

島根県産スギ造林木の材質及び強度特性に及ぼす 枝打ち・間伐の影響 (第2報)[†]

心持ち正角の目視等級区分及び曲げ性能と枝打ち・間伐との関係^{*1}

後藤崇志^{*2}, 中山茂生^{*2}, 池淵 隆^{*3}, 古野 毅^{*4,5}

Effects of Forest Management Using Pruning and Thinning on Wood Quality and Strength Properties of Sugi Planted in Shimane Prefecture II.[†]

Relationship between forest management, and visual grading and
bending properties of boxed-heart square timbers^{*1}

Takashi GOTO^{*2}, Shigeo NAKAYAMA^{*2}, Takashi IKEBUCHI^{*3} and Takeshi FURUNO^{*4,5}

The aim of this study was to clarify the effects of forest management such as pruning and thinning on the visual grading and bending properties of boxed-heart square timbers of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don). In this paper, boxed-heart square timbers sawn from sugi logs cut down at control and at managed forests were investigated after drying for visual grading according to the JAS (Japanese Agricultural Standards for Structural Softwood Lumber) and by full-sized bending tests. The results are summarized as follows: 1) The results of visual grading of timbers showed that while the ratios of second grades for control forests increased, for managed forests those of first grades became greater. The difference between the two was affected by the occurrence of knots on the edge of timber surfaces. 2) Results of full-sized bending testing showed *MOE* (modulus of elasticity) and *MOR* (modulus of rupture) values of 7.36 kN/mm² and 40.7 N/mm² for control forests, and values of 7.52 kN/mm² and 43.2 N/mm² for managed forests, respectively. The lower fifth percentile values with 75% confidence level were 29.1 N/mm² and 32.1 N/mm² for control and managed forests, respectively. It was recognized that the variations of bending properties for managed forests tended to be smaller. 3) Concerning the relations between visual grading and *MOR*, the variations of *MOR* at each visual grade for managed forests tended to be smaller than those for control forests.

Keywords: planted sugi trees, forest management, visual grading, bending properties.

枝打ち, 間伐などの施業と, スギ心持ち正角の目視等級区分及び曲げ性能との関係について検討した。無施業林と施業林より丸太を供試して心持ち正角に製材, 乾燥した後, 針葉樹の構造用製材の日本農林規格に従った目視等級区分, 及び実大曲げ試験を行った。その結果, 以下のことが分かった。1) 目視等級区分の結果, 無施業林では2級の割合が高かったが, 施業林では1級の割合が高くなった。この差異は, 材縁部での最大節径比と集中節径比が影響していた。2) 実

[†] Report I: *Mokuzai Kogyo* **63**, 307-312 (2008).

^{*1} Received November 12, 2007; accepted August 27, 2008. 本研究の一部は, 第56回日本木材学会大会 (2006年8月, 秋田) において発表した。

^{*2} 島根県中山間地域研究センター Shimane Prefectural Mountainous Region Research Center, Iinan 690-3405, Japan

^{*3} 島根県農林水産部東部農林振興センター Forestry Division, Shimane Prefecture Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Izumo 693-8511, Japan

^{*4} 島根大学総合理工学部 Faculty of Science and Engineering, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

^{*5} 文化財調査コンサルタント(株) Archaeological Research Consultant, Inc., Matsue 690-0822, Japan

大曲げ試験の結果、 MOE と MOR は無施業林では 7.36 kN/mm^2 、 40.7 N/mm^2 、施業林では 7.52 kN/mm^2 、 43.2 N/mm^2 であった。 MOR の信頼度75%の5%下限値はそれぞれ 29.1 N/mm^2 、 32.1 N/mm^2 であった。施業林では、曲げ性能のバラツキが全体的に小さくなる傾向が認められた。3) 目視等級区分と MOR との関係では、施業林は無施業林よりも各目視等級区分でのバラツキが小さくなる傾向が認められた。

1. 緒言

製材の材質特性の中で、節、年輪幅、繊維走行の傾斜、密度などは、立木の成長過程で形成される力学的性質に影響する因子¹⁾である。この中で節と年輪幅は、枝打ちや間伐などの森林施業（以下、施業と略記する）によって製材表面への出現に影響を受けている²⁾。したがって、施業は製材の外観特性のみならず、強度性能にも影響を及ぼすものと考えられる。

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) などの構造材を生産する林業では、造林後に施業が行われる³⁾。施業の目的は、枝打ちは無節性の高い優良材を生産すること、間伐は直径成長の低下を抑制し、年輪幅の揃った利用価値の高い材を多く生産することだと示されている⁴⁾。これらは、製材の外観特性の改良が主目的とされ、強度性能との関係が十分に考慮されているとは言い難い。この背景には、スギ材は材質特性と強度性能のバラツキが大きく⁵⁾、製材の強度性能に対する施業のみの影響を分別することが困難⁶⁾な理由があると考えられる。したがって、これまでは強度性能への組織・材質の影響⁷⁻¹²⁾、間伐材の強度性能¹³⁻¹⁵⁾、そして植栽密度¹⁶⁾や各施業の影響¹⁷⁻²⁰⁾などに関する研究が行われてきた。しかしながら、造林後に施業が実施されなかった林分（以下、無施業林と略記する）と、施業が実施された林分（以下、施業林と略記する）から丸太を供試し、実大材での材質特性と強度性能を施業と結びつけて比較した研究は極めて少ない^{21, 22)}。

今日、スギは国内人工林面積の約44%を占め²³⁾、年々蓄積量が増加し、伐期を迎える林分が多い。スギ材をさらに有効に利用するために、スギ実大材について無施業林と施業林での材質特性と強度性能の差異を把握しておけば、今後施業を行う上での貴重な基礎資料を提供できると考えられる。

そこで、本研究では島根県産スギ造林木を対象とし、無施業林と施業林における丸太及び心持ち正角での材質及び強度特性について検討した。前報²⁴⁾では、無施業林と施業林より伐倒、造材した丸太の外観特性と動的ヤング係数（以下、 E_{tr} と略記する）について報告した。本報では、丸太を心持ち正角に製材して乾燥し、その外観特性と曲げ性能の関係を

評価したのでそれらの結果を報告する。乾燥前後での E_{tr} の測定、針葉樹構造用製材の日本農林規格（以下、JASと略記する）による目視等級区分、そして実大曲げ試験を行って無施業林と施業林での目視等級区分と曲げ性能を比較した。併せて、目視等級区分ごとの無施業林と施業林の曲げ性能を比較し、スギ造林木の材質及び強度特性に対する施業の影響を検討した。

2. 試験方法

2.1 供試丸太

丸太は、県東部2地域（出雲、飯南）、県中部1地域（邑南）、そして県西部2地域（金城、津和野）の5地域において、林齢30年生前後のスギ林分を対象として無施業林と施業林を各地域にそれぞれ設定し、各林分より供試した²⁴⁾。無施業林と施業林の位置関係は、出雲、邑南、津和野では約1 km離れており、飯南と金城ではそれぞれ約15 km、5 km離れた林分を設定した。5地域の各林分の概要をTable 1に示す。繁殖方法は、金城の無施業林を除いて全て挿し木であり、林齢は全地域ともに5年程度の差があった。

施業林での施業履歴は、出雲と飯南では枝打ちが4回、間伐も1、2回行われていた。邑南では林齢25年まで施業履歴が不明な時期もあったが、それ以降に枝打ちと間伐が行われており、金城と津和野では林齢16年から20年にかけて枝打ちと間伐が行われていた。無施業林については、津和野において伐倒前年の林齢32年で間伐が行われていたが、丸太や正角の外観特性と強度特性に及ぼす影響は小さいと考えて無施業林に設定した。

各林分で胸高直径20 cmの立木15本を選木伐倒し、材長2.5 mで1番玉と2番玉に造材した。なお、金城については、無施業林の植栽方法が実生繁殖であり、立木の枝下高は低く、丸太の E_{tr} も他と比較して著しく小さかったため（Table 1）、本報では出雲、飯南、邑南、津和野の4地域をもとに考察することとした。したがって、丸太の供試本数は、無施業林と施業林それぞれ120本（1地域30本×4地域）である。

2.2 丸太の製材及び心持ち正角の乾燥

各丸太より、寸法120 mm×120 mm×2500 mmの

Table 1. Outline of trees and log specimens at each stand.²⁴⁾

Region	Stand	Method of propagation	Forest age (year)	DBH (cm)	Crown height (m)	Tree height (m)	Management year (year)		Green density (g/cm ³)	E_r (kN/mm ²)
							Pruning	Thinning		
Izumo	Cf	Cutting	33	21.6 (3.5)	10.9** (19.6)	20.2** (6.2)	—	—	0.85 (8.8)	6.54 (10.2)
	Mf	Cutting	28	21.5 (3.1)	9.0 (15.9)	19.1 (4.2)	23	10, 12, 14, 26	0.88 (8.1)	6.81 (7.6)
Inan	Cf	Cutting	35	21.2 (4.8)	10.6** (24.6)	17.6** (7.1)	—	—	0.82 (7.9)	7.97** (11.2)
	Mf	Cutting	30	21.2 (4.4)	6.0 (11.3)	15.6 (6.0)	16, 28	11, 16, 20, 28	0.89** (7.0)	6.30 (8.5)
Ōnan	Cf	Cutting	33	22.6 (3.0)	7.8 (26.3)	17.4 (8.2)	—	—	0.71 (8.4)	7.37 (15.8)
	Mf	Cutting	35	22.7 (3.4)	8.3 (21.5)	18.5* (4.7)	32	25	0.74* (4.6)	7.56 (10.4)
Kanagi	Cf	Seedling	35	23.9** (5.0)	4.5 (56.9)	17.4 (4.8)	—	—	0.77 (11.9)	4.27 (12.7)
	Mf	Cutting	26	22.0 (3.5)	9.0** (20.9)	18.5** (6.3)	18	18	0.85** (8.5)	7.14** (19.0)
Tsuwano	Cf	Cutting	33	21.0 (3.3)	12.6 (13.7)	19.8 (8.3)	32	—	0.79 (7.0)	7.97 (15.1)
	Mf	Cutting	25	20.8 (3.0)	12.1 (8.4)	19.4 (4.8)	20	16, 20	0.81 (6.1)	7.75 (11.2)

Legend : Cf : Control forest, Mf : Managed forest, DBH : Diameter breast height, E_r : Modulus of dynamic elasticity by longitudinal vibration, * : Significant at 5% level, ** : Significant at 1% level.

Note : Management year shows the year when pruning and thinning were conducted after planting. DBH, crown height, and tree height are mean values of 15 trees at each stand. Green density and E_r are mean values of 30 logs at each stand. Each value in parentheses is coefficient of variation (C.V., %).

心持ち正角を製材した。2番玉のうち16本（無施業林9本, 施業林7本）は末口が小径であったため、寸法105 mm × 105 mm × 2500 mm に製材した。そして、背割りを施した後に天然乾燥と人工乾燥を行った。

背割り面は、節が多く外観特性が4材面の中でも劣る材面を目視によって選定した。

天然乾燥は、夏季から翌年の春季にかけて2～4ヶ月間行い、含水率計（㈲エーデス機械産業 高周波木材水分計 DELTA-55）で測定した4材面の平均含水率が20%前後になった時点で終了した。次に、蒸気式乾燥機（間欠運転）あるいは除湿式乾燥機により、乾燥初期の乾球温度45℃, 乾湿球温度差2℃, 乾燥末期の乾球温度55℃, 乾湿球温度差17℃, 乾燥日数15日前後の条件で人工乾燥を行い、含水率計で測定した材面の平均含水率が10%前後になった時点で終了した。

2.3 E_r の測定

心持ち正角は、乾燥前後に E_r を測定した。 E_r は、前報²⁴⁾と同様に、縦振動法によりFFTアナライザ（NEC 三栄(株) SIGNAL PROCESSOR DP6102）を用いて1次の固有振動周波数を測定し算出した。

2.4 目視等級区分

心持ち正角は、乾燥後に針葉樹の構造用製材のJAS²⁵⁾の甲種構造材構造用Ⅱに従い目視等級区分を行った。甲種構造材は、主として高い曲げ性能を必要とする部材を対象としており、本研究では実大曲げ試験を行うためこの基準に従った。なお、このJASは2007年に廃止され、「製材の日本農林規格（平成19年8月29日農林水産省告示第1083号）」に統合されている。

本研究では、材縁部（材表面の幅方向において両材端から内側にかけての幅長さの1/4に相当する部分）と中央部（材縁部以外の中央部で幅長さの1/2に相当する部分）の最大節径比及び集中節径比、繊維走行の傾斜、平均年輪幅、曲りなどを欠点項目として測定し、1級、2級、3級に区分した。なお、繊維走行の傾斜は、長さ方向の中央1/3区間で、正角の厚さ（梁せい）方向に相当する1材面において、引掻器器具を用いて測定を行った。

2.5 実大曲げ試験

実大曲げ試験は、構造用木材の強度試験法²⁶⁾に従い、木材用万能試験機（株マルイ、最大容量10t, 電子自動平衡型）により行った。試験条件は、3等分点4点荷重法により、スパン2160 mm, 荷重点間

距離720 mm, 背割り面が引張応力面となるように設置した。寸法105 mm×105 mm×2500 mmの心持ち正角については, スパン1890 mm, 荷重点間距離630 mmとした。中央1/3区間の曲げヤング係数(以下, $MOE_{1/3L}$ と略記する)は, ヨークスパンを500 mmとしてたわみを正角の上部で測定し, 全スパンの曲げヤング係数(以下, MOE と略記する)は, たわみを正角の下部で測定して算出した。たわみは, 荷重50 kgごとに600 kgまで12回計測した平均値とした。併せて, 比例限度応力(以下, σ_{bp} と略記する)と曲げ強度(以下, MOR と略記する)を算出し, 木材強度データの確率・統計手法(計算シート)²⁷⁾を用いて MOR の信頼度75%の5%下限値(以下, TL と略記する)を算出した。国際規格ISO 13910:2005ではテイルフィット法による2Pワイブル分布に当てはめることとなっている²⁸⁾が, 本研究では得られた曲げ強度データについて最も適合度の高い分布形から TL を求めた。なお, 破壊に要した時間は10分前後であった。

試験後, 正角の非破壊部より含水率測定用試験片を2片採取し, 全乾法で含水率を測定した。含水率の平均値と変動係数(以下, $C.V.$ と略記する)は, 無施業林では15.2% ($C.V.$ 31.7%), 施業林では13.6% ($C.V.$ 15.4%)であった。

3. 結果と考察

3.1 目視等級区分

目視等級区分結果について, 1番玉と2番玉で無施業林と施業林での1級, 2級, 3級の構成比をFig. 1に示す。1番玉については, 無施業林では1

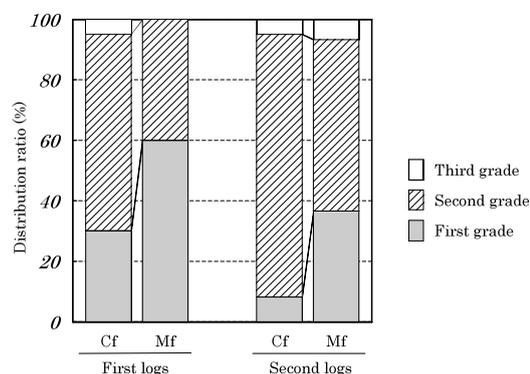


Fig. 1. Distribution ratio of visual grading of boxed-heart square timbers for first and second logs from control and managed forests.

Legend: Cf: Control forest, Mf: Managed forest.

Note: Number of timbers for first and second logs from Cf and Mf are 60 each.

級が30.0%, 2級が65.0%であり, 2級の出現率が高かった。これは, 材縁部での最大節径比と集中節径比が高いことが影響していた。すなわち, 無施業林では枝打ちなどの施業を実施しておらず, 特に材縁部での節の出現が高くなったためである。施業林では1級が60.0%, 2級が40.0%となり, 1級の出現率が高く, 3級は出現しなかった。施業林では材縁部での最大節径比と集中節径比は小さく, これは枝打ちなどの施業が実施され, 樹皮に近い材縁部での節の出現が減少したためであり, それによって目視等級区分1級の割合が高くなったと考えられる。無施業林と施業林の1番玉での1級, 2級, 3級の出現率について統計的仮説検定(χ^2 独立性の検定)を行った結果, 危険率1%水準で出現率に差が認められた。

2番玉については, 無施業林では2級が86.9%で圧倒的に多かったが, これは1番玉と同様に材縁部での最大節径比と集中節径比が高いためであった。施業林では, 無施業林よりも1級の出現率が高くなり, 1級が36.7%, 2級が56.7%となった。2級が50%以上を占めていたが, これは各地域の施業林での施業実施時期が異なっていた²⁴⁾ためだと考えられる。施業が適期に実施されていなかったと考えられる地域の2番玉では, 2級の出現率が高かった。3級は6.7%であったが, これは丸太の末口が小径で105 mm角に製材したものが含まれていたためである。無施業林と施業林の2番玉での1級, 2級, 3級の出現率について統計的仮説検定を行った結果, 危険率1%水準で出現率に差が認められた。

1番玉と2番玉を合わせた1級, 2級, 3級の出現率は, 無施業林では19.2%, 75.8%, 5.0%, 施業林では48.3%, 48.3%, 3.3%であり, 施業林では1級の割合が高く, 統計的仮説検定を行った結果, 危険率1%水準で出現率に差が認められた。

平均年輪幅, 繊維走行の傾斜, 曲りのそれぞれの等級について, 最大節径比及び集中節径比による等級と比較して低い等級であった本数は, 無施業林では平均年輪幅で4本(全体の3%), 繊維走行の傾斜で0本, 曲りで5本(全体の4%), 施業林ではそれぞれ19本(全体の16%), 0本, 11本(全体の9%)であった。無施業林では節径比による等級の影響が強く, 施業林ではそれに加えて平均年輪幅による等級もある程度影響していると考えられる。

無施業林では, 穿孔性害虫による変色と腐朽などの材質劣化が生じた正角が僅かであるが認められた。この材質劣化による MOR への著しい影響は認められなかったが, 発生部位とその状態によっては

影響を及ぼす恐れがあると考えられる。施業林では材質劣化は全く認められず、施業の実施によって穿孔性害虫の防除が図られていた²⁹⁾と考えられる。

3.2 乾燥前後での目視等級区分ごとの E_r

乾燥前後での目視等級区分ごとの密度, E_r , 含水率を Table 2 に示す。なお, 乾燥前後の含水率は, 実大曲げ試験後に正角の非破壊部から含水率測定用試験片を 2 片採取し, 全乾法によりその平均含水率を求め, それにより正角の全乾重量を求めてその値をもとに算出した。

無施業林と施業林での目視等級区分 1 級, 2 級, 3 級それぞれの平均値を比較すると, 密度は乾燥前では施業林の 1 級と 2 級でその平均値が大きかったが, 乾燥後に差は認められず, 乾燥によって無施業林と施業林ともに $0.41\sim 0.43\text{ g/cm}^3$ となった。 E_r は, 乾燥の前後とも無施業林と施業林での 1 級, 2 級, 3 級それぞれの平均値に差は認められなかった。無施業林と施業林ともに乾燥前では $6.23\sim 6.93\text{ kN/mm}^2$, 乾燥後では $7.28\sim 7.82\text{ kN/mm}^2$ の範囲内であり, 乾燥によって 15% 程度向上したことが分かる。C.V. は乾燥の前後で大きな変化は認められないが, 施業林で小さかった。丸太の E_r ²⁴⁾ の C.V. と比較すると, 無施業林では 7% 大きく, 施業林ではほぼ等しかった。

3.3 実大曲げ試験での MOE と MOR

無施業林と施業林での MOE と MOR を正規化順位として比較したものを Fig. 2, Fig. 3 にそれぞれ示す。MOE の平均値及び C.V. は, 無施業林では 7.36 kN/mm^2 (C.V. 18.1%), 施業林では 7.52 kN/mm^2 (C.V. 14.5%) であり, 施業林ではバラツキが小さい傾向が見られ, 統計的仮説検定 (分散: F 検定, 平均値:

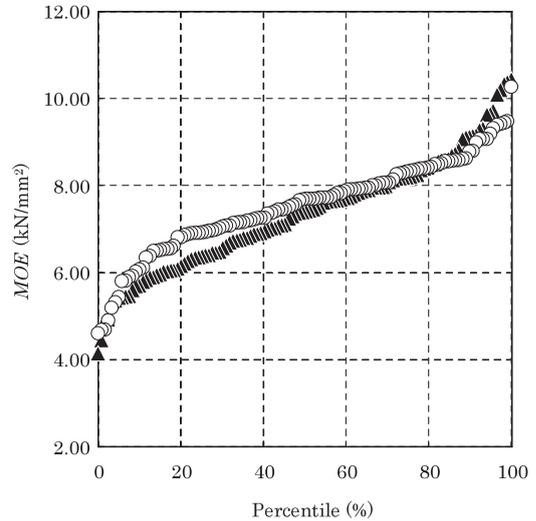


Fig. 2. Percentile of moduli of elasticity (MOEs) of boxed-heart square timbers from control and managed forests.

Legend: ▲: Control forest, ○: Managed forest.

Note: Number of timbers from control and managed forests are 120 each.

t 検定) の結果, 施業林と無施業林では危険率 5% 水準で分散に差が認められ, 施業林の方が小さかったが, 平均値について有意差 ($P < 0.05$) は認められなかった。

MOR の平均値及び C.V. は, 無施業林では 40.7 N/mm^2 (C.V. 17.3%), 施業林では 43.2 N/mm^2 (C.V. 14.8%) であり, 施業林では全体的にバラツキが小さく, 統計的仮説検定の結果, 施業林と無施業林では危険率 1% 水準で平均値の差が認められ, 施業林

Table 2. Density and E_r of boxed-heart square timbers according to visual grading before and after drying.

Stand	Before and after drying	Visual grading	Density (g/cm^3)	E_r (kN/mm^2)	Moisture content (%)	Number
Control forest	Before drying	1	0.65 (15.6)	6.93 (18.8)	92.8 (26.2)	23
		2	0.61 (14.4)	6.59 (18.4)	80.7 (22.5)	91
		3	0.63 (15.3)	6.23 (25.1)	73.7 (25.1)	6
	After drying	1	0.41 (9.5)	7.82 (17.9)	16.3 (43.8)	23
		2	0.41 (8.1)	7.50 (18.1)	15.0** (27.9)	91
		3	0.43 (6.9)	7.28 (24.4)	14.2 (18.4)	6
Managed forest	Before drying	1	0.72** (14.3)	6.63 (13.6)	106.7* (26.4)	58
		2	0.65** (11.9)	6.54 (13.0)	92.0** (25.2)	58
		3	0.66 (19.0)	6.41 (3.8)	90.1 (36.1)	4
	After drying	1	0.42 (6.6)	7.59 (13.5)	14.0 (18.6)	58
		2	0.41 (7.2)	7.62 (12.4)	13.3 (10.7)	58
		3	0.43 (3.4)	7.73 (2.6)	12.8 (6.0)	4

Legend: E_r : Modulus of dynamic elasticity by longitudinal vibration, *: Significant at 5% level, **: Significant at 1% level.

Note: Each value in parentheses is coefficient of variation (C.V., %).

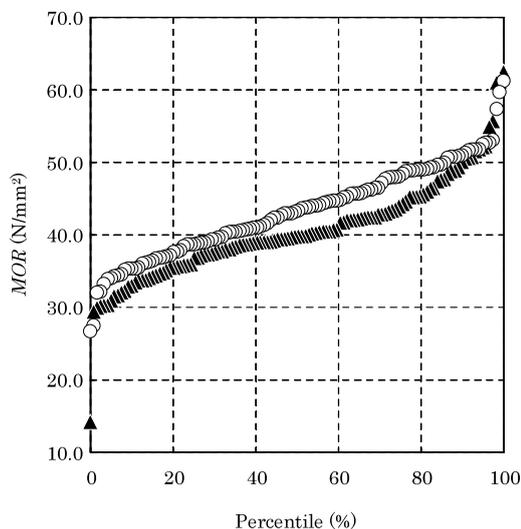


Fig. 3. Percentile of moduli of rupture (MORs) of boxed-heart square timbers from control and managed forests.

Legend: ▲: Control forest, ○: Managed forest.

Note: Number of timbers from control and managed forests are 120 each.

の方が大きな値を示した。無施業林では、MORの最小値は14.2 N/mm²であったが、これは荷重点真下の引張応力面の材縁部に集中節が局所的に存在し、そこから破壊したものであった。TLは、無施業林では対数正規分布で決定して29.1 N/mm²、施業林では正規分布で決定して32.1 N/mm²であり、施業林が10%大きな値を示した。

無施業林と施業林での1番玉と2番玉との区分による実大曲げ試験結果をTable 3に示す。無施業林と施業林との比較では、統計的仮説検定の結果、2番玉でのMORについて危険率5%水準で平均値の差が認められ、施業林の方が大きな値を示した。また、これまで丸太について示されている結果³⁰⁻³²⁾と同様に、心持ち正角でも無施業林と施業林それぞ

れのMOEは2番玉が1番玉より大きく、統計的仮説検定の結果、無施業林では危険率5%水準で、施業林では危険率1%水準で平均値の差が認められ、2番玉の方が大きな値を示した。これは、樹高方向での施業の違いによる節や年輪幅などの材質的な差異が影響しているとともに、1番玉と2番玉での断面における未成熟材の割合の差異、あるいは2次壁中層のマイクロフィブリル傾角の漸減する領域が樹幹中で円錐状に分布している³³⁾ことなどの複雑な影響によるものと考えられる。

破壊形態を観察すると、無施業林の正角では荷重点付近の集中節、材縁部や背割り付近の節などが破壊の起点となる場合が多く観察された。無施業林と施業林での1番玉と2番玉における全区間と荷重点間に相当する中央1/3区間での最大節径比、及び集中節径比について統計的仮説検定を行った結果、1番玉での中央1/3区間材縁部の集中節径比を除いて、無施業林と施業林では危険率1%水準で平均値の差が認められ、無施業林の方が大きかった。特に、曲げ強度性能に影響を及ぼす材縁部での最大節径比と集中節径比は、無施業林の方が大きいことが分かった。繊維走行の傾斜については、Table 3に示すように、1番玉について無施業林と施業林では危険率5%水準で平均値の差が認められ、無施業林の方が大きかった。

したがって、施業林が無施業林よりもMOEのパラッキが小さくMORの平均値が大きくなったのは、目視等級区分1級の割合が高く、また節の出現の有無と、それに伴う繊維走行の傾斜の程度が全体的に小さくなることが寄与していたと考えられる。

3.4 目視等級区分ごとのMOEとMOR

目視等級区分ごとのMOEとMORをFig. 4, Fig. 5にそれぞれ示す。MOEについて、目視等級区分1級、2級、3級それぞれの平均値とC.V.を求めた。無施業林では順に1級で7.90 kN/mm² (C.V. 14.8%), 2級で7.30 kN/mm² (C.V. 18.3%), 3級で6.27

Table 3. Results of full-sized bending tests of boxed-heart square timbers for first and second logs.

Stand	Log no.	Air-dried density (g/cm ³)	GA (mm/m)	ARW (mm)	MOE _{1/3L} (kN/mm ²)	MOE (kN/mm ²)	σ_{sp} (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)	TL (N/mm ²)
Control forest	First	0.42 (9.5)	16* (58.1)	5 (15.4)	8.40 (22.7)	7.06 (18.7)	28.4 (20.1)	40.0 (18.8)	27.1
	Second	0.40 (6.9)	13 (54.1)	5 (13.8)	9.43 (17.5)	7.66 (16.7)	30.5 (15.8)	41.4 (15.8)	31.0
Managed forest	First	0.43 (7.1)	13 (59.0)	5 (17.3)	8.74 (13.0)	7.23 (10.5)	28.5 (12.8)	42.4 (13.9)	32.4
	Second	0.41 (5.9)	13 (57.7)	5* (12.1)	9.84 (15.8)	7.82 (16.5)	31.3 (14.6)	44.0* (15.4)	31.9

Legend: GA: Grain angle, ARW: Average ring width, MOE_{1/3L}: Modulus of elasticity in constant bending moment section, MOE: Modulus of elasticity in bending, σ_{sp} : Proportional limit in bending, MOR: Modulus of rupture in bending, TL: The lower fifth percentile value with 75% confidence level, *: Significant at 5% level.

Note: Sample number is 60 for each log number. Each value in parentheses is coefficient of variation (C.V., %).

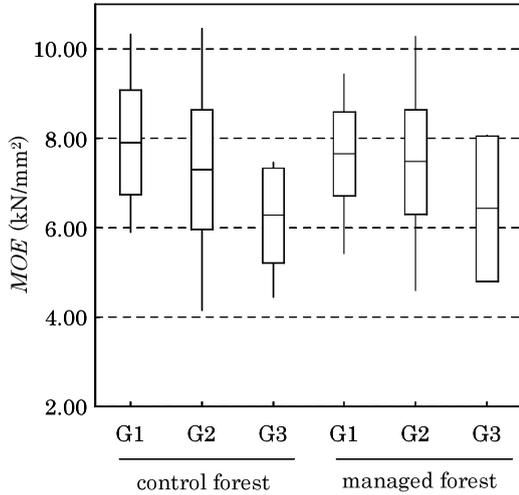


Fig. 4. Moduli of elasticity (*MOEs*) of boxed-heart square timbers from control and managed forests according to visual grading.

Note: G1, G2, and G3 represent the first, second, and third of visual grades, respectively.
 Number of timbers for G1, G2, and G3 from control forests are 23, 91, 6, respectively.
 Number of timbers for G1, G2, and G3 from managed forests are 58, 58, 4, respectively.
 Bars represent maximum and minimum, and boxes represent the average \pm standard deviation.

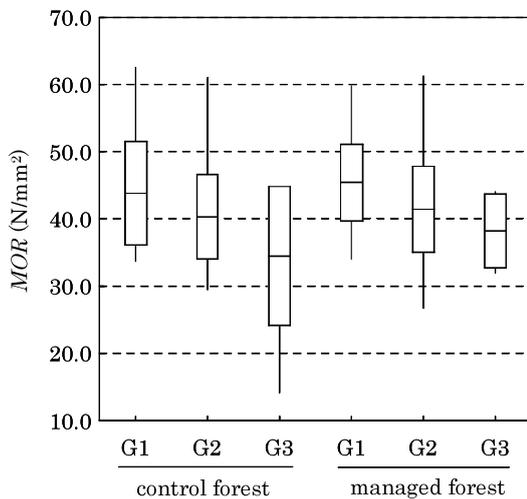


Fig. 5. Moduli of rupture (*MORs*) of boxed-heart square timbers from control and managed forests according to visual grading.

Note: Number of timbers for G1, G2, and G3 from control and managed forests are the same as in Fig. 4.
 G1, G2, G3, bars, and boxes are the same as in Fig. 4.

kN/mm^2 (C.V. 17.0%)であった。施業林では順に1級で 7.65 kN/mm^2 (C.V. 12.3%), 2級で 7.47 kN/mm^2 (C.V. 15.7%), 3級で 6.43 kN/mm^2 (C.V. 25.1%)であった。施業林では無施業林と比較して1級, 2級のバラツキが小さく, また2級, 3級での平均値が大きい傾向が見られるが, 統計的仮説検定(分散: F 検定, 平均値: t 検定)の結果, 各等級間で有意差 ($P < 0.05$) は認められなかった。

*MOR*について, 目視等級区分1級, 2級, 3級それぞれの平均値とC.V.を求めた。無施業林では順に1級で 43.8 N/mm^2 (C.V. 17.6%), 2級で 40.3 N/mm^2 (C.V. 15.7%), 3級で 34.5 N/mm^2 (C.V. 30.0%)であった。施業林では順に1級で 45.4 N/mm^2 (C.V. 12.6%), 2級で 41.4 N/mm^2 (C.V. 15.4%), 3級で 38.2 N/mm^2 (C.V. 14.3%)であった。施業林では無施業林と比較して全体的にバラツキが小さく, また3級の平均値が大きい傾向が見られ, 統計的仮説検定の結果, 無施業林と施業林の1級について危険率5%水準で分散に差が認められ, 施業林の方が小さかった。目視等級区分1級, 2級, 3級それぞれの*TL*を求めた。無施業林では順に, 1級は対数正規分布で決定して 31.4 N/mm^2 , 2級は対数正規分布で決定して 30.4 N/mm^2 , 3級は正規分布で決定して 10.3 N/mm^2 であった。施業林では順に, 1級は正規分布で決定して 35.2 N/mm^2 , 2級は対数正規分布で決定して 30.9 N/mm^2 , 3級は対数正規分布で決定して 25.7 N/mm^2 であった。*TL*は全ての目視等級区分で施業林が大きかった。

施業林では, 全ての材が目視等級区分ごとに定められた基準強度を満たしていた。無施業林では, 3級のうち1体が基準強度以下となった。この1体は, 前述のとおり, 荷重点真下の引張応力面の材縁部に集中節が局所的に存在したものであった。したがって, 無施業林の心持ち正角であっても, 局所的に節が多く存在する様な特異的なものを除けば, 十分に基準強度を満たすものと考えられる。

本報では, 間伐率あるいは枝打ち高さなどの施業内容については考慮しておらず, 今後の課題であるが, 枝打ちや間伐などの施業は1番玉と2番玉から製材した正角の目視等級区分の各等級の出現率に影響を及ぼし, 特に施業林では1級の割合が高く, 材質劣化の発生も認められなかった。また, 施業林より得られた正角の曲げ性能も向上する傾向が認められた。したがって, 枝打ちや間伐などの施業は, 正角の外観特性と曲げ性能に影響を及ぼす重要な施業であると考えられる。

4. 結 論

枝打ち、間伐などの施業と、スギ心持ち正角の目視等級区分及び曲げ性能との関係を検討した。造林後に施業が実施されていない無施業林と、施業が実施された施業林より丸太を供試し、それらを心持ち正角に製材、乾燥した後、目視等級区分と実大曲げ試験を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

1. 目視等級区分の結果、無施業林では1番玉と2番玉ともに2級の出現率が高かったが、施業林では材縁部の最大節径比と集中節径比が小さく、1級の出現率が高くなった。無施業林と施業林では、統計的仮説検定の結果、1級、2級、3級の出現率について危険率1%水準で差が認められた。無施業林では穿孔性害虫による材質劣化が認められたが、施業林では枝打ちと間伐などの施業の実施によって材質劣化は認められなかった。
2. 乾燥前後での E_r は無施業林と施業林、また目視等級区分ごとでの著しい差異は認められず、乾燥後では7.28~7.82 kN/mm²の範囲内であり、乾燥によって15%程度向上した。
3. 実大曲げ試験でのMOEは、無施業林では7.36 kN/mm² (C.V. 18.1%)、施業林では7.52 kN/mm² (C.V. 14.5%) となり、統計的仮説検定の結果、危険率5%水準で分散の差が認められ、施業林の方が小さかった。
4. MORは、無施業林では40.7 N/mm² (C.V. 17.3%)、施業林では43.2 N/mm² (C.V. 14.8%) であり、統計的仮説検定の結果、危険率1%水準で平均値の差が認められ、施業林の方が大きな値を示した。TLはそれぞれ29.1 N/mm²、32.1 N/mm² であり、施業林が10%大きな値を示した。
5. 目視等級区分とMORとの関係について、施業林では各目視等級区分でのバラツキが小さく、統計的仮説検定の結果、1級について危険率5%水準で分散に差が認められ、施業林の方が小さかった。施業林でのTLは、全ての目視等級区分で無施業林より大きかった。
6. 施業林は全ての材が基準強度を満たした。無施業林では引張応力面に集中節が局所的に存在した1体が基準強度以下となったが、その他の材は全て基準強度を満たしていた。

謝 辞

本研究を行うにあたり、スギ試験林分の設定とスギ丸太の調達にご協力いただいた島根県内の林家の

皆様、林業普及職員の皆様に深謝の意を表す。

文 献

- 1) 飯島泰男：“木材科学ハンドブック”，岡野 健，祖父江信夫編，朝倉書店，東京，2006，pp. 175-187.
- 2) 竹内郁雄：林試研報 No. 344, 103-116 (1987).
- 3) 藤森隆郎：“多様な森林施業 林業改良普及双書107”，(社)全国林業改良普及協会編，創新社，東京，1991，pp. 44-69.
- 4) 竹内郁雄：“林業技術ハンドブック”，(社)全国林業改良普及協会編，技秀堂，東京，1998，pp. 847-861.
- 5) 林 知行：木材工業 54(2)，60-65 (1999).
- 6) 鈴木滋彦：“木材の科学と利用技術Ⅱ 5. スギ”，日本木材学会研究分科会，日本木材学会，東京，1991，pp. 68-71.
- 7) 飯島泰男：木材工業 44(6)，253-259 (1989).
- 8) 平川泰彦，山下香菜，中田了五，藤澤義武：木材学会誌 43(9)，717-724 (1997).
- 9) 山下香菜，平川泰彦，藤澤義武，中田了五：木材学会誌 46(6)，510-522 (2000).
- 10) 平川泰彦，長尾博文，山下香菜，田中俊成：木材学会誌 48(2)，63-72 (2002).
- 11) 雉子谷佳男，北原龍士：材料 54(4)，377-380 (2005).
- 12) 飯塚和也，齊藤孝一，石栗 太，横田信三，吉澤伸夫：木材工業 61(4)，153-158 (2006).
- 13) 大塚 誠，岩戸日支子：日本林学会九州支部研究論文集 No. 32, 373-374 (1979).
- 14) 中井 孝，田中俊成：木材工業 39(5)，29-35 (1984).
- 15) 後藤康次，津島俊治：日本林学会九州支部研究論文集 No. 41, 241-242 (1988).
- 16) 津島俊治，古賀信也，小田一幸，白石 進：木材学会誌 52(4)，196-205 (2006).
- 17) 大塚 誠，中村徳孫，岩戸日支子：第33回日本木材学会大会研究発表要旨集，京都，1983，p. 50.
- 18) 長尾博文，平川泰彦，田中俊成：第44回日本木材学会大会研究発表要旨集，奈良，1994，p. 214.
- 19) 永井 智，山田範彦，村上浩二：第47回日本木材学会大会研究発表要旨集，高知，1997，p. 519.
- 20) 広島県立林業技術センター：“間伐の有無による県産スギの材質特性の違いについて”，広島県立林業技術センター資源利用部，三次，2000，pp. 1-17.
- 21) Wang, S.-Y., Lin, C.-J., Chiu, C.-M., Chen, J. H., Yung,

- T.-H.: *J. Wood Sci.* **51**(1), 1-6 (2005).
- 22) Lin, C.-J., Wang, S.-Y., Yang, T.-H., Tsai, M.-J.: *J. Wood Sci.* **52**(4), 337-341 (2006).
- 23) 大高一成, 高田克彦: “コンサイス木材百科”, 秋田県立大学木材高度加工研究所編, (有)秋田木材通信社, 能代, 2002, pp. 4-5.
- 24) 後藤崇志, 中山茂生, 池淵 隆, 原 勇治, 古野毅: 木材工業 **63**(7), 307-312 (2008).
- 25) “針葉樹の構造用製材の日本農林規格並びに解説”, (社)全国木材組合連合会編, 全国木材協同組合連合会, 東京, 1991, pp. 1-79.
- 26) (財)日本住宅・木材技術センター: “構造用木材の強度試験法” (財)日本住宅・木材技術センター, 東京, 2000, pp. 27-35.
- 27) 堀江和美: “木材強度データの確率・統計手法” (有)木質構造研究所, 砂川, 1997, CD-ROM 版計算シート集 I + II.
- 28) 飯島泰男: 木材学会誌 **53**(2), 63-71 (2007).
- 29) 後藤忠男: 木材工業 **61**(9), 420-423 (2006).
- 30) 小泉章夫, 飯島泰男, 佐々木貴信, 川井安生, 岡崎泰男, 中谷 浩: 木材学会誌 **43**(1), 46-51 (1997).
- 31) 朱 建軍, 高田克彦, 飯島泰男, 平川泰彦: 木材学会誌 **49**(2), 138-145 (2003).
- 32) 津島俊治, 古賀信也, 小田一幸, 白石 進: 木材学会誌 **51**(6), 394-401 (2005).
- 33) 平川泰彦, 藤澤義武: 木材学会誌 **42**(2), 107-114 (1996).

江間忠木材・江間忠合板研究助成

江間忠木材・江間忠合板研究助成制度により, 本論文掲載費の一部が助成されました。