

和歌山県産スギ心去り平角材の曲げ強度性能

一岡直道・岡本憲治¹・山裾伸浩・東山貢

和歌山県林業試験場

Bending strength performance of Sugi (*Cryptomeria japonica*) flat square lumber without pith produced in Wakayama Prefecture

Naomichi Ichioka, Kenji Okamoto, Nobuhiro Yamasuso and Mitsugi Higashiyama

Wakayama Prefectural Forestry Experiment Station

緒言

和歌山県のスギ人工林は長伐期化を背景に原木の大径化が進行し、民有人工林齢級構成面積は、13 齢級以上が 76%を占め、12~14 齢級の面積が多くなっている（和歌山県農林水産部森林・林業局，2023）。今後、スギ原木供給の中心が大径材へと移り変わることが想定され、有効活用が求められている。大径材の特性を生かす方法として、1 本の原木から複数の柱材や平角材を生産することができる心去り製材法がある。他県では心去り平角材に関する研究が行われており（椎葉ら，2015）（中ら，2023），心持ち平角材の曲げ強度と差異がないという結果も得られている（後藤ら，2017）。一方、これまで県産の心去り平角材に関する知見は得られていない。このため、県産スギ大径材の利用拡大に資するべく、製材される心去り平角材の曲げ強度性能に関する評価を 3 年間（2020~2022 年）行ったので報告する。

材料および方法

1. 原木の強度性能評価

試験体用原木には県産スギ大径材 80 本を用いた（平均末口直径 41.8cm，平均年輪幅 3.5mm，平均年輪数 67.4）。なお、試験体は白浜町日置（30 本：1 年目），田辺市龍神村（25 本：2 年目，25 本：3 年目）から調達した。調達した原木の材長および重量，両木口面の短径と長径を測定した。なお，両木口面の直径は，短径と長径の平均とし，さらに両木口面の平均を原木の直径とすることで，材積およびみかけの密度を算出した。そして，簡易型強度測定器（HG2020sp，株式会社エーティーエー製）（図 1，2）を用い，原木の木口面をハンマーで打撃して得られた固有振動周波数，材長及びみかけの密度から，下記の計算式にて動的ヤング係数を算出した。

$$E=4 \times f^2 \times L^2 \times \rho / 10^9$$

E:ヤング係数(kN/m²)，f:周波数(Hz)，L:材長(m)， ρ :密度(kg/m³)

¹現在：(一社)わかやま森林と緑の公社



図 1 簡易型強度測定器



図 2 重量及び固有振動周波数測定

2. 心去り平角材の曲げ強度性能評価

試験体は、1本の原木から心去り平角材を2本製材する方法にて行った(図3)。試験体原木80本から幅120mm×梁せい240mm×長さ4,000mmの心去り平角材を160本製材し、表1の条件にて乾燥した後に幅105mm×梁せい210mm×長さ4,000mmとなるようにモルダー加工した。試験体は「製材の日本農林規格」(以下、JAS)に準拠し、甲種Ⅱの条件にて、荷重点間および支点間のJAS目視等級区分(以下、目視等級区分)判定を実施するとともに、動的ヤング係数を原木と同様の方法で求めた。その後、万能型材料試験機(AG-250kNX, 株式会社島津製作所製)を用い、「構造用木材の強度試験マニュアル」(公益財団法人日本住宅・木材技術センター, 2011)に準拠し、エッジワイズ方向の3等分点4点荷重方式にて曲げ強度試験を実施した(図4)。なお、荷重点間距離は梁せいの6倍(1,260mm)、支点間距離を梁せいの18倍(3,780mm)とした。また、試験後に両木口面の500mm内側から厚さ25mm程度の試験体を採取し、含水率を全乾法にて算出した。

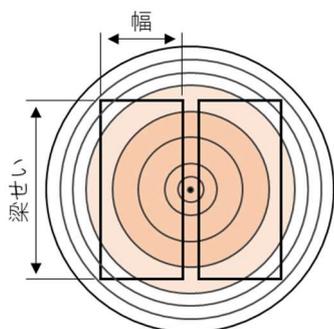


図 3 心去り平角材の製材方法



図 4 曲げ強度試験

表 1 乾燥条件

年	本数	乾燥条件
1年目	60	天然乾燥(9月18日~11月17日)+人工乾燥(14日, 最高温度90℃)
2年目	50	天然乾燥(12月6日~1月13日)+人工乾燥(14日, 最高温度75℃)
3年目	25	天然乾燥(8月26日~11月14日)+人工乾燥(10日, 最高温度75℃)
	25	高温セット ² +天然乾燥(8月29日~11月14日)+人工乾燥(10日, 最高温度75℃)

² 蒸煮10時間(乾球温度95℃, 湿球温度95℃)+ドラインセット10時間(乾球温度120℃, 湿球温度90℃)

結果および考察

1. 原木の強度性能評価

動的ヤング係数の平均は 7.36kN/mm^2 であり (表 2), JAS 機械等級区分 (以下, 機械等級区分) に当てはめると, E90 の出現割合が高くなった (図 5). 今回の心去り平角材用原木, いわゆる大径材と, 本県で過去に実施した心持ち平角材の研究に用いた原木 (平均末口直径 25.5 cm , 平均年輪幅 2.9 mm), いわゆる中径材の動的ヤング係数を比較したところ (参考 1) (西野・山裾, 2002), 大径材の値はやや低いことが確認された (t 検定 1% 水準で有意差あり). また, 機械等級区分の出現割合についても, 大径材は中径材と比べて低い等級を中心に分布していることがわかった. なお, 本県における原木ヤング係数の簡易測定に関する過去の研究成果においても (山裾・一岡, 2021), 前述の内容と同様に, 原木の径が大きくなると動的ヤング係数が低くなる傾向が得られている.

表 2 心去り平角材用原木の測定結果

	本数	重量 (kg)	みかけ密度 (kg/m^3)	動的ヤング係数 (kN/mm^2)
平均		460.5	789.7	7.36
最大値	80	626.4	1061.7	11.56
最小値		305.4	548.0	4.08
標準偏差		75.9	119.3	1.60

参考 1 心持ち平角材用原木の測定結果 (西野・山裾, 2002)

	本数	重量 (kg)	みかけ密度 (kg/m^3)	動的ヤング係数 (kN/mm^2)
平均		203.4	683.2	8.23
最大値	160	413.0	875.7	13.93
最小値		114.9	519.9	5.03
標準偏差		57.5	85.7	1.32

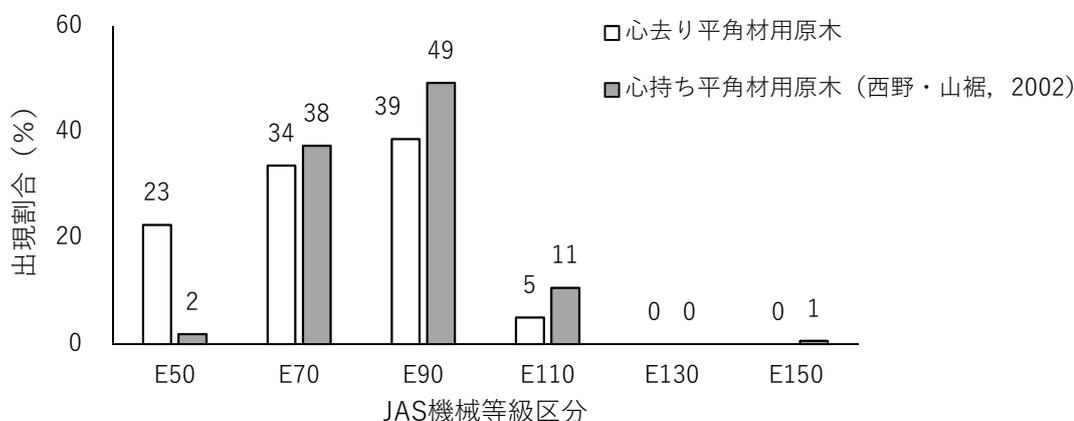


図 5 原木の JAS 機械等級区分出現割合

2. 心去り平角材の曲げ強度性能評価

心去り平角材の試験結果を表 3 に示す。動的ヤング係数の平均は 8.31kN/mm^2 であった。今回の曲げ強度試験によって得られた曲げヤング係数および曲げ強度は、含水率の高い心去り平角材が含まれるため、ASTM D 1990-07 に準拠し、目標含水率が 15% になるように数値を調整した（公益財団法人日本住宅・木材技術センター，2011）。ただし、5% 以上の含水率調整は避けるべきとされているため、含水率 10% 以下は 10% とし、含水率 20% 以上は全て生材とみなし 20% とした。調整後の平均曲げヤング係数は 7.81kN/mm^2 であり、平均曲げ強度は 39.5N/mm^2 となった（表 3）。また、曲げ強度の 5% 下限値は 23.0N/mm^2 となり、スギ無等級材の基準強度 22.2N/mm^2 より高くなった。

なお、全国の主要なスギ産地から得られた平角材の平均曲げヤング係数は 7.35kN/mm^2 、平均曲げ強度は 45.1N/mm^2 となっている（木構造振興株式会社，2011）。今回得られた心去り平角材のデータはこれらと比較すると平均曲げ強度がやや低いものの、強度的には問題なく使用できると考えられた。

表 3 心去り平角材の曲げ強度試験結果

	本数	重量 (kg)	含水率 (%)	みかけ密度 (kg/m^3)	動的ヤング係数 (kN/mm^2)	曲げヤング係数 ² (kN/mm^2)	曲げ強度 ² (N/mm^2)
平均		37.0	27.7	414.8	8.31	7.81	39.5
最大値	160	53.4	106.9	599.3	13.15	11.64	61.1
最小値		29.0	8.3	323.5	4.48	4.50	17.0
標準偏差		5.10	16.1	57.0	1.65	1.46	9.4

² 「構造用木材の強度試験マニュアル」に準拠し目標含水率が 15% になるように調整

原木および心去り平角材のヤング係数の関係は図 6～9 であり、いずれも正の相関関係が確認され、特に心去り平角材の動的ヤング係数と曲げヤング係数の間には非常に高い相関関係が認められた（図 6）。また、原木の動的ヤング係数と心去り平角材の曲げヤング係数にも高い相関関係が確認されたことから（図 9）、原木段階で製材される心去り平角材の機械等級区分を概ね推測できるのではないかと考えられた。ここで、各機械等級区分の原木から製材される心去り平角材の機械等級区分出現割合についてを図 10 に示す。これにより、原木の機械等級区分以上となる心去り平角材が 8 割以上出現していることを確認できた。よって、必要とされる心去り平角材の機械等級区分に合わせた原木から製材することにより、製材にかかるロスを減らせる可能性が示唆された。また、平角材は曲げ強度性能が求められる梁や桁材に多く使用されるため、E70 以上の原木から製材することによって、E50 の心去り平角材の出現割合を大幅に減らすことができると考えられた。

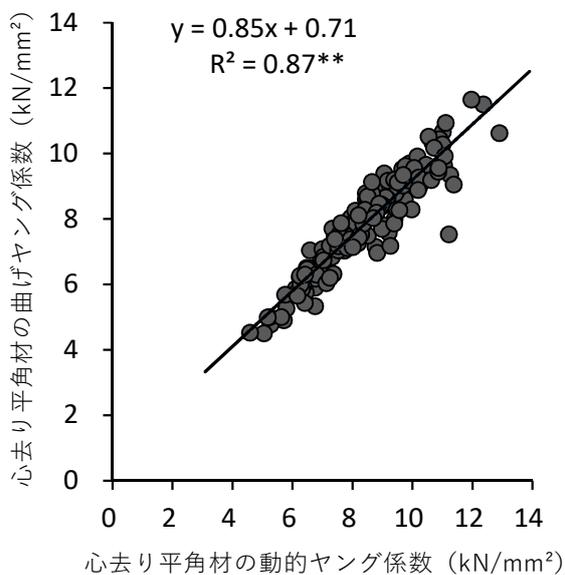


図6 心去り平角材の動的ヤング係数と心去り平角材の曲げヤング係数の関係
** : 1%水準で有意

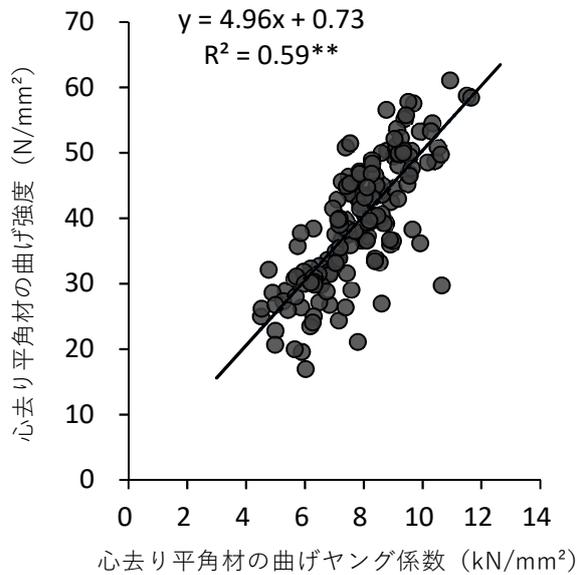


図7 心去り平角材の曲げヤング係数と心去り平角材の曲げ強度の関係
** : 1%水準で有意

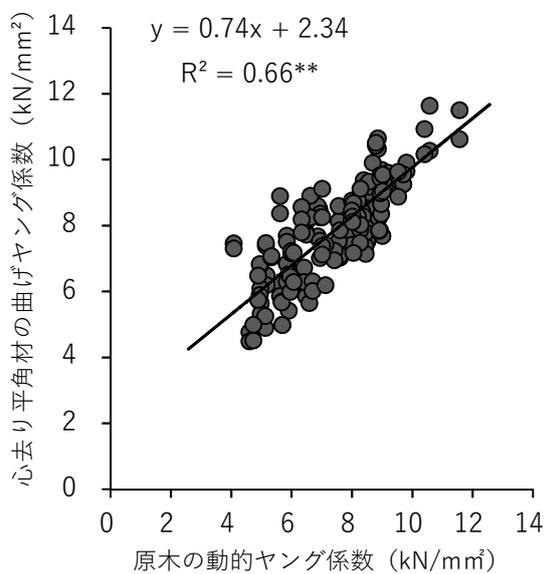


図8 原木の動的ヤング係数と心去り平角材の曲げヤング係数の関係
** : 1%水準で有意

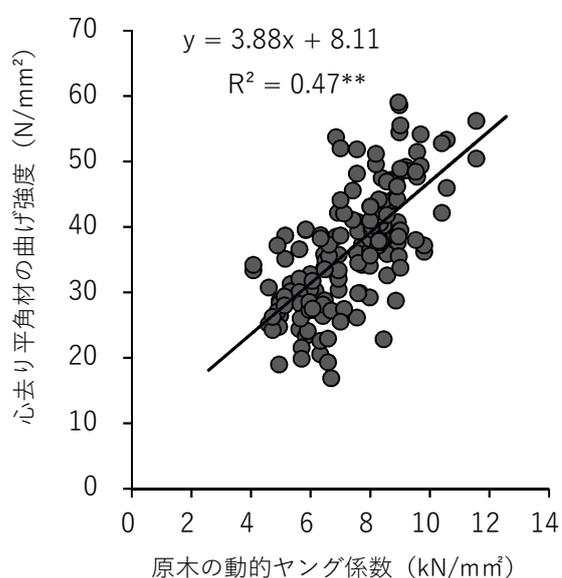


図9 原木の動的ヤング係数と心去り平角材の曲げ強度の関係
** : 1%水準で有意

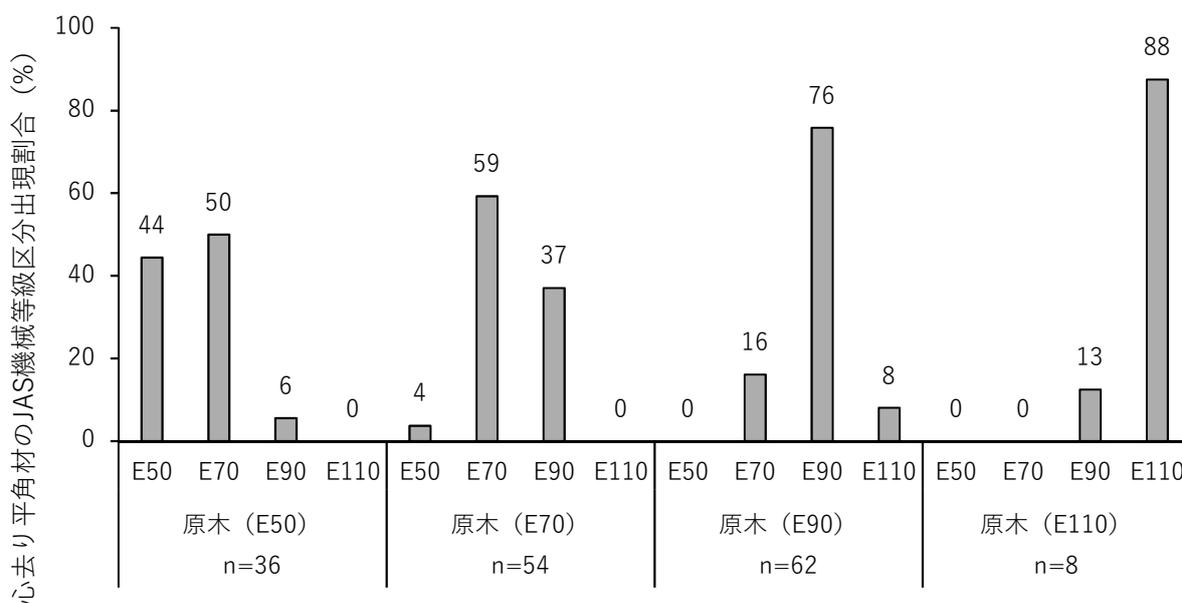


図 10 原木の各 JAS 機械等級区分から得られる心去り平角材の JAS 機械等級分布

過去の研究成果における心持ち平角材（幅 105mm 又は 120mm×梁せい 210mm×長さ 4,000mm）の曲げ強度性能との比較について、心持ち平角材の曲げ強度性能は参考 2 のとおりであり（西野・山裾，2002），曲げヤング係数および曲げ強度ともに今回の心去り平角材の方がやや低いことが確認された（t 検定 1%水準で有意差あり）。機械等級区分の出現割合では、心去り、心持ち平角材ともに E90 が高い結果となった。ただし、心去り平角材では E50 の割合が高くなった（図 11）。また、曲げ強度の出現割合は、20 以上 30N/mm²未満では心去り平角材の方が高いのに対し、50 以上 60N/mm²未満は心持ち平角材の方が高かった（図 12）。

参考 2 心持ち平角材の曲げ強度試験結果（西野・山裾，2002）

	本数	みかけ密度 (kg/m ³)	曲げヤング係数 ² (kN/mm ²)	曲げ強度 ² (N/mm ²)
平均		432.4	8.41	45.6
最大値	260	611.6	13.88	74.6
最小値		326.6	4.59	20.2
標準偏差		49.1	1.29	9.23

² 「構造用木材の強度試験マニュアル」に準拠し目標含水率が 15%になるように調整

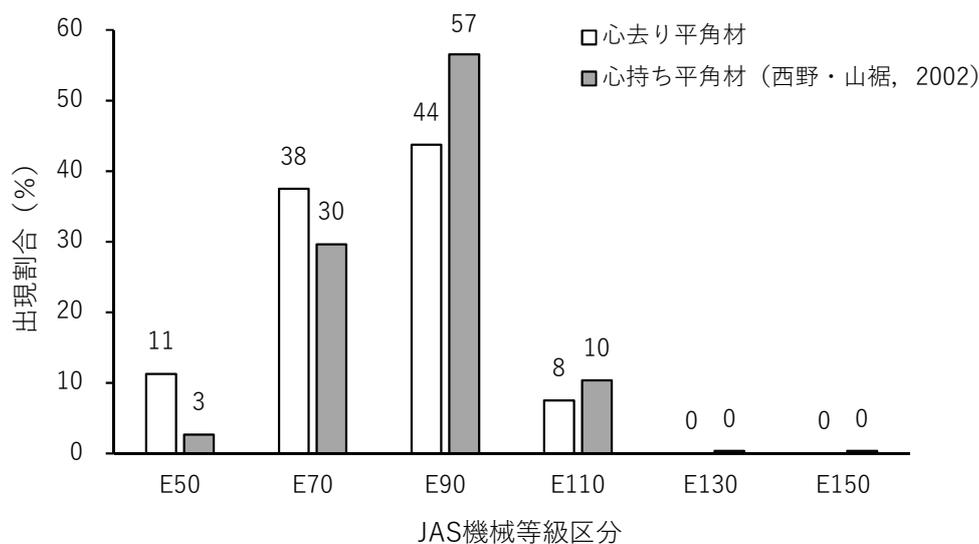


図 11 心去り平角材および心持ち平角材の JAS 機械等級出現割合

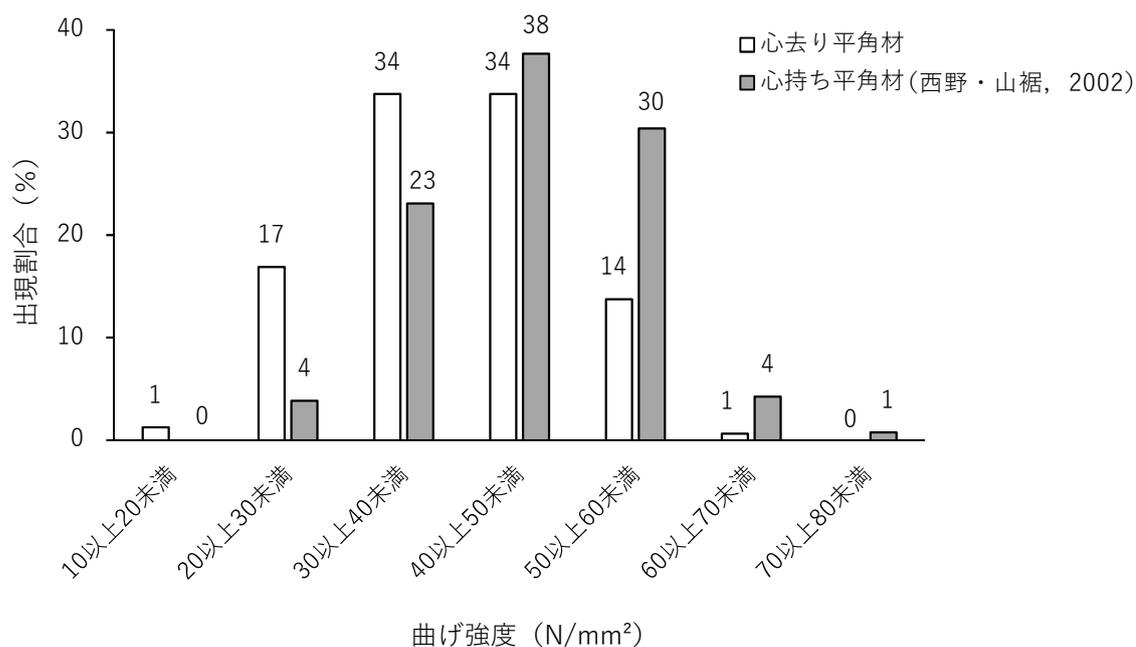


図 12 心去り平角材および心持ち平角材の曲げ強度出現割合

目視等級区分の出現割合は、荷重点間では1級が高く、支点間においては2級が高くなった（図 13）。木表側は節が少なく、無節のものもあったが、木裏側の節の数や大きさが全体の目視等級区分決定に影響を与えている場合が多く見受けられた。また、荷重点間および支点間にて、目視等級区分が高いほど曲げ強度の数値も高くなる傾向が確認され（図 14～15）、節が強度に影響を与えていると推察された。前述のとおり、曲げヤング係数と曲げ強度には相関関係が確認されたが、目視等級区分も組合せることで、より正確な非破壊評価が可能になると考えられた。

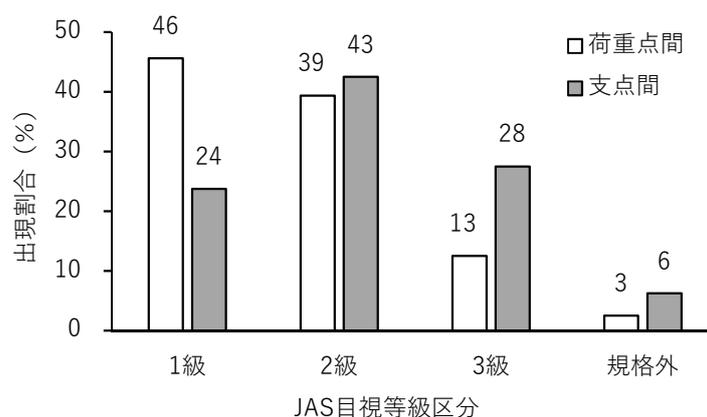


図 13 心去り平角材の JAS 目視等級区分出現割合

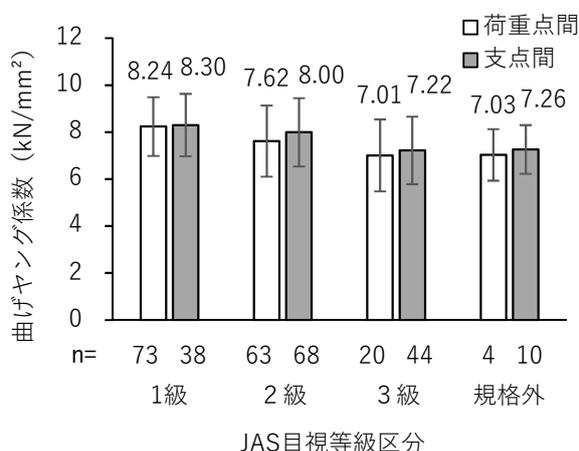


図 14 JAS 目視等級別曲げヤング係数の平均
注) エラーバーは標準偏差を表す

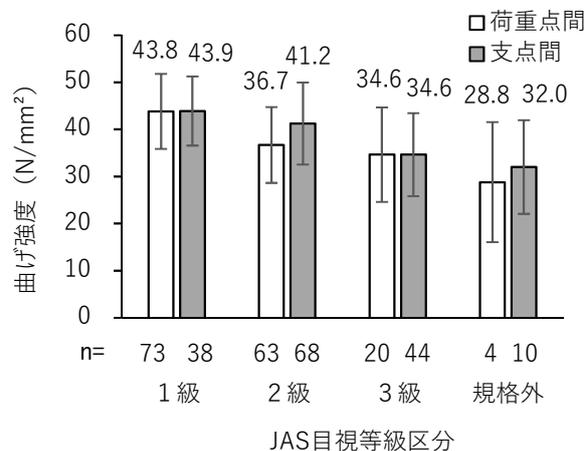


図 15 JAS 目視等級別曲げ強度の平均
注) エラーバーは標準偏差を表す

摘 要

1. 心去り平角材の平均曲げヤング係数は 7.81kN/mm^2 であり、曲げ強度は 39.5N/mm^2 であった。また、曲げ強度の 5% 下限値は 23.0N/mm^2 であり、基準強度 22.2N/mm^2 より高くなった。
2. 大径材から製材された心去り平角材は、中径材から製材された心持ち平角材よりも曲げヤング係数および曲げ強度がやや低いことが確認された (t 検定 1% 水準で有意差あり)。
3. 原木の機械等級から、製材される心去り平角材の概ねの機械等級区分を予測することができると考えられた。
4. 心去り平角材の曲げ強度は節の影響を受けると推察され、目視等級区分と曲げヤング係数を組み合わせることにより、より正確な非破壊評価が可能になると考えられた。

引用文献

- 後藤崇志・中山茂生・吉野毅. 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. 72:262-267.
- JAS 1083 製材の日本農林規格. 製材—第一部：一般. 6. 2 節.
- 構造用木材の強度試験マニュアル. 2011. 7. 1 試験体および載荷方法. 公益財団法人日本住宅・木材技術センター.
- 構造用木材の強度試験マニュアル. 2011. 付録 3. 2 調整法に対する提案式. ASTM D 1990-07. 公益財団法人日本住宅・木材技術センター.
- 木構造振興株式会社. 2011. 木材の強度等データおよび解説. p. 22.
- 西野芳樹・山裾伸浩. 2002. 県産柱・横架材の強度性能に関する研究. 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告. 4: pp. 1-10.
- 中晶平・柳川靖夫・井道裕史・長尾博文. 2023. 県産スギ大径材から採取した心去り平角の曲げ強度性能. 奈良県森林技術センター研究報告. 52:29-38.
- 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. 97:203-207.
- 和歌山県農林水産部森林・林業局. 2023. 令和5年度森林・林業及び山村の概況. 2. 人工林の現状. p. 5.
- 山裾伸浩・一岡直道. 2021. 次世代優良品種（スギ，ヒノキ，マツ）の創生と選抜 県内原木市場における原木段階での強度調査（第1報）. 和歌山県林業試験場業務報告. 79:18-19.