

スギ心去り構造用製材等の品質に関する研究

- 9 丁取り及び 4 丁取り心去り正角材の強度 -

令和 4 年度～令和 7 年度

木材チーム 山本 幸雄

1. 目 的

大分県における 10 齢級以上のスギ人工林面積が約 7 割を占めることから、今後ますます大径材の搬出量が増えることが想定される。この活用が課題となっている。当部では、大径材から複数本の心去り正角材を活用することに取り組んでおり、令和元年度から、心去り材の位置ごとの性状や強度等の状況把握試験を行ってきた^{1)～3)}。令和 4 年度からは、品質基準等^{4)～6)}に適合していることを確認するために心去り正角材の品質評価に関する課題に取り組んでいる。本研究では、心去り正角材等の強度試験を実施した。

2. 試験方法

1) 供試材

(1) 90mm 正角材

① 縦圧縮試験用材

縦圧縮試験用材は、令和 3 年度に行った曲げ試験体³⁾の破壊していない部分から切り出した。すなわち、末口径 42cm 以上の大径材を製材して得た一辺 103 mm 角、長さ 3 m の 9 丁取り正角材のうちの心去り材（心去り二方まさ材と心去り四方まさ材 各 4 本）と、末口径約 25 cm 程度の丸太から得た適寸材から得た一辺 103 mm 角、長さ 3 m の心持ち材を、表-1 に示すスケジュールで乾燥し、その後 5 か月以上養生した。その後、モルダーで断面寸法 90 mm 角（以下、9 丁取り正角材と記す）に仕上げ曲げ試験を行い、その破壊していない部分から縦圧縮試験用材を切り出した。供試材については、寸法、重量、含水率、平均年輪幅及び縦振動ヤング係数（以下、 E_{tr} と記す）を測定した。含水率測定には、高周波容量式木材水分計（HM-520、株式会社ケツト科学研究所）を用いた。

表-1 乾燥スケジュール

条件	蒸煮		セット			
高温	98℃	8 時間	乾球 120℃	湿球 90℃	24 又は 20 時間	
中温	90℃	8 時間	乾球 90℃	湿球 60℃	24 又は 60 時間	

② 座屈試験用材

座屈試験用材は、大分県日田市内の製材所から、1 本の大径材を断面寸法 103 mm 角、長さ 3 m の心去り正角材 9 本に製材した製材品を購入し、曲がりを抑制した状態で乾燥した材⁷⁾ 40 本（10 丸太）を表-2 に示すスケジュールで乾燥し、その後 12 か月以上養生した後、モルダーで 9 丁取り正角材に加工し、長さ方向のほぼ中央部から 2,410mm 切り出し試験に供した。供試材については、寸法、重量、含水率、平均年輪幅及び E_{tr} を測定した。含水率測定には、高周波容量式木材水分計（HM-520、株式会社ケツト科学研究所）を用いた。

表-2 乾燥スケジュール

条件	蒸煮	セット			ステップ1			ステップ2		
高温	90℃ 8時間	乾球 120℃	湿球 90℃	24 時間	乾球 120℃	湿球 90℃	24 時間	—		
高温	90℃ 8時間	—			乾球 105℃	湿球 90℃	24 時間	乾球 90℃	湿球 60℃	24 時間
中温	90℃ 8時間	—			乾球 90℃	湿球 60℃	144 時間	—		

(2)105mm 正角材

縦圧縮試験用材は、大分県日田市内の製材所から、長さ 4 m で末口径 44 cm 以上の大径材を、断面寸法 135 mm 角の心去り正角材 4 本に製材した製材品を購入し、曲がりを抑制した状態で表-3 に示すスケジュールで乾燥し⁴⁾、その後 12 か月以上養生した後、モルダーで断面寸法を 105 mm 角（以下、4 丁取り正角材と記す）に仕上げた。供試材については、寸法、重量、含水率、平均年輪幅及び E_{fr} を測定した。含水率測定には、高周波容量式木材水分計（HM-520、株式会社ケツト科学研究所）を用いた。

E_{fr} 測定後、その平均と標準偏差がほぼ同じになるように、4 m 材 1 本から曲げ試験用材（長さ 2,100mm）と縦圧縮試験用材（同 630mm）と材中間部めり込み試験用材（同 630mm）を、もう 1 本から座屈試験用材（同 2,845mm）、材端部めり込み試験用材（同 630mm）、ブロックせん断試験用材（同 150mm）を切り出した。

表-3 乾燥スケジュール

条件	蒸煮	セット			ステップ1		
高温	98℃ 8時間	乾球 120℃	湿球 90℃	24 時間	乾球 105℃	湿球 90℃	96 時間
中温	90℃ 8時間	無し			乾球 90℃	湿球 60℃	144 時間

2)強度試験

各試験は構造用木材の強度試験マニュアル⁸⁾ に準じて行った。

(1)9丁取り正角材**①縦圧縮試験**

試験には木材実大強度試験機（UH-1000kNAR、株式会社島津製作所）（以下、実大強度試験機と記す）を用いた。荷重速度は 1 mm/min とした。試験の様子を写真-1 に示す。

②座屈試験

試験には実大強度試験機を用いた。荷重速度は 1 mm/min とした。試験の様子を写真-2 に示す。

(2)4丁取り正角材**①曲げ試験**

試験には万能試験機（AG-100kNAR 型、株式会社島津製作所）（以下、万能試験機と記す）を用いた。スパンは材せいの 18 倍の 1,890 mm とし、3 等分点 4 点荷重方式とした。載荷速度は 10 mm/min で木表側から加圧した。曲げヤング係数及び曲げ強さを求めた。試験の様子を写真-3 に示す。

②縦圧縮試験用材

試験には実大強度試験機を用いた。荷重速度は 1 mm/min とした。



写真-1 縦圧縮試験の様子



写真-2 座屈試験の様子

③材端部及び材中間部めり込み試験

試験には万能試験機を用いた。材端部の上下に 90×150 mm、高さ 20 mm の鋼板を置き、木表側から載荷速度 5 mm/min でめり込み変形量が 20 mm になるまで加圧した。試験の様子を写真-4 に示す。

④座屈試験

試験には実大強度試験機を用いた。荷重速度は 1 mm/min とした。

⑤いす型せん断試験

試験には万能試験機を用いた。試験体は、木表側がせん断面になるよう加工した。せん断面は幅 105 mm、高さ 105 mm、載荷速度は 1 mm/min とした。試験の様子を写真-5 に示す。

3. 結果及び考察

(1)9丁取り正角材

①縦圧縮試験

試験結果を表-4 に、 E_{fr} と縦圧縮強さの関係を図-1 に、密度と縦圧縮強さの関係を図-2 に、木取り方法ごとの縦圧縮強さの分布を図-3 に、木取り方法ごとの E_{fr} の分布を図-4 に、木取り方法ごとの密度の分布を図-5 に示す。縦圧縮強さについて、乾燥スケジュールの違いによる有意差 ($p=0.05$) は認められなかった。 E_{fr} と縦圧縮強さの関係について、強い正の相関がみられた。また、密度と縦圧縮強さの関係についても、強い正の相関がみられた。

縦圧縮強さ、 E_{fr} 、密度の平均について、心持ち>心去り四方まさ・心去り二方まさとなった。これらについて、心去り四方まさと心去り二方まさの間に有意差 ($p=0.05$) は認められなかったが、心去り四方まさと心持ち、心去り二方まさと心持ちの間には有意差 ($p=0.05$) が認められた。これは、心去り二方まさ・四方まさは末口径

42cm 以上の大径材から得た心去り 9 丁取り正角材であり、心持ち材は末口径 25 cm 程度の丸太から得た適寸材であるためと考えられる。

縦圧縮強さについて、スギ無等級の基準強度⁵⁾を下回ったものが 66 体中 11 体あり、そのうち 10 体が心去り材で 1 体が心持ち材だった。機械等級区分の基準強度について、66 体

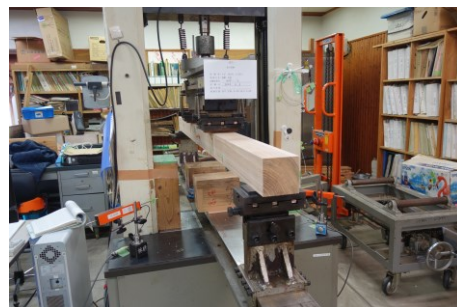


写真-3 曲げ試験の様子

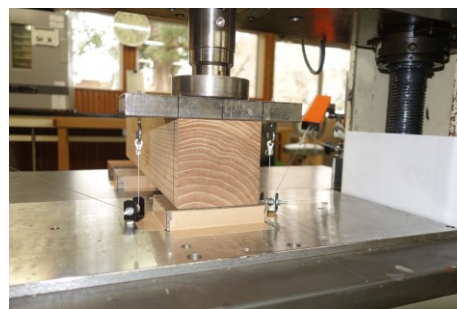


写真-4 材端部めり込み試験の様子



写真-5 いす型せん断試験の様子

表-4 縦圧縮試験結果

木取り	項目	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	E_{fr} (GPa)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
四方まさ n=23	平均	360	13.9	5.4	20.6
	最大	433	14.8	8.5	26.2
	最小	313	12.0	3.1	17.0
	標準偏差	25.9	0.71	1.5	2.76
二方まさ n=27	平均	358	14.0	5.4	19.6
	最大	437	14.9	8.3	25.3
	最小	306	12.1	3.2	14.1
	標準偏差	32.7	0.78	1.6	3.22
心持ち n=16	平均	471	13.8	7.7	27.5
	最大	563	15.4	11.0	38.1
	最小	389	12.9	2.9	14.7
	標準偏差	47.8	0.62	1.8	5.07

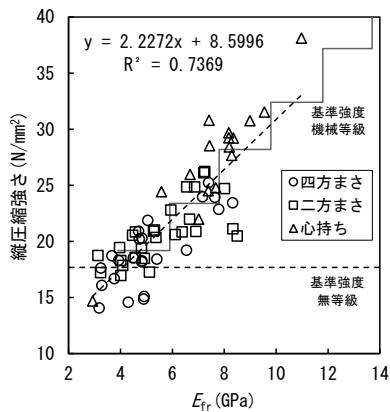
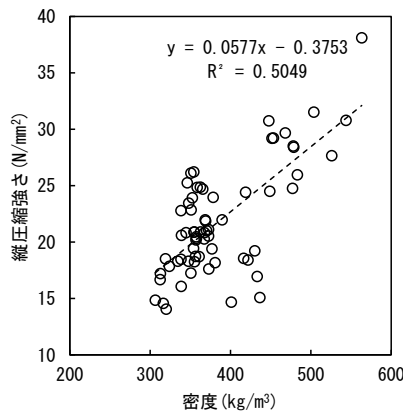
図-1 E_{tr} と縦圧縮強さの関係

図-2 密度と縦圧縮強さの関係

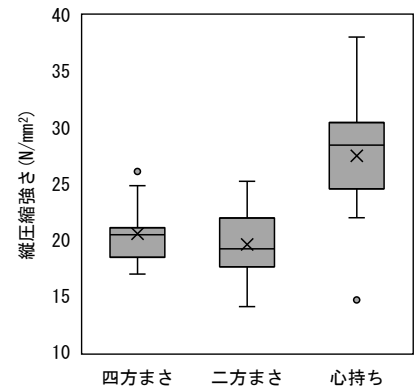


図-3 木取り方法ごとの縦圧縮強さの分布

中 E50 以下が 8 体 (心去り二方まさ 5 体、心去り四方まさ 2 体、心持ち 1 体) あり、残りの 56 体について基準強度を満たさないものが 27 体 (心去り二方まさ 15 体、心去り四方まさ 10 体、心持ち 2 体) あった。

今回試験に供した心去り材の密度は平均が $359(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、最大が $437(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、最小が $306(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、標準偏差が 29.5 と

少し軽めで、 E_{tr} も平均が $5.4(\text{GPa})$ 、最大が $8.5(\text{GPa})$ 、最小が $3.1(\text{GPa})$ 、標準偏差が 1.5 と若干低めである。心去り材は大径丸太から製材しているため、元玉が多かったと思われるが、理由は明確でない。なぜこのような結果になったかは、更なる検討と追加の試験が必要と考えられる。

②座屈試験

試験結果を表-5 に、オイラー式による計算座屈荷重と Southwell 法で調整した実験座屈荷重の関係を図-6 に示す。全試験体の座屈強さの平均は $7.1\text{N}/\text{mm}^2$ (標準偏差 1.7)、 E_{tr} の平均が $6.8\text{kN}/\text{mm}^2$ (同 1.5) であった。座屈強さについて、乾燥スケジュールの違いによる有意差

($p=0.05$) が認められた。また、密度や E_{tr} 、木取り方法には有意差 ($p=0.05$) はみられなかった。試験体数は、中温

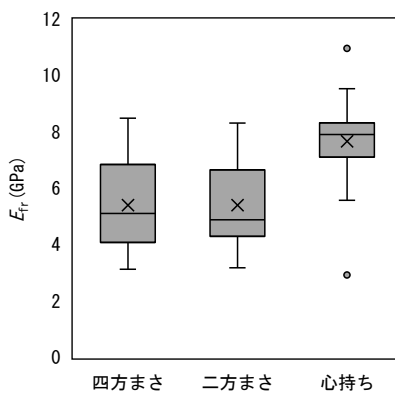
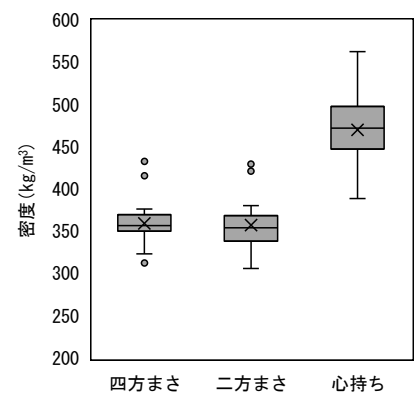
図-4 木取り方法ごとの E_{tr} の分布

図-5 木取り方法ごとの密度の分布

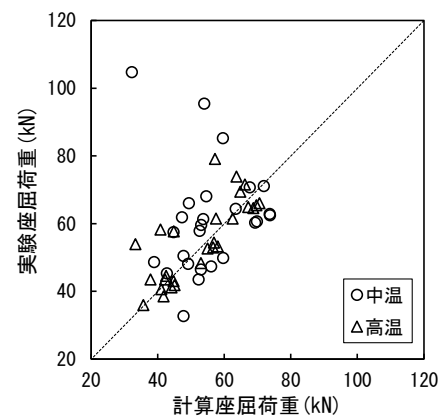


図-6 計算座屈荷重と実験座屈荷重の関係

表-5 座屈試験結果

乾燥条件	中温 (n=20)			高温 (n=20)		
	項目	密度 (kg/m ³)	<i>E</i> _r (GPa)	座屈強さ (N/mm ²)	密度 (kg/m ³)	<i>E</i> _r (GPa)
平均	380	6.9	6.5	383	6.6	7.6
最大	314	4.0	12.7	320	4.1	9.6
最小	432	9.3	4.0	449	9.2	5.3
標準偏差	37.0	1.4	2.1	29.7	1.6	1.1

乾燥、高温乾燥とも 20 本ずつで、詳細な検討には更なる試験が必要と考える。

強度試験マニュアルが採用している Southwell 法で調整した実験座屈荷重は、オイラー式による計算座屈荷重と高い相関を持つことが知られており⁹⁾、本試験でも多くの試験体でその傾向を示したが、大きく外れた値もあった。大きく外れた試験体の多くは、試験を開始し荷重ヘッドが移動しても最後までほとんど座屈せず、座屈が生じたとほぼ同時に最大荷重を記録し一気に荷重が低下したような材であった。一例としてオイラー式による計算座屈荷重/Southwell 法で調整した実験座屈荷重の比が 0.37 だった試験の支点間中央部変形量と荷重の関係を図-7 に示す。

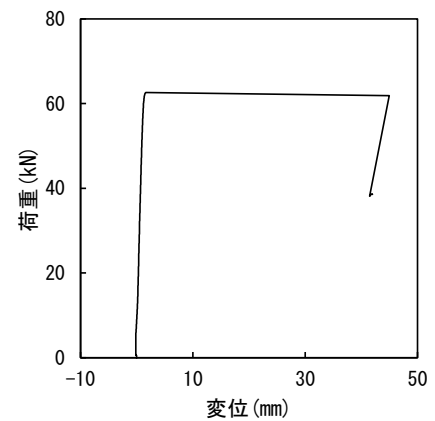


図-7 支点間中央部変形量と荷重の関係

(2) 4丁取り正角材

① 曲げ試験

試験結果を表-6 に、 E_{fr} と曲げヤング係数の関係を図-8 に、曲げヤング係数と曲げ強さの関係を図-9 に示す。曲げ強さについて、乾燥スケジュールの違いによる有意差 ($p=0.05$) は認められなかった。全試験体の密度の平均値は 357kg/m^3 (標準偏差 15.4) だった。 E_{fr} と曲げヤング係数の間には強い正の相関がみられた。曲げ強さについて、全ての試験体がスギ無等級の基準強度を上回った一方、機械等級の基準強度を下回ったものが2体あった。このうちの1体の試験体には、加力点引張側 (木裏) 付近に流れ節があり (写真-6) ここを起点に破壊が生じていた。

表-6 曲げ試験結果 (n=20)

項目	密度 (kg/m^3)	E_{fr} (GPa)	曲げヤング係数 (GPa)	曲げ強さ (MPa)
平均	357	6.7	6.5	35.7
最大	390	8.9	8.5	46.5
最小	324	5.2	4.9	23.7
標準偏差	15.4	1.0	0.96	6.24

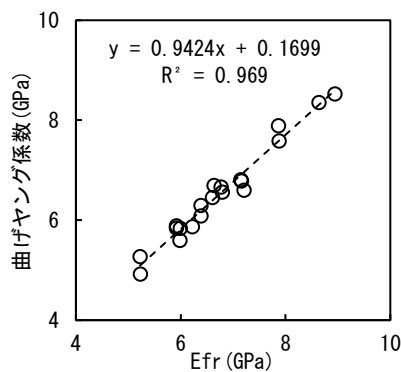


図-8 E_{fr} と曲げヤング係数の関係

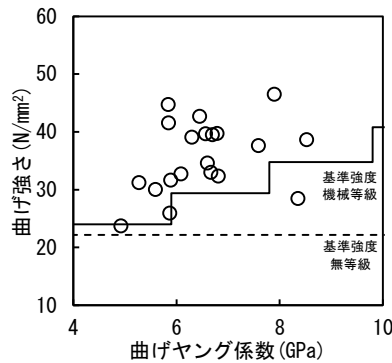


図-9 曲げヤング係数と曲げ強さの関係



写真-6 破壊部にある節の様子

② 縦圧縮試験用材

試験結果を表-7 に、 E_{fr} と縦圧縮強さの関係を図-10 に示す。縦圧縮強さについて、乾燥スケジュールの違いによる有意差 ($p=0.05$) は認められなかった。縦圧縮強さについて、全ての試験体がスギ無等級の基準強度を上回った一方、機械

表-7 縦圧縮試験結果 (n=20)

項目	密度 (kg/m^3)	E_{fr} (GPa)	縦圧縮強さ (N/mm^2)
平均	353	6.5	24.2
最大	378	8.2	27.7
最小	319	4.4	20.7
標準偏差	19.2	1.3	2.14

等級の基準強度を下回ったものが4体あった。

③材端部及び材中間部端部めり込み試験

試験結果を表-8に、密度とめり込み強さの関係を図-11に示す。めり込み強さについて、乾燥スケジュールの違いによる有意差 ($p=0.05$) は認められなかった。すべての材が基準強度を上回った。

④座屈試験

試験結果を表-9に、オイラー式による計算座屈荷重と Southwell 法で調整した実験座屈荷重の関係を図-12に示す。座屈強さについて、乾燥スケジュールの違いによる有意差 ($p=0.05$) は認められなかった。

全試験体の座屈強さの平均は 6.3N/mm^2 (標準偏差 1.2)、 E_{fr} の平均が 7.0kN/mm^2 (同 1.1) で、前述の9丁取り正角より E_{fr} は高いにも関わらず座屈強さは低い値となった。これは、9丁取り正角の座屈試験で見られた、試験を開始し荷重ヘッドが移動しても最後までほとんど座屈せず、座屈が生じたとほぼ同時に最大荷重を記録し一気に荷重が低下するような試験体が少なかったためである。

表-9 座屈試験結果

項目	密度 (kg/m^3)	E_{fr} (GPa)	座屈強さ (N/mm^2)
平均	360	7.0	6.3
最大	392	9.6	8.6
最小	327	4.8	3.8
標準偏差	16.4	1.1	1.2

⑤いす型せん断試験

試験結果を表-10に、密度とせん断強さの関係を図-13に示す。せん断強さについて、乾燥スケジュールの違いによる有意差 ($p=0.05$) は認められなかった。すべての試験材で基準強度を満足した。

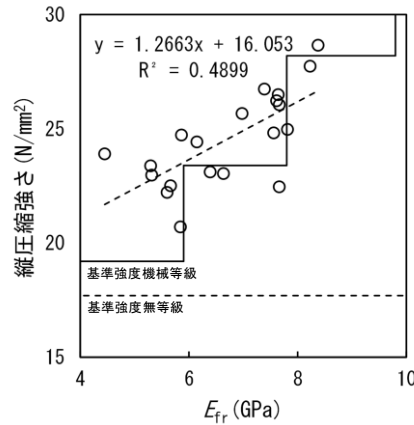


図-10 E_{fr} と縦圧縮強さの関係

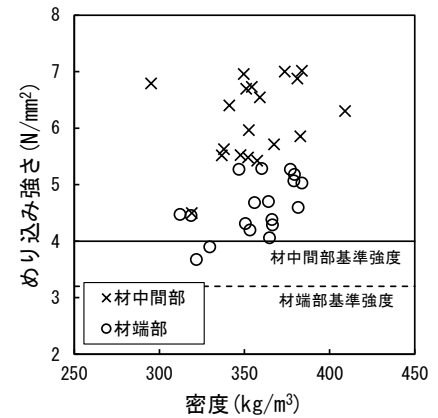


図-11 密度とめり込み強さの関係

表-8 めり込み試験の結果

項目	材中間部めり込み		材端部めり込み	
	密度 (kg/m^3)	めり込み強さ (N/mm^2)	密度 (kg/m^3)	めり込み強さ (N/mm^2)
平均	355	6.2	356	4.6
最大	409	7.0	384	5.3
最小	295	4.5	312	3.7
標準偏差	25.9	0.7	22.5	0.5

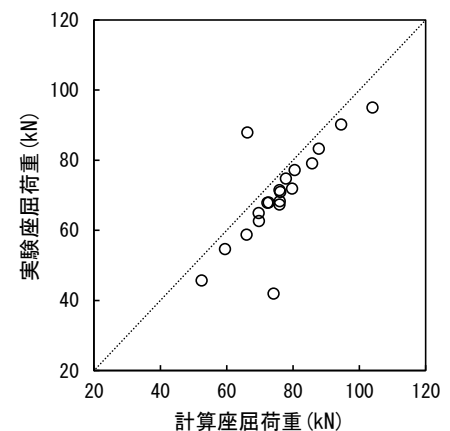


図-12 計算座屈荷重と実験座屈荷重の関係

表-10 いす型せん断試験結果

項目	密度 (kg/m^3)	せん断強さ (N/mm^2)
平均	356	4.0
最大	391	5.3
最小	307	2.1
標準偏差	21.5	0.80

4. まとめ

9 丁取り正角材の縦圧縮試験及び座屈試験、4 丁取り正角材の曲げ試験、縦圧縮試験、材端部及び材中間部のめり込み試験、座屈試験、ブロックせん断試験を行った。

○ 9 丁取り正角材について

- ・縦圧縮試験について、無等級及び機械等級区分の基準強度を満たさないものがあつた。試験体を採材した番玉や、試験体の密度等様々な要因が考えられるがはっきりした事は分からなかった。さらなる検討と追加の試験が必要と考えられる。
- ・座屈試験について、Southwell 法で調整した実験座屈荷重は、オイラー式による計算座屈荷重と高い相関を示した。

○ 4 丁取り正角材について

- ・曲げ試験、縦圧縮試験では、概ね基準強度を満たした。曲げ試験において基準強度を満たさなかった一部の試験体は、加力点引張側（木裏）付近の流れ節の影響と考えられた。
- ・材端部及び材中間部のめり込み試験、せん断試験では、全ての供試材で基準強度を満たした。
- ・座屈試験について、9 丁取り同様、Southwell 法で調整した実験座屈荷重は、オイラー式による計算座屈荷重と高い相関を示した。

今回の試験では、特に 9 丁取り正角材の縦圧縮試験で基準強度を満たさないものがあるなど、心去り材の強度を明らかにできたとは言い難いと思われる。今後も更なる検討を続けていく予定である。

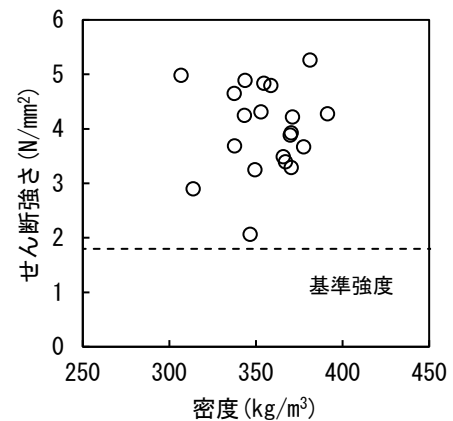


図-13 密度とせん断強さの関係

参考文献

- 1) 古曳博也：令和元年度大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報，24-29（令和 2 年）
- 2) 古曳博也：令和 2 年度大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報，20-27（令和 3 年）
- 3) 古曳博也：令和 3 年度大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報，22-27（令和 4 年）
- 4) 製材の日本農林規格（JAS 1083:2019）：平成 19 年 8 月 29 日農林水産省告示第 1083 号
- 5) 木材の基準強度：平成 12 年 5 月 31 日 建設省告示第 1452 号
- 6) 財団法人日本建築学会編：木質構造設計基準・同解説 -許容応力度・許容耐力設計法-，pp. 395-401（平成 18 年）
- 7) 古曳博也：令和 4 年度大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報，21-24（令和 5 年）
- 8) （公財）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，pp. 5-17（平成 23 年）
- 9) 中谷浩、秦正徳：富山県林業技術センター研究報告，89-94（平成13年）