

6. 参考資料

6-1. 大分県産スギ材の強度性能

大分県産スギ材の強度性能については、これまで多くの原木丸太や製材品の実大サイズでの強度試験を行いその性能を明らかにしてきました。これらの試験結果は公共の大型木造建築や、丸太等を利用した建築物等の基礎資料として広く活用されています。

また、製材品の実大材強度性能としては、全国の国公設研究機関から構成される強度性能研究会（事務局：（独）森林総合研究所）の「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集〈7〉2005.3 に全国の研究機関で実施された強度試験のデータが記載されています。特にスギ材についてのデータは充実し、これまでに 10,000 件を超える試験データが蓄積されています。これらのデータは「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」に対応する許容応力度の設定の際に利用され、安全な木造建築の設計等に役立っています。

大分県産スギ材の試験結果と全国で行われた試験結果を比較すると、大分県産スギ材の強度性能は全国のスギ材とほぼ同等の性能を示すことが明らかになりました。このことは、大分県産スギ材を利用する場合は、建設省告示第 1452 号（平成12年5月31日）に規定する日本農林規格に対応した基準強度の値をそのまま利用できることを示唆しています。

ここでは、これまで林業研究部で行ってきた県産スギ材の強度試験結果として 1. 中目丸太の動的ヤング係数、2. 製材品（正角・平角）の曲げ強度性能、3. 平角材のクリープ性能について紹介します。

(1) スギ中目丸太の動的ヤング係数

大分県内の原木市場に流通する中目材（材長4m）について、縦振動法による動的ヤング係数を測定しました（図6-1）。測定本数は1267本（1番玉529本、2番玉以上738本）で動的ヤング係数の平均値は6.31 (kN/mm²) となりました。動的ヤング係数は大きくばらつき、最小値が2.90 (kN/mm²) で最大値は14.16(kN/mm²)となりました。また、1番玉の平均値が5.33(kN/mm²)に対して2番玉以上では7.02(kN/mm²)となり約1.3倍高い値を示しており、高いヤング係数が必要な場合は2番玉以上の丸太の利用が有効です。

次に、樹齢と動的ヤング係数の関係を図6-2に示します。樹齢と動的ヤング係数の間には正の相関関係が認められるもののバラツキ幅が大きく樹齢だけから動的ヤング係数を推定するのは困難なことがわかりました。さらに、平均年輪幅（末口）と動的ヤング係数の関係を図6-3に示します。平均年輪幅も樹齢と同様に正の相関関係が認められるもののバラツキの幅が大きく樹齢と同様に動的ヤング係数の推定は困難であることがわかりました。

近年の研究から動的ヤング係数の大小は樹齢や平均年輪幅よりも品種特性によるところが大きいことがわかってきました。今後、品種区分や樹齢、年輪幅等で原木を区分して流通できればヤング係数の大小をある程度推定することも可能と考えられますが、必要な強度性能を持つ製材品を精度良く効率的に得るには原木の縦振動法による強度区分を行うのが簡易で実用的な方法であると考えられます。

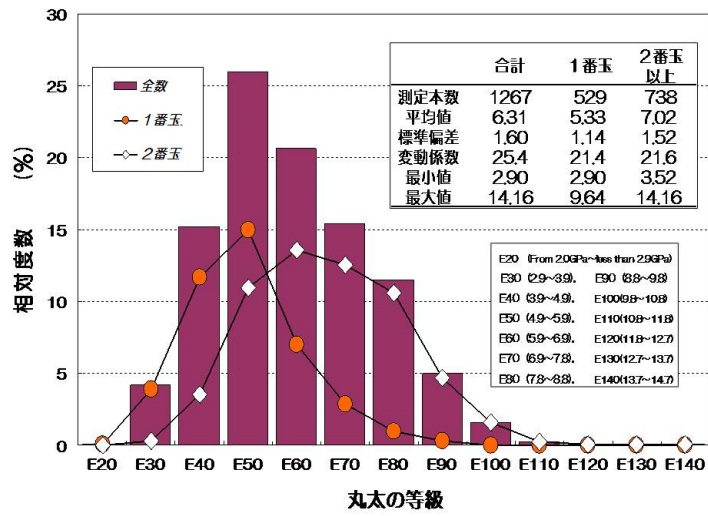


図6-1 中目丸太の動的ヤング係数

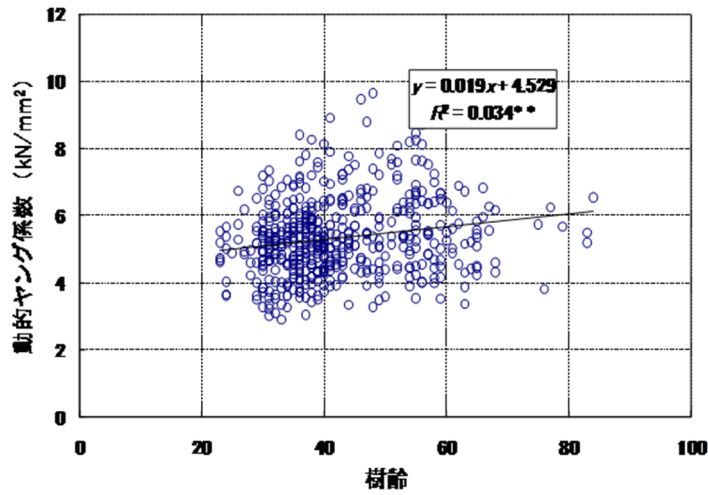


図6-2 樹齢と動的ヤング係数の関係

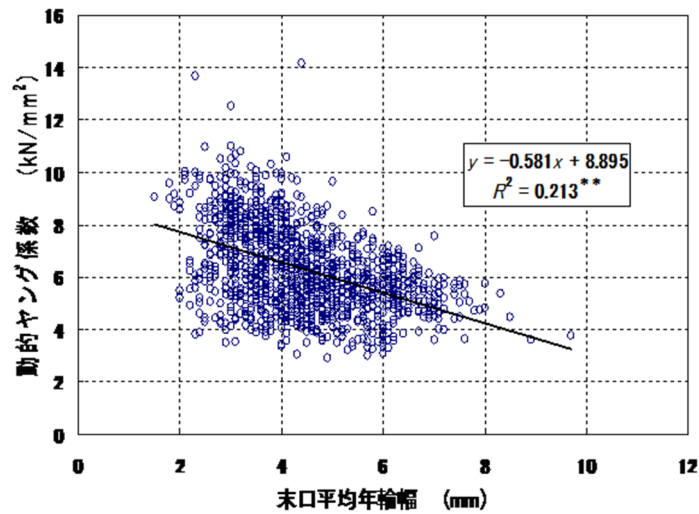


図6-3 平均年輪幅と動的ヤング係数の関係

(2) 製材品（正角・平角）の曲げ強度性能

1) 正角材の曲げ強度性能

大分県産スギ正角材（12×12×300cm）250本の曲げ強度試験結果を表6-1に示します。曲げヤング係数の平均値は7.86（kN/mm²）、曲げ強さは40.3（N/mm²）となりました。

また、信頼度75%における5%下限値は、曲げヤング係数が5.06（kN/mm²）、曲げ強さが27.3（N/mm²）となりました。これは曲げヤング係数で日本農林規格の機械等級区分の最低等級であるE50等級に相当し、曲げ強さは建設省告示 1452号（平成12年5月31日）に定めるスギ無等級材の基準強度である22.2（N/mm²）の値を上回ることがわかりました。

なお、曲げヤング係数及び曲げ強さは、「構造用木材の強度試験方法」（（財）日本住宅・木材技術センター2003）に基づき、含水率15%、梁せい15cmの標準寸法、基準荷重条件への補正を行った値です。

表6-1 スギ正角材の曲げ強度試験結果 (n=250)

	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	曲げヤング数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
平均値	16.5	0.392	6.0	7.86	40.3
標準偏差	2.7	0.033	1.4	1.63	7.6
変動係数	16.5	8.4	24.0	20.8	18.8
最小値	11.9	0.328	3.2	3.8	25.5
最大値	34.1	0.504	10.4	13.4	70.0

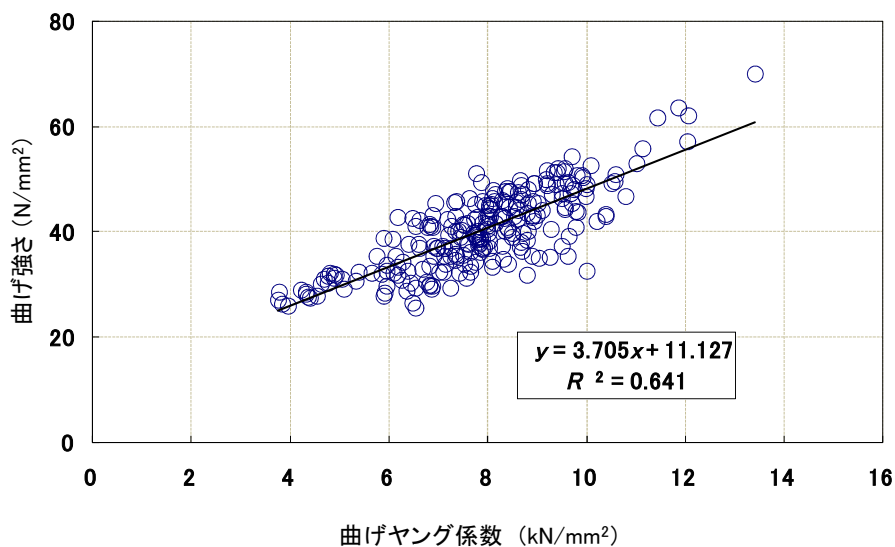


図6-4 スギ正角材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係

2) 平角材の曲げ強度性能

大分県産スギ平角材（12×24×400cm）100本の曲げ強度試験結果を表6-2に示します。曲げヤング係数の平均値は 8.12 (kN/mm²)、曲げ強さは47.7 (N/mm²) となりました。

また、信頼度75%における5%下限値は、曲げヤング係数が 5.18 (kN/mm²)、曲げ強さが 31.1 (N/mm²) となりました。これは正角材と同様に曲げヤング係数は、日本農林規格の機械等級区分の最低等級であるE50等級に相当し、曲げ強さは、建設省告示に定めるスギ無等級材の基準強度である 22.2 (N/mm²) の値を上回ることがわかりました。

なお、曲げヤング係数及び曲げ強さは、正角材と同様に「構造用木材の強度試験方法」（(財)日本住宅・木材技術センター2003）に基づき、含水率15%、梁せい15cmの標準寸法、基準荷重条件への補正を行った値です。

表6-2 スギ平角材の曲げ強度試験結果 (n=100)

	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	曲げヤング数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
平均値	22.3	0.383	5.4	8.12	47.7
標準偏差	8.5	0.038	1.5	1.68	10.0
変動係数	38.1	10.0	27.8	20.6	21.0
最小値	12.8	0.268	2.9	4.83	28.7
最大値	59.9	0.508	9.1	12.12	72.5

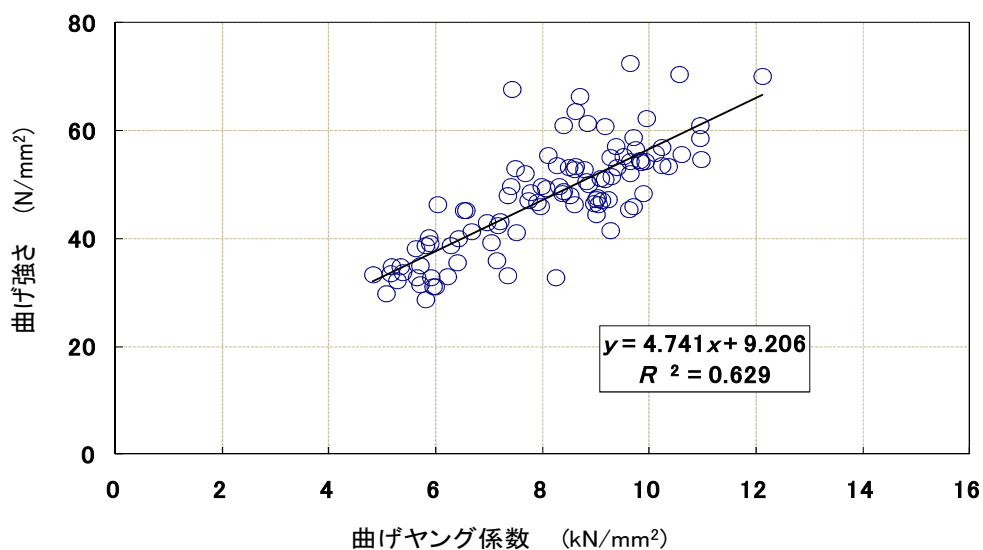


図6-5 スギ平角材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係

3) 基準強度との関係

大分県産スギ製材品（正角材、平角材）全ての曲げヤング係数と曲げ強さの関係を図6-6に示します。曲げヤング係数の平均値は7.94 (kN/mm²)、曲げ強さは42.4 (N/mm²) となりました。また、信頼度75%における5%下限値は、曲げヤング係数が4.81 (kN/mm²)、曲げ強さが27.1 (N/mm²) となりました。これは、全製材品における曲げヤング係数が日本農林規格の機械等級区分の最低等級であるE50等級に相当し、曲げ強さは建設省告示に定めるスギ無等級材の基準強度である22.2 (N/mm²) の値を上回ることがわかりました。

表6-3にスギ製材品の機械等級区分ごとの曲げ強さ下限値と基準強度を示します。等級のE50、E90では基準強度を上回り、E70とE110で基準強度を若干下回っています。しかし、スギ材質の変動を考慮すると大分県産スギ材の曲げ強さの下限値と基準強度はおおむね適合していると言えます。これらの結果から、大分県産スギ製材品を日本農林規格機械等級区分して利用すれば全国のスギと同じ基準強度の値をそのまま利用できることを唆しています。

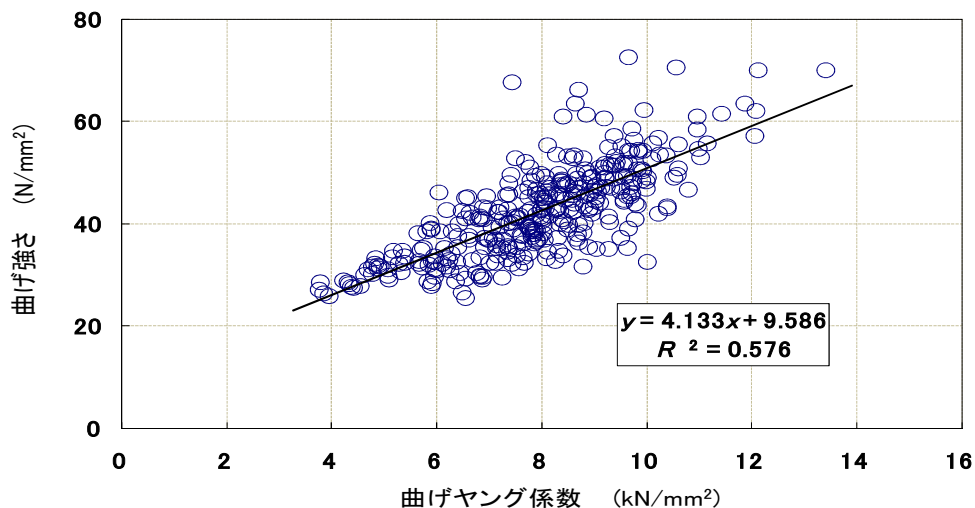


図6-6 スギ製材品の曲げヤング係数と曲げ強さの関係

表6-3 スギ製材品の機械等級区分ごとの下限値と基準強度

機械等級区分	個数	相対度数 (%)	曲げ強さ 5%下限値 (N/mm ²)	基準強度 建設省告示 1452 号 (N/mm ²)
(E50 未満)	3	0.9	—	—
E50	38	10.9	26.2	24.0
E70	110	31.4	28.0	29.4
E90	161	46.0	35.1	34.8
E110	33	9.4	38.9	40.8
E130	5	1.4	—	—
Total	350	100		

(3) 平角材のクリープ性能

クリープとは、木材に荷重をかけるとたわみが発生しますが時間の経過に伴いたわみが徐々に増加していく現象のことです。特に長期応力を受ける梁等に生じることが多く、たわみ量についての注意が必要です。

スギ平角材のクリープ性能については平成7年から約14年間のクリープ試験を実施

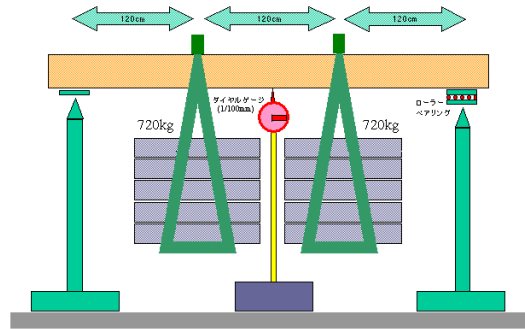


図6-7 クリープ試験の概要

しています。スギ心持平角材（12×24×400cm）を約1年間天然乾燥して試験を行いました（図6-7）。荷重は当時の建築基準法に定めるスギ無等級材の長期許容応力度である75kgf/cm²（材料強度の1/3）とし1440kgf（720kgf×2点）を負荷しました。

載荷14年6カ月間の時間経過と相対クリープの関係を図6-8に示します。クリープ変形は季節変動（春に大、秋に小）を繰り返しながら全体として増加しました。この相対クリープ曲線の近似式から50年後のクリープ変形係数を求めるとNO.4で2.11、NO.5で2.36となり建設省告示第1459号に示す変形増大係数の2、及び(社)日本建築学会で示す(1+0.2t^{0.2})から計算した50年後のクリープ変形の2.42や、気乾材で初期変化の約2倍、湿潤、乾湿繰り返して約3倍とする¹⁾値に概ね合致しました。

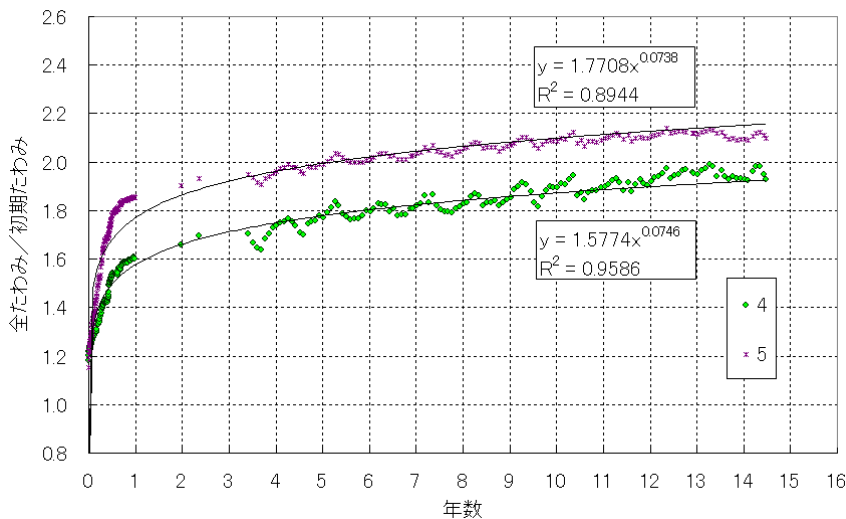


図6-8 時間（年）と相対クリープの関係

スギ平角材のクリープ性能については、水分の放湿に伴い生じる大きなメカノソープティブ変形についての注意が必要とされています。スギ心持平角材は、断面が大きく乾きにくいことから特に含水率についての細心の注意が必要と考えられます。これらたわみ変形防止の観点からもスギ平角材の適正な人工乾燥がますます重要になると考えられます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：“木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－”，日本建築学会，2006,pp.165-168

(4) 木材の基準強度表

表6-4 「針葉樹の構造用製材の日本農林規格(目視等級)」に対応した基準強度

(建設省告示第1452号、平成12年5月31日)

樹種	区分	等級	基準強度(N/mm ²)			
			Fc(圧縮)	Ft(引張)	Fb(曲げ)	Fs(せん断)
あかまつ	甲種構造材	1級	27.0	20.4	33.6	2.4
		2級	16.8	12.6	20.4	
		3級	11.4	9.0	14.4	
	乙種構造材	1級	27.0	16.2	26.4	
		2級	16.8	10.2	16.8	
		3級	11.4	7.2	11.4	
べいまつ	甲種構造材	1級	27.0	20.4	34.2	2.4
		2級	18.0	13.8	22.8	
		3級	13.8	10.8	17.4	
	乙種構造材	1級	27.0	16.2	27.0	
		2級	18.0	10.8	18.0	
		3級	13.8	8.4	13.8	
からまつ	甲種構造材	1級	23.4	18.0	29.1	2.1
		2級	20.4	15.6	25.8	
		3級	18.6	13.8	23.4	
	乙種構造材	1級	23.4	14.4	23.4	
		2級	20.4	12.6	20.4	
		3級	18.6	10.8	17.4	
ダフリカ からまつ	甲種構造材	1級	28.8	21.6	36.0	2.1
		2級	25.2	18.6	31.2	
		3級	22.2	16.8	27.6	
	乙種構造材	1級	28.8	17.4	28.8	
		2級	25.2	15.0	25.2	
		3級	22.2	13.2	22.2	
ひば	甲種構造材	1級	28.2	21.0	34.8	2.1
		2級	27.6	21.0	34.8	
		3級	23.4	18.0	29.4	
	乙種構造材	1級	28.2	16.8	28.2	
		2級	27.6	16.8	27.6	
		3級	23.4	12.6	20.4	
ひのき	甲種構造材	1級	30.6	22.8	38.4	2.1
		2級	27.0	20.4	34.2	
		3級	23.4	17.4	28.8	
	乙種構造材	1級	30.6	18.6	30.6	
		2級	27.0	16.2	27.0	
		3級	23.4	13.8	23.4	
べいつが	甲種構造材	1級	21.0	15.6	26.4	2.1
		2級	21.0	15.6	26.4	
		3級	17.4	13.2	21.6	
	乙種構造材	1級	21.0	12.6	21.0	
		2級	21.0	12.6	21.0	
		3級	17.4	10.2	17.4	
えぞまつ 及び とどまつ	甲種構造材	1級	27.0	20.4	34.2	1.8
		2級	22.8	17.4	28.2	
		3級	13.8	10.8	17.4	
	乙種構造材	1級	27.0	16.2	27.0	
		2級	22.8	13.8	22.8	
		3級	13.8	5.4	9.0	
すぎ	甲種構造材	1級	21.6	16.2	27.0	1.8
		2級	20.4	15.6	25.8	
		3級	18.0	13.8	22.2	
	乙種構造材	1級	21.6	13.2	21.6	
		2級	20.4	12.6	20.4	
		3級	18.0	10.8	18.0	

表6-5 「針葉樹の構造用製材の日本農林規格（機械等級）」に対応した基準強度
（建設省告示 1452 号、平成 12 年 5 月 31 日）

樹種	等級	基準強度(N/mm ²)			
		Fc(圧縮)	Ft(引張)	Fb(曲げ)	Fs(せん断)
あかまつ、べいまつ、 ダフリカからまつ、 べいつが、 えぞまつ及びとどまつ	E50	—	—	—	表1(※)にした がって樹種ご との基準強度と する。
	E70	9.6	7.2	12.0	
	E90	16.8	12.6	21.0	
	E110	24.6	18.6	30.6	
	E130	31.8	24.0	39.6	
	E150	39.0	29.4	48.6	
からまつ、 ひのき及びひば	E50	11.4	8.4	13.8	
	E70	18.0	13.2	22.2	
	E90	24.6	18.6	30.6	
	E110	31.2	23.4	38.4	
	E130	37.8	28.2	46.8	
	E150	44.4	33.0	55.2	
すぎ	E50	19.2	14.4	24.0	
	E70	23.4	17.4	29.4	
	E90	28.2	21.0	34.8	
	E110	32.4	24.6	40.8	
	E130	37.2	27.6	46.2	
	E150	41.4	31.2	51.6	

※表6-4「針葉樹の構造用製材の日本農林規格（目視等級）」に対応した基準強度

表6-6 無等級材の基準強度

（建設省告示 1452 号、平成 12 年 5 月 31 日）

樹種		基準強度 (N/mm ²)				
		Fc(圧縮)	Ft(引張)	Fb(曲げ)	Fs(せん断)	
針葉樹	I類	あかまつ、くろまつ、 べいまつ	22.2	17.7	28.2	2.4
	II類	からまつ、ひば、 ひのき、べいひ	20.7	16.2	26.7	2.1
	III類	つが、べいつが	19.2	14.7	25.2	2.1
	IV類	もみ、えぞまつ、とどまつ、 べにまつ、すぎ、べいすぎ、スプルース	17.7	13.5	22.2	1.8
広葉樹	I類	かし	27.0	24.0	38.4	4.2
	II類	くり、なら、ぶな、けやき	21.0	18.0	29.4	3.0

表6-7 製材のめり込みの基準強度

(国土交通省告示1024号、平成13年6月12日)

樹種		基準強度 (N/mm ²)
針葉樹	あかまつ、くろまつ、べいまつ	9.0
	からまつ、ひば、ひのき、べいひ	7.8
	つが、べいつが、もみ、 えぞまつ、とどまつ、ベにまつ、 すぎ、べいすぎ、スプルース	6.0
広葉樹	かし	12.0
	くり、なら、ぶな、けやき	10.8

6-2. 木材のヤング係数の測定方法

構造部材として重要な木材の強度性能として、引張り強度、圧縮強度、曲げ強度、せん断強度等があります。この強度性能は、実際に試験をするとわかるのですが、それでは材料が壊れて使えなくなります。そのため、木材を壊さずに非破壊で強度性能を知る方法を探るため、年輪幅、節、繊維傾斜、密度、ヤング係数等と強度の関係についての研究が行われてきました。その結果、強度に1番強く影響する因子がヤング係数だとわかってきました。すなわち、ヤング係数の高いものが強度も高い（せん断強度を除く）ことがわかっています。このことから、建設省告示においては目視等級区分製材より、機械等級区分製材により大きな強度性能（基準強度）が与えられています。それでは、ヤング係数とはいったい何を表わしているのでしょうか。

(1) ヤング係数とは

ヤング係数とはヤング率、弾性係数、MOE (Modulus of Elasticity) などと呼ばれ、曲げヤング係数、圧縮ヤング係数、引張りヤング係数などがあります（ちなみにヤングとは人の名前です）。JASの機械等級区分製材では、測定が比較的簡単な曲げヤング係数により区分する方法が採用されています。

曲げヤング係数を言葉で正確に説明するのは難しいのですが、一言で言うと「材料のたわみやすき、曲がりにくさを表した数値」と言うことができます。すなわち、同じスパン間で材料に荷重をかけたとき時、たわみにくい方がヤング係数が高い材料となります。

たとえば、同じ断面のヤング係数が5.0kN/mm²と10.0kN/mm²を比較すると同じ条件では5.0kN/mm²の方が2倍たわむこととなります（でも強度は2倍も弱くなりませんのでご安心を）。この曲げヤング係数と曲げ強度の関係は樹種ごとにわかっており、一般的に

スギ材はヤング係数の割に強度は高く、同じヤング係数の場合、マツやベイマツより大きな基準強度が与えられています。スギとベイマツのヤング係数の平均値はそれぞれ7.0 kN/mm²と12.0kN/mm²程度ですが強度はほとんど同程度です。このことを裏返せば、スギの梁桁材の断面を少し大きくして建築の時のたわみ量を同じにすれば、スギ材の方が曲げ破壊の最大値が大きくなり、より安全な梁桁材料になると言うこともできます。

ところでヤング係数とは何を表しているのでしょうか？ JASのE70とはどんな意味があるの？と改めて質問です。E70とは、ヤング係数が5.9kN/mm²以上～7.8kN/mm²未満（60tf/cm²以上～80tf/cm²未満）の幅のヤング係数を有する製品のことで、JASの機械等級区分製材は20tf/cm²ごとに等級区分されています。その後、単位をISO規格に変更したため5.9kN/mm²以上～7.8kN/mm²とkN/mm²の表示に変更になりましたが、等級区分の表示は当時のE70のまま変わらず現在に至った経緯があります。

それでは、ヤング係数の70tf/cm²（約7kN/mm²）はどんな数字なのか？ 曲げヤング係数で説明すると少々複雑になるので、ここでは引張ヤング係数で説明します。木材をバネと想定してください。1 cm²の断面の材長1 mの木材（バネ）を2倍の長さの2 mまで引張るのに必要な力が70tfと言うことです（1.5倍まで引張るには半分の35tfが必要です）。つまり、バネ計りは重りをつるすと伸びますが、木材も重りをつるすと伸びるのです（実際はほんの少しの伸びで破壊してしましますが・・・）。材長1 m の1/1000の1 mm木材を伸ばすには70tfの1/1000の70kgfが必要となります。つまりヤング係数が70tf/cm²の1 cm角の木材1 mに70kgの人間がぶら下がると1 mmだけ木材が伸びることになります。では、実際の製品サイズの柱材ではどうなるのでしょうか。材長1 mの10cm柱材を1 mm伸ばすには、断面積が先ほどの100倍ですから70kgfの100倍の7000kgf（7tf）必要です。ちなみに2 mmで14tf、3 mmでは21tfが必要と言うことです。圧縮ヤング係数（70tf/cm²）も同様で材長1 mの10cm正角材を1 mm縮めるのに7tfが必要で、2 mmで14tf、3 mmで21tfが必要になります。

このようにヤング係数は、材料強度を推定するだけでなく、材料にかかる荷重と変化量の関係まで知ることができるので、建築サイドからは好都合な指標と言えます。

(2) 曲げヤング係数の測定方法

製材の日本農林規格第6条の機械等級区分構造用製材の曲げ性能は、別記の3の(4)の曲げ試験によることになっています。以下にこれを転記します。

別記の3 (4)曲げ試験

ア 試験の方法

試験製材を用い、次の図6-9に示す方法により、適当な初期荷重を加えたときと最終荷重を加えたときとのたわみの差を測定し、曲げヤング係数を求める。

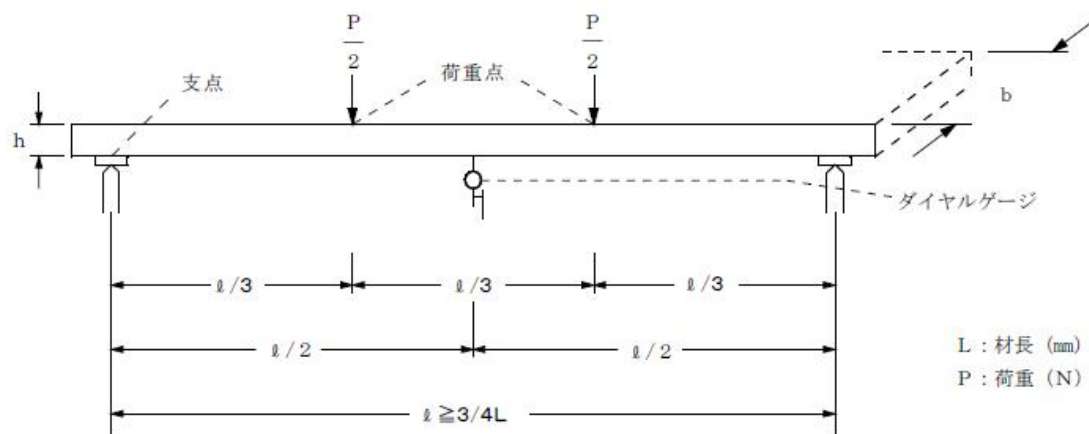


図6-9 機械等級区分構造用製材の曲げ性能測定方法

イ 曲げヤング係数の算出

次の式により曲げヤング係数を求める。ただし、スパンの試験製材の木口の短辺に対する比が18以上のものにあつては、算出した曲げヤング係수에表6-8の左欄に掲げるスパンの試験製材の木口短辺に対する比の区分に従い、それぞれ同表の右欄に掲げる係数を乗じて得た数値をその曲げヤング係数とする。

$$\text{曲げヤング係数 (MPa又はN/mm}^2\text{)} = \frac{23 \times \Delta P \times \ell^3}{1296 \times \Delta y \times I}$$

ΔP : 比例域における初期荷重と最終荷重との差 (N)

ℓ : スパン (mm)

Δy : ΔP に対応するスパン中央のたわみ (mm)

I : 断面2次モーメント (材種により以下のとおりとする。)

①板類及び角類
$$\frac{b \times h^3}{12}$$

②円柱類
$$\frac{\pi}{64} \times d^4$$

b : 試験製材の木口の長辺 (mm)

ただし、たいこ材にあつては、たいこ材の直径とする。

h : 試験製材の木口の短辺 (mm)

π : 円周率 (=3.14)

d : 試験製材の直径 (mm)

表6-8 スパンの試験製材の木口の短辺に対する比の区分とその係数

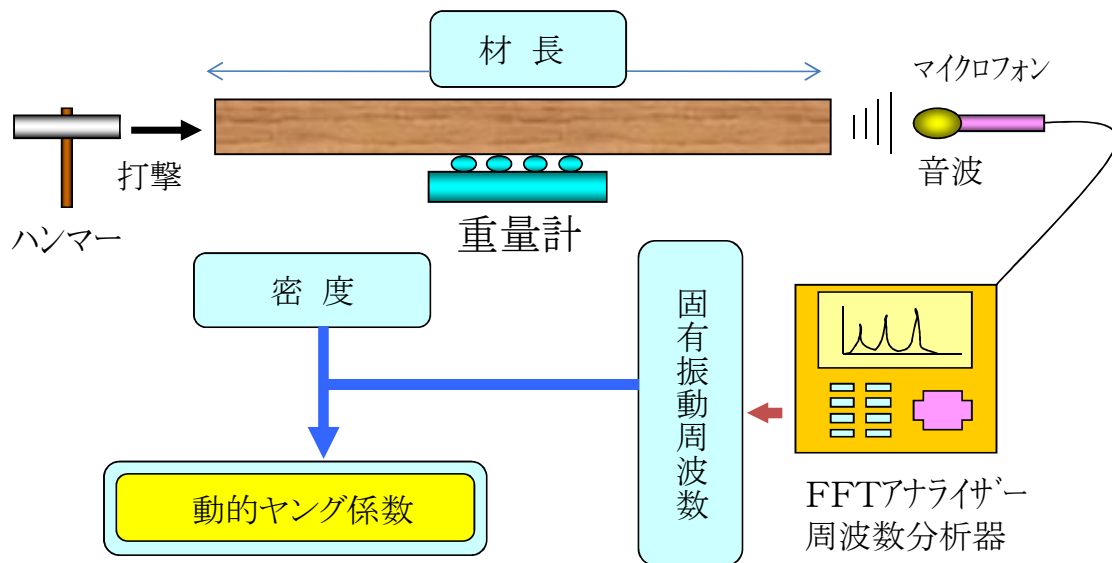
スパンの試験製材の木口の短辺に対する比	係数
18	1.000
21	0.988
24	0.981
27	0.975
30	0.972
33	0.969
36	0.967
39	0.965
42	0.964
45	0.963
48	0.962
51	0.961
54	0.961
57	0.960
60	0.960



写真6-1 曲げヤング係数の測定の様子

(3) 動的ヤング係数の測定方法

材料を振動させその材料固有の振動周波数から求めるヤング係数を動的ヤング係数といいます。製材の動的ヤング係数の測定には縦振動法が良く用いられています。具体的には、木材の木口をハンマーなどで叩いて音（縦振動波）を発生させその特性をFFTアナライザーという機械で分析して固有振動周波数、材長、材の密度から（1）式にて動的ヤング係数を求めます（図6-10、写真6-2）。



$$E_{fr} = 4L^2 f^2 \rho \dots \dots \dots (1) \text{ 式}$$

E_{fr} : 動的ヤング係数 (Pa) , L : 材長 (m) , f : 固有振動数 (Hz) ,

ρ : 密度 (kg/m^3)

図6-10 動的ヤング係数の測定方法の概略



写真6-2 縦振動法による動的ヤング係数の測定様子

この方法は高額な強度試験機（写真6-3）を必要とせず、重量計とFFTアナライザーだけで精度良く測定できること。大きな材料や、丸太でも測定が可能なこと。さらに、測定が簡略であることなど多くのメリットがあります。



写真6-3 木材の実大強度試験機によるスギ平角材の曲げ強度試験（林業研究部）

動的ヤング係数は、あくまでも曲げヤング係数を推定するために測定しています。図6-11に示すとおり動的ヤング係数と曲げヤング係数の間には高い相関関係が認められ、動的ヤング係数から高い精度で曲げヤング係数の推定が可能です。製材品中のヤング係数分布のバラツキから多少の差は生じますが、製品の平均的なヤング係数を示す指標として有効な手段と考えられます。

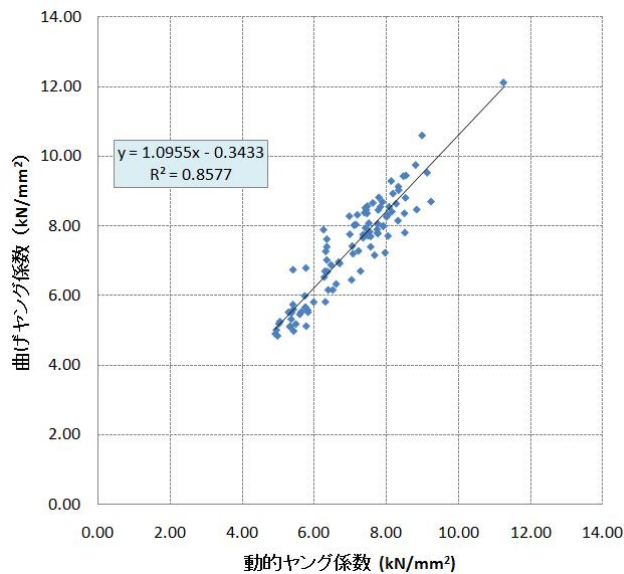


図6-11 平角材の動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係

また、最近では、パソコンの普及からパソコンに接続したマイクロフォンを使って打撃音を拾い、フリーのFFT解析ソフトで解析した固有振動周波数から動的ヤング係数を算出する、さらに低コストな測定方法も可能になってきました。市場に流通する製材品の多くが無等級区分材である現状を見ると、このような手法でヤング係数を測定する機会も増えるかもしれませんが、縦振動周波数の特性や製材品の強度性能、さらにパソコンについてある程度の知識が必要ですので、個人で測定する際はこれらの点に注意が必要です。

6-3. 木材乾燥の基礎知識

(1) 木材乾燥の一般的特徴と注意点

木材乾燥の一般的な特徴をあげると、以下のとおりです。

- ①木材を湿潤状態で放置すると、変色菌や腐朽菌に犯されやすい。
- ②含水率の高い木材を使用すると、次第に乾燥して収縮が起こり、製品に狂いや、すきまができる。
- ③適正な含水率で、木材は強度部材としての諸性能が向上する。
- ④適正な含水率にしないと、十分な接着力が得られない。
- ⑤乾燥することによって、重量を減少させ、輸送を容易にする。
- ⑥乾燥することによって、加工性、塗装性がよくなる。
- ⑦電気抵抗、保温性は含有水分の減少とともに著しく高くなる。

また、木材乾燥の主な注意点については、以下のとおりです。

- ①樹種によって、また、同一樹種でも産地によって乾燥に難易がある。一般に、広葉樹が針葉樹より、心材が辺材より、厚い材が薄い材より乾燥が難しい。
- ②その使用場所によって乾燥すべき適正含水率が異なる。
- ③乾燥中、木材の内部に応力が生じ、含水率に応じて適宜乾燥条件を変えないと、乾燥による損傷が起こる。

(2) 含水率及び含水率計

①含水率の表し方

木材の含有水分量は含水率で表され、次式で求められます。

$$u = (W_u - W_o) / W_o \times 100(\%)$$

ここで、u：含水率

W_u：含水率を求めようとする木材の重量

W_o：103 ± 2℃の乾燥器内で恒量に達した木材の重量（全乾重量）

上式による含水率の求め方を乾量基準（上式の分母がW_o）と言い、木材の含水率はこの乾量基準によって求められます。したがって、木材の含水率は、生材等において100%を超える場合がよくあります。

②生材含水率

伐採したばかりの生材含水率は樹種により、また季節により異なります。表6-9のように樹幹内の含水率分布は辺材部が一般に高いが、スギの黒心材（表6-9のスギ2）のように心材部の含水率が高いような例外もあります。比重の低い木材は細胞の内腔が大きく、全乾重量が小さいので、生材含水率は高い傾向にあります。

表6-9 辺・心材別生材含水率

針葉樹	生材含水率(%)		広葉樹	生材含水率(%)	
	辺材	心材		辺材	心材
スギ1	139.2	55.0	ク リ	102.7	91.3
スギ2	148.0	113.1	セ ン	101.5	77.1
ヒノキ	153.3	33.5	ミズナラ	78.9	71.5
アカマツ	143.7	33.7	シラカシ	63.6	82.7
トドマツ	211.9	76.1	マカンバ	76.9	65.2
エゾマツ	169.1	40.6	シナノキ	91.9	108.3

(乾燥講習会テキスト、日本木材加工技術協会より)

③繊維飽和点 (FSP)

木材中の水分は自由水と結合水に大別されます(図6-12)。前者は細胞内腔や細胞間隙に存在する水分で、後者は細胞壁に含まれる水分です。繊維飽和点は、自由水がなく、結合水の含み得る最大含水率の状態をいい、25~33%あたりとされています。非常にゆっくり乾燥すれば、まず自由水が蒸発し、次いで結合水が蒸発します。しかし、ある厚さをもつ板材を乾燥すれば、表層面が先に乾燥するため、平均含水率が30%以上でも表層部は繊維飽和点以下になっており、平均含水率が30%以下でも内層部に自由水が残ることがあります。

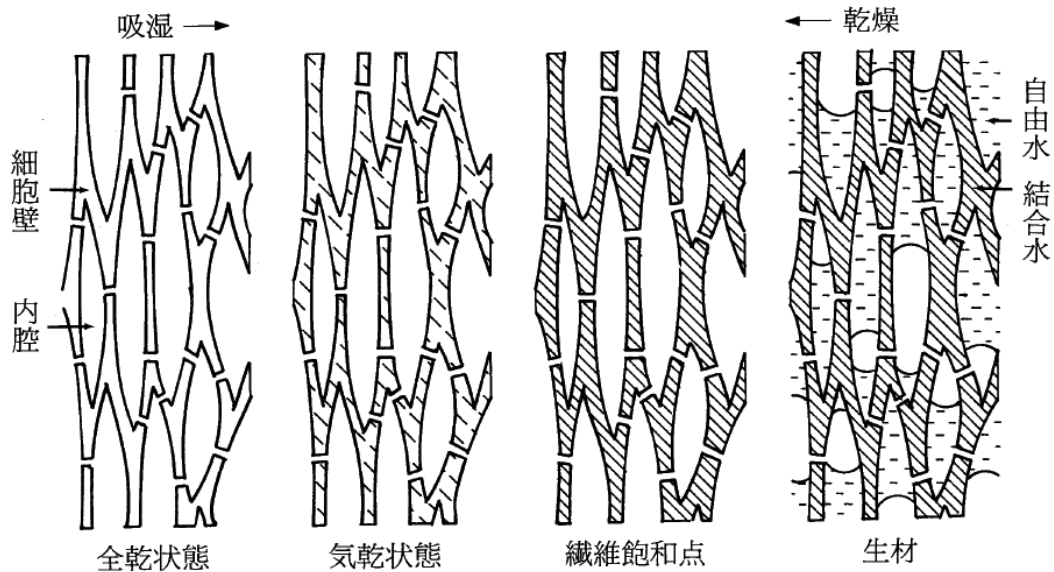


図6-12 木材中の水分状態 (佐道健『木のメカニズム』、養賢堂、1995、38p)

④平衡含水率

平衡含水率とは、一定の温度、相対湿度(乾湿球温度差)の下で木材の含水率が平衡し、一定となったときの含水率を言い、特に、大気と平衡している含水率を気乾含水率と言います。平衡含水率は、脱湿過程と吸湿過程とではやや異なり、この現象をヒステリシス(履歴現象)と言います。

⑤含水率計

一般に、生産流通の現場では、含水率は上記の全乾法ではなく、簡便な含水率計によって測定されることが多く、この含水率計には、直流電気抵抗式と高周波誘電率式の二つのタイプがあります。前者は、木材の電気抵抗が含水率によって変化する性質を利用したもので、通常、針状の電極を木材に打ち込んで測定します。針の深さまでの、含水率20%以下の測定値は比較的正確です。一方、後者（写真6-4）は、木材の電気容量が含水率によって異なる性質を利用しており、電極は通常木材表面に押し当てる方式です。木材表面に傷を付けない、温度の影響を受けにくい、繊維飽和点以上の高含水率でも概略値を知ることができる等の特徴を有しています。

なお、（財）日本住宅・木材技術センターのホームページには、認定機種が各種紹介されています。



写真6-4 含水率計
(携帯型高周波式含水率計)

6-4. 計算ソフトの使い方

「計算ソフト」データは、大分県農林水産研究指導センター林業研究部ホームページからダウンロードが出来ます。ご利用の際は、下記の使用方法をご参考にしてください。

- 1) 「計算ソフト」フォルダを開くと、横架材の種類ごとにフォルダ群が表示されます。その中から、計算しようとする横架材を選択して開きます。
- 2) 例えば、「C小屋梁」のフォルダを選択すると、エクセルファイルが表示されます。このとき、t-1、t-2などは小屋梁に係る小屋束の数を表します。また、他の横架材では T-1、T-2 など大文字で表したものになっています。これは、それぞれの横架材の長さや、梁や柱を通じて受ける荷重の位置などによるタイプ分けを表しています。詳しくは、本項5) をご覧ください。例えば、T-1 は、横架材のスパンがモジュールの2倍で、梁や柱が横架材の中央にあるタイプです。
- 3) 更に対象のエクセルファイルを開くと、まず図6-13のようなシートが表示されます。このシートを用いて、横架材の必要最小限のサイズを計算します。シートは、以下の手順で使用できます。
 - ①使用するモジュールを「選択因子」欄中の朱記で示した数字の中から選択し、「決定因子」欄に書き込みます。例では 910 (mm) を選択しています。
 - ②使用するスギ材の区分を同じように選択します。ここでは、朱記の数字を「決定因子」欄に記入します。例では無等級材の 1 を選択しています。

- ③材の乾燥区分を同じように選択し、「決定因子」欄に記入します。ここでも数字を選択します。例では D20 未満の乾燥材の 1 を選択しています。
- ④小屋梁ですから、屋根の種類によってかかる荷重が違います。どちらかを選択します。例ではスレート（軽い屋根）の 1 を選択しています。
- ⑤次に横架材のサイズを選択します。まず、材幅を上記と同様に選択し、「決定因子」欄に記入します。例では材幅 105 (mm) の 1 を選択しています。
- ⑥ここまで記入すると、「参考値」欄の数字が必要な材せいの参考値を示します。そこでこの数字を材せいの「決定因子」欄に記入します。例では「参考値」欄が 240 (mm) を示しましたので、この値を「決定因子」欄に記入しています。
- 注) ここで、材せいを記入すると「参考値」欄の数字が変わる場合がありますので、その場合は変わった後の数字を再度、記入してください。
- ⑦最後に「計算結果」欄を確認します。この欄が「OK」と表示されていれば、そのサイズのスギ材を用いれば条件を満足します。しかし、「再計算」が表示されたときは、そのサイズでは条件を満足しませんので、材せいを 1 サイズ大きくして、「OK」になるまで再計算してください。
- なお、上記「決定因子」欄等で設定した条件を下欄に再掲してありますので、使用する前に条件が正しく記入されているか再度確認してご使用ください。
- 4) 参考計算表は「図表」、「基礎因子」、「計算表」、「計算表」、「参考値計算」の 5 つのシートから出来ています。「基礎因子」の「決定因子」欄以外は、保護の処置をしていますので、変更できません。
- また、この計算表は、本スパン表を作成するために作ったもので、本スパン表の設計条件以外では使用できませんので注意してください。
- 5) タイプ分けは次のとおりです。
- T-1 ・横架材のスパンがモジュールの 2 倍。
 - ・梁、柱などを介した集中荷重が横架材の中央にかかるもの。
 - T-2 ・横架材のスパンがモジュールの 3 倍。
 - ・梁、柱などを介した集中荷重が横架材のスパンの 2 / 3 の位置にかかるもの。
 - T-3 ・横架材のスパンがモジュールの 4 倍。
 - ・梁、柱などを介した集中荷重が横架材の中央にかかるもの。
 - T-4 ・横架材のスパンがモジュールの 4 倍。
 - ・梁、柱などを介した集中荷重が 2 箇所横架材の 1 / 4 及び 3 / 4 の位置にかかるもの。

C 小屋梁計算書

t-3 *小屋梁スパン 4×D (モジュール)、3点荷重

		選択因子	決定因子		
①	モジュール	910、1000	910		
②	材の区分	1.無等級、2.E50、3.E70、4.E90	1		
③	乾燥の区分	1:D20 未満、2:グリーン材	1		
④	屋根の重さ	1:スレート、2:瓦屋根	1		
	小屋梁スパン L	4 910 3640	-		
	小屋梁間隔 P	2 910 1820	-		
材の 大きさ	⑤ 材幅	1:105、2:120	1	参考値	
	⑥ 材せい	105、120~360	240	240	mm 以上

計算結果	OK
------	----

単位 : mm、N/mm²

①	②		③	④	—	—	⑤	⑥	判定
モジュール	区分		乾燥区分	屋根荷重	スパン	間隔	材幅	材せい	
910	E	無等級	乾燥材	450	3,640	1,820	105	240	OK

図6-13 小屋梁計算書

ウッド・チェンジ!



®

木づかいが森をよくする暮らしを変える
がんばろう国産材

発行元・問合せ先

大分県木材協同組合連合会

〒870-0004 大分市王子港町 1-17
TEL.097-532-7151 FAX.097-537-8441
<http://www.oitakenmoku.jp/>

大分県農林水産研究指導センター林業研究部

〒877-1363 日田市大字有田字佐寺原 35
TEL.0973-23-2146 FAX.0973-23-6769
<https://www.pref.oita.jp/soshiki/15088/>

監修 大分大学理工学部 木質構造研究室

木材流通における転換促進支援事業（林野庁 令和4年度補正）