

静岡県産スギ・ヒノキ中・大径原木より採材した平角製材梁の曲げ性能[†]

池田潔彦¹⁾・渡井純¹⁾・鈴木養樹²⁾・飯島泰男³⁾

¹⁾農林技術研究所森林・林業研究センター,²⁾森林総合研究所,

³⁾秋田県立大学木材高度加工研究所

Bending strength properties of sugi (*Criptomeria japonica*) and hinoki (*Chamaesypris obtusa*) square sawn timber beams from large dimension logs grown in Shizuoka prefecture

Kiyohiko Ikeda¹⁾, Jun Watai¹⁾, Youki Suzuki²⁾ and Yasuo Iijima³⁾

1) Forestry and Forest Product Research center / Shizuoka Res. Inst. of Agric. and For.

2) Forestry and Forest Product Research Institute.

3) Institute of Wood technology, Akita Prefectural University.

Abstract

We examined the dynamic modules of elasticity (Efr) of sugi and hinoki logs grown in the Tenryu and Ooigawa districts. The parametric tolerance limit 5th percentile (PTL) Efr value of both sugi and hinoki logs were about 6 kN/mm² and 8 kN/mm², respectively. The PTL Efr value of the Tenryu area was higher for both species than the Ooigawa area. The PTL bending strength (fb) and static modules of elasticity (Eb) of sugi square sawn timber beams was higher than the characteristic value for the bending strength in the standards for structural design of timber structures. The length of internal check had no significant effect on Eb or fb. The Efr of logs was found to be well correlated with both the Eb and the fb of square sawn timber beams. There were apparent differences in the PTL fb values of timber in both the higher and lower groups which divided with log Efr. These results indicate that mechanical grading of sugi and hinoki logs can improve the prediction of bending strength properties of timber beams sawn from logs.

キーワード：スギ・ヒノキ，原木丸太，平角製材梁，曲げ性能，内部割れ

I 結 言

静岡県ではスギ・ヒノキ人工林の長伐期化に伴い、今後、高齢級林分より中・大径原木の供給増が予想される。このため、それらの材質や径級の特徴を活かして、効率良く加工・利用する必要がある。中・大径原木を有効活用する手段として、在来軸組工法木造住宅用梁・桁部材の平角製材が考えられる。しかし、同部材に利用されている大半は北米産ベイマツ製材や欧州産構造用集成材等の輸入材で、スギ・ヒノキが利用される比率は低い状況にある。一方、県産材需要の大半を占める木造建築側では、地域材利用に対する関心の高まり、住宅瑕疵担保履行法や品確法等による品質・性能の確かな製品供給の要求増、公共建築物への木材利用促進法の施行など状況が激変している。このため、県産材製品が建築側（設

計・施工）でより活用されるには品質・性能の確かな製品、特に構造用材では強度性能の確かな製品供給が必要である。国が示した、森林林業再生プラン（平成22年11月）や森林・林業基本計画（平成23年7月）においても、林産加工体制整備の方向として、大径材化への対応—グレーディングマシンでの強度保障による梁・桁等の利用拡大と、品質と強度性能及び乾燥性能の確かなJAS製品等の普及促進を挙げている。

これまで、針葉樹構造用製材の強度性能は実大材の試験データが公設試験研究機関等で蓄積されてきた。それらの結果^{5,9,10)}は、木材許容応力度の改正や木質構造限界状態設計法における機械等級区分材等の基準強度特性値の算定等に活用されてきた^{17,18)}。更に、平成23年に「住宅分野への地域材供給シェア拡大対策事業：データ収集・整備事業」の成果として、全国の製材強度データを

[†]本報告の一部は第29回日本木材加工技術協会年次大会(岡山市)、2011年日本木材学会中部支部大会(静岡市)で発表した。

標準試験条件に調整・統計処理した結果に基づく「木材の強度等データおよび解説」が刊行された²⁾。一方、静岡県産製材の強度データは1999年の筆者らの報告以降^{10,23)}、人工乾燥したスギ・ヒノキ平角製材梁について蓄積しているが、前述した全国の強度データと比較等をする上で標準試験条件に調整し、統計処理に基づく取りまとめ必要である。また、スギの構造用製材等は、蒸煮・高温低湿セット処理後に中・高温度域スケジュールで蒸気式乾燥機を用いた方法が材面等の割れ発生を抑制することから普及している。しかし、その乾燥方法では、現行JASでは規定されていない内部割れが発生する場合があります、それが強度性能に及ぼす影響が懸念されているため早急な解明が必要である。

製材用の原木素材丸太（以下、原木）は、従来市場等で主に直径、曲がり、材色により評価されてきたが、平成19年JAS改正で「素材の日本農林規格」にはヤング率による区分基準が導入され、原木が構造材として利用が促進される一途となった¹⁹⁾。また、原木の段階でヤング率や重量・生材密度に基づき用途選別を行うことは、特に、個体間で材質のばらつきが大きなスギでは、製品の品質・性能の向上安定化と製造コスト削減に繋がることが期待される。そのためには、原木と製材等の強度性能・乾燥性能の関連性を評価すると共に区分の効果検証を行う必要がある^{11,14,16)}。

これらの背景を基に、本研究では、静岡県天竜川流域と大井川流域のスギ・ヒノキ丸太とそれより採材した平角製材梁の曲げ性能を評価するとともに、乾燥過程で生じた割れが曲げ性能に及ぼす影響及び原木段階での平角製材梁の強度・乾燥性能の推定手法について検討した。

II 試験体及び試験方法

1 スギ・ヒノキ原木の材質調査

スギ・ヒノキ原木は、静岡県内の天竜川流域と大井川流域の林分より伐倒搬出された1番玉、2番玉で、調査本数がスギでは両流域ともに各250本、ヒノキでは天竜川流域120本、大井川流域が50本である。各原木は、製材工場土場にて、元口・末口直径と材長及び重量、心材径、末口年輪幅を計測し、心材率、末口年輪幅、水分を含むみかけの密度（以下、「生材密度」）および縦振動法による動的ヤング率（以下、「Efr」）を求めた。

2 平角製材梁の人工乾燥と材質調査

調査原木より、スギについては天竜川流域170本、大井川流域140本、ヒノキについては両流域とも25本を原木の末口径に応じて選び、幅12~13cm、厚18cm~33cm、長さ4mの心持ち平角製材梁を採材しそれらの密度とEfr

を計測した後、人工乾燥した。乾燥スケジュールは、大井川流域のスギでは、12時間の95°C蒸煮後、120°Cの高温低湿処理24時間、乾球温度90~80°C、湿球温度80~60°Cで10日間、同ヒノキではそれと同条件で7日間である。天竜川流域のスギでは、95°Cの蒸煮12時間、120°Cの高温低湿処理24時間後に乾球温度105°C、湿球温度90~80°Cで10~16日間、同ヒノキではそれと同条件で7日間である。大井川・天竜川流域のスギ、ヒノキとも人工乾燥の目標含水率を15~20%とした。乾燥後、平角製材梁は、モルダで材面仕上げを行った後、針葉樹構造用製材JASの甲種構造用の規格²⁰⁾に準じて、最大・集中の節径比、平均年輪幅を計測した。また、Efrと動的捻り振動法²⁰⁾によるせん断弾性係数（以下、「Gfr」）及び乾燥で木口面、幅面及び厚面に生じた割れの長さを計測した。また、曲げ試験後の試験体より破壊影響の無い材端から約1m付近より厚3cmの断面試片を2枚採材し、1枚が材全体の全乾法による含水率（以下、「MC」）と木口面に生じた内部割れの長さ合計と最大割れ幅を計測し、他方が5~9分割してMCを計測し材内部のMC差を調べた。

3 平角製材梁の実大曲げ試験とデータ統計処理

平角製材梁の実大曲げ試験は、実大強度試験機（容量50tonf：島津製作所株）を用いて、スパン390cm、3等分点4点荷重方式で行い、曲げヤング率および曲げ強度を求めた。それらデータの統計処理は、堀江による「木材強度データの確率・統計手法」⁴⁾に準じて行った。

III 結果及び考察

1 スギ・ヒノキ中・大径丸太の材質

天竜川流域・大井川流域におけるスギ・ヒノキ中・大径丸太の材質を表1に示す。また、それら丸太Efrと生材密度の相対度数分布を図1に示す。度数分布への確率密度関数の当てはめでは、コロモゴルフ・スミルノフ検定（以下、KS検定）²¹⁾によりいずれも対数正規分布の適合度が最も高い結果となった。母集団を同分布とみなしたパラメトリック法⁴⁾により、信頼水準75%のときの5%下限許容限界値（以下、PTL）を算出し図中に示した。Efrの平均値とPTL（kN/mm²）は、スギでは天竜川流域が9.0、6.3、大井川流域が8.5、6.1で、ヒノキでは天竜川流域が11.7、8.8、大井川流域が10.6、7.8であった。PTLは、両流域とも、しずおか優良木材認証制度の強度基準であるスギE70（ヤング率5.8kN/mm²）以上、ヒノキE90（ヤング率7.8kN/mm²）とほぼ同値であった。また、針葉樹の構造用製材JAS機械等級区分に準じた等級比率は、スギではE50が3%、E70が32%、E90が47%、E110以上が18%となり、しずおか優良木材認証制度の基準E70以上に相当するス

表1 天竜川流域・大井川流域より産出されたスギ・ヒノキ中・大径原木の材質

N		直径 (cm)		心材径 (cm)		心材率 (%)		Efr (kN/mm ²)	生材密度 (kg/m ³)	末口年輪幅 (mm)	末口年輪数
		元口	末口	元口	末口	元口	末口				
大井川流域 スギ	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	平均値	33.0	28.8	24.8	19.8	73	69	8.5	740	4.1	43
	標準偏差	2.2	1.3	2.1	1.5	4	4	1.1	70	0.5	4
	CV (%)	7	5	9	8	6	7	18	14	13	9
天竜川流域 スギ	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	平均値	36.4	30.2	26.1	20.9	71	69	9.0	746	3.9	46
	標準偏差	5.7	3.7	5.3	3.3	6	6	1.7	103	0.8	5
	CV (%)	16	12	20	16	8	8	18	16	19	13
大井川流域 ヒノキ	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	平均値	36.3	30.7	28.4	23.5	78	76	10.6	746	3.5	52
	標準偏差	3.0	2.1	2.7	2.5	3	6	1.2	103	0.6	8
	CV (%)	8	7	9	11	4	8	17	10	18	16
天竜川流域 ヒノキ	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	平均値	28.4	25.0	21.8	18.8	77	78	11.7	754	3.2	43
	標準偏差	6.1	5.4	5.0	4.8	4	5	1.8	72	1.0	8
	CV (%)	21	22	23	26	6	6	16	9	31	20

Efr:縦振動法による動的ヤング率, CV:変動係数

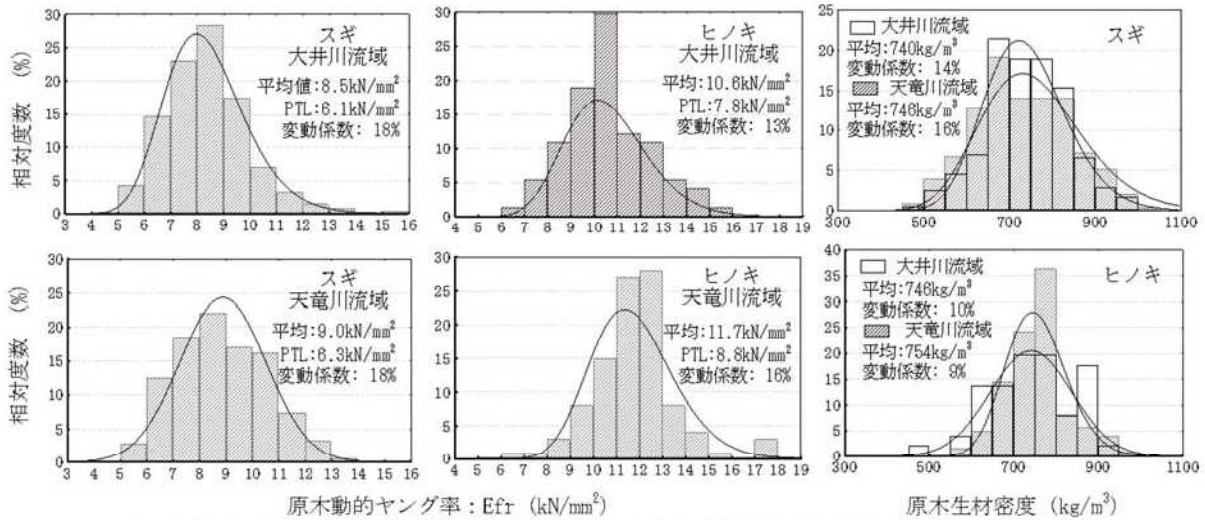


図1 スギ・ヒノキ中・大径原木の動的ヤング率とみかけの密度の相対度数分布 (天竜川流域・大井川流域)

PTL: パラメトリック法 (適合度の高い確率密度分布に基づく) による信頼水準75%のときの5%下限許容限界値
 図中の確率分布曲線は最も適合性の高い対数正規分布を示す

スギ原木が 97%を占め、両流域の原木より採材した大半の製材品は同基準を充たすことが示唆された。

生材密度は、平均値がスギ・ヒノキとも両流域で 740~755kg/m³であり、変動係数がスギでは 14~16%とヒノキの 9~10%と比べて大きく、主に心材含水率の個体間におけるばらつきが関与しているものと推察された。

スギ・ヒノキ丸太の Efr と末口の年輪数・年輪幅との関係を図 2 に示す。スギ・ヒノキ、両流域ともに、末口の年輪数、年輪幅と Efr との間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった。末口の年輪数、年輪幅、心材率の平均値は、スギでは 43~46, 3.9~4.1mm, 68~69%, ヒノキでは 43~52, 3.3~3.5mm, 76~78%であり、生材密度と年輪数、年輪幅及び心材率との間には有意な相関関係は認められなかった。

2 スギ・ヒノキ平角製材梁の材質と曲げ性能

スギ・ヒノキ平角製材梁の材質と曲げ試験結果を表 2 に示す。全乾法 MC は、ヒノキでは両流域ともに平均値 13~17%, 変動係数 17%と大半の試験体が目標含水率の 20%以下であった。一方、スギでは、MC の平均値、変動係数が、蒸煮・高温低湿処理後に高温域で乾燥した天竜川

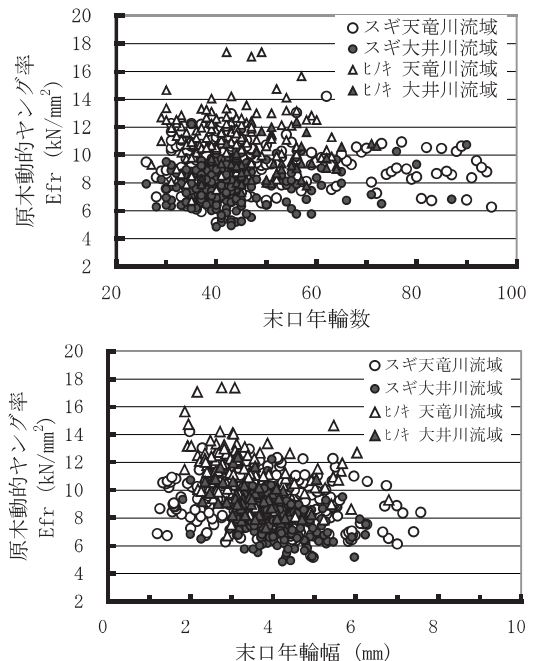


図2 スギ・ヒノキ中・大径原木の動的ヤング率と末口の年輪数・年輪幅との関係

流域で19%, 83%, 同処理後中温度域で乾燥した大井川流域で30%, 52%であり, 両流域ともMCの変動係数が他の計測項目と比べて著しく大きく, MCのばらつきが個体間で大きいことが示唆される. 特に, 梁背が24cm以上では, MCが繊維飽和点以上でかつ材内部のMC差が著しい試験体も見られたが, それらを梁桁に用いた場合には, 施工後に寸法収縮と放湿に伴うメカノソープティブクリープ変位が大きくなるため, 乾燥技術の一層の向上が必要と思われる. 針葉樹製材実大材の強度性能は, 試験体の材背, 荷重負荷条件(支持点間距離, 加力点間距離)及び試験時の含水率が大きく影響する. このため, 他の試験データと比較する際や, 統計処理により基準強度特性値を算出する際の標準試験条件への調整法が検討されその妥当性が検証されている^{7,9,10}. 表2には, 曲げヤング率(E_m)と曲げ強度(f_m)の実測値と, それらの値を基にISO13910, En384の国際・ユーロ規格を参照した飯島・園田らの報告^{7,20}に準じた方法で, 試験体の梁背を105mm, 含水率15%, 荷重負荷条件を梁背18倍, 3等分点4点荷重負荷の標準試験条件に, 調整した値である曲げヤング率(以下, 「Eb」)と曲げ強度(以下, 「fb」)を示した. 調整の際, 飯島・園田⁷は真のヤング率に対するせん断弾性係数の比率について, 実大材の静的試験が困難かつデータが乏しいため, 無欠点小試片データからスギ10%, ヒノキ7%と仮定している. 本試験で動的方法により求めたE_{fr}に対するG_{fr}の比率は, スギが9~10%, ヒノキが6~7%となり両樹種ともそれらとほぼ同値であった. このため, 実大材のヤング率とせん断弾性係数の比率は, 計

測が容易な動的方法によるE_{fr}とG_{fr}から効率良く推定できることが示唆された²⁰.

スギ, ヒノキのEb(kN/mm²)の平均値は, 天竜川流域が9.6, 11.7, 大井川流域が8.4, 11.2, 両流域が9.1, 11.2, であり, 両樹種とも天竜川流域が大井川流域と比べてやや大きく流域間に有意差(t検定, 危険率1%)が認められた. スギ, ヒノキのfb(N/mm²)平均値は, 天竜川流域が50.8, 47.7, 大井川流域が47.6, 59.6, 両流域が50.5, 53.7であり, 大井川流域ではヒノキがスギより大きい, 天竜川流域ではスギがヒノキより大きい. 天竜川流域のfb平均値は表中に示した同流域を主としたスギ製材梁の既往データ¹⁰と比べてほぼ同値であった. また, 全ての試験体が無等級製材の基準強度(N/mm²)スギの22.5, ヒノキの26.7を両樹種ともに上回っている.

両樹種・両流域のEbとfb及びJAS機械等級区分したfbの相対度数分布とPTLを図3に示す. 度数分布への分布当てはめでは対数正規分布の適合度(KS検定)が高かった. PTLは, スギではEb, fbとも天竜川流域が大井川流域よりも大きく, ヒノキではEbでは同様であるがfbでは天竜川流域が大井川流域よりも小さかった.

全国のスギ試験データ(N=4495)²¹は, Eb(kN/mm²)では平均値, PTLが7.4, 4.8, fb(N/mm²)では45.1, 28.9であり, 両流域ともに全国データと比べて平均値, PTLともに大きい. この要因として, JAS視覚等級では試験体の90%が最上位の甲種1級に格付けされるなど, 平均年輪幅が4mm前後で材面の節が少なく繊維傾斜も小さなことが関与したと思われる. これらは, 枝打ちや間伐の育林施策が適

表2 天竜川流域・大井川流域産スギ・ヒノキ平角製材梁の材質と曲げ性能

N		幅 厚		平均 密度	全乾法 年輪幅	含水率 (%)	G _{fr} (kN/mm ²)	ヤング率			曲げ強度	
		短辺 (mm)	長辺 (mm)					密度 (kg/m ³)	年輪幅 (mm)	含水率 (%)	G _{fr} (kN/mm ²)	E _{fr} (kN/mm ²)
天竜川流域 スギ	170	134	254	421	3.9	19	0.9	9.2	9.8	9.6	38.1	50.8
		3	38	56	0.8	16	0.2	1.8	1.7	1.6	6.7	8.8
		2	15	13	20	83	21	19.5	17.5	16.4	17.7	17.4
大井川流域 スギ	140	126	245	444	4.4	30	0.8	8.1	8.1	8.4	33.3	47.6
		3	36	55	0.9	16	0.1	2	1.5	1.4	6.4	8.1
		2	15	12	20	52	15	19.0	18.5	17.1	19.3	17.0
両流域 スギ	310	130	250	431	4.1	24	0.8	8.5	9.0	9.1	36.0	49.4
		5	38	57	0.9	17	0.2	1.7	1.8	1.6	7.0	8.6
		4	15	13	21	70	20	20	20	18	19	17
既往データ スギ	350	110	202	458	4.6	27	—	8.0	8.2	8.3	38.2	50.5
		6	36	77	1.4	19	—	1.4	1.4	1.4	7.6	10.1
		6	18	17	32	70	—	18	18	17	20	20
天竜川流域 ヒノキ	25	136	257	492	3.2	13	0.8	11.7	11.1	11.7	38.2	47.7
		1	1	35	0.6	4	0.1	1.7	1.7	1.7	8.2	10.7
		1	0	7	18	17	12	15	16	15	21	22
大井川流域 ヒノキ	25	136	257	493	3.5	17	0.7	11.1	10.8	11.2	42.2	59.6
		1	1	29	0.6	3	0.1	1.5	1.6	1.8	7.9	12.1
		1	0	6	17	17	13	14	15	16	19	20
両流域 ヒノキ	50	128	249	493	3.8	14	0.8	11.4	11.3	11.2	40.2	53.7
		8	9	32	0.9	4	0.2	1.6	1.7	1.8	8.2	12.8
		6	3	6	30	25	22	14	15	16	20	24

G_{fr}: 動的ねじり振動法による動的せん断弾性率, E_{fr}: 縦振動法による動的ヤング率, CV: 変動係数
E_m・f_m: 曲げ試験によるヤング率と曲げ強度の実測値, E_b・f_b: ヤング率と曲げ強度の標準実験条件による調整値

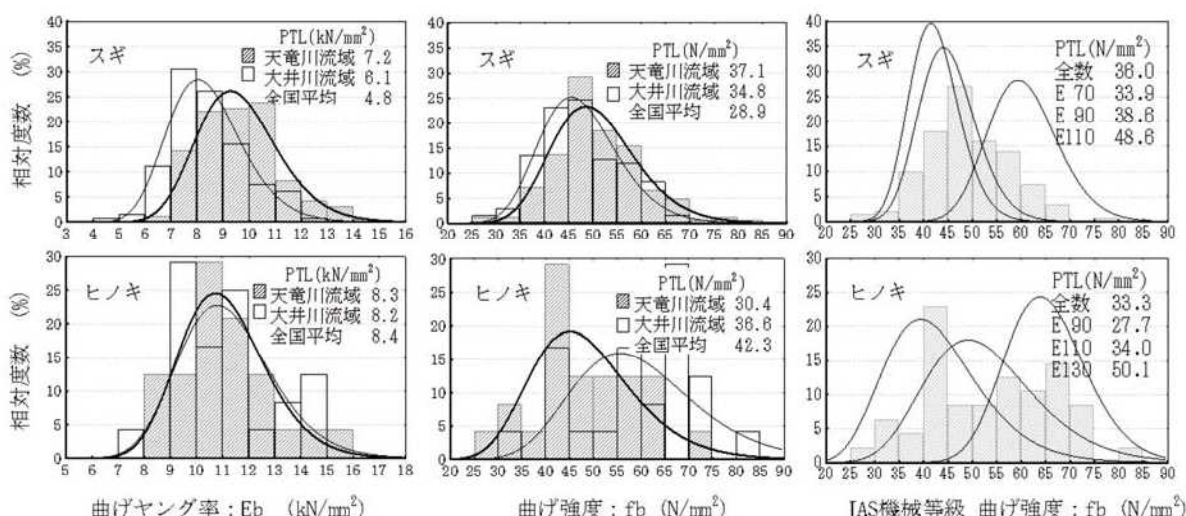


図3 スギ・ヒノキ平角の曲げヤング率Eb・曲げ強度fbの流域別・JAS機械等級別における相対度数分布とPTL
 Eb:曲げヤング率調整値、fb:曲げ強度調整値(梁背:105mm、荷重条件:梁背の18倍、3等分点4点荷重式、含水率15%)
 PTL:パラメトリック法(適合度の高い確率密度分布に基づく)による信頼水準75%のときの5%下限許容限界値
 図中の確率分布曲線は、正規分布、対数正規分布、ワイブル分布のうち最も適合性の高いものを示す

切に行われたこと、土壌条件などスギの伸長・肥大成長に適していたことが起因したためと推察される。

ヒノキの全国データ(N=286)は、Eb(kN/mm²)が平均値10.9、PTL8.4であり²⁾、両流域データはそれらとほぼ同値である。一方、fb(N/mm²)は平均値58.0、PTL42.3の全国値と比べてやや小さく、特に天竜川流域のPTLが小さい。今回、高湿度域での乾燥時間が長い天竜川流域では、JAS視覚的等級2級相当の試験体が弾性域において、引張り側に位置する節やその周辺の目切れ部位より脆性的な破壊が多くみられ、高温湿熱が材質に影響を及ぼしたことがPTLを下げた要因と推察された。カラマツでも高温域で人工乾燥した正角製材でも同様の事象が報告されている^{12,20)}。なお、ヒノキ製材梁については、強度値の変動係数に対して試験体数が少なく、今後のデータ蓄積により検討が必要である。

スギ・ヒノキ製材梁の曲げヤング率調整値Ebと曲げ強度調整値fbの関係を図4に示す。両者間の相関係数は0.754と高い値を示し、グレーディングマシンによるヤング率計測に基づく機械等級区分の有効性が証されている。図中にJAS機械等級区分製材に対する基準強度¹⁸⁾を示すが、ほとんどの試験体が両樹種とも基準強度を上回っている。機械等級区分製材は、無等級製材と比べ高い許容応力度(基準強度の1/3.1)による構造計算が行えるなど、構造材としての安全性・信頼性が高いことから、今後、JAS認証工場と製品供給の増加が期待される。

3 乾燥割れ等と曲げ性能との関連性

乾燥により木口面に生じた内部割れの長さ計、木口・材面に生じた割れ面積計と曲げヤング率Eb・曲げ強度fbの関係を図5に示す。両者間にはEb・fbともに相関関係

は認められなかった。また、曲げ試験による破壊性状でも乾燥割れに伴う水平せん断型で脆く破壊する試験体は皆無であった。製材の日本農林規格:平成19年施行(以下、製材JAS)²⁰⁾では、繊維に沿って生じた「材面割れ」は、繊維の連続性を大きく断絶することが無く、軸(繊維)方向に作用する曲げ、引張り、圧縮等の応力に対して強度低下の要因に当たらないとする考え方に基づき、「貫通割れ(木口、材面)」のみが規定対象となっている。また、材面割れと各種強度性能の関係を調べた既報でも、両者間には有意な相関関係が認められず、材面割れがある製材品でも基準強度を充たしているなど、材面割れの影響による強度低下は報告されていない^{1,10)}。

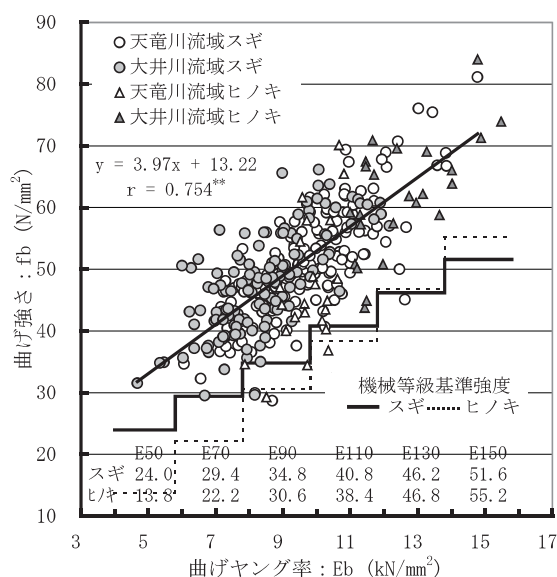


図4 スギ・ヒノキ製材梁の曲げヤング率Ebと曲げ強さfbとの関係
 図中の数値はJAS機械等級基準強度(国土交通省告示1024号)

内部割れが強度性能に及ぼす影響については、井道ら⁸⁾がせん断強度への影響について中央集中荷重式と実大ブロック式のせん断試験で調べている。その結果、両方式ともに、木口面に生じた内部割れの最大割れ長さとせん断強度とに負の相関関係が認められ、高温乾燥(135℃一定、乾燥時間 45 時間)した試験体では中央集中方式ではせん断型破壊、せん断曲げ複合型破壊が多く、実大いす型方式ではせん断面上に内部割れがある場合、極端に強度低下するなど、内部割れがその主要因と考察している⁸⁾。また、井道らは、中央集中荷重方式で曲げ型破壊した試験体の内部割れとせん断強度とに相関関係が認められず、内部割れはせん断強度と比べて曲げ強度への影響が小さいと考察している。このことは、内部割れ面積と曲げ強度の間に相関関係が認められないとする小原らの報告²²⁾とも関連する。ただし、小原らは、乾燥処理温度の違う場合にヤング率と曲げ強度との回帰式が異なり、特に高温域での時間が長い場合に機械等級区分の基準強度を担保できない場合があること。また、富田ら³⁰⁾も内部割れの発生が顕著な場合、水平せん断型の脆い破壊が生じる場合が多いことを報告している。このため、内部割れと曲げ性能の間に本試験で相関関係が認められなかったことのみから、梁桁部材に対する高温処理に伴う内部割れの影響の有無を結論づけるのは早急であり、更な

る検討が必要と思われる。

4 原木丸太と平角材のEb, fb 及び密度の関係

原木Efrと製材梁のEfr, Eb及びFbとの関係を図6に示す。原木と乾燥前後における製材梁のEfrには、相関係数0.89, 0.87と高い相関関係が、製材梁Ebとの間にも同様に高い相関関係が認められ、原木Efrから製材梁のヤング率を精度良く評価できると思われる。また、同左下図の原木Efrと製材梁のfbの相関係数も0.59と有意な相関関係が認められる。これまでに、原木段階でEfrにより区分しそれらより製造した集成材用ひき板⁹⁾、2×4材^{27,28)}、正角・平角製材^{2,3)}の曲げ性能を評価した結果でも、本試験結果と同様に両者間のヤング率に高い相関関係が認められている。また、区分した製品の強度性能にも有意差が認められている。

スギ原木全数について、素材JASに準じてEf90(7.8 kN/mm²)、Ef110(9.8 kN/mm²)をそれぞれ閾値として2区分し、それらより採材した製材梁のEb, fbを比較した結果を表-3に示す。なお、しずおか優良木材認証材のスギ強度基準は5.8kN/mm²以上であり、大半の原木が同基準相当のEf70(5.8kN/mm²)以上であることから割愛した。2区分間した製材梁Ebの平均値は、Efr90での区分では、下位が構造用製材JASのE90、上位が同E110を充たし、PTLも無区分と比べて下位ではほとんど差がない反面、上位

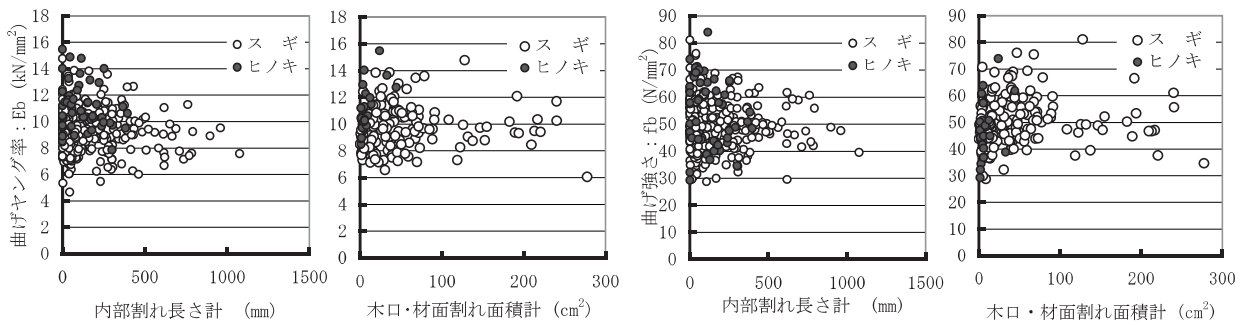


図5 スギ・ヒノキ平角製材の乾燥に伴う内部割れ・材面割れと曲げヤング率Eb、曲げ強さfbとの関係

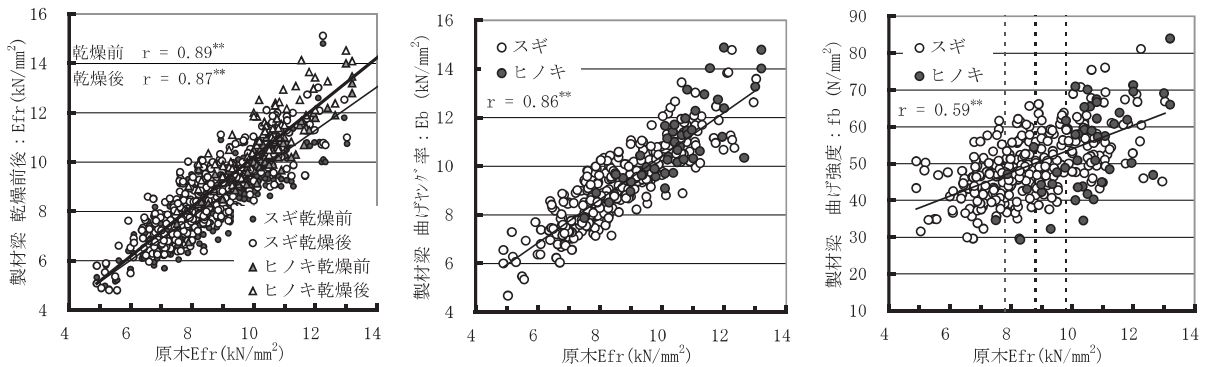


図6 スギ・ヒノキ原木のEfrと乾燥前後における製材梁のEfr, Eb, fbの関係
r : 相関係数, ** : 危険率1%で相関関係が有意

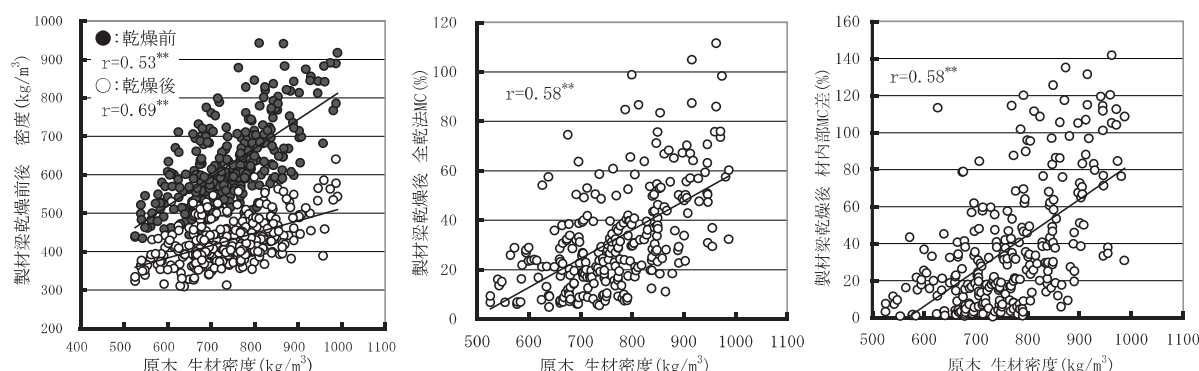


図7 スギ・ヒノキ原木の生材密度と乾燥前後における製材梁の密度及び乾燥後の全乾法MCと材内部MC差の関係
r : 相関係数, **: 危険率1%で相関関係が有意

表3 原木のEfrで2区分した際の製材梁Ebとfb

	無区分		Efr90で区分				Efr110で区分			
			7.8kN/mm ² < ≦7.8kN/mm ²		9.8kN/mm ² < ≦9.8kN/mm ²		9.8kN/mm ² < ≦9.8kN/mm ²		9.8kN/mm ² < ≦9.8kN/mm ²	
	Ave	PTL	Ave	PTL	Ave	PTL	Ave	PTL	Ave	PTL
Eb (kN/mm ²)	9.4	6.7	8.2	6.4	10.8	8.6	8.5	6.4	11.1	9.0
fb (N/mm ²)	50.0	35.7	46.0	33.4	55.0	39.8	46.8	35.1	57.3	40.7

PTL : 信頼水準75%のときの95%下限許容限界値、Eb, fb : 図3参照

表4 原木の生材密度で2区分した際の製材梁のMCと材内部MC差

	無区分		生材密度700kg/m ³ で区分				生材密度750kg/m ³ で区分			
			700kg/m ³ < ≦700kg/m ³		750kg/m ³ < ≦750kg/m ³		750kg/m ³ < ≦750kg/m ³		750kg/m ³ < ≦750kg/m ³	
	Ave	SD	Ave	SD	Ave	SD	Ave	SD	Ave	SD
MC (%)	32	21	20	14	36	21	22	14	41	22
MC差 (%)	38	34	20	21	45	35	21	20	52	36

Ave : 平均値、SD:標準偏差

では約2kN/mm²大きい値となる。また、製材梁fbのPTLは、Efr90で区分した上位がE90の基準強度34.8N/mm²を上回り、Efr110では上位がE110の基準強度40.8N/mm²とほぼ同値となることから、原木段階で選別する効果があるものと考えられた。

原木の生材密度と乾燥前後における製材梁の密度、乾燥後の全乾法MC及び材内部MC差(水分傾斜)の関係を図7に示す。両者間には相関係数が0.5~0.6と有意な関係が認められ、原木生材密度が大きいほど乾燥後における製材梁の密度、MC、材内部MC差が大きい(高い)傾向にある。表-4に原木生材密度に基づき2区分した乾燥後の製材梁のMCと材内部MC差を比較した例を示す。原木生材密度が低いグループでは無区分と比べて、MCや材内部MCの平均値と標準偏差が小さくなることから、原木の生材密度による区分は製材梁の乾燥前処理として一定の効果があると思われる。これまで、スギやトドマツなど心材MCが高かつ個体間のばらつきが大きな樹種で、原木段階の密度区分で乾燥後における製材品の含水率に有意差が確認されている^{13,14)}。

但し、原木の生材密度は、伐採後の経過時間や葉枯らし等の有無により辺材MCが異なり、スギでは個体間の心材MCの差異が大きく影響する、更に、原木から製材した段階で心材率が変動しかつそれが個体間で異なることと併せて、原木の生材密度と乾燥前後における製材の密度及び乾燥後のMCとの間に高い相関関係が見られなかった要因と推察される。このため、原木の生材密度のみによる区分や評価では、製材梁の乾燥後における個体間のMCのばらつきを抑制することや、原木生材密度から乾燥性能を精度良く推定することが困難と思われ、原木全体のMCもしくは製材した際に材積比が高くなる原木の心材MC

の評価手法が必要である。これまで、高MC領域の水分量を評価する基礎研究として、中性子線、横打撃振動及び電磁波等が検討されている²⁵⁾。しかし、原木市場等への実用化グレーディングマシン³⁰⁾を想定した際、非接触でオンライン化が可能でかつ精度の良い高MC領域の評価手法は現状では、確立しておらず今後の課題といえる。

摘要

静岡県天竜川流域・大井川流域産のスギ・ヒノキ中・大径原木の材質とそれより採材し人工乾燥した心持ち平角製材梁の曲げ性能を調べた。両樹種ともに、原木動的ヤング率(Efr)の平均値は天竜川流域が大井川流域よりやや大きな値を示し、5%下限許容限界値(PTL)はしずおか優良木材認証制度の基準を上回った。スギ製材梁の曲げヤング率(Eb)、曲げ強度(fb)の平均値、PTLは、全国データと比べて天竜川流域・大井川流域ともに大きな値を示した。Ebとfbに高い相関関係が認められ、機械等級区分した各等級のPTLも基準強度を上回った。内部割れが曲げ性能に及ぼす影響は、内部割れ量とEbとfbに相関関係が認められず、内部割れが破壊に与えた試験体が皆無であり小さなことが示唆された。原木のEfrと製材梁のEb, fbに、原木の生材密度と乾燥後の製材梁MC、密度に相関関係が認められ、原木段階で区分することで製材梁の強度や乾燥性能の向上に一定の効果があると思われた。

謝辞

本研究の一部は、平成21~22年農林水産省補助事業「長期優良住宅に対応した地域材製品の開発等事業：実施主体、日本住宅・木材技術センター、木構造振興(株)と森林総合研究所との共同研究「スギ・ヒノキ原木丸太の

含水率・ヤング率の非破壊測定手法の開発」の一環として実施した。また、本研究を実施する際、静岡県森林組合連合会、しずおか優良木材供給センターの関係各位に多大なご支援・ご協力を賜った。ここに謝意を表す。

引用文献

- 1) 荒武志朗・有馬孝禮 (1994) 極積み状態における丸太の高次固有振動数からの製材品の MOE と MOR の推定 (第2報), 木材学会誌 40(9),1003-1007.
- 2) 荒武志朗・飯島泰男・大橋義徳・園田里見・平松靖 (2011) 木材の強度等データ及び解説,木構造振興(株), 152pp.
- 3) 有馬孝禮・丸山則義・早村俊二・中村昇・名波直道 (1993) 周波数分析による丸太区分とその製品生産工程への応用, 材料 42,141-146.
- 4) 堀江和美 (1997) "木材強度データの確率・統計手法",木質構造研究所, 134pp.
- 5) 飯島泰男 (1987) 木材強度データの収集と分析, 建築学会学術講演梗概集 C-2 1397-1398.
- 6) 飯島泰男・小泉章夫・岡崎泰男・佐々木貴信・中谷浩 (1997) 秋田県産スギ材の強度特性(第3報)丸太とひき板材質の関連, 木材学会誌 43(2),159-164.
- 7) 飯島泰男・園田里見 (2009) 国内の製材曲げ強度試験データの収集と分析 (その1) 収集データの概要と分析方法, 建築学会学術講演梗概集 C-1,33-34.
- 8) 井道裕史・長尾博文・加藤英雄 (2005) 乾燥に伴う内部割れがスギ製材品のせん断強度に及ぼす影響, 木材工業 60(4),170-174.
- 9) 池田潔彦・飯島泰男・岡崎泰男・長尾博文 (2001) スギ平角材の曲げ強度性能評価法に関する 2.3 の考察, 建築学会学術講演梗概集 C-1,17-18.
- 10) 池田潔彦・小野和博・有馬孝禮 (1999) 原木段階で機械等級区分したスギ平角製材の曲げ強度性能, 木材工業 54(12),595-595.
- 11) 池田潔彦・吉田孝久・黒田尚宏・飯島泰男 (2009) 針葉樹構造用製材の乾燥と強度性能との関連性-乾燥割れと高温処理の影響を中心に, 木材工業 64(7),308-313.
- 12) 伊東嘉文・吉田孝久 (2010) カラマツ+アカマツ, アカマツ+ヒノキ接着重ね梁の強度性能, 長野県林総セ研報 24, 229-236.
- 13) 近藤佳秀・永宮清・中嶋厚 (2011) トドマツ水食い材の密度選別にに関する一考察, 木材工業 66(4),161-166.
- 14) Matsumura Yukari・Murata Kouji・Ikami Yuji (2007)Effect of sorting logs on sawn lumber and qualities, Young's modulus and moisture content, bulletin of FFPRI, 402,1-7.
- 15) 長尾博文・飯島泰男・河合直人 (1999) 曲げ強度試験データの調整方法について, 建築学会学術講演梗概集 C-1,7-8.
- 16) 長尾博文・鷺野剛三・加藤英雄・田中俊成 (2005) 樹幹内のヤング係数分布に基づいた製材品の強度推定, 木材学会誌,49(2),59-67.
- 17) 日本建築学会 (2003) 木質構造限界状態設計指針(案)・同解説,丸善,374pp.
- 18) 日本建築学会 (2003) 木質構造設計規準・同解説(第4版),丸善,412pp.
- 19) 日本農林規格協会 (2007) 素材の日本農林規格: 農林水産省告示 1052 号,12-23.
- 20) 日本農林規格協会 (2007) 針葉樹の構造用製材の日本農林規格, 農林水産省告示 1083 号.
- 21) 岡村弘之・板垣浩 (1979) 破壊力学と材料強度講座 6: 強度の統計的取り扱い, 培風館,307pp.
- 22) 小原誠・山之内清竜・福留重人(2006) 乾燥割れを有するスギ心持ち構造材の評価について, 鹿児島工技セ研報, 20, 71-77.
- 23) 大森昭壽・池田潔彦 (1993) 静岡県産材の材質と強度性能(1)スギの材質と強度性能, 静岡林技セ研報 21,45-57.
- 24) 柴田直明・吉田孝久・山内仁人・伊東嘉文 (2011) カラマツ・アカマツ正角の曲げ強度特性, 第61回木材学会大会要旨集 113.
- 25) 鈴木養樹 (2005) 電気的手法による木材中の水分量評価, 木材工業 60(10),483-488.
- 26) 祖父江信夫・池田潔彦 (2005) スギ心持ち平角材の動的ねじり試験, 木材学会誌,45(4),289-296.
- 27) Robert,J.Ross・Krain,A,Mcdonald・David,W,Green (1997)Relationship between log and lumber modulus of elasticity, Forest Prod.J.47(2)89-92.
- 28) Roy F.Pellerin・Robert J.Ross (2002) Nondestructive evaluation of wood, Forest product society,Madison,210pp.
- 29) 園田里見・飯島泰男 (2009) 国内の製材曲げ強度試験データの収集と分析 (その2) 収集データの概要と分析方法,建築学会学術講演梗概集 C-1,35-36.
- 30) 富田守泰 (2009) スギ平角材の強度性能に及ぼす高温乾燥を原因とする内部割れの影響, 木材工業 64(9),416-422.
- 31) 図師朋弘・山角達也・遠矢良太郎 (1996) 中小断面集成材の製造システムの開発(II)-丸太のグレーディングマシンの開発, 鹿児島工技セ研報,10,83-86.