

## たわみ振動法を用いた集成材のヤング係数測定方法の開発\*1

中田欣作・梶谷俊郎\*2・竹村嘉城\*3・三田厚志\*4

工場内において集成材のヤング係数を測定する可能性を検討するために、幅105mm、厚さ120～300mm、長さ1800～5985mmのスプルー対称異等級構成中断面構造用集成材194本を用いて、たわみ振動法によりヤング係数を測定し、曲げ試験によるヤング係数との比較を行った。また、たわみ振動法を用いた実用的なヤング係数測定装置を作製し、工場内において集成材のヤング係数の測定を行った。

たわみ振動ヤング係数を測定するためには、支点位置を正確に位置決めするとともに、打撃位置を支点以外の位置とする必要があった。すべての条件の集成材において、たわみ振動ヤング係数と曲げヤング係数は良く一致し、長さの変化および内外層の材質の変化に伴うヤング係数の変化に関して、たわみ振動法では曲げヤング係数と同等の測定が行えることが分かった。たわみ振動ヤング係数は曲げヤング係数より3%高い測定値を示したが、両者の関係より得られた回帰式を用いてたわみ振動ヤング係数の補正を行うことにより、両者は一致した。たわみ振動ヤング係数により決定された集成材の強度等級は、80%の試験体において曲げヤング係数により決定された強度等級と同一であった。

実用的な装置により測定したたわみ振動ヤング係数は実験室での測定値とほぼ同一であり、曲げヤング係数と良く一致した。工場内で集成材のヤング係数を測定する方法としては、たわみ振動法は最も優れた方法であるといえる。

### 1. はじめに

集成材や製材等の各種木材の強度性能を保証するためには、木材のヤング係数を測定して強度等級を決定する必要がある。集成材においては、挽き板ラミナのヤング係数を測定し、各層に定められたヤング係数のラミナを配置することにより製品の強度等級を決定している。一方、製材においては、製品のヤング係数を測定して強度等級を決定している。最近では、集成材においても、製品の正確な品質が求められる機会が多くなり、個々の製品のヤング係数を測定する必要性が高まってきている。

ヤング係数には、測定方法の異なる各種のものがある。集成材および製材の日本農林規格（以下、JASと略す）では、静的な曲げ試験から求める曲げヤング係数を採用しているが、その測定のためには製品の寸法に合わせた曲げ試験機が必要となり装置が大型になるとともに、測定に要する時間も必要である。そこで、曲げヤング係数は工場内での測定には適していないと考えられる。なお、曲げヤング係数では、せん断変形の影響により測定され

るヤング係数が変化するため、JASでは長さを木材の厚さの20倍に統一するなど曲げ試験の条件を統一している。

その他には、木材の木口面を打撃して、その際に発生する打撃音の固有振動周波数から求める縦振動ヤング係数が、製材および素材のJASで採用されており、短時間で各種形状の木材のヤング係数の測定が可能である。縦振動ヤング係数では、木材内部の材質の平均値としてのヤング係数が測定されるため、荷重方向での外側の材質の影響が大きい曲げヤング係数とは異なった値となる場合がある。そこで、製材のJASでは、縦振動ヤング係数を用いる場合には、曲げヤング係数への適切な補正を行う必要があり、樹種毎に両者の関係を測定して補正式を作成している<sup>1)</sup>。集成材では外層にヤング係数の高いラミナを配置するのが一般的であり、縦振動ヤング係数はこのような集成材のヤング係数の評価方法には適していないと考えられる。

同様に短時間で木材のヤング係数を測定する方法として、木材の側面を打撃して、その際に発生するたわみ振動から求めるたわみ振動ヤング係数があり、集成材に対

\*1：本研究は第28回日本木材加工技術協会年次大会（2010年10月）において発表した。

\*2：(株)トータル・ビルダーズ・システム \*3：(株)エーティーエー \*4：内外工業(株)

しても適用できる可能性があることが報告されている<sup>2,3)</sup>。

本研究では、工場内において個々の集成材のヤング係数を測定することにより集成材の強度性能を正確に保証するシステムを構築するために、たわみ振動法を用いて集成材のヤング係数を測定する方法を検討した。また、その検討結果を基にして実用機を製作し、工場内に設置して測定を行い、その実用性について検討した。

なお、本試験は(株)トータル・ビルダーズ・システムからの受託研究として行ったものである。

## 2. 材料および方法

### 2.1 供試材料とヤング係数の測定方法

表1に示す幅105mm、厚さ120~300mm、長さ1800~5985mmのスプルー対称異等級構成中断面構造用集成材194本を用いて、曲げ試験、たわみ振動試験および縦振動試験を行った。

図1に曲げ試験の方法を示す。曲げ試験は東京衡機製造所製実大木材強度試験機を用いて縦使い方向の荷重で

表1 曲げ試験の条件

条件	寸法			曲げ試験の条件 <sup>a)</sup>			本数 (実用機での本数)	
	幅	厚さ	長さ(倍)	スパン(倍)	a(倍)	c(倍)		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(本)	
1	105	120	1800(15)	1560(13)	480(4)	600(5)	5(5)	34 (20)
			2520(21)	2280(19)	840(7)	600(5)	5(5)	
			3000(25)	2280(19)	840(7)	600(5)	11	
			5985(49.9)	2280(19)	840(7)	600(5)	8(5)	
			5985(49.9)	5400(45)	2100(17.5)	1200(10)	5(5)	
2	105	150	2100(14)	1800(12)	600(4)	600(4)	5(5)	31 (20)
			3000(20)	2700(18)	1050(7)	600(4)	10(5)	
			3650(24.3)	2700(18)	1050(7)	600(4)	3	
			5380(35.9)	2700(18)	1050(7)	600(4)	5(5)	
			5985(39.9)	5400(36)	2100(14)	1200(8)	8(5)	
3	105	180	3650(20.3)	3240(18)	1260(7)	720(4)	8	11
			5985(33.3)	3240(18)	1260(7)	720(4)	3	
4	105	210	2200(10.5)	1680(8)	420(2)	840(4)	10	61
			3000(14.3)	2730(13)	945(4.5)	840(4)	10	
			4200(20)	3780(18)	1470(7)	840(4)	15	
			4600(21.9)	3780(18)	1470(7)	840(4)	6	
			5200(24.8)	4830(23)	1995(9.5)	840(4)	10	
			5985(28.5)	5880(28)	2520(12)	840(4)	10	
5	105	240	4985(20.8)	4320(18)	1680(7)	960(4)	8	8
6	105	270	3780(14)	3240(12)	1080(4)	1080(4)	5(5)	26 (15)
			5380(19.9)	4860(18)	1890(7)	1080(4)	5(5)	
			5500(20.4)	4860(18)	1890(7)	1080(4)	5	
			5985(22.2)	4860(18)	1890(7)	1080(4)	6	
			5985(22.2)	5400(20)	2100(7.8)	1200(4.4)	5(5)	
7	105	300	4200(14)	3600(12)	1200(4)	1200(4)	5(5)	23 (15)
			5985(20)	5400(18)	2100(7)	1200(4)	18(10)	
合計								194(70)

a: a: 支点と荷重点の距離、c: 荷重点間距離、倍: 厚さの倍率。

行った。長さが厚さの20倍以上の試験体では、集成材のJASに準拠して、原則としてスパンを厚さの18倍、支点と荷重点の距離を厚さの7倍、荷重点間距離を厚さの4倍としたが、スパンをできるだけ大きくした条件についても行った。長さが厚さの20倍未満では、原則としてスパンを厚さの12倍、支点と荷重点の距離を厚さの4倍、荷重点間距離を厚さの4倍とした。

荷重  $P$  とスパン中央の変位  $\delta$  との関係を測定し、式(1)を用いて曲げヤング係数  $E_B$  を算出した。

$$E_B = \frac{Pa(3L^2 - 4a^2)}{4\delta bh^3 \times 10^3} \quad (\text{kN/mm}^2) \quad (1)$$

ただし、 $L$  : スパン、 $a$  : 支点と荷重点の距離、 $b$  : 幅、 $h$  : 厚さ。

図2にたわみ振動試験の方法を示す。両端自由条件におけるたわみ振動の1次の節の標準位置（両端から  $0.224l$ 、 $l$  : 長さ）で試験体を縦使い方向で支持し、試験体の材中央の上面をプラスチックハンマーで打撃し、同位置において加速度ピックアップでたわみ振動周波数  $f_F$  を測定した。たわみ振動周波数の解析は、エーティーエー社製グレーディングマシン HG-2001を用いて行った。また、試験体を上記と同じ標準位置で支持し、試験体の木口面をプラスチックハンマーで打撃し、リオン社製FFTアナライザー SA-77を用いて打撃音の縦振動周波数  $f_L$  を測定した。

幅105mm、厚さ210mm、長さ5985mmの集成材10本については、支点位置の違いによるたわみ振動周波数の変化を検討するために、支点を両端から100mm間隔で変化させて材中央を打撃した場合について、たわみ振動試験を行った。なお、標準位置付近では支点を50mm間隔で変化させた。また、打撃位置の違いによるたわみ振動周波数の変化を検討するために、支点を標準位置にして、打撃位置を一端から200mm間隔で変化させた場合について、たわみ振動試験を行った。さらに、材長の違いによるたわみ振動ヤング係数の変化を検討するために、材長を両端から100mmずつ切断した場合について、材中央の上面を打撃したたわみ振動試験および木口面を打撃した縦振動試験を行った。

式(2)<sup>4)</sup>を用いてたわみ振動ヤング係数  $E_F$  を算出するとともに、式(3)<sup>4)</sup>を用いてたわみ振動ヤング係数からせん断変形の影響を取り除いた真のヤング係数  $E_0$  を求め、式(4)<sup>5)</sup>を用いて曲げ試験の条件への補正值  $E_S$  を算出した。式(3)中のパラメーター  $T$  は1に近い値であり、初期値1を代入して左辺の  $T$  を求め、その値を次に右

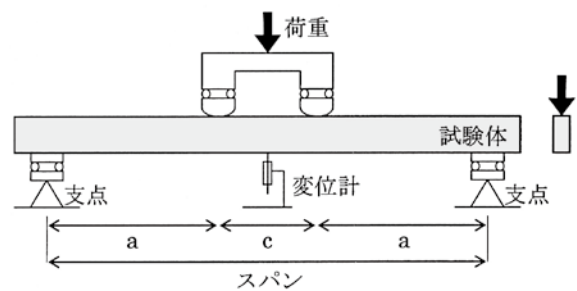
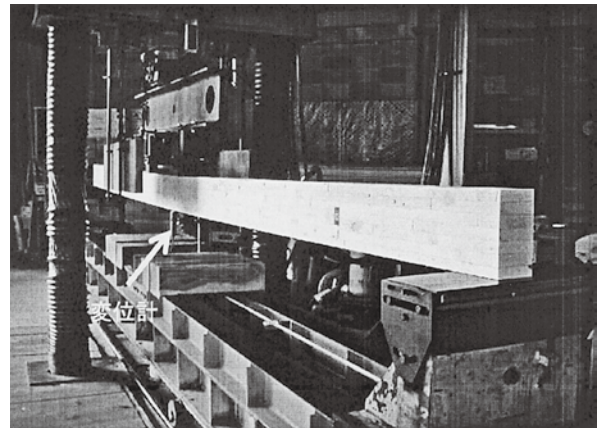


図1 曲げ試験の方法  
(a : 支点と荷重点の距離 c : 荷重点間距離)

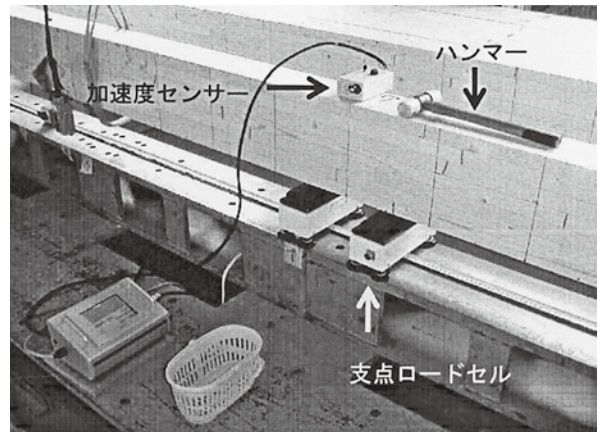


図2 たわみ振動試験の方法

辺の  $T$  に代入して新たな  $T$  を求めた。この計算を  $T$  が一定値以内に収斂するまで繰り返した。 $T$  が一定値に収斂するためには、長さ5985~3600mmの試験体では1回、長さ3400~1600mmの試験体では2回、長さ1400~1000mmの試験体では3回の計算が必要であった。従って、各種条件の試験体においては、やや多めに見積もると5回の計算を行えば良いと考えられる。

$$E_F = \frac{48\pi^2 f_F^2 l^3 w}{4.730^4 bh^3 \times 10^6} \quad (\text{kN/mm}^2) \quad (2)$$

$$E_0 = T \cdot E_F, \\ T = 1 + \frac{i^2}{l^2} \left[ F_1(m) + \frac{sE}{G} F_2(m) \left\{ 1 - \frac{m^4 i^2}{F_2(m) l^2 T} \right\} \right] \quad (3)$$

$$E_S = \frac{E_0}{B}, \quad B = 1 + 2.4 \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{h^2}{3L^2 - 4a^2} \quad (4)$$

ただし、 $W$ : 重量、 $i^2 = I/A = h^2/12$ 、 $s=1.17$ 、 $E/G=15$ 、 $m=4.730$ 、 $F_1(m)=49.48$ 、 $F_2(m)=12.30$ 、 $\therefore$  1次振動モードの両端自由条件において振動次数により定まる定数。

式(5)を用いて縦振動ヤング係数  $E_L$  を算出した。

$$E_L = \frac{4f_L^2 lw}{bh \times 10^6} \quad (\text{kN/mm}^2) \quad (5)$$

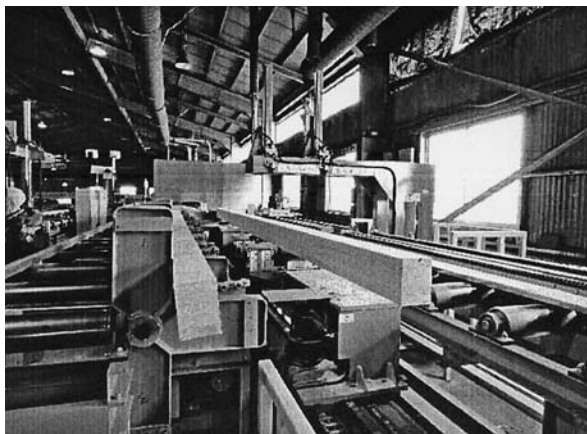
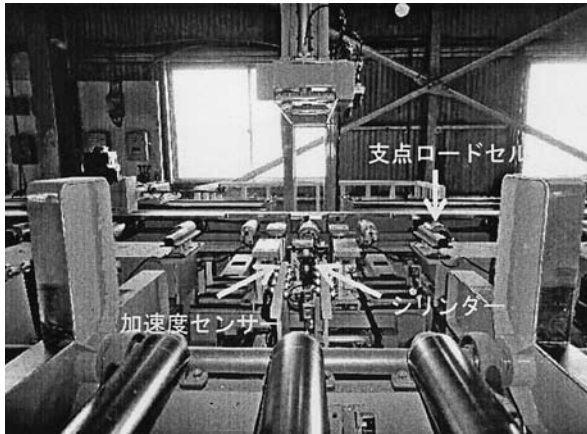


図3 実用機でのたわみ振動ヤング係数の測定

## 2.2 実用機でのたわみ振動ヤング係数の測定

図3に実用機でのたわみ振動ヤング係数の測定方法を示す。試験体の幅、厚さおよび長さを入力された試験体は、標準位置にセットされた支点台上に位置決めされ、下方からシリンダーで材中央を打撃される。支点台のロードセルで重量、加速度ピックアップでたわみ振動周波数が測定される。式(2)を用いてたわみ振動ヤング係数が計算され、式(3)を用いて真のヤング係数に補正された後に、式(4)を用いてJASの曲げ条件すなわち長さが厚さの20倍の条件における曲げヤング係数に補正される。最終的には、後述する実験結果に基づく回帰式を用いてヤング係数が決定されて表示される。入口側での測定が終了した試験体は、搬送された後に任意の長さに横切りされて再度出口側で測定される。本研究では、出口側での測定結果について述べる。なお、最初の測定の後の試験体の横切りは行っていない。

実用機の測定範囲は、入口側では幅90~130mm、厚さ90~450mm、長さ2900~12000mm、出口側では幅90~130mm、厚さ90~450mm、長さ1000~8000mmである。

## 3. 結果と考察

### 3.1 たわみ振動周波数と支点位置、打撃位置および長さとの関係

図4に幅105mm、厚さ210mm、長さ5985mmの試験体におけるたわみ振動周波数と支点位置との関係を示す。支点が標準位置から材端方向へ44mm、材中央方向へ106mmまでの範囲では、標準位置における周波数とほぼ同じ値が得られた。これらの範囲より外れた場合には、材端方向では急激に周波数が増大し、材中央方向では徐々に周波数が増大するとともにその後は急激に周波数が増大した。また、材端付近では標準位置における周波数よりも低い値が得られた。以上より、正確な周波数を得るためには、数10mm程度の誤差は許容されるが、標準位置に支点を設置する必要があることが分かった。

図5に幅105mm、厚さ210mm、長さ5985mmの試験体におけるたわみ振動周波数と打撃位置との関係を示す。打撃位置が材端から800mmまでの位置および材中央から800mmまでの位置において、材中央における周波数とほぼ同じ値が得られた。支点位置付近では支点に近づくにつれて周波数が高くなった。以上より、正確な周波数を得るためには、支点位置付近を避けて打撃する必要があることが分かった。一般的には、材中央で打撃する機会が多いが、正確に打撃位置を決定する必要はないといえる。

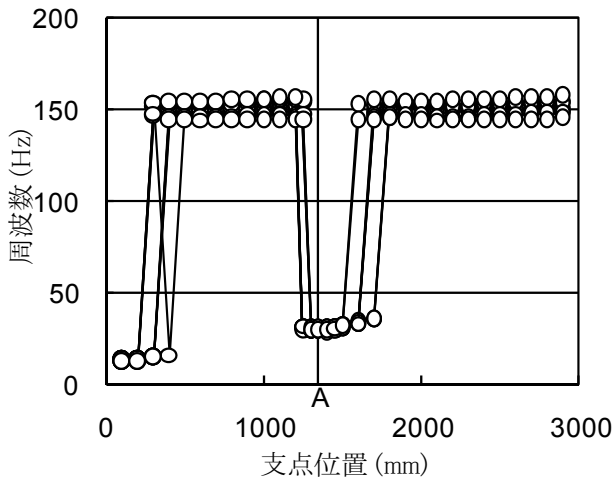


図4 たわみ振動周波数と支点位置との関係  
(A：支点の標準位置、打撃位置は材中央)

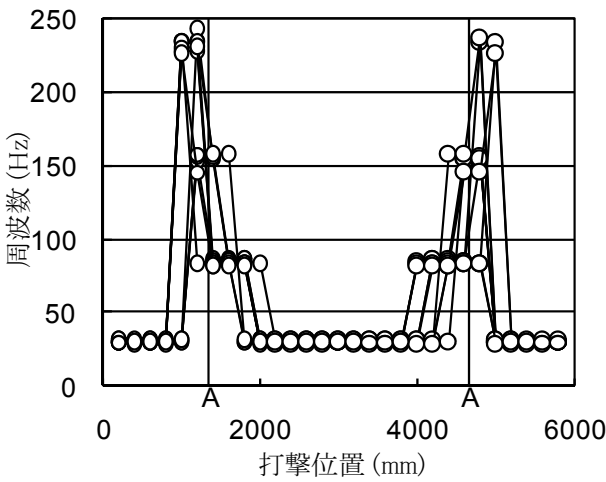


図5 たわみ振動周波数と打撃位置との関係  
(A：支点の標準位置、支点は標準位置)

図6に幅105mm、厚さ210mm、長さ5985mmの試験体におけるたわみ振動ヤング係数の比と長さとの関係を示す。集成材のJASでは厚さの20倍の長さの試験体を用いて曲げヤング係数の測定を行う。そこで、たわみ振動ヤング係数および曲げヤング係数は、厚さの20倍の長さ4200mmでのそれぞれの測定値との比で示した。長さが小さくなるにつれてたわみ振動ヤング係数の比が低下した。長さ1000mmでのたわみ振動ヤング係数は長さ4200mmのその0.54倍となった。また、長さ5985mmでは1.03倍となった。曲げヤング係数の比は、たわみ振動ヤング係数の比と同様に、長さが小さくなるにつれて低下し、長さ2200mmでの曲げヤング係数は長さ4200mmのその0.79倍となった。また、長さ5985mmでは1.03倍となった。たわみ振動

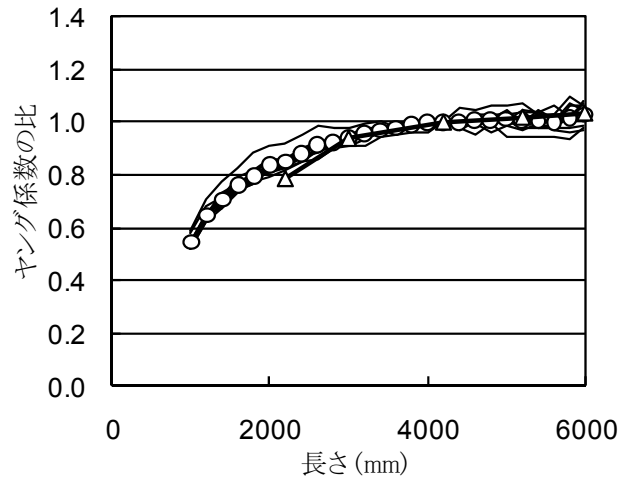


図6 たわみ振動ヤング係数の比と長さとの関係  
(○：たわみ振動の平均値、△：曲げの平均値)

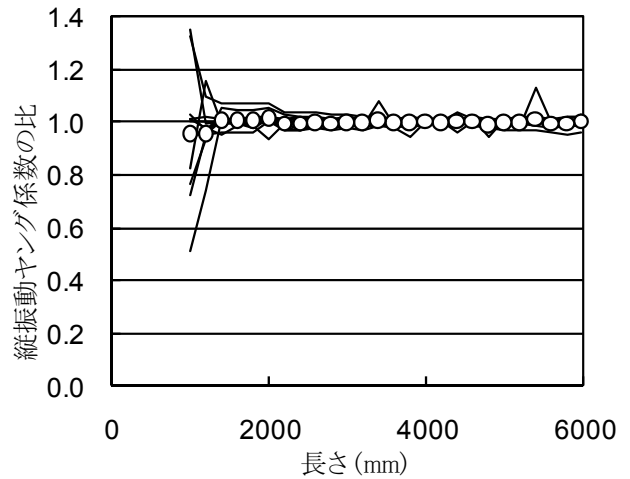


図7 縦振動ヤング係数の比と長さとの関係  
(○：平均値)

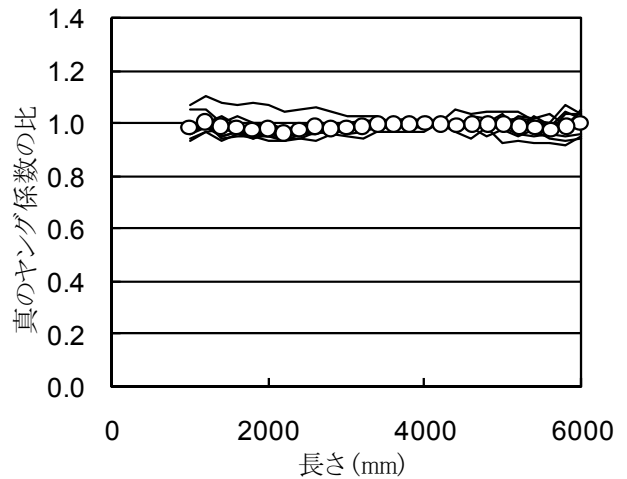


図8 真のヤング係数の比と長さとの関係  
(○：平均値)

ヤング係数の比と曲げヤング係数の比を比較すると、長さ3000~5985mmでは両者は良く一致した。これは、たわみ振動ヤング係数と曲げヤング係数では、長さの変化に伴うせん断変形の影響がほぼ同じである<sup>3)</sup> ことによると考えられる。また、両者では内層や外層の材質の違いが及ぼす影響がほぼ同じである<sup>6)</sup> ことによると考えられる。長さ2200mmでは後者の方が低くなったが、これは、長さ2200mmの曲げ試験においては、スパンが小さいために高い荷重が必要となり、繊維と直角方向の圧縮変形などの影響により測定誤差が生じたのではないかと考えられる。

図7に縦振動ヤング係数の比と長さとの関係を示す。ここでは長さ4200mmでの測定値との比で示した。縦振動ヤング係数の比は長さに関係なくほぼ一定の値を示した。また、長さ1000および1200mmでは正確な縦振動ヤング係数が得られなかった。これは、試験体の厚さに比較して長さが小さいために、試験体本来の固有振動周波数以外の周波数成分が数多く発生し、周波数のピーク値を特定することが困難であったためである。

図8に式(3)を用いてたわみ振動ヤング係数から求めた真のヤング係数の比と長さとの関係を示す。ここでは長さ4200mmでの測定値との比で示した。真のヤング係数の比は長さに関係なくほぼ一定の値を示した。図7に示した縦振動ヤング係数で明らかなように、試験体本来のヤング係数は長さに関係なくほぼ一定の値を示すと考えられるので、真のヤング係数の算出方法は妥当であるといえる。

### 3.2 曲げヤング係数とたわみ振動ヤング係数との関係

図9に曲げヤング係数とたわみ振動ヤング係数との関係を示す。ここで、前述のように幅105mm×厚さ210mm×長さ2200mmの10本の試験体の曲げヤング係数は誤差が大きいと考えるのでこれらのデータは除外した。従って、解析に用いた試験体は184体となる。

曲げヤング係数とたわみ振動ヤング係数は良好な相関関係を示し、測定値では後者は前者より3%高くなった。測定値から真のヤング係数を求めた後、曲げ試験の条件における曲げヤング係数に補正した補正値も測定値と同様の関係を示した。両者の回帰式(6)を用いて変換した値(以下、回帰値と略す。)は曲げヤング係数と一致した。

$$y = ax + b : a = 1.0051, b = -0.4509 \quad (6)$$

ここで、回帰式(6)を用いた場合には、たわみ振動ヤング係数は平均値では曲げヤング係数と一致するが、半数の試験体では曲げヤング係数を上回る事となる。そこで、式(7)を用いて信頼水準75%の95%上側許容限界値

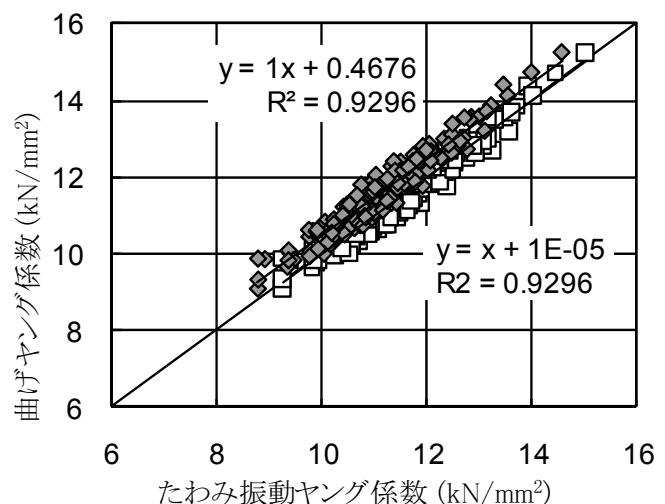
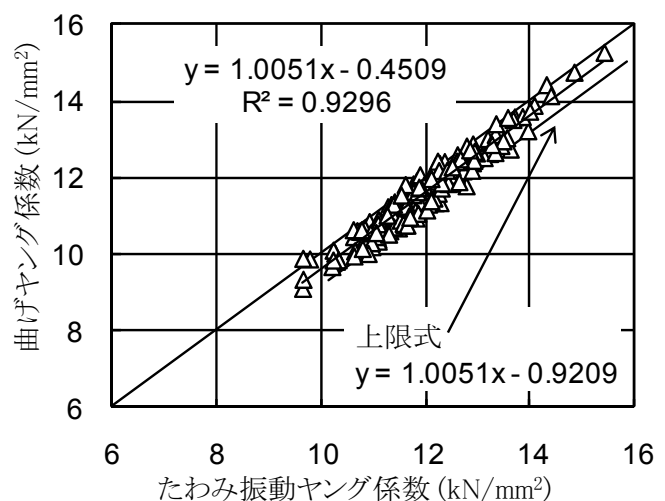
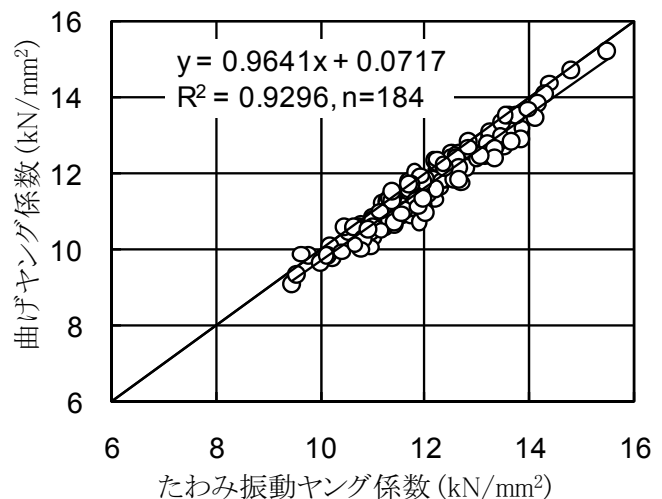


図9 曲げヤング係数とたわみ振動ヤング係数との関係  
(○：測定値、△：補正值、□：回帰値、◆：上限値)

$T$  (以下、上限値と略す。)を求めた。

$$T = \bar{x} + K \cdot S \quad (7)$$

ただし、 $\bar{x}$  平均値（ここでは  $y = ax + b$  上の点）、  
 $K=1.732$ ：試験体数に依存する定数（ $n = 200$ の値）、 $S$ ：  
 標準偏差。

測定値  $x_0$  から回帰式(6)を用いて回帰値  $y_0$  を求め、次  
 に  $y = ax + b$  上の  $y_0$  に対応する  $x_1$  を求め、これと測定  
 値との差  $X_0 - X_1$  の標準偏差  $S = 0.270$  を求めた。これら  
 より得られた  $K \cdot S$  を用いると上限値の回帰式は式(8)と  
 なる。なお、上限値は曲げヤング係数よりも4%低くなっ  
 た。

$$y = ax + b : a = 1.0051, b = -0.4509 - aK \cdot S = -0.9209 \quad (8)$$

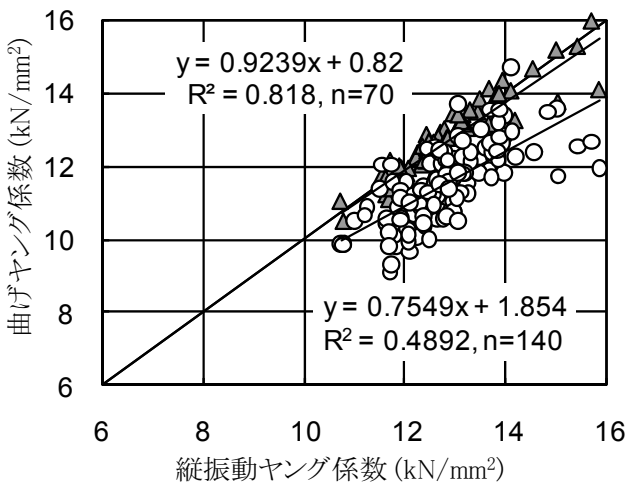


図10 曲げヤング係数と縦振動ヤング係数との関係  
 (○：縦使い、▲：平使い)

図10に曲げヤング係数と縦振動ヤング係数との関係を  
 示す。スギ等の正角製材品等では曲げヤング係数と縦振  
 動ヤング係数は良く一致する<sup>1)</sup>ことが知られているが、  
 本試験では両者の相関は低くなった。縦振動ヤング係数  
 ではせん断変形の影響がなく、内部に異なる材質が存在  
 する場合もその存在位置による影響がなく、全体の平均  
 値としてのヤング係数が測定される。一方、縦使い方向  
 の曲げヤング係数では、せん断変形の影響が大きいとと  
 もに、縦方向の材質の違いによる影響が大きい。このよ  
 うなヤング係数に影響を与える因子により両者の相関が  
 低くなったと考えられる。そこで、せん断変形および内  
 部の材質の影響が小さい状態として試験体を横にして平  
 使い方向のたわみ振動ヤング係数を測定した。その結果、  
 平使い方向のたわみ振動ヤング係数と縦振動ヤング係数  
 は良好な相関関係を示した。

図11にヤング係数の測定値から決定した強度等級を示

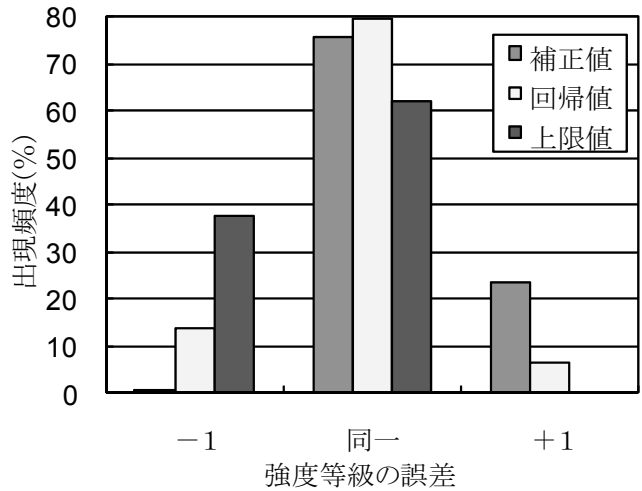
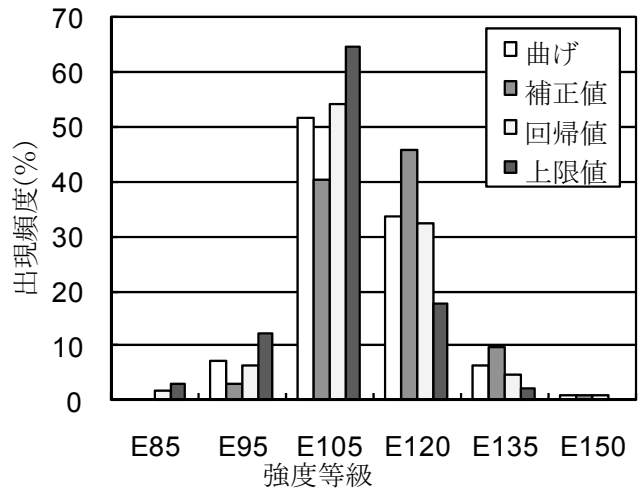


図11 測定値から決定した強度等級と強度等級の誤差  
 (-1：等級が1ランク下、同一：等級が同一  
 +1：等級が1ランク上)

す。集成材に表示されている JAS 強度等級は E105およ  
 び E120等級であるが、曲げヤング係数の測定値から決  
 定した強度等級にはこれらの等級以外にも E95、E135  
 および E150等級があった。

たわみ振動ヤング係数から決定した強度等級と曲げヤ  
 ング係数から決定した強度等級を比較すると、補正值で  
 は等級が同一であるものが76%、1ランク上のものが  
 23%、1ランク下のものが1%となった。回帰値では等  
 級が同一であるものが80%と非常に高く、1ランク上  
 が6%、1ランク下が14%となり、曲げヤング係数から決  
 定した等級と良く合致しているといえる。また、上限値  
 では等級が同一であるものが62%とやや低く、1ラン  
 ク下が38%となり、やや適合性が低いですがすべてが曲げヤ  
 ング係数から決定した等級を上回らないことが分かった。

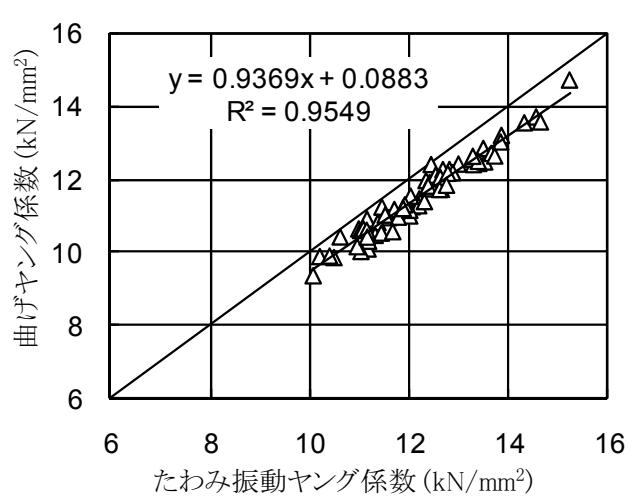
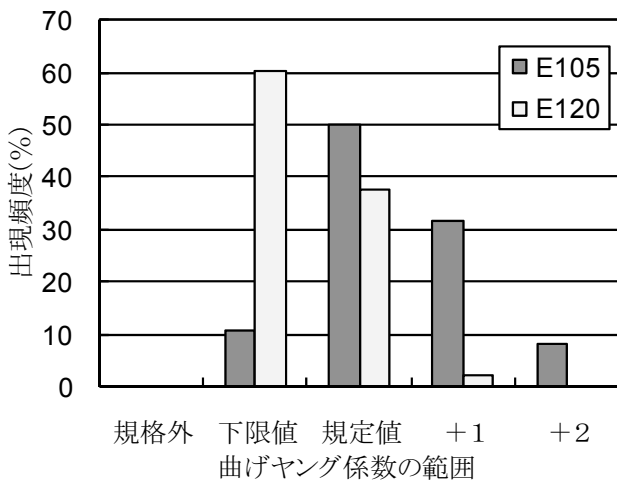
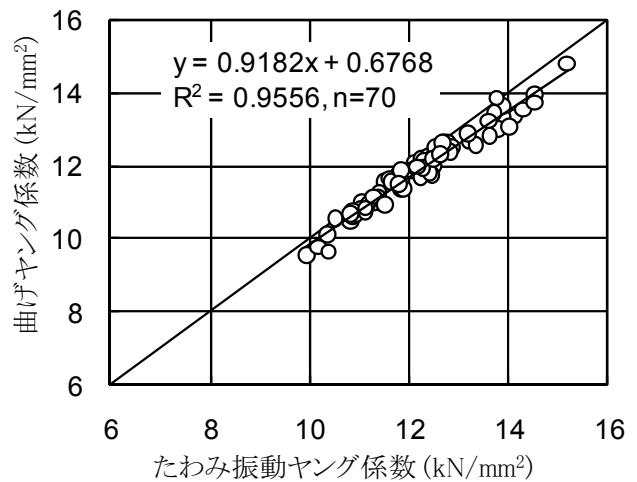
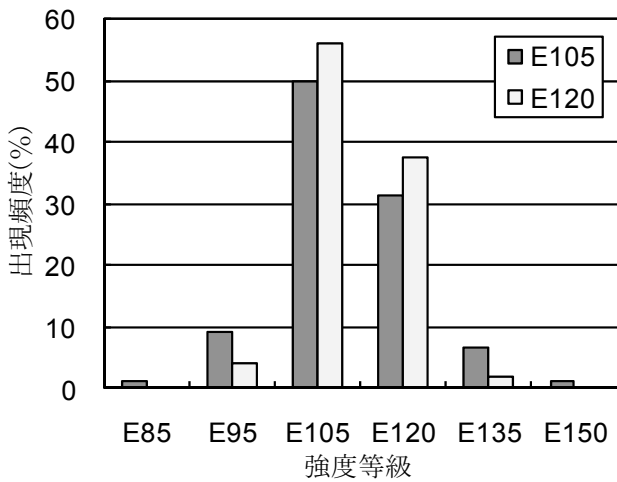


図12 JAS 強度等級と曲げヤング係数との関係

(規格外：下限値に満たないもの。下限値：E105は9.0～10.5kN/mm<sup>2</sup>、E120は10.0～12.0kN/mm<sup>2</sup>。規定値：E105は10.5～12.0kN/mm<sup>2</sup>、E120は12.0～13.5kN/mm<sup>2</sup>。+1：E105は12.0～13.5kN/mm<sup>2</sup>、E120は13.5～15.0kN/mm<sup>2</sup>。+2：E105は13.5kN/mm<sup>2</sup>以上、E120は15.0kN/mm<sup>2</sup>以上。)

図12に集成材に表示されている JAS 強度等級と実際の曲げヤング係数から決定した強度等級との関係を示す。E105等級の試験体では JAS の平均値の規定値 10.5kN/mm<sup>2</sup>を下回ったものが11%あったが、E120等級では平均値の規定値12.0kN/mm<sup>2</sup>を下回ったものが60%と非常に多くなった。また、すべての試験体では、下限値の規定値である E105等級は9.0kN/mm<sup>2</sup>、E120等級は10.0kN/mm<sup>2</sup>をそれぞれ上回った。

3.3 実用機での測定結果

実用機では幅、厚さおよび長さは測定していないが、入力された呼び寸法は2.1で行った測定値（以下、実験

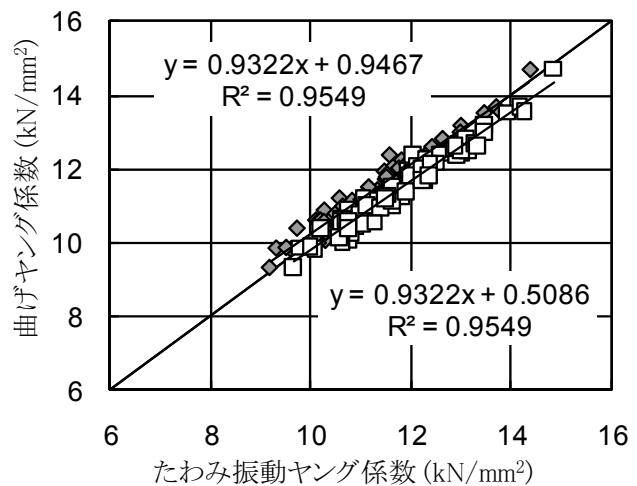


図13 実用機における曲げヤング係数とたわみ振動ヤング係数との関係  
(○：測定値、△：補正值、□：回帰値、◆：上限値)

値と記す。)と一致している。個々の試験体では、幅および厚さの誤差の最大値は1%以下であり、長さでは誤差は認められなかった。重量は実験値より1%低くなっ



た。個々の試験体では、重量の誤差の最大値は2%であった。周波数は実験値より1%高くなった。個々の試験体では、周波数の誤差の最大値は3%となった。周波数の誤差が大きくなるのは、幅105×厚さ120×長さ5985mmの最も細長い試験体であった。たわみ振動ヤング係数は実験値より3%高くなった。個々の試験体では、ヤング係数の誤差の最大値は8%となった。ヤング係数の誤差が大きくなるのは、幅105×厚さ120×長さ5985mmの試験体であり、周波数の誤差の影響が最も大きいと考えられる。

図13に実用機における曲げヤング係数とたわみ振動ヤング係数との関係を示す。ここで、測定値、補正值、回帰値および上限値は、それぞれ式(2)、式(4)、回帰式(6)および回帰式(8)を用いて求めた。実用機での測定値は曲げヤング係数より6%高くなった。補正值は同様に6%高く、回帰値は3%高く、上限値は2%低くなった。回帰

値および上限値を用いることによりたわみ振動ヤング係数と曲げヤング係数が良く一致するようになったといえる。

図14に実用機のたわみ振動ヤング係数の測定値から決定した強度等級を示す。図11に示す実験値と同様の結果となった。たわみ振動ヤング係数から決定した強度等級と曲げヤング係数から決定した強度等級を比較すると、補正值では等級が同一であるものが56%、1ランク上のものが44%となった。回帰値では等級が同一であるものが80%と非常に高く、1ランク上が20%となり、曲げヤング係数から決定した等級と良く合致しているといえる。また、上限値では等級が同一であるものが77%とやや低く、1ランク下が23%となり、やや適合性が低いとすべてが曲げヤング係数から決定した等級を上回らないことが分かった。

#### 4. まとめ

スプルー構造用集成材194本を用いて、たわみ振動法によりヤング係数を測定し、曲げ試験によるヤング係数との比較を行った。その結果、すべての条件の集成材において、たわみ振動ヤング係数と曲げヤング係数は良く一致し、たわみ振動法では長さの変化および内外層の材質の変化に伴うヤング係数の変化に関して曲げヤング係数と同等の測定が行えることが分かった。

曲げヤング係数の測定結果より強度等級区分を行うと、ラミナのヤング係数の測定により決定された強度等級と一致するものは38~50%であったが、集成材のたわみ振動ヤング係数により決定された強度等級では80%の試験体試験体において一致した。

実用的な装置により測定したたわみ振動ヤング係数は実験室での測定値とほぼ同一であり、曲げヤング係数と良く一致した。以上より、工場内で集成材のヤング係数を測定する方法としては、たわみ振動法は最も優れた方法であるといえる。

#### 引用文献

- 1) 中田欣作、柳川靖夫：スギ丸太および製材品のヤング係数によるグレーディング. 奈良県森技七研報. 38, 27-34(2009)
- 2) 武田孝志、橋爪丈夫：カラマツ同一等級ラミナ構成集成材の動的ヤング係数に及ぼす積層数の影響. 材料. 46(7), 839-844(1997)

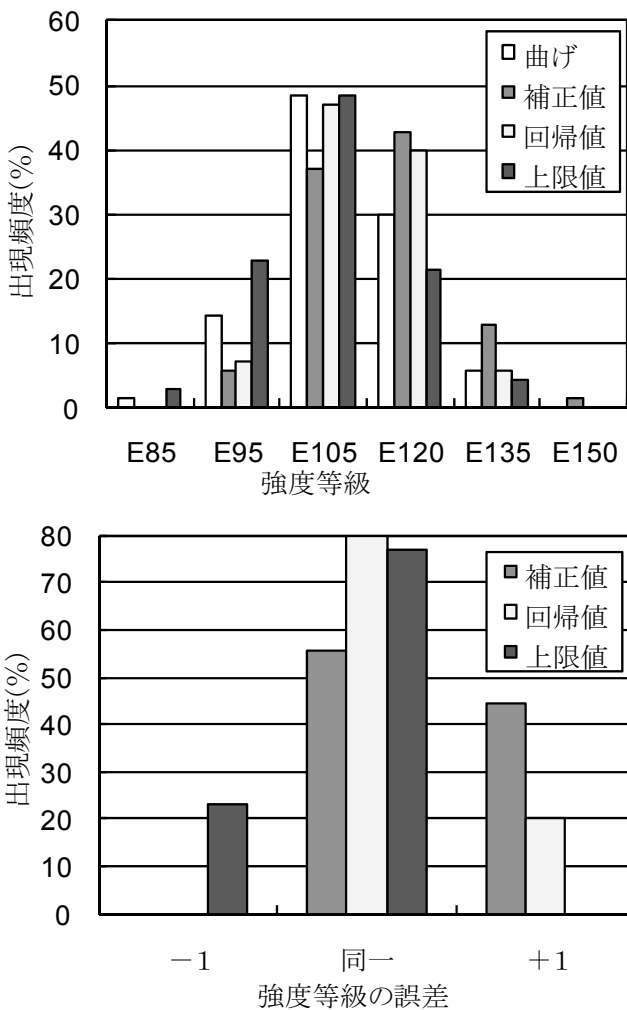


図14 実用機の測定値から決定した強度等級と強度等級の誤差

(-1 : 等級が1ランク下、同一 : 等級が同一、+1 : 等級が1ランク上)

- 3) 佐藤亮介、武田孝志、安藤直人：スプルー集成材のヤング係数および曲げ強度における梁背効果. 材料. **50**(7), 790-795(2001)
- 4) 祖父江信夫：Instantaneous Measurement of Elastic Constants by Analysis of the Tap Tone of Wood. : Application to flexural vibration of beams. *Mokuzai Gakkaishi*. **32**(4), 274-279(1986)
- 5) 日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験法. 東京. 日本住宅・木材技術センター,2000. p.55-56.
- 6) 外崎真理雄、斎藤周逸：縦およびたわみ振動試験による材内不均質性の評価（第1報）：スギ正角心持ち乾燥処理材の内部含水率推定の試み. 木材学会誌. **46**(1), 20-24(2000)

(2011年1月13日受理)