

大径スギ平角材の製材方法の違いによる曲げ性能及び化粧性の評価

Sawing patterns effect of bending performance and the number of knots in large Sugi (*Cryptomeria japonica*) logs.

小林慧・工藤康夫

要旨

スギ大径材から平角材を製材し、製材方法の異なる平角材の曲げ性能及び材面に現れた節（化粧性）を測定した結果、以下の知見を得た。

- 1 2丁取り製材（末口径36.5cm以上）により得た心割り材について、中心定規挽き及び側面定規挽きのマッチング比較をしたところ、静的曲げヤング係数は高い正の相関がみられた。
- 2 3丁取り製材（末口径48cm以上）により得た心去り材、心持ち材のマッチング比較をしたところ、静的曲げヤング係数及び曲げ強度の統計的な有意差は認められなかった。
- 3 製材方法が異なる平角材の化粧性を比較すると、心去り材の節数が最も少なかったことから、心去り製材をすることで化粧性の高い平角材が得られる可能性が高く、新たな大径材利用の可能性が見出された。

キーワード：スギ、大径材、心割り材、心去り材、化粧性、静的曲げヤング係数

I はじめに

群馬県内の人工林面積のうち、約45%を占める主要樹種であるスギは、現在12齢級以上のものが齢級構成の61%を占め（群馬県林業統計書，2019）、大径木の有効活用が求められている。木材の大径化によって、これまで生産の難しかった大断面の横架材など、従来とは異なった様々な寸法の製材品の利用が提案される中、大径材利用に適した製材方法や乾燥方法、加工した際の化粧性や強度性能について一部知見はあるものの明らかになっていない。

近年、全国的に研究が進められている大径材から採取した心去り平角材は、心持ち材と同等の曲げ強度を持つ、あるいは差が認められないという報告（椎葉ら，2015；鈴木ら，2015）がある一方で、工務店や施主等の消費者からは、スギの心去り材の利用について強度的な面から不安視されることが多い。また、心去り平角材では、無節面が高い頻度で出現する（佐藤ら，2014）と言われるものの、平角材に関する報告は少ない。

本研究では、スギ大径材より製材した心持ち平角材と心去り平角材及び製材方法の異なる心割り材を対象として曲げ性能及び化粧性の特徴を明らかにし、出材の増加しているスギ大径材の有効活用及び高品質な製材品の製造について検討した。

II 材料と方法

1 供試材料

材料は群馬県産スギ丸太45本（末口径36.5cm—55.7cm、元口径41.9cm—63.0cm、材長約4000mm）を用いた。各丸太の末口径、元口径及び延長を測定した。また、丸太の細り率は、（元口径—末口径）/材長で算出し、丸太の材積は素材の日本農林規格（農林水産省，2012）で定められている末口二乗法により算出

した。供試丸太の概要を表-1 に示す。

スギ丸太 45 本のうち、丸太 39 本は中心定規挽き及び側面定規挽きによる心割材の 2 丁取り製材を行い、78 体の試験体を作製した (図-1)。残りの丸太 6 本は、図-2 に示すとおり、1 本の丸太から心去り材 2 丁と心持ち材 1 丁の 3 丁取り製材をし、18 体の試験体を作製した。製材寸法は、心去り材は幅 150 mm×せい 240 mm とし、心持ち材は幅 135 mm×せい 240 mm とした。

製材後、2 丁取り製材を行った内の 32 体 (丸太 16 本分) については、屋外にて 19 か月 (2017 年 11 月 -2019 年 6 月) 天然乾燥を行い、46 体 (丸太 23 本分) 及び 3 丁取り製材をした 18 体 (丸太 6 本分) については、蒸気式木材乾燥機 (日本電化工機 (株) 製、DKSH-15HT) にて乾球温度 85°C、乾湿球温度差 0~20°C、乾燥期間 14 日の乾燥スケジュールにて人工乾燥を行った。

すべての試験体は、帯鋸製材機 (イシタ製、IAT-1100) で修正挽きし、モルダー (飯田工業株式会社製、M-211) を用いて、幅 120 mm×せい 210 mm に仕上げた。

表-1 試験丸太の概要 (n=45)

項目	末口径 (cm)	年輪数 (末口側)	元口側 (cm)	年輪数 (元口側)	細り率 (%)	材積 (m ³)
平均値	42.4	50	49.4	57	1.7	0.75
最大値	55.7	78	63.0	86	3.2	1.26
最小値	36.5	33	41.9	39	0.9	0.56
標準偏差	4.6	9	5.4	9	0.6	0.17

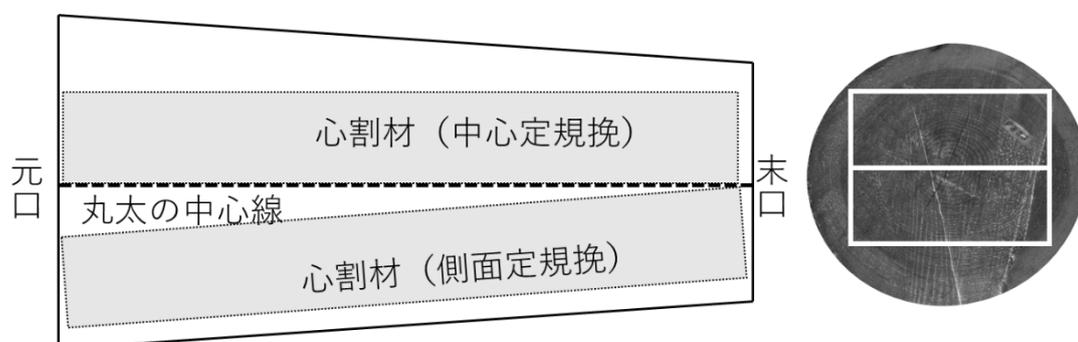


図-1 2 丁取り製材方法

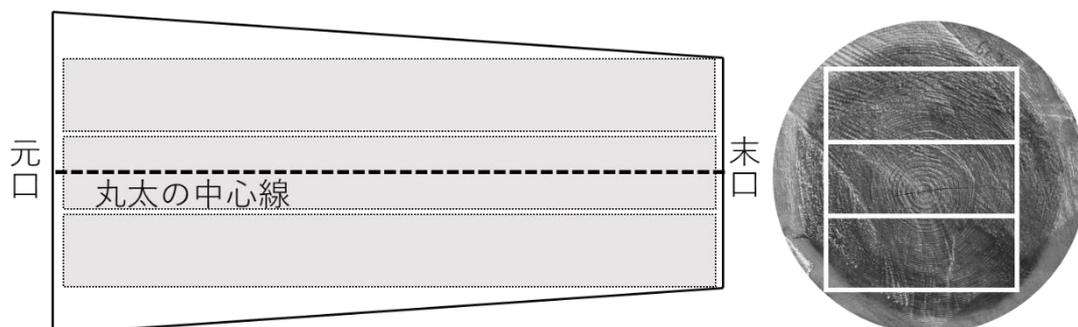


図-2 3 丁取り製材方法

2 曲げ試験

曲げ試験は、「構造用木材の強度試験マニュアル」（日本住宅・木材技術センター，2011）に準じて3等分点4点荷重方式で曲げ性能の測定を行った。スパンは梁せい210mmの18倍（3,780mm）、支点－荷重点間および荷重点間距離は梁せいの6倍（1,260mm）とし、実大強度試験機（（株）前川試験機製作所製、SAH-100）を用いて破壊するまで載荷し、変位は試験体下面中心部で測定した。これら試験結果より曲げ強度（MOR）及び曲げヤング係数（MOE）を求めた。曲げ試験終了後、非破壊部分を切り出してその重量を測定し、恒温器中で $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ で恒量になるまで静置して全乾法による含水率を求めた。

3 化粧性の評価

寸法調整後、試験体材面のうち木口面を除く4面（図-3）に確認できる節について長さ方向および幅方向を測定し、節面積（長さ方向の節径（L）×幅方向の節径（W））を算出した（図-4）。節回りに入皮がみられたものについては、入皮部分を含み節径とした。

なお、心持ち材では木表面と木裏面の区別がないため、1面と3面の節数及び節面積の平均値を木表面及び木裏面の数値として解析に用いた。また、全ての試験体において2面と4面とを区別をせず、それらの節数及び節面積の平均値を「側面」の値として解析に用いた。

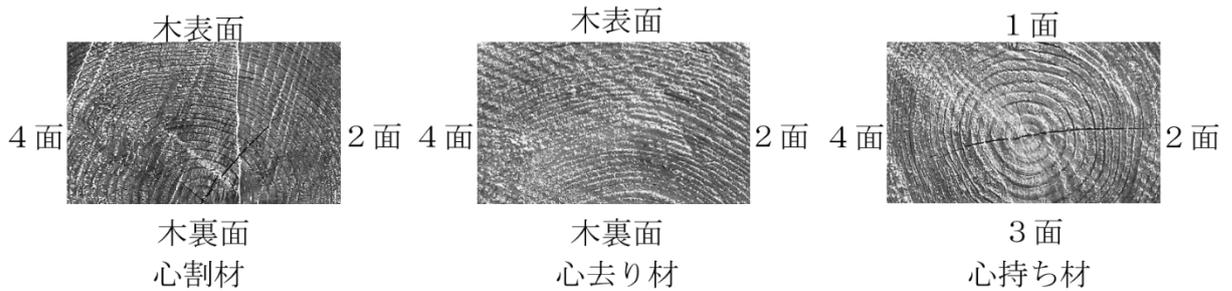


図-3 節数、節径を測定した材面

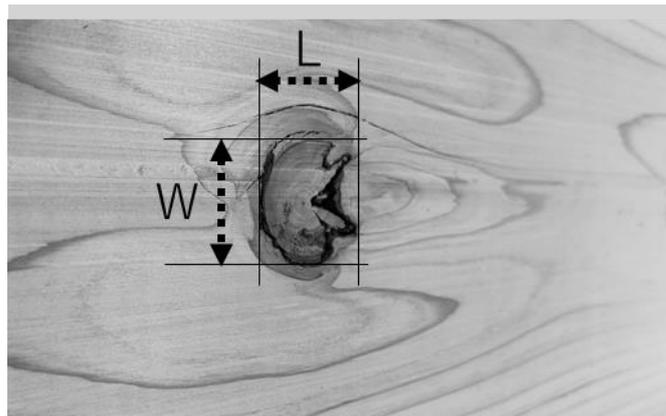


図-4 節径の測定方法

$$\text{節面積 (mm}^2\text{)} = L \text{ (mm)} \times W \text{ (mm)}$$

III 結果及び考察

1 曲げ強度性能の製材方法別比較

表-2及び表-3に曲げ試験結果及び試験体の含水率を示す。すべての試験体での含水率は20%以下であり、製材の日本農林規格のうち、構造用製材で求められる品質を満たしていた。一方で、曲げ強度がスギ無

等級材の基準強度(国土交通省, 2015) 22. 2N/mm²を満たさない試験体が、心割材(中心定規挽)で7体(17. 9%)、心割材(側面定規挽)で8体(20. 5%)、心去り材で2体(16. 7%)、心持ち材で1体(16. 7%)確認された。特に心割材と心去り材では、加力点内に大節がある試験体や、材面に腐朽がみられた試験体で基準強度を満たさなかった(図-5)。また、心割材では、天然乾燥と人工乾燥との異なる乾燥方法を実施したが、静的曲げヤング係数(Mann-WhitneyのU検定、 $p=0.91$)、曲げ強度(Mann-WhitneyのU検定、 $p=0.96$)ともに有意差が認められなかったため、乾燥方法別に区分せず、まとめて比較した。

同一丸太内より2丁取り製材した中心定規挽と側面定規挽の心割材の静的曲げヤング係数の関係と曲げ強度の関係を図-6に示す。製材方法別の静的曲げヤング係数の関係をみると、高い正の相関関係($R=0.79$)がみられた。また、曲げ強度の関係では、正の相関関係($r=0.51$)がみられた。次に、静的曲げヤング係数と曲げ強度の測定値を図-7に示す。図中のエラーバーは最大値と最小値を示し、エラーバーの外にある外れ値は、四分位範囲の1.5倍を超えた値を示す(以下箱ひげ図は同様)。心割材(中心定規挽)と心割材(側面定規挽)の静的曲げヤング係数の測定値は同等の数値を示し、統計的有意差は認められなかった(Mann-WhitneyのU検定、 $p=0.94$)。また、曲げ強度においても同様に有意差は認められなかった(Mann-WhitneyのU検定、 $p=0.78$)。

同一丸太内より3丁取り製材した心去り材と心持ち材の静的曲げヤング係数の関係を表-4に、曲げ強度の関係を表-5に示す。3丁取りを行ったことにより、心去り材が2本得られたため、1本目を心去り材①とし、2本目を心去り材②とした。静的曲げヤング係数は、心去り材①と心持ち材間($r=0.91$)、心去り材②と心持ち材間($r=0.91$)、心去り材①と心去り材②間($r=0.82$)のいずれでも高い正の相関関係がみられた。一方で、曲げ強度は心去り材①と心持ち材間で正の相関関係($r=0.56$)がみられたが、心去り材②と心持ち材間、心去り材①と心去り材②間では明確な相関関係はみられなかった。次に、心去り材と心持ち材の静的曲げヤング係数の測定値と曲げ強度の測定値を図-8に示す。静的曲げヤング係数は心持ち材でばらつきが大きいものの、統計的有意差は認められなかった(Mann-WhitneyのU検定、 $p=0.94$)。また、曲げ強度においても、心去り材で心持ち材に比べて高い値を示したものの、統計的有意差は認められなかった(Mann-WhitneyのU検定、 $p=0.64$)。

以上のことから、大径材より得られたスギ平角材では、製材方法の違い及び心持ち材と心去り材での静的曲げヤング係数及び曲げ強度の顕著な差はみられず、心去り材は、心持ち材と同様の利用が可能であると考えられた。また、同一丸太より製材した心割材間、心去り材と心持ち材間で静的曲げヤング係数に高い相関関係がみられたことから、静的曲げヤング係数の測定値は素材となった丸太の影響を受ける可能性が高く、大径材より静的曲げヤング係数の高い製材品を得るためには、丸太の段階での動的ヤング係数測定などによる選別が重要であると推察された。

表-2 心割材の曲げ試験結果

製材方法 項目	心割材(中心定規挽) (n=39)			心割材(側面定規挽) (n=39)		
	静的曲げヤング係数	曲げ強度	含水率	静的曲げヤング係数	曲げ強度	含水率
	kN/mm ²	N/mm ²	%	kN/mm ²	N/mm ²	%
平均値	5.85	28.58	14.42	5.84	29.14	14.20
最大値	8.73	44.71	16.77	8.85	42.58	16.57
最小値	2.69	15.18	11.89	2.79	13.80	11.07
標準偏差	1.25	6.57	1.12	1.21	7.59	1.44

表-3 心去り材と心持ち材の曲げ試験結果

製材方法 項目	心去り材 (n=12)			心持ち材 (n=6)		
	静的曲げヤング係数 kN/mm ²	曲げ強度 N/mm ²	含水率 %	静的曲げヤング係数 kN/mm ²	曲げ強度 N/mm ²	含水率 %
平均値	6.85	33.11	14.32	6.78	29.11	13.50
最大値	8.49	46.52	16.85	8.56	37.06	15.92
最小値	4.52	21.32	12.04	5.10	19.49	12.15
標準偏差	1.09	8.14	1.33	1.40	6.76	1.27

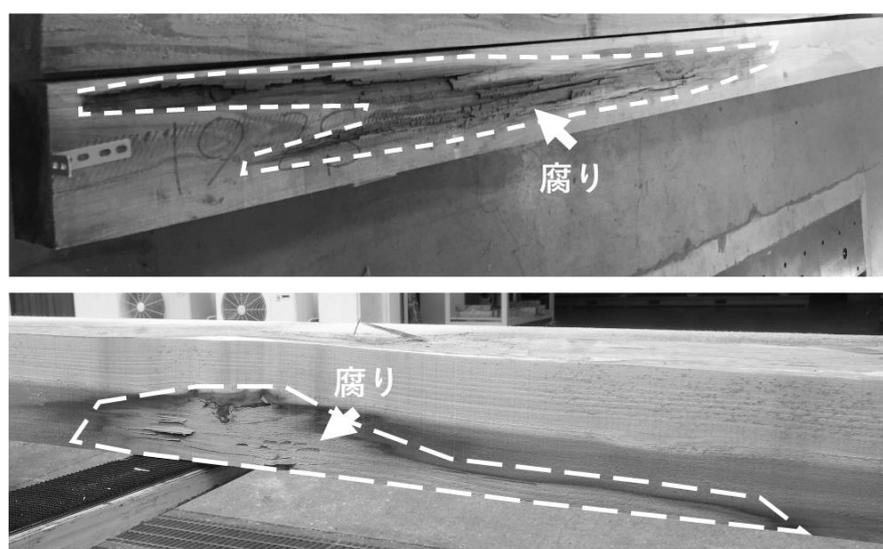


図-5 心割材と心去り材の材面の腐り

上段：心割材

下段：心去り材

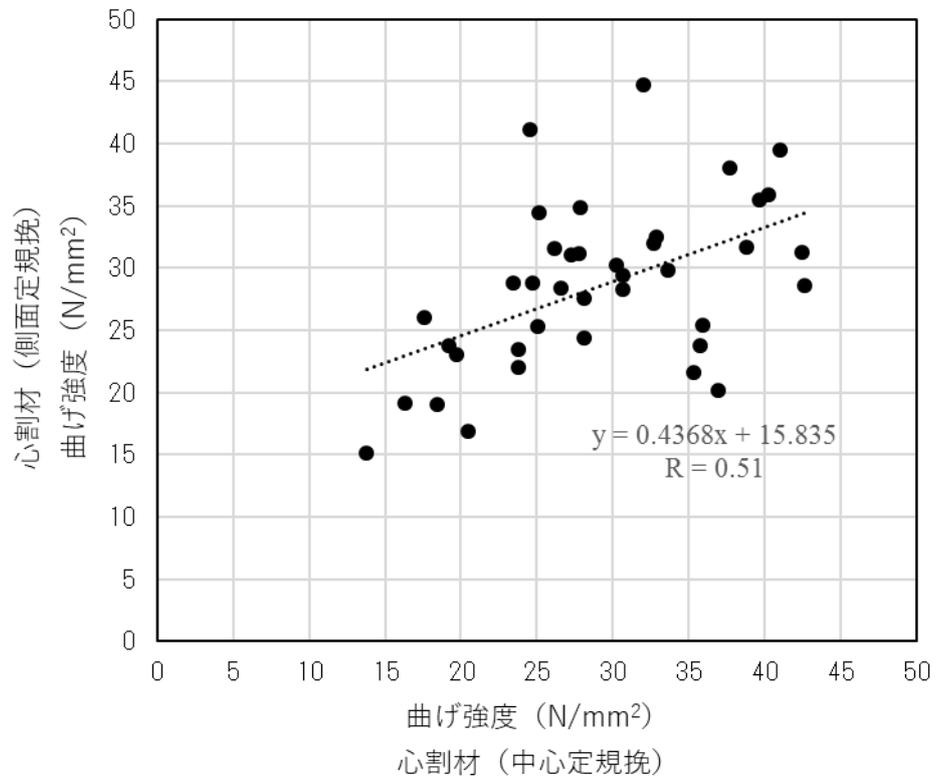
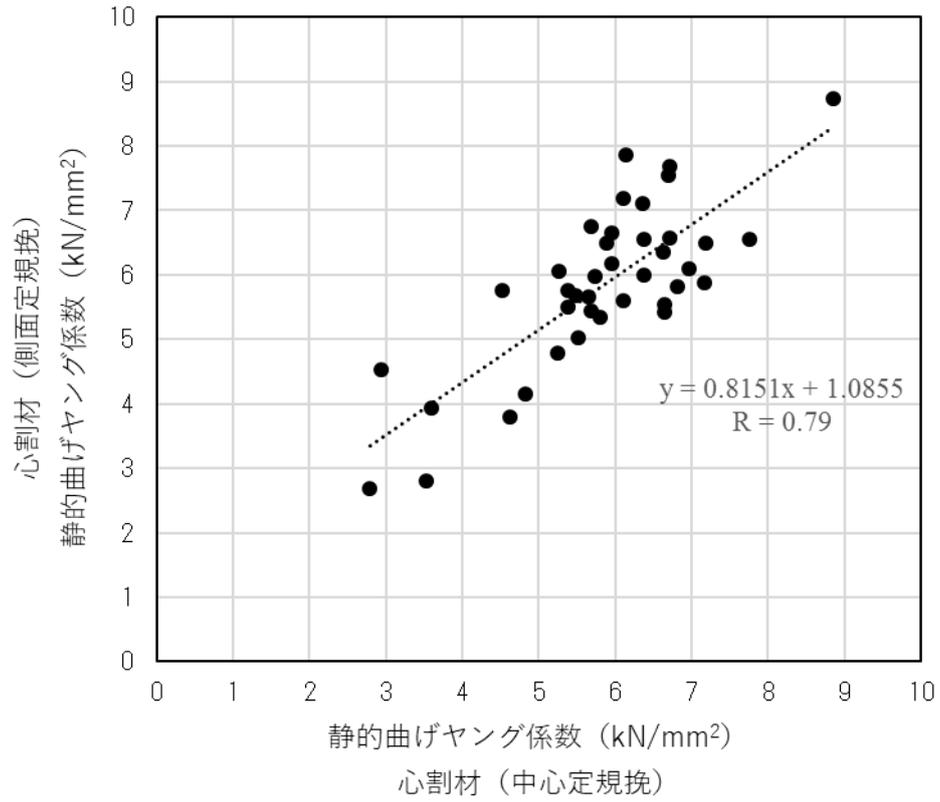


図-6 心割材の製材方法別静的曲げヤング係数及び曲げ強度の相関関係

上段：静的曲げヤング係数の相関関係

下段：曲げ強度の相関関係

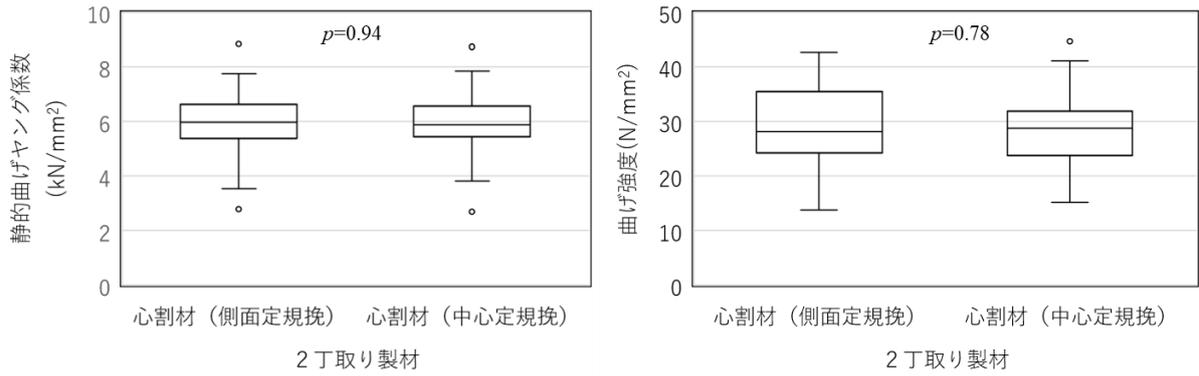


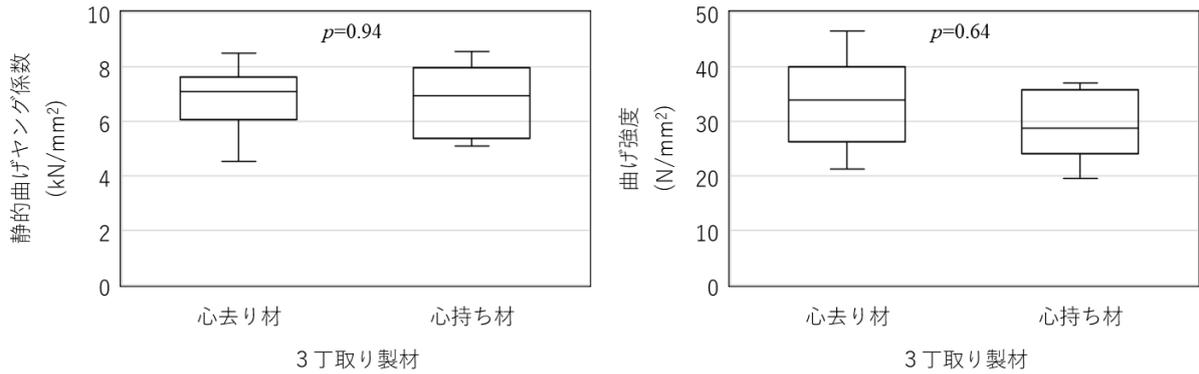
図-7 心割材の静的曲げヤング係数と曲げ強度の測定値

表-4 心去り材と心持ち材の静的曲げヤング係数の相関関係表

	心去り材①	心持ち材	心去り材②
心去り材①	1		
心持ち材	0.91	1	
心去り材②	0.82	0.91	1

表-5 心去り材と心持ち材の曲げ強度の相関関係表

	心去り材①	心持ち材	心去り材②
心去り材①	1		
心持ち材	0.56	1	
心去り材②	-0.21	0.12	1



図－8 心去り材と心持ち材の静的曲げヤング係数と曲げ強度の測定値

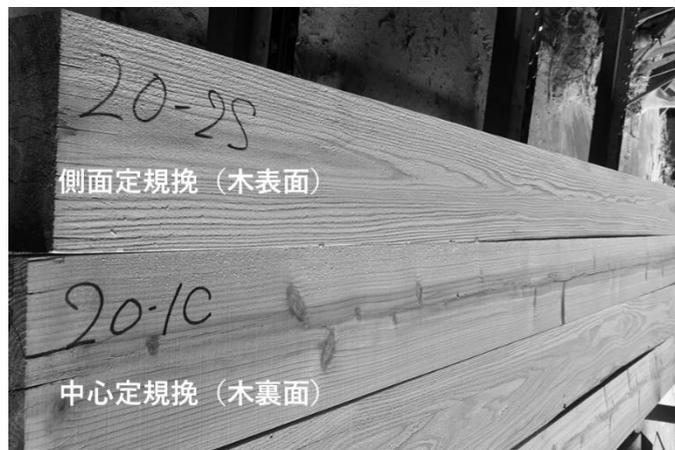
2 心割材、心去り材及び心持ち材の化粧性について

試験体の各材面の節数及び節の面積を測定した結果、3面無節のものは、心割材で4丁(5.1%)、心去り材で1丁(8.3%)であった。3面無節の試験体は、木表面及び側面で節がみられなかった。心持ち材では無節の面は確認できなかった。代表的な材面の写真を図－9に示す。

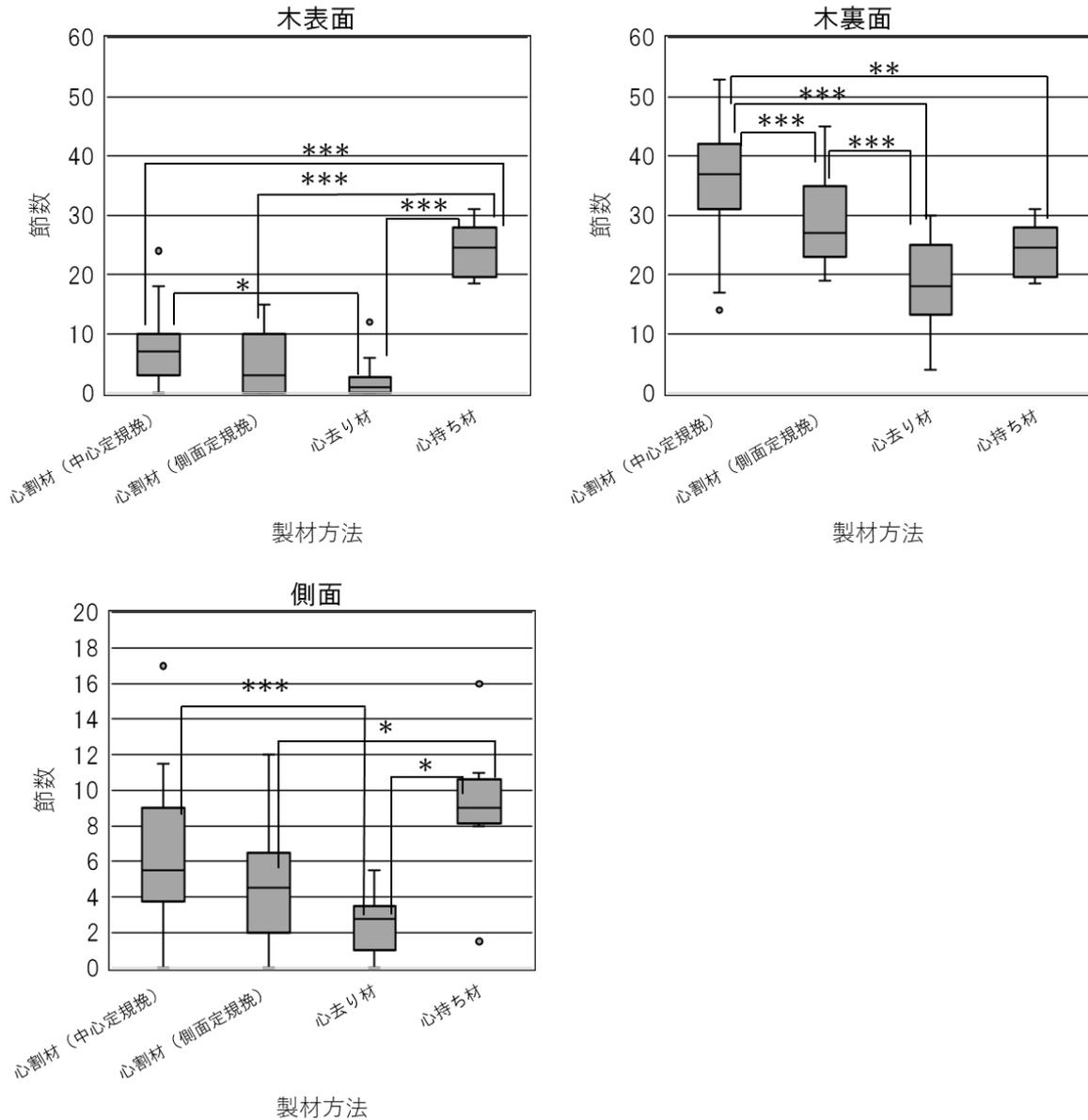
製材方法別材面に出現した節数を図－10に示す。材面の広い($d=210\text{mm}$)木表面と木裏面をみると、木表面では、心割材及び心去り材に比べて、心持ち材で明確に節数が多かった($p<0.001$)。一方で、心割材(中心定規挽)と心割材(側面定規挽)間では、節数に有意差は認められなかった($p>0.05$)。これは、心割材や心去り材では、心持ち材に比べて木表面が髓より離れており、枝打ちや落枝によって発生した枝の残滓が、樹木の成長の過程で材内に巻き込まれ、材面に現れなかったためと考えられた。

また、木裏面では、心割材(中心定規挽)で節数が多く、次いで心割材(側面定規挽)、心持ち材と心去り材の順となった。心割材(中心定規挽)と心割材(側面定規挽)間($p<0.001$)、心割材(中心定規挽)と心去り材間($p<0.001$)、心割材(中心定規挽)と心持ち材間($p<0.01$)、心割材(側面定規挽)と心去り材間($p<0.001$)で統計的有意差はみられたものの、心去り材と心持ち材間では有意差が認められなかった。これは、心割材(中心定規挽)では、髓を割るように製材を行うため、他の製材方法に比べて、流れ節や、幹から分岐したばかりの枝が節として木裏面に現れたため節数が多くなったものと考えられた。

材面の狭い($b=120\text{mm}$)側面をみると、両面ともに同様の傾向を示し、心割材(中心定規挽)と心去り材間で有意差が認められた(B面： $p<0.001$ 、D面： $p<0.05$)。



図－9 心割材の代表的な材面



図一10 製材方法別材面に出現した節数

*** $p < 0.001$ 、** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$ 、Steel-Dwass 法

図一11 に測定したすべての節の面積別出現割合を示す。全体的な傾向として節面積は0~1,000mm²に集中していた。木表面では、心割材 (側面定規挽) において、3,500mm²以上の面積の大きい節がみられた。これは、心割材 (側面定規挽) では、木表面で他面に比べ入皮を伴う大きな節が確認されたためだと考えられる。加えて、木裏面では心割材 (中心定規挽、側面定規挽) において、心持ち材ではみられない3,000mm²以上の面積の大きい節が散見された。心割材の木裏面では流節が確認されており、心去り材、心持ち材に比べて面積の大きい節が発生する要因になったと考えられる。側面では、心持ち材において、500mm²~1,000mm²で7割を超える節が存在し、1,500mm²を超過する節はみられなかった。これは、心持ち材では側面がほかの製材方法に比べ髓から近く、円状の生節が出現したためだと考えられる。

以上の結果から、節数でみると心持ち材に比べて心割材、心去り材は節数が少なく化粧性能が高いことが明らかとなった。特に、心割材及び心去り材では木表面及び側面において無節が期待できるため、製材品に

高付加価値を付与する可能性が高いことが考えられる。しかし、心割材では、流れ節がみられることや、心割材と心去り材ともに入皮等の欠点が発生する可能性もあり、素材となる丸太の外見的形状に着目した選別や、製材後の目視による選別が必要である。

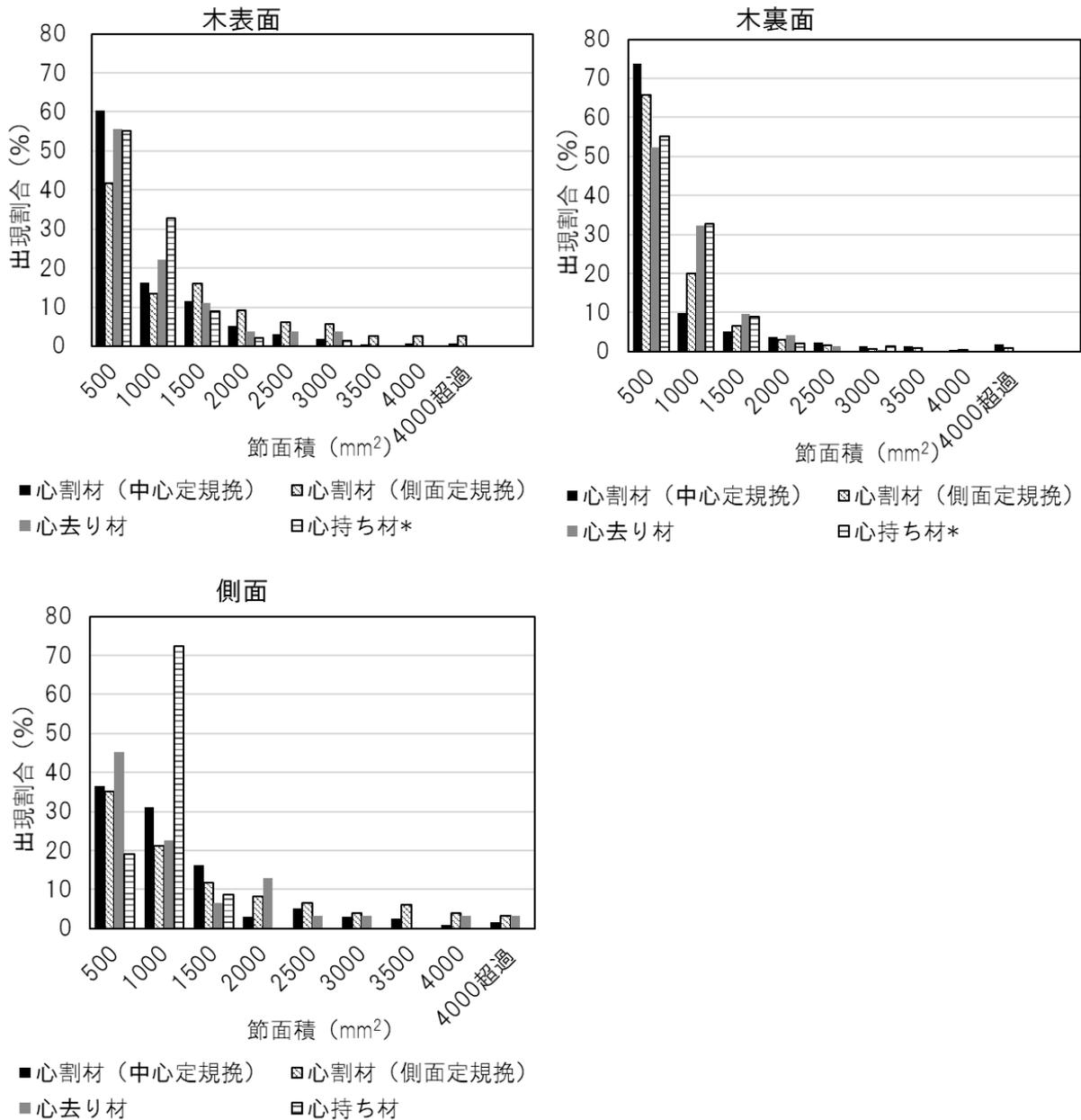


図-11 製材方法別測定面に出現した節の面積別の割合分布

*：心持ち材は木表面、木裏面の区別なし

3 スギ大径材から平角材を製材する利点について

同一丸太から異なる方法で製材した際、曲げ性能については製材方法による影響は明確にはみられなかった。しかし、製材方法によって節数及び節面積については、顕著に違いがみられた。そこで、製材方法が材面の化粧性に与える影響を評価するため、「化粧性スコア」というパラメーターを定義し評価した。節面積は表-6に示すとおり区分し点数をつけ、次式(1)より化粧性スコアを算出した。

$$\text{式(1)} \quad \text{化粧性スコア} = (\text{節面積の点数} \times \text{各材面の全節数}) / \text{試験体数}$$

表-6 節面積別の点数表

節面積 (mm ²)	点数
1~1,000	1
1,001~2,000	2
2,001~3,000	3
3,001~4,000	4
4000以上	5

表-7に化粧性スコアを示す。化粧性スコアは低いほど材面に節数及び節面積が小さいことを示す。心去り材は化粧性スコアが最も小さく、化粧性が高い木材であることが示された。心割材、心持ち材いずれも、心去り材に比較し明確に高い値を示しており、心去り材の優秀さを示す結果となった。スギ大径材から平角材を製材する際、化粧性の高い平角材を得るのに最も有利な製材方法は、3丁取りによる心去り材の製材であり、末口径が46cmを超える大径材から化粧性の高い平角材を生産できることが示された。

曲げ性能は心去り材、心持ち材、心割材いずれも構造物に利用するのに十分な性能を有することから、心去り材は、デザイン性や意匠性が求められる高価な建築物への活用が期待される。

表-7 製材方法別化粧性スコア表

製材方法	幅広の面		側面	合計
	木表面	木裏面		
心割材 (中心定規挽)	9.2	31.6	9.2	50.0
心割材 (側面定規挽)	8.7	35.7	8.5	52.9
心去り材	2.9	21.5	4.0	28.4
心持ち材	27.8*	27.8*	10.5	66.1

*: 心持ち材は木表面、木裏面の区別なし

IV おわりに

スギ大径材を対象に、異なる製材方法で平角材を作製し試験を行った結果、平角材の製材は3丁取り製材で心去り材を得ることが曲げ性能及び化粧性の面で最も有利であることが明らかとなった。しかし、一部の心去り材や心割材では、入り皮を伴う大きな節や辺材部の腐朽、樹木の生育過程での傷害がみられることから、化粧性能の高い平角材を生産するためには、丸太の選別や製材方法での工夫が必要である。

2丁取り製材が可能な末口径36.5cm以上の丸太は比較的入手しやすく、現行で化粧性能が高く曲げ強度性能も基準強度を満たした心去り平角材の生産には、2丁取り製材が推奨される。一方、3丁取り製材に用いる末口径48cm以上の丸太は、現時点では流通量が限られているが、標準伐期齢を超えたスギの資源量が豊富にあることから、今後は3丁取り製材に適した丸太の出材が見込まれる。

工務店や施主等からはスギの心去り材の強度面で不安視される現状において、本研究は一定の答えを出すもので、さらに、一番玉の末口径が46cmを超える大径材から、美しい木表面を持つ心去り平角材が得られることが理解されれば、大径材の新たな用が見込まれると考えられた。

引用文献

- 群馬県環境森林部(2019), 令和元年版群馬県森林林業統計書
- 国土交通省(2015) 木材の基準強度 F_c 、 F_t 、 F_b 、及び F_s を定める件, 国土交通省告示第 910 号(2015 年 8 月 4 日)
- 佐藤博、小島正、町田初男、小黒正次(2014) スギ大径材の有効活用に関する研究, 群馬県林業試験場 研究報告 18, 62-73
- 椎葉 淳、荒武志朗、松元明弘、森田秀樹(2015) 大径材から得られたスギ心去り平角材の曲げ性能, 日本森林学会誌 97 (4), 203-207 (2015)
- 鈴木祥仁, 大林育志(2015) スギ大径材の利用に関する研究, 愛知県森林・林業技術センター報告 52, 29-42
- 日本住宅・木材技術センター(2011), 構造用木材の強度試験マニュアル, <http://www.howtec.or.jp/kenkyu/m-kyoudosiken.pdf> (参照 2012. 12. 21)
- 農林水産省(2012), 素材の日本農林規格, 農林水産省告示第 832 号(2012 年 3 月 28 日)
- 農林水産省(2013), 製材の日本農林規格, 農林水産省告示第 1920 号(2013 年 6 月 12 日)