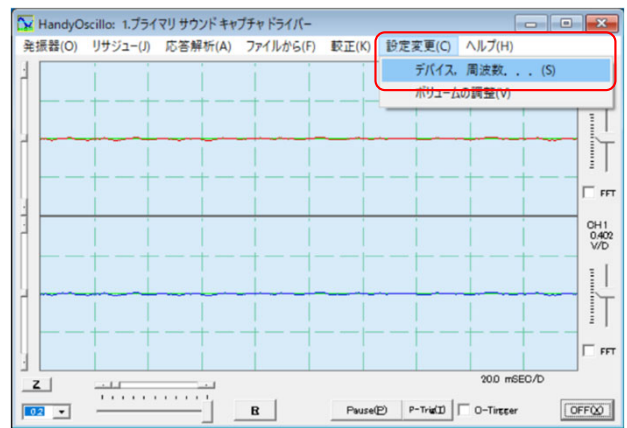


図2 条件設定の呼び出し

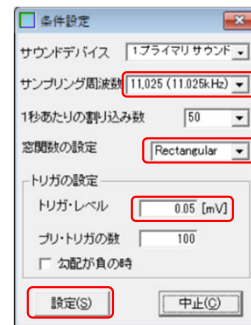


図3 条件設定

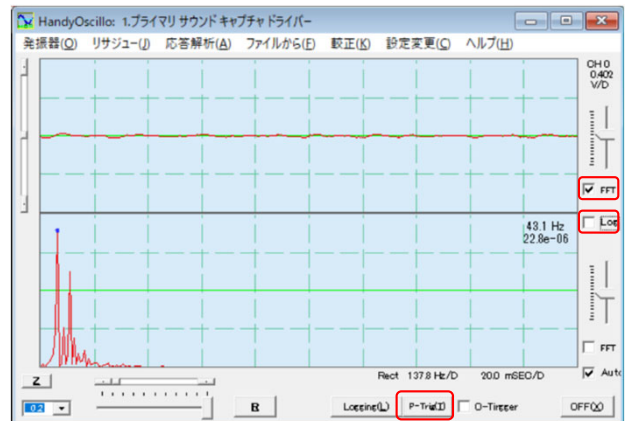


図4 画面表示の設定

ウの上部表示領域の下寄り右隣にある「FFT」にチェックを入れます。すると、下部表示領域のグラフが時間波形から周波数スペクトルに変わります。下部表示領域の上寄り右隣にチェックボックス「Log」が現れるので、そのチェックを外します。

手順2：試験体の材長，断面の寸法，重量を測定します。

手順3：試験体の両端の2か所，または長さ方向の中央1か所に相当する位置にクッション材を置き，その上に試験体を設置します（写真2）。

手順4：「P-Trig」（図4）をクリックします。これは打撃の前に毎回行います。何もしないうちに，測定が終了するようであれば，トリガレベルが低すぎるので，手順1を参考にトリガレベルの値を増やします。

手順5：マイクロホンを試験体の木口近くに設置し，試験体の木口を金づちなどで叩きます。このとき，金づちを叩きつけたりせず，重さにまかせて振り下げ，反発を許すような感じにします。

手順6：トリガがかかると，表示領域が変化しなくなり，下部の表示領域の右上隅に最も強い音の周波数が表示されるので（図5），記録します。

手順7：ヤング係数を計算します。打撃音法ではヤング係数の計算式は次のようになります。

$$E = (2 \times l \times f)^2 \times \rho \div 10^{15}$$

$$\rho = \frac{W}{b \times h \times l} \times 10^9 \quad (\text{長方形断面})$$

$$\rho = \frac{4W}{\pi \times D^2 \times l} \times 10^9 \quad (\text{円断面})$$

この式で， E ：ヤング係数(kN/mm²)， l ：材長(mm)， f ：打撃音の周波数(Hz)， ρ ：密度(kg/m³)， W ：重量(kg)， b ：材幅(mm)， h ：材厚(mm)， D ：直径(mm)です。

この例では断面は長方形で， $W=3.0\text{kg}$ ， $b=38\text{mm}$ ， $h=89\text{mm}$ ， $l=2,269\text{mm}=2.269\text{m}$ ， $f=1162.8\text{Hz}$ でしたので，密度 $\rho = \frac{3.0}{38 \times 89 \times 2269} \times 10^9 = 391\text{kg/m}^3$ ，ヤング係数 $E = (2 \times 2269 \times 1162.8)^2 \times 391 \div 10^{15} = 10.89\text{kN/mm}^2$ が得られます。

図6に原木丸太で測定したヤング係数とそこから一丁取りした製材品のヤング係数の関係を示しました。丸太のヤング係数と製材品のヤング係数は良く対応

しており，ヤング係数が高い製材品が得られそうな原木が分かります。また，1本の原木から複数の製材品を採る場合でも，丸太のヤング係数と製材品のヤング係数の平均値について，同じことが言えます。

ただし，丸太で大径材ともなると，その重量は100kg以上になり，重量測定が難関となるため，重量測定の省略の可能性についても検討されています。

まとめ

北森カレッジでの講義をもとにヤング係数の測定方法について紹介しましたが，教育目的ということもあって，できるだけ既にあるもので済ませようとしているため，効率が良くありません。実務的に行うのであれば，専用機材の導入が望ましいといえます。



写真2 試験体の設置

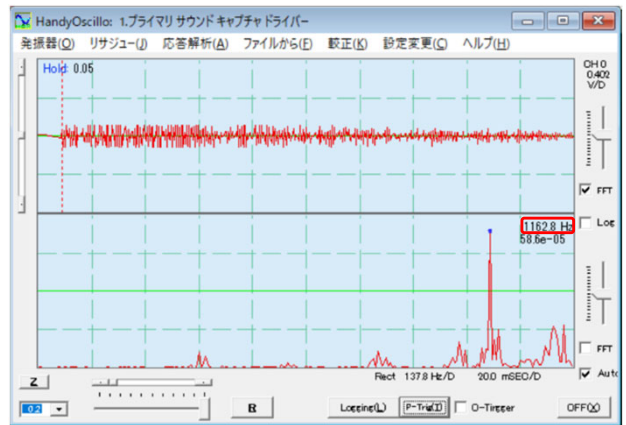


図5 周波数分析の結果

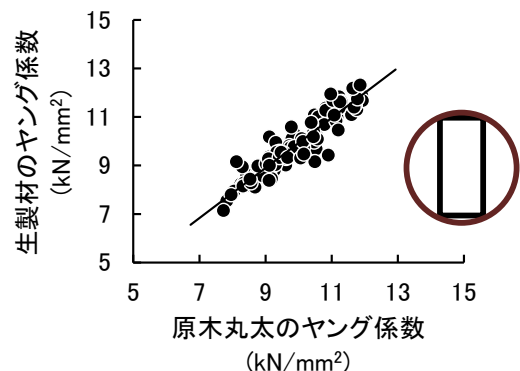


図6 丸太と製材品のヤング係数の関係