

スギ大径材から得られた上下心去り平角の曲げ性能と材面の品質

高山 勉・永井 智

兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センター, 兵庫県宍粟市 671-2515

スギ人工林の高齢級化に伴い, 大径材が増加し, その用途開発が課題となっている. 大径材では, 1本の丸太から平角材を2本生産すること(心去り二丁取り)が可能となるが, 心去り材は強度面で不安視され, 業界等から敬遠されている. そこで心去り平角, 特に丸太の半径方向を梁せいとする二丁取り心去り平角(上下心去り平角)を供試材として, 曲げ性能や材面の品質について検討を行った. 結果, 曲げ試験では, 木表面を下面とする場合において, すべての供試材が製材 JAS の機械等級区分構造用製材の基準強度を満たしていた. また, 材面の品質については, 木表側は木裏側に比べて節が少なく美観に優れていた. 以上から, 上下心去り平角は, 木表面を下面とする「見せる梁」への利用に適していると考えられる.

キーワード: 心去り平角, 大径材, 曲げ強さ, 節, スギ

You can see the English abstract on the last page of this article.

緒言

スギ人工林の高齢級化に伴い, 大径化したスギ丸太の産出量が増加し, その用途開発と販売戦略の確立が課題となっている(遠藤, 2018). 大径材では, 1本の丸太から平角材を2本生産すること(心去り二丁取り)が可能となるが, これまでは中径材から得られる心持ち材が利用されてきた背景もあり, 製材所や工務店などの関連業界やエンドユーザーには「心去り材は弱い」という意識が根強く, 心去り材は敬遠されているのが現状である(椎葉ら, 2015). したがって, 心去り平角を大径材の用途として確立していくためには, その強度性能データを蓄積し, 公表していくことが必要である.

心去り平角の研究は, 従来, 丸太の半径方向を梁幅方向とする二丁取り心去り平角(以下, 左右心去り平角と略記)について行われてきた(例えば後藤ら(2017), 岩崎・涌井(2021)). 一方, 丸太の半径方向を梁せい方向とする二丁取り心去り平角(以下, 上下心去り平角と略記)の研究については, 椎葉ら(2015)の報告が認められる程度である. 上下心去り平角では, 梁せい方向の広い2材面が柾目となり, 上下面に木表面ないし木裏面が存在するため, 左右心去り平角とは材面の品質が大きく異なるとともに, 木表面, 木裏面の上下配置の違いによって曲げ性能が異なる可能性がある. そこで本研究では, 上下

心去り平角を供試材として, 曲げ性能, 材面の品質, およびそれらの関係について検討を行った.

材料および方法

1 供試材

兵庫県産の末口径 44~46cm のスギ丸太 8本を用いて, 県内製材工場において, 丸太の中心軸と平行に製材する「中心定規挽き」により, 図1に示す木取りで上下心去り平角を16本製材し, 中温乾燥(70℃)後, 仕上げ加工を行った. 仕上がり寸法は幅 120mm×梁せい 180mm×長さ 4,000mm である.

2 試験方法

「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)に基づき, 万能強度試験機((株)島津製作所製, AG-250kNX)により, スパン 3,240mm(梁せいの18倍), 荷重点間距離 1,080mm の3等分点4点荷重方式で実大曲げ試験を行った.

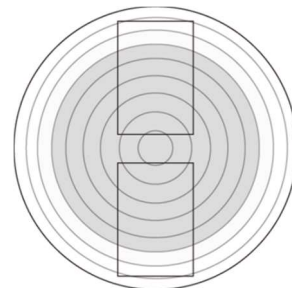


図1 供試材の木取り(模式図)

このとき、同一の丸太から製材した 2 本ごとに、1 本を木裏面から、もう 1 本を木表面から加力することとし、測定項目は曲げヤング係数、曲げ強さ、および曲げ比例限度とした。曲げ比例限度は、荷重変位曲線において最大荷重の 10%と 40%の 2 点を結んだ直線を、最大荷重の 40%を超える領域に延長したものを基準の変位として、最大荷重の 40%を超える各荷重時について、測定プロットの変位を基準の変位で除し、その比率が 1.03 を超える直前の測定プロットの荷重値から算出した。曲げ試験後の試験体において、端部から約 100cm 離れた部位から長さ約 25mm の含水率試験片を採取し、全乾法により試験時の含水率を求めた。強度試験データは、ASTM D1990-07 により含水率 15%時の値に補正した(日本住宅・木材技術センター, 2011)。ただし、補正は規格の内容にしたがって含水率 15%±5%の範囲で実施することとし、含水率が 20%を上回る試験体は 20%とみなして 15%時に補正した。

強度試験に先立ち、製材の日本農林規格(以下、JAS と略記)の造作用製材に準拠して、材面の品質(無節・上小節・小節・並)を 4 面すべてについて調査した。また、JAS の目視等級区分構造用製材甲種

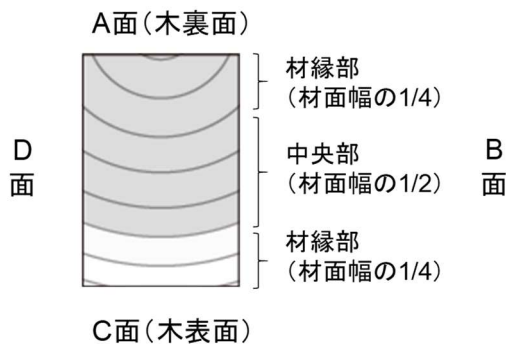


図 2 材面の区分(末口側基準)

II に準拠して、節径比(最大節径/節の存する材面の幅)および集中節径比(最大集中節径/節の存する材面の幅)を 4 面すべてについて計測した。計測に際しての材面の区分を図 2 に示す。JAS では広い材面(B 面・D 面)の材縁部について、1 材面の 2 つの材縁部を合わせて計測するが、本研究では木裏面(A 面)側と木表面(C 面)側を区別して計測した。さらに、同目視等級区分構造用製材甲種 II に準拠して平均年輪幅を計測した。平均年輪幅は元口、末口両木口で計測した年輪幅の平均とした。

統計解析はソフトウェア R4.0.0(R Core Team (2020))を用いて行った。

結果および考察

1 曲げ性能

表 1 に強度試験結果の総括表を示す。図 3 は、含水率 15%時の曲げヤング係数、図 4 は、含水率 15%時の曲げ強さである。いずれも木裏面から加力したもの(木裏荷重)と木表面から加力したもの(木表荷重)に分けて示している。曲げヤング係数は、木裏荷重と木表荷重に有意差はみられず(対応のある t 検定, $p \geq 0.05$)、曲げ強さは、木裏荷重が木

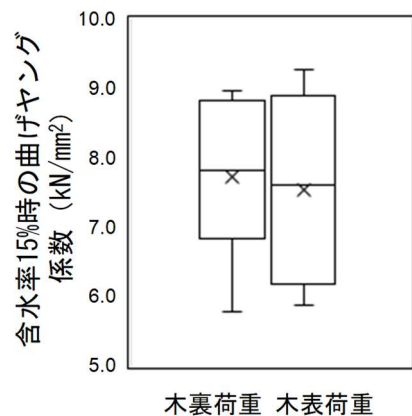


図 3 荷重面別の含水率 15%時曲げヤング係数

表 1 強度試験結果の総括表

荷重方向	本数 (本)	含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)	測定値				含水率15%時補正值			
				密度 (kg/m ³)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ比例限度 (N/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	密度 (kg/m ³)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ比例限度 (N/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
木裏荷重 (木裏→木表)	8	22.2 (5.9)	4.3 (1.0)	380 (50)	7.22 (1.00)	30.0 (4.9)	42.2 (6.6)	347 (48)	7.72 (1.11)	32.7 (5.9)	47.2 (8.0)
木表荷重 (木表→木裏)	8	21.8 (4.2)	4.1 (0.9)	382 (40)	7.01 (1.24)	25.8 (6.1)	34.3 (5.3)	351 (40)	7.54 (1.38)	27.8 (7.5)	38.2 (6.8)

() 内は標準偏差

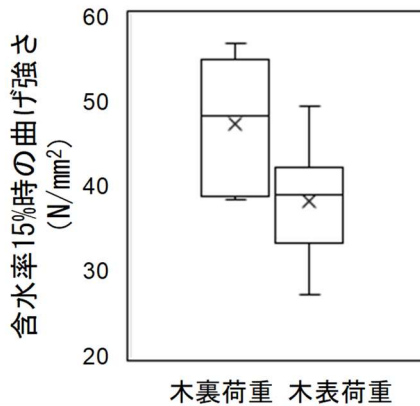


図4 荷重面別の含水率15%時曲げ強さ

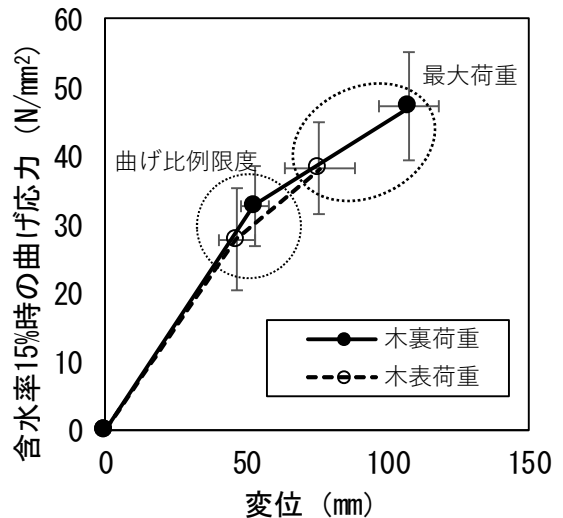


図6 変位と含水率15%時曲げ応力の関係
誤差バーは標準偏差

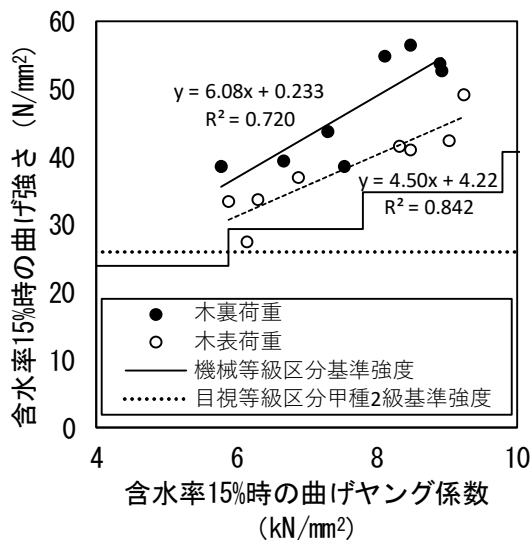


図5 含水率15%時曲げヤング係数と含水率15%時曲げ強さの関係

表荷重に比べて有意に大きかった(対応のある t 検定, $p < 0.01$). 橋爪(1999)はカラマツ心去り正角材(二方桁角, 四方桁角)について, 荷重方向で曲げヤング係数に違いは認められず, 曲げ強さでは木裏荷重は木表荷重の約 1.3 倍であったとしている. 本研究のすぎも曲げヤング係数は同様の結果であり, 曲げ強さでは木裏荷重は木表荷重の約 1.2 倍であった.

図5に含水率15%時の曲げヤング係数と曲げ強さの関係を示す. JAS の目視等級区分構造用製材甲種構造材2級の基準強度 25.8N/mm^2 はすべての試験体が満たしていた. また, 同機械等級区分構造用製材の基準強度については, 木裏荷重はすべて満たし, 木表荷重は下回るものが1本あった. この1本

の曲げ強さが小さかった要因については「3 曲げ強さの推定」で考察する.

図6は, 変位と含水率15%時曲げ応力の関係で, 木裏荷重および木表荷重について, 曲げ比例限度時および最大荷重時の平均変位・応力を示している. 比例限度時から最大荷重時までを塑性域とすると, 木裏荷重で塑性域が長かった.

以上より, 供試材は JAS の機械等級区分構造用製材の基準強度をほぼ満たし, また, 木表面を下面とする方が上面とするよりも曲げ性能に優れる結果となった.

2 材面の品質

図7に, JAS の造作用製材の規定に基づく, 各材面における材面の品質の割合を示す. 木表面である C 面の無節の割合が高く, 木裏面である A 面は並が大部分を占めた. C 面の規格外は, すべて強度に影響しないとされる(中山ら, 2013)材面の短小割れであった.

図8および図9に各材面の節径比および集中節径比を示す. 節径比, 集中節径比とも, 木表面である C 面や, 側面である B 面・D 面における C 面側の材縁部の値が小さく, B 面・D 面の中央部および A 面側の材縁部, そして木裏面である A 面の値が大きい傾向が見られた. A 面には 5 本(31%)に流れ節が見られた.

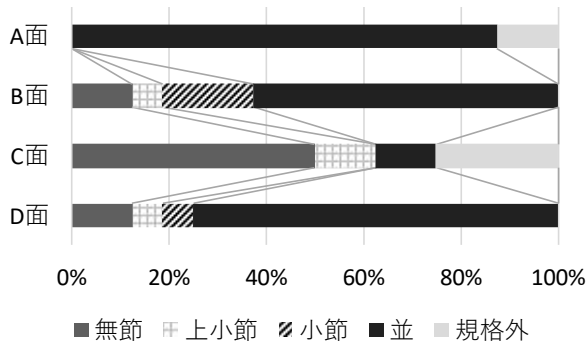


図7 各材面における材面の品質の割合

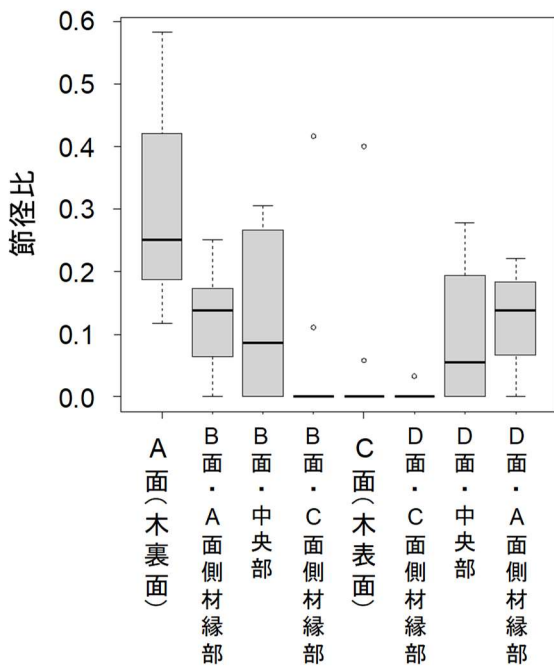


図8 各材面の節径比

以上より、柁目となる側面も含めて木表側に欠点が少ない、横架材として使う場合、木表面を下面にする化粧性に優れる結果となった。

3 曲げ強さの推定

曲げ強さに影響を及ぼす要因を検討するため、まず、引っ張り側となる下面の節径比および集中節径比、荷重方向、含水率 15%時曲げヤング係数、含水率 15%時密度、および平均年輪幅と、含水率 15%時曲げ強さとの単相関係数を求めた(表 2)。その結果、含水率 15%時の曲げヤング係数との単相関係数が最も大きく、次いで含水率 15%時の密度との単相関係数が大きかった。また、集中節径比よりも節径比との相関が高いことは、松元・石田(2015)によるスギ心持ち平角と同様であった。

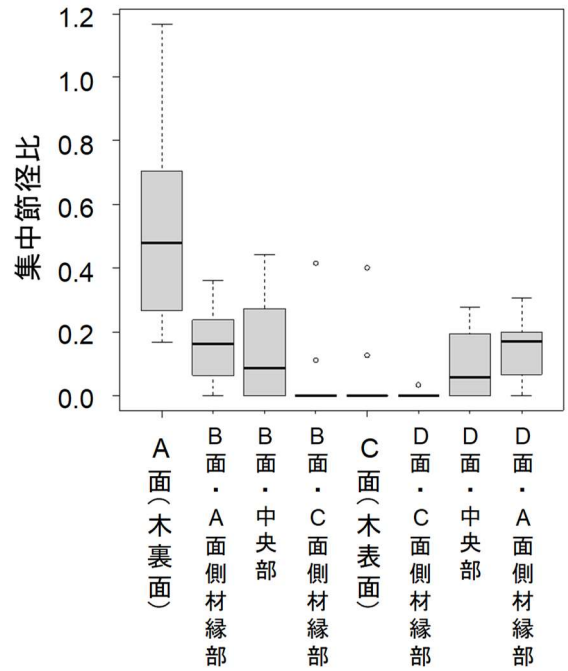


図9 各材面の集中節径比

次に、曲げ強さを推定する目的で、表 2 に示した 6 つの項目を説明変数候補として、赤池情報量基準(AIC)を基準に、含水率 15%時曲げ強さに影響を及ぼしている要因について重回帰分析を行った(表 3)。その結果、最小 AIC モデルとして選択された説明変数は含水率 15%時密度と下面の節径比であった。図 10 に含水率 15%時の密度と曲げ強さの関係、図 11 に下面の節径比と含水率 15%時の曲げ強さの関係を示す。密度は力学的性質に大きく影響し、強度と比例関係にあるとして扱われる場合が多く(石丸ら, 2017)、図 10 においても曲げ強さとの間に明瞭な比例関係が認められる。図 11 では、木裏荷重は下面が木表となりすべてに節がなく、木表荷重は下面が木裏となりすべてに節が存在し、それらが曲げ強さに影響していることが窺える。これらの結果を踏まえて、「1 曲げ性能」において、JAS の機械等級区分構造用製材の基準強度を下回った 1 本(図 5、含水率 15%時の曲げ強さ 27.4N/mm²)は、含水率 15%時密度が 287kg/m³と低く(図 10)、かつ、下面に節が存在する木表荷重であった(図 11)ことが、基準強度を下回る要因になったものと考えられた。一方、同一丸太から製材され、含水率 15%時密度が 271kg/m³

表 2 含水率 15%時曲げ強さとの単相関係数

項目	単相関係数
含水率15%時曲げヤング係数	0.77 ***
含水率15%時密度	0.71 **
荷重方向	0.55 *
下面の節径比	-0.54 *
下面の集中節径比	-0.49
平均年輪幅	-0.33

* : 単相関係数が危険率5%で有意なことを示す
 ** : 単相関係数が危険率1%で有意なことを示す
 *** : 単相関係数が危険率0.1%で有意なことを示す

表 3 含水率 15%時曲げ強さの重回帰分析結果

応答変数	説明変数	偏回帰係数
含水率15%時 曲げ強さ	含水率15%時密度	0.161***
	下面の節径比	-32.2***
重相関係数		0.955

*** : 偏回帰係数が危険率0.1%で有意なことを示す

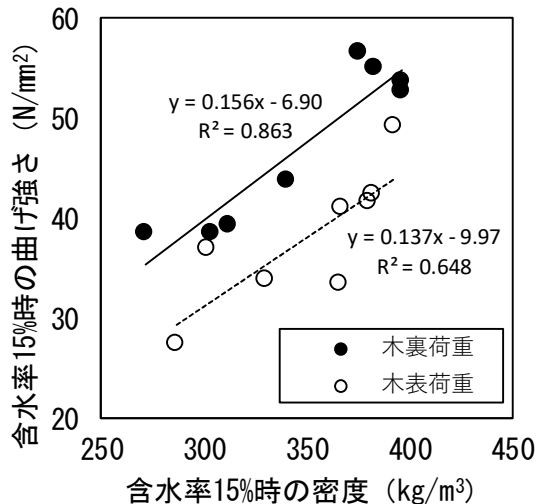


図 10 含水率 15%時密度と含水率 15%時曲げ強さの関係

とさらに低い(図 10)試験体であっても、下面に節のない(図 11)木裏荷重では、含水率 15%時の曲げ強さ 38.5N/mm²と基準強度を十分に上回っていた(図 5)。さらに、下面に節がない木裏荷重では、下面に節が存在する木表荷重と比較して塑性域が長かった(図 6)。これらのことから、上下心去り平角の場合、節の少ない木表面を下面とする利用は、強度的にも合理的であると考えられた。

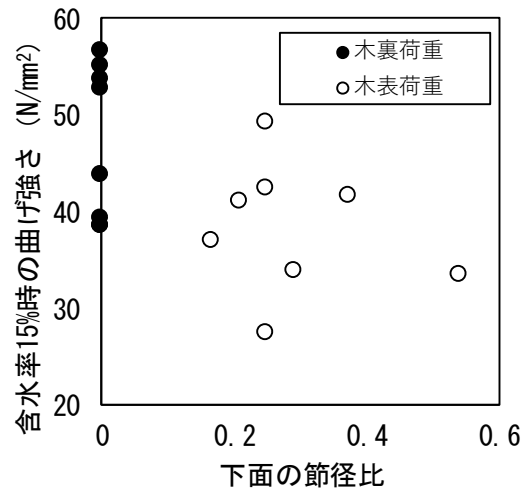


図 11 下面の節径比と含水率 15%時曲げ強さの関係

ま と め

兵庫県産スギ大径材について、上下心去り平角を二丁取りし、それらの曲げ性能や材面の品質を検討した。その結果、木表面を下面に使うと曲げ強さが大きく、側面も含め、木表側は木裏側に比べて節が少なく美観に優れていた。上下心去り平角は、木表面を下面にする「見せる梁」への利用に適していると考えられる。

謝 辞

本報告をとりまとめるにあたり、曲げ比例限度の算出方法についてご助言をいただいた国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所研究専門員の長尾博文氏に深く感謝の意を表します。

引 用 文 献

遠藤日雄(2018):「スギ大径材問題」とその打開に向けて. 山林 2018.7, 2-7.
 後藤崇志・中山茂生・古野毅(2017):島根県産スギ心去り角と心持ち角の材質及び強度特性の比較 正角と平角での曲げ性能. 木材工業 72(7), 262-267.
 橋爪丈夫(1999):長野県産カラマツ材の強度特性(I) 心去り正角の曲げ強度. 木材工業 54(1), 8-13.
 石丸優・古田裕三・杉山真樹編(2017):木材の物理

- (海青社), P160.
- 岩崎昌一・涌井克彦(2021):新潟県産スギ材の強度特性(7)心去り正角材・平角材の曲げ強度.新潟県森林研究所研究報告 61, 40-48.
- 松元浩・石田洋二(2015):県産スギ心持ち平角材の曲げ強度性能.石川県林業試験場研究報告 47, 22-26.
- 中山茂生・間水博文・大国隆二(2013):島根県産スギ構造材の干割れと曲げ強度性能との関係.島根県中山間地域研究センター研究報告 9, 137-143.
- 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, 8-10・89.
- R Core Team (2020):R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- 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.

Bending performance and surface quality of Sugi pithless lumber with the radial direction of the large-diameter logs as beam height

Tsutomu TAKAYAMA and Satoshi NAGAI

Forestry Technology Institute, Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries,
Shiso, Hyogo 671-2515, Japan

Corresponding: Tsutomu TAKAYAMA, fax: +81(0)790-62-9390, e-mail: Tsutomu_Takayama01@pref.hyogo.lg.jp

With the aging of Sugi (*Cryptomeria japonica*) plantations, the large-diameter logs have been increasing, and the development of applications for these logs has become an issue. In the large-diameter logs, it is possible to produce two pieces of pithless lumber for beams from a single log. However, the wood industries have avoided its production and use due to concerns about the strength of the pithless lumber. In this study, we examined the bending performance and surface quality of the pithless lumber, in which the radial direction of the log is the beam height. All specimens loaded from the lumber's pith side cleared the standard strength in the machine grade category of Japanese Agricultural Standards. The quality of the wood surface was superior, with fewer knots on the bark side than on the pith side. In conclusion, the pithless lumber would be suitable for use in "aesthetic beams" with the bark side as the lower surface.

Key Words : pithless lumber, large-diameter logs, bending performance, knots, Sugi