

島根県産スギ材の材質特性と曲げ強度性能

後藤 崇志・藤田 勝

Wood Quality and Bending Properties of Sugi Planted in Shimane Prefecture

Takashi GOTO, Masaru FUJITA

要 旨

これまで県産スギ材の丸太や製材の外観特性、材質特性、および曲げ強度性能に関する試験が実施され、多くのデータが蓄積されている。これらのデータは、スギ材を構造材として利用するための貴重な基礎資料である。そこで、本報ではこれまでの研究から明らかとなったスギ材の材質特性と曲げ強度性能の関係について、これらのデータから概説する。小径材（丸太）の曲げヤング係数は7.22 GPa、曲げ強度は46.3 MPa、小径材から製材したタイコ材のそれらは、縦使いでは7.24 GPa、44.9 MPa、横使いでは6.26 GPa、42.2 MPaであり、十分な曲げ強度性能を有するが、横使いでは材質特性が影響していることが考えられた。小径材から製材した正角のそれらは6.00 GPa、38.6 MPa、中径材から製材した正角では6.24 GPa、35.7 MPa、平角では7.74 GPa、38.2 MPaであり、県産スギ材は十分な曲げ強度性能を有していると言える。

I はじめに

1995年に発生した阪神・淡路大震災では、多くの木造住宅が倒壊して多大な被害をもたらした¹⁾。この大震災の影響もあり、1998年には「建築基準法」が大改正（性能規定化）され²⁾、また2000年には「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が整備された³⁾。これらの法整備により、針葉樹造林木の主用途である構造材は、樹種毎の材質特性や強度性能を明らかにしておくことが必要視されるようになった⁴⁾。その結果、市場にも変化が見られ、それまで流通していた針葉樹の構造材はほとんどが無等級材であったが、近年ではJAS（日本農林規格）製品として格付けされた機械等級区分材が生産されて流通するようになった⁵⁾。

本県の主要な針葉樹造林木であるスギ材(*Cryptomeria japonica*)は、一般に品種や地域によって材質特性や強度性能に差異があると言われている⁶⁾。

全国の公設試験研究機関では、スギ造林木の丸太や製材の外観特性、材質特性、および強度性能に関する調査

研究を実施してきたが、近年では実大材を用いた実大強度試験が主に行われるようになった。

実大材は、強度性能を低減させる節、繊維走行の傾斜による目切れ、そして乾燥に伴う割れなどの欠点を含んでいる。また、寸法が大きく材質が均一ではないため、木取りや荷重方向によって強度性能が変化する寸法効果が生じ、無欠点小試験体よりも強度性能は低くなる⁷⁾。しかし、それら様々な材質的因子も含んだ上での強度性能を明らかにするためには、実大強度試験が重要であると考えられている。

本県においても、これまでスギ材について丸太や製材の外観特性と材質特性を調査し、実大曲げ試験によって材質特性と強度性能の関係について研究がなされてきた⁸⁻¹⁰⁾。これらの研究データは、今後県産スギ材を構造材として利用するための貴重な資料である。

本報では、これまでの研究によって明らかにされてきた県産スギ材の材質特性と強度性能の関係について、これらのデータをまとめて概説する。

II スギ小径材

1. 小径材およびタイコ材

間伐材等小径材の外観特性、および小径材とそれから製材したタイコ材の材質特性と曲げ強度性能が報告されている^{8, 11)}。

小径材は、径級7~14 cm, 長さ3 mで、本数は100本である。比較として径級20~28 cm, 長さ3 m, 本数11本の中径材の外観特性も合わせて示されている(表1)。小径材は中径材と比較すると、平均年輪幅がやや広く、曲りが大きく、節が多く、心材率が小さい。そのため、中径材より材質特性が劣っていると考えられる。したがって、このような材質特性を理解した利用方法が必要となる¹⁵⁾。

小径材とタイコ材の材質特性と曲げ強度性能について、間伐材を供試して検討されている。間伐材は、末口径7~11 cm, 長さ2 m, 本数111本である。これから小径材(丸太)83体と、2面落しした幅80 mmのタイコ材28体(縦使い, 横使い:各14体)を調製し、剥皮した後、天然乾燥で平衡含水率に調整している。そして、実大曲げ試験(中央集中荷重方式, スパン180 cm)を行って曲げ強度性能が明らかにされている(表2)。なお、曲げヤング係数(MOE_g, MOE_d), 比例限度応力(σ_{bp}), 曲げ強度(MOR)の単位は, SI単位に変換した。後述の表も

同様である。

小径材の平均末口径は92 mm, 細り率は5.3 mm/m, 平均年輪幅は4.9 mmであることから⁸⁾, 樹齢は10年生程度と推測できる。

密度(ρ)は小径材とタイコ材で等しく0.41 g/cm³(変動係数6.1~10.3%)である。含水率は20%以上であるが一般的なスギ間伐材の密度に等しいと言える¹⁶⁾。

平均年輪幅(ARW)は小径材とタイコ材でほぼ等しく, 4.9~5.3 mm(同14.4~24.7%)の範囲内である。表1の小径材の平均年輪幅ともほぼ等しく, 小径材の一般的な値であると考えられる。

小径材の曲げ強度性能は, 平衡含水率時の曲げヤング係数(MOE_d)は7.22 GPa(同19.1%), 曲げ強度(MOR)は46.3 MPa(同16.4%)である。

間伐材等小径材は若齢木であるため, 樹幹中のほとんどが未成熟材で占められる。未成熟材は形成層が未熟な段階で形成されるため, 仮道管長が短く, 細胞壁を構成するミクロフィブリル傾角も大きい。そのため, 成熟材より材質特性と強度性能は劣ると言われている¹⁷⁾。

しかし, 曲げ強度性能(表2)は, スギ材の一般的な曲げヤング係数7.14 GPa(同23.9%), 曲げ強度40.8 MPa(同21.2%)¹⁸⁾と同等以上であり, 十分な曲げ強度性能を有している。

表1 スギ小径材および中径材の外観特性

丸太	n	ARW (mm)	曲り (%)	節 (個)	心材率 (%)	偏心率 (%)	真円率 (%)	細り率 (%)
小径材	100	5.1 (21.8)	23.5 (42.5)	29 (50.1)	18.0 (34.9)	4.4 (66.3)	94.5 (4.5)	75.3 (10.0)
中径材	11	4.8 (27.6)	12.1 (66.4)	9 (67.0)	51.5 (16.3)	6.7 (68.9)	91.6 (6.4)	88.3 (10.9)

注: n: 供試数, ARW: 平均年輪幅, ここでのARWの値は末口径での値である,
() 内は変動係数(%)を示す。

表2 スギ小径材およびタイコ材の材質特性と曲げ強度性能

条件	n	ρ (g/cm ³)	MC (%)	ARW (mm)	MOE _g (GPa)	MOE _d (GPa)	σ_{bp} (MPa)	MOR (MPa)
小径材	83	0.41 (10.3)	20.9 (4.8)	4.9 (24.7)	6.80 (19.0)	7.22 (19.1)	29.7 (16.8)	46.3 (16.4)
タイコ材 (縦使い)	14	0.41 (8.8)	23.0 (7.4)	5.3 (20.7)	—	7.24 (19.7)	27.9 (15.2)	44.9 (14.1)
タイコ材 (横使い)	14	0.41 (6.1)	24.5 (7.9)	5.0 (14.4)	—	6.26 (13.5)	26.5 (8.2)	42.2 (13.8)

注: ρ : 試験時密度, MC: 試験時平衡含水率, MOE_g: 生材時の曲げヤング係数,
MOE_d: 平衡含水率時の曲げヤング係数, σ_{bp} : 比例限度応力, MOR: 曲げ強度,
n, ARW: 表1と同じである, () 内は変動係数(%)を示す。

MOE_d/MOE_gの比は1.06で、乾燥によってMOEは6%向上したことが分かる。無欠点材(無欠点小試験体)の場合、強度性能は繊維飽和点以下では含水率の低下に伴ってほぼ直線的に増加する。しかし、実大材では、水分傾斜、節周辺の割れの拡大などが原因で、その増加率は異なる¹⁹⁾。乾燥に伴うスギ実大材の曲げ強度性能の増加率は、5~10%前後であると考えられる⁹⁾。

タイコ材の曲げヤング係数(MOE_d)と曲げ強度(MOR)は、縦使いでは7.24 GPa(同19.7%), 44.9 MPa(同14.1%), 横使いでは6.26 GPa(同13.5%), 42.2 MPa(同13.8%)である。横使いは、縦使いより曲げ強度性能は低くなっている。

材料に曲げ荷重が生じると、その断面の材端部(下面)で引張応力は最大となる。²⁰⁾ 横使いは、縦使いより髓からより近い部分が材端部となる(図1)。そのような部分は前述のとおり未成熟材で材質的には劣っている¹⁷⁾ため、曲げ強度特性は縦使いで高くなったと考える。

タイコ材も十分な曲げ強度性能を有するが、構造材として利用する場合には、荷重方向と材面との関係を考慮することが望ましい。

2. 小径材から製材した正角

前述の間伐材等小径材から製材した正角の外観特性、材質特性、および曲げ強度性能が報告されている⁸⁾。

小径材の径級に応じて45, 55, 90 mmの正角に製材し、天然乾燥、あるいは天然乾燥と人工乾燥によって含水率

を調整している。また、比較として前述の中径材から心去りにより同寸法の正角を製材し、同じ方法で乾燥して比較している。正角の外観特性を調査し、実大曲げ試験(3等分点4点荷重方式, スパン180 cm)により曲げ強度性能が明らかにされている(表3, 4)。なお、外観特性調査の節径比の測定は、材縁部と中央部の区別はされていない。

小径材から製材した正角の外観特性は、中径材からの正角と比較して、平均年輪幅は広く、丸身も大きい。これは、丸太の外観特性(表1)が影響していることが考えられる。また、最大節径比は小さいが、集中節径比は同等以上である。これは、小径材では節の個数が多いため、集中節径比は同等以上になるためであると考えられる(表1)。

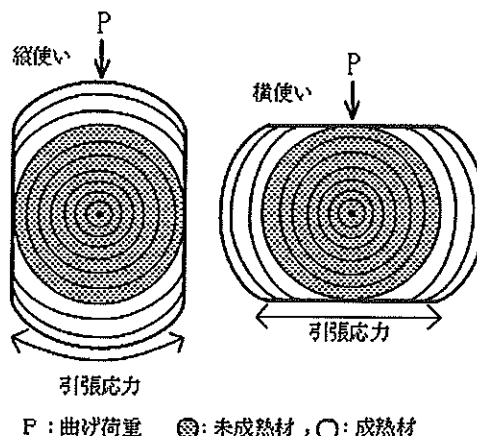


図1 タイコ材での曲げ荷重と未成熟材部の位置関係

表3 スギ小径材および中径材から製材した正角の外観特性

丸太	n	ARW (mm)	丸身 (%)	最大節径比(%)		集中節径比(%)	
				全区間	中央1/3区間	全区間	中央1/3区間
小径材	100	5.0 (24.4)	16.6 (48.1)	25.9 (25.2)	22.4 (30.6)	50.1 (29.4)	39.0 (36.6)
中径材	53	4.4 (22.7)	8.1 (53.1)	34.0 (40.9)	26.5 (38.9)	45.3 (34.0)	39.0 (38.9)

注: n, ARWは表1と同じである, ()内は変動係数(%)を示す。

表4 スギ小径材および中径材から製材した正角の材質特性と曲げ強度性能

丸太	n	ρ (g/cm ³)	MC (%)	MOE _d (GPa)	σ_{bp} (MPa)	MOR (MPa)
小径材	100	0.43 (11.7)	17.3 (18.8)	6.00 (18.3)	30.2 (13.3)	38.6 (16.0)
中径材	53	0.40 (10.8)	19.3 (16.9)	6.59 (13.5)	29.2 (11.7)	37.1 (16.9)

注: n, ρ , MC, MOE_d, σ_{bp} , MORは表2と同じである, ()内は変動係数(%)を示す。

小径材から製材した正角の曲げ強度性能は、中径材の場合とほぼ等しく、曲げヤング係数は6.00 GPa (変動係数18.3%)、曲げ強度は38.6 MPa (同16.0%)である。

中径材は心去り木取りをしているため、正角の木取り条件や荷重方向が小径材の場合と異なるが、この結果からは、小径材からの正角も高い曲げ強度性能を有するとと言える¹⁶⁾。

Ⅲ スギ中径材

1. 中径材の動的ヤング係数

丸太の動的ヤング係数とそれから製材した正角および平角の曲げ強度との間には、高い相関関係がある^{21, 22)}。そのため、丸太の動的ヤング係数は製材の強度性能を事前に評価する重要な因子となる。

スギ中径材について、県内5地域の林齢30年生前後の10林分で、各林分、胸高直径20 cmの立木15本を伐倒し、

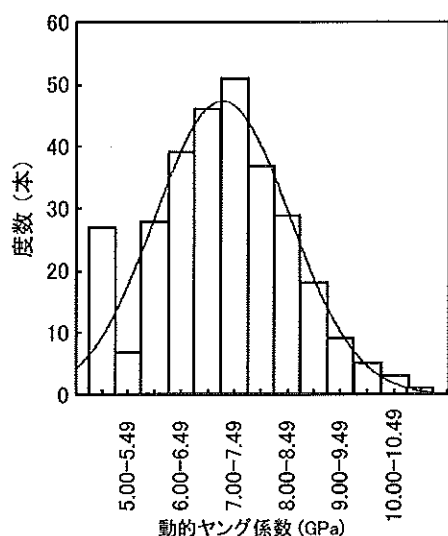


図2 スギ中径材の動的ヤング係数の分布

注：本数：300、1、2番玉を含む、曲線は正規分布を仮定している。

長さ2.5 mで1、2番玉を造材してその動的ヤング係数を測定している²³⁾ (図2)。測定本数は300本である。

スギ中径材の動的ヤング係数の平均値は、6.97 GPa (変動係数19.8%)で、その分布は3.44~11.92 GPaの範囲内であった。この中で、動的ヤング係数が4.99 GPa以下の中径材が27本 (全体の9%) 出現しているが、これは特定の1林分からの丸太である。

丸太の動的ヤング係数は品種間に差異が認められ、クローンの遺伝的な特性であって環境によって変化しがたいと言われている²⁴⁻²⁶⁾。スギ林分の中には、動的ヤング係数が低い林分 (品種) があり、丸太は動的ヤング係数を測定して強度性能を把握したうえで利用することが製材の使用目的によっては重要となる。

2. 中径材から製材した正角

中径材から製材した正角の外観特性、材質特性および曲げ強度性能が報告されている¹²⁾。

県内4地域の林齢30年生前後のスギ造林地から、長さ3 mで1、2、3番玉の丸太264本を供試している。このうち255本を径級に応じて90、105、120 mmの正角に製材し、外観特性調査、生材時の曲げヤング係数の測定、および実大曲げ試験 (3等分点4点荷重方式、スパン270 cm) により曲げ強度性能が明らかにされている。そして、採材部位別の材質および外観特性と、曲げ強度性能が示されている (表5、6)。外観特性調査の節径比の測定は、材縁部と中央部の区別はされていない。

材質および外観特性で密度 (ρ) は1、2、3番玉でほぼ等しく、平均年輪幅 (ARW) は1、2、3番玉の順に大きくなる傾向が認められる。最大節径比は1、2、3番玉の順に大きくなり、集中節径比は1番玉が小さく、2、3番玉ではほぼ等しくなっている。これは、正角の

表5 採材部位別のスギ正角の材質および外観特性

採材部位	n	ρ (g/cm ³)	MC (%)	ARW (mm)	最大節径比 (%)		集中節径比 (%)		繊維傾斜 (mm/m)
					全区間	中央1/3区間	全区間	中央1/3区間	
1番玉	118	0.39 (8.5)	15.9 (6.5)	5.5 (16.3)	16.1 (22.0)	13.2 (35.3)	27.0 (27.7)	20.6 (46.2)	15.6 (70.5)
2番玉	118	0.39 (7.7)	14.5 (5.0)	6.2 (15.9)	20.1 (21.0)	17.5 (21.2)	36.3 (24.7)	30.1 (31.2)	17.3 (75.2)
3番玉	19	0.38 (9.3)	14.6 (3.2)	6.8 (9.3)	21.8 (14.3)	19.5 (17.4)	36.4 (15.2)	30.3 (26.5)	20.3 (42.0)

注：n、 ρ 、MC、ARWは表2と同じである、()内は変動係数 (%)を示す。

表6 採材部位別のスギ正角の曲げ強度性能

部 位	n	MOE _g (GPa)	MOE _d (GPa)	σ_{bp} (MPa)	MOR (MPa)
1 番玉	118	5.85 (21.9)	6.14 (21.7)	24.3 (23.6)	36.4 (18.9)
2 番玉	118	6.23 (18.7)	6.35 (18.5)	24.4 (17.6)	35.1 (17.9)
3 番玉	19	6.04 (17.9)	6.16 (19.5)	23.0 (14.0)	35.5 (16.0)

注：n, MOE_g, MOE_d, σ_{bp} , MORは表2と同じである、()内は変動係数(%)を示す。

断面寸法、さらには各林分での枝打ちなどの施業履歴も影響しているものと考えられる²⁷⁾。また、小径材より製材した正角の外観特性(表3)と比較して、最大節径比と集中節径比は小さい。これは、製材の断面寸法の違いが影響していることが考えられる。

曲げ強度性能の総数255体の平均値は、生材時の曲げヤング係数(MOE_g)は6.04 GPa(変動係数20.2%)、平衡含水率時の曲げヤング係数(MOE_d)は6.24 GPa(同20.1%)、比例限度応力は24.2 MPa(同20.4%)、曲げ強度(MOR)は35.7 MPa(同18.3%)であり、十分な強度性能を有する²⁸⁾。MOE_d/MOE_gの比は、平均値で1.03となり、乾燥によってMOEは3%程度増加していることが分かる。

3番玉の試験体数(n)が19体と少ないが、曲げヤング係数(MOE_g, MOE_d)は1番玉よりも2、3番玉で大きいことがわかる。この傾向は他にも報告されている²⁹⁻³³⁾。これは、強度性能に強く影響する晩材仮道管S₂層のマイクロフィブリル傾角³⁴⁾の漸減する範囲が樹幹内で円錐状に分布している(図3)^{35,36)}ためだと考えられている。曲げ強度(MOR)は、1番玉が2、3番玉よりやや大き

いが、これは中央1/3区間での集中節径比が1番玉は2、3番玉よりも10%小さいことなどが影響しているものと考ええる。

市販の心持ち正角の材質特性と曲げ強度性能の概要⁹⁾は、気乾密度は0.42 g/cm³(同11.2%)、平衡含水率時の曲げヤング係数は7.27 GPa(同20.1%)、比例限度応力は23.5 MPa(同18.2%)、曲げ強度は37.8 MPa(同20.0%)であることから、表6に示した曲げ強度性能の値と同等であり、試験材は十分な曲げ強度性能を有していると言える。

3. 中径材から製材した平角

中径材から製材した平角の曲げ強度性能が示されている¹⁴⁾。

中径材は県内の原木市場、素材生産業者から入手され、末口径24~28 cm、長さ4 m、樹齢29~73年、測定本数は160本である。製材後、天然乾燥、または人工乾燥で含水率を調整し、断面寸法を120×210 mmに仕上げ、実大曲げ試験(3等分点4点荷重方式、スパン378 cm)により曲げ強度性能が明らかにされている。

平衡含水率時の材質特性と曲げ強度性能は、含水率は21.1%(変動係数31.1%)、密度は0.40 g/cm³(同11.2%)、曲げヤング係数は7.74 GPa(同18.3%)、曲げ強度は38.2 MPa(同19.4%)である。正角と比較すると、寸法効果⁷⁾による著しい曲げ強度性能の低下は見られず、十分な曲げ強度性能を有していると言える¹⁸⁾。

IV おわりに

鳥根県産スギ材について、これまでに得られているデータをもとに、小径材と中径材の外観特性と動的ヤング係数、それから製材した正角、平角の外観特性、材質特性、および曲げ強度性能について既述した。

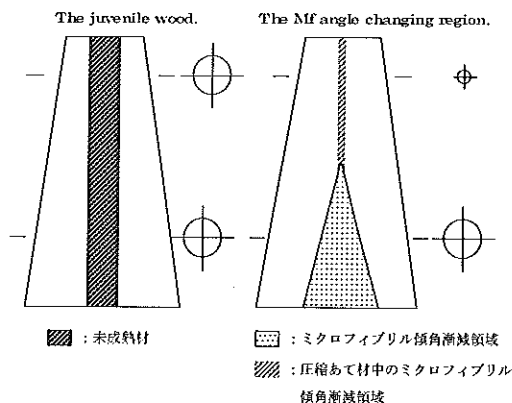


図3 未成熟材とマイクロフィブリル傾角漸減領域の位置³⁶⁾

県産スギ材は、一般的なスギ材の曲げ強度性能^{16, 18, 28)}と比較しても同等以上で十分な強度性能を有していると言える。

しかし、本報では詳細には概説しなかったが、強度性能に対する影響因子には、節や繊維走行の傾斜による目切れなどの材質特性の他に、病虫害の影響^{10, 37)}、あるいは加工段階での高温乾燥のため発生した割れなども少なからず影響を及ぼす³⁸⁾。

そのため、立木段階での各種の施業や病虫害防除の実施、あるいは加工段階での材質特性の把握とそれに基づく加工技術などにより、強度性能が保証される^{39, 40)} スギ製材の高品質化を今まで以上に図っていく必要があると考える。

謝 辞

本報は、これまでに調査研究された各報告をもとに、県産スギ材の材質特性と強度性能についてまとめたものである。各報告は主に旧島根県林業技術センターでまとめられたものである。著者である方々に、記して深謝の意を表す。錦織 勇氏、勝部理市氏、安井 昭氏、中村正樹氏、池淵 隆氏（現：農林水産部林業課）、中山茂生氏（現：農林水産部林業課）。

引用文献

- 1) 坂本功：Ⅱ，阪神・淡路大震災 1. 地震と被害の概要，木材工業50 (11)，495-500 (1995)。
- 2) 例えば，平嶋義彦：コンサイエンス木材百科，財団法人秋田県木材加工推進機構，2002，pp.250-251。
- 3) 例えば，飯島泰男：コンサイエンス木材百科，財団法人秋田県木材加工推進機構，2002，pp.262-263。
- 4) 有馬孝禮：木材の住科学—木造建築を考える，財団法人東京大学出版会，2003，pp.89-101。
- 5) 林知行：建築知識 2007 07，(株)エクスマレッジ，2007，pp.102-103。
- 6) 飯島泰男：構造用木材—強度データの収集と分析，日本木材学会木材強度・木質構造研究会，1983，pp.1-36。
- 7) 林知行：ウッドエンジニアリング入門，学芸出版社，2004，pp.74-84。
- 8) 島根県製材工業組合：昭和58年度知識集約化事業成果報告—本県産スギ小径材の強度性能—，1984，

pp.1-13。

- 9) 錦織勇，中村正樹，勝部理市，安井昭：構造用製材の強度性能（Ⅰ）—スギ正角材の曲げ強度—，島根林技研報36，9-17 (1985)。
- 10) 錦織勇，周藤靖雄，勝部理市，安井昭：スギカミキリによるスギ被害木の材質調査，島根林技研報38，41-49 (1987)。
- 11) 中山茂生，錦織勇，安井昭：スギ小径丸太・タイコ材の曲げ強度試験，島根林技研報39，47-54 (1988)。
- 12) 中山茂生，錦織勇，池淵隆，安井昭：島根県産スギ造林木の強度性能—スギ正角材の曲げ強度—，島根林技研報42，17-36 (1991)。
- 13) 池淵隆，錦織勇：スギ芯抜き正角材の乾燥特性と強度性能，島根林技研報47，13-20 (1996)。
- 14) 越智俊之，中山茂生：島根県産スギ平角材の強度性能，島根中山間セ研報 3，1-7 (2007)。
- 15) 高田克彦，大高一成：コンサイエンス木材百科，(財)秋田県木材加工推進機構，2002，pp.8-9。
- 16) 中井孝，田中俊成：間伐材等小径木の強度性能—曲げ剛性と曲げ破壊係数—，木材工業39 (5)，29-35 (1984)。
- 17) 古川郁夫：木材科学講座 2 組織と材質，海青社，1994，pp.113-117。
- 18) 強度性能研究会：製材品の強度性能に関するデータベース，強度性能研究会，2005，pp.18-19。
- 19) 飯島泰男：木材科学ハンドブック，(株)朝倉書店，2006，pp.183-185。
- 20) 高橋徹，中山義雄 編：木材科学講座 3 物理 (第 2 版)，海青社，1995，pp.103-107。
- 21) 藤田晋輔，宮内正文，服部芳明，山之内清竜，馬田英隆：打撃音法によるスギ製材品のヤング係数の評価 (Ⅲ)，木材工業50 (4)，160-165 (1995)。
- 22) 池田潔彦，小野和博，有馬孝禮：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)，591-595 (1999)。
- 23) 後藤崇志，中山茂生，池淵隆，原勇治，吉野毅：木材工業 (投稿中)。
- 24) 藤澤義武，太田貞明，西村慶二，戸田忠雄，田島正啓：スギの材質と遺伝 (第 3 報) 精英樹クローンによるヤング係数に関する要因別変動の評価，木材学会誌

- 40 (5), 457-464 (1994).
- 25) 小泉章夫：針葉樹造林木のヤング率の変異，木材工業53 (5), 206-211 (1998).
- 26) 小田一幸：スギの品種と材質，木材工業55 (2), 50-54 (2000).
- 27) 後藤崇志，池淵隆，中山茂生，越智俊之，藤田勝，福島亮：スギ造林木の枝打ち・間伐施業の有無と曲げ強度性能との関係，第56回日本木材学会大会研究発表要旨集，p.31 (2006).
- 28) 中井孝：国産造林木の材質—スギ正角材の実大曲げ強度—，木材工業39 (11), 42-46 (1984)
- 29) 小泉章夫，飯島泰男，佐々木貴信，川井安生，岡崎泰男，中谷浩：秋田県産スギ材の強度特性 (第1報) 丸太のヤング率，木材学会誌43 (1), 46-51 (1997).
- 30) 平川泰彦，山下香奈，中田了五，藤澤義武：スギ丸太のヤング率の変動に関わる晩材仮道管S₂層マイクロフィブリル傾角と密度の影響，木材学会誌43 (9), 717-724 (1997).
- 31) 山下香奈，平川泰彦，藤澤義武，中田了五：スギ18品種の丸太のヤング率の品種間差に及ぼすマイクロフィブリル傾角と密度の影響，木材学会誌46 (6), 510-522 (2000).
- 32) 朱建軍，高田克彦，飯島泰男，平川泰彦：秋田県産スギ造林木の成長と材質 (第1報)，木材学会誌49 (2), 138-145 (2003).
- 33) 津島俊治，古賀信也，小田一幸，白石進：九州産スギ在来品種の成長と木材性質，木材学会誌51 (6), 394-401 (2005).
- 34) 雉子谷佳男，北原龍士：スギ実大曲げ性能への木材材質指標の影響，材料54 (4), 377-380 (2005).
- 35) 平川泰彦，藤澤義武：精英樹スギクローンにおける晩材仮道管S₂層マイクロフィブリル傾角と仮道管長との関係，木材学会誌41 (2), 123-131 (1995).
- 36) 平川泰彦，藤澤義武：スギの晩材仮道管S₂層マイクロフィブリル傾角の樹高方向における変動，木材学会誌42 (2), 107-114 (1996).
- 37) 後藤忠男：スギ・ヒノキの材質劣化害虫とその対策，木材工業61 (9), 420-423 (2006).
- 38) 黒田尚宏：スギ心持ち乾燥のための基礎研究の展開，木材学会誌53 (5), 243-253 (2007).
- 39) 林知行：高信頼性木質建材 エンジニアードウッド，(株)日刊木材新聞社，1998，pp.51-73.
- 40) 林知行：エンジニアードウッド—この20年—，木材工業63 (2), 58-63 (2008).

