

スギ幅広板材から製造した集成材の強度および接着性能

柳川靖夫*¹・中 晶平・池永真之*²

末口径が 300mm を超えるスギ大径材の利用方法として、心持ちの幅広板材を採取し、これを接着して集成材を作製することを試みた。末口径 300mm 超のスギ丸太より、幅 52mm、厚さ 302mm、長さ 4000mm のスギ心持ち板材（幅広板材）を 19 枚採取し、材質を調べた後に中温で乾燥し、乾燥後の材質を調べた。乾燥により、幅広板材の縦振動法で測定したヤング係数は増加した。また、たわみ振動法で測定したヤング係数は縦振動法よりも低く、これはせん断たわみの影響と考えられた。縦振動法で測定したヤング係数を基に、昇順に 3 枚を 1 組として幅広板材を区分し、レゾルシノール樹脂接着剤を使用して、幅 120mm、厚さ 280mm、長さ 4000mm の 3 プライ集成材を 6 体作製した。曲げ試験の結果、各集成材の曲げ強さは集成材の日本農林規格の基準値を満たしていた。次に、接着性能試験として減圧加圧剥離試験およびブロックせん断試験を実施した。減圧加圧剥離試験の結果、すべての試験片で剥離は発生しなかった。ブロックせん断試験の結果、接着層のせん断強さおよび木部破断率とも、すべての測定値は集成材の日本農林規格の基準値を満たしていた。以上の結果より、幅広板材を使用したスギ集成材は横架材として使用可能と考えられる。

1. はじめに

近年、末口径 300mm を超えるスギ丸太（以下大径材）の利用が種々検討されている¹⁻³⁾。例えば大径材より心去り平角を 2 体採取する場合など、中央部分より芯（髓）を含む幅広の板が採取できる。これらは、芯を中心とした対称な年輪構成となっており、幅方向の端部ほど強度が高いものと考えられる。したがって、これら幅広の板材の利用方法として、集成材を製造し横架材として使用することが考えられる。そこで、本研究では、県産の大径材より幅 300mm 超の心持ちスギ板材（以下幅広板材）を採取し、まず乾燥前後の材質を測定した。その後、縦振動法で測定したヤング係数に基づいて幅広板材を 3 枚ずつ組み合わせ、3 プライの集成材を製造してその強度性能および接着性能を調べた。

2. 材料および方法

2.1 幅広板材の材質測定および乾燥

奈良県十津川村産の末口径 300mm 超のスギ丸太中央部より、幅 52mm、厚さ 300mm 以上、長さ 4000mm の板材を 19 枚採取した。乾燥前の材質として、寸法、重さ、および縦振動法によりヤング係数（以下縦振動ヤング係数とする）を測定した。これらを 90℃の中温乾燥に

供し、全幅広板材が含水率 10%前後となった時点で乾燥を終了した。含水率の測定には、株式会社ケツト科学研究所製 HM-520 を使用し、両木口面から 300mm の位置、および長さ方向中央の 3 ヶ所を測定し、平均値を含水率とした。乾燥終了後は 6 ヶ月間室内に棧積みして静置し、その後、乾燥前と同様に材質および縦振動ヤング係数を測定した。さらに、両面をプレーナで切削して幅 46mm とし、縦振動法およびたわみ振動法で動的ヤング係数を測定した。縦振動法は、長さ方向の中央部を支持した幅広板材の木口面中心部を打撃して実施した。たわみ振動法では、両端より 0.224ℓ（ℓ は幅広板材長さ、スパン 0.552ℓ）の位置を支持し、板材の幅狭面の長さ方向中央をハンマーで打撃して周波数を測定し、ヤング係数（以下たわみ振動ヤング係数とする）を算出した。

2.2 集成材の製造

縦振動ヤング係数が最も低かった 1 枚を除く 18 枚の幅広板材について、縦振動ヤング係数の昇順に 3 枚を 1 組として 6 組に区分し、集成材の製造に供した。以下、A 試験体～F 試験体と表記する。3 プライ集成材の製造は、トリスマ集成材株式会社において夏期に行った。幅広板材の両幅広面を切削して幅 42mm とし、レゾルシノール樹脂接着剤を使用し圧縮圧力は 7MPa 以上とした。解圧後、集成材断面を幅 120mm 厚さ 280mm に切削した。図 1 に、作製した集成材を示す。

*1 現 京都府立大学大学院生命環境科学研究科

*2 トリスマ集成材株式会社



図1 作製した集成材

2.3 曲げ試験

製造後1ヶ月を経過した後に、集成材の寸法、重さ、縦振動ヤング係数、およびたわみ振動ヤング係数を測定した。なお、たわみ振動法による測定では、両端より 0.224ℓ (ℓ は集成材長さ、スパン 0.552ℓ)の位置を支持した。

曲げ試験は、図2に示すとおりスパン3800mm、荷重点間距離を600mmとして行った。荷重は接着層に平行に加え、スパン中央のたわみを測定するとともに、曲げモーメント一定区間のたわみを、長さ400mmのヨークを使用して測定した。

2.4 減圧加圧剥離試験およびブロックせん断試験

曲げ試験の終了後、集成材両端部より、断面はそのままに長さ75mmの減圧加圧剥離試験片を1個ずつ採取した。また、図3に示すとおりブロックせん断試験片を

両木口面より採取した。なお、ブロックせん断試験片は、厚さの3ヶ所、すなわち両端部、および中央部より試験片を採取したことから、1試験体当たり6個の試験片を採取した。以下、厚さ方向の採取位置により、採取位置1～3と表記する。

減圧加圧剥離試験およびブロックせん断試験とも、集成材の日本農林規格（以下JAS）に準拠して実施した。減圧加圧剥離試験は、以下の工程とした。

- ① 試験片を室温水中に浸せき
- ② 0.085MPaの減圧5分
- ③ 0.51MPaの加圧5分
- ④ ②および③をもう1回繰り返す
- ⑤ 70℃恒温乾燥機中で、試験前重量の100～110%となるまで乾燥

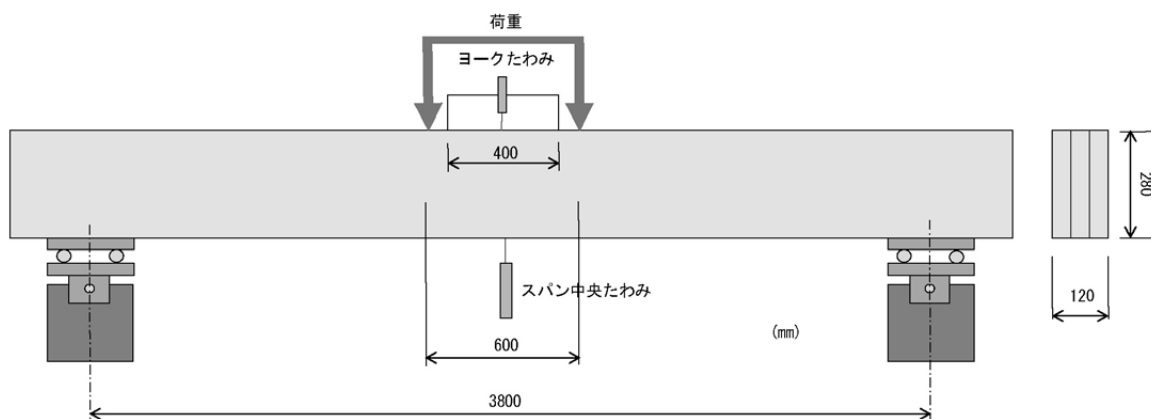


図2 曲げ試験の方法

以上を1サイクルとし、2サイクル処理後に木口面の剥離を測定し、下式により剥離率および最大剥離率を算出した。

$$\text{剥離率 (\%)} = \frac{\text{両木口面の剥離の長さの合計}}{\text{両木口面の接着層の長さの合計}} \times 100$$

$$\text{最大剥離率 (\%)} = \frac{\text{木口面の1接着層の最大剥離長さ}}{\text{当該接着層の長さ}} \times 100$$

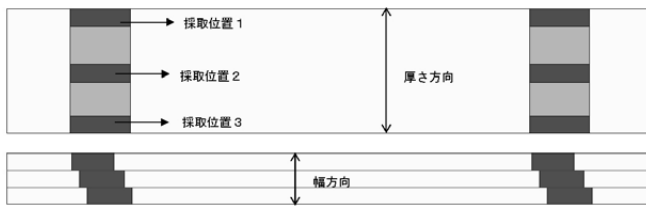


図3 ブロックせん断試験片の採取

3. 結果と考察

3.1 幅広板材の材質

表1に、幅広板材の乾燥前後の材質を示す。

乾燥前の幅広板材の縦振動ヤング係数平均値は6.6kN/mm²で、乾燥後は7.7kN/mm²であり、乾燥により約17%増加した。また、表面切削後の縦振動ヤング係数平均値は7.8kN/mm²であり、幅広面を切削してもヤング係数は低下しなかった。これは、ヤング係数の高い部分、すなわち幅狭面を切削しなかったためと考えられる。たわみ振動ヤング係数平均値は6.3kN/mm²であり、縦振動ヤング係数よりも低い値であった。これは、せん断たわみの影響と考えられる⁴⁾。

3.2 集成材の曲げ強さ

表2に、曲げ試験の結果を示す。表中、縦振動およびたわみ振動ヤング係数の計算値については、集成材を構成する3枚の幅広板材の、乾燥表面切削後の測定値をそれぞれ平均して算出した。また、図4には、各試験体のスパン中央たわみ-曲げ荷重曲線を示す。

表1 幅広板材の乾燥前後の材質測定の結果

測定項目	単位	乾燥前		乾燥後		乾燥表面切削後	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
厚さ	(mm)	303.0	0.4	296.3	1.0	296.3	1.0
幅	(mm)	52.1	0.7	50.1	0.7	46.0	0.1
密度	(g/cm ³)	0.70	0.08	0.36	0.02	0.37	0.02
含水率	(%)	-	-	10.0	-	-	-
ヤング係数	縦振動法	6.6	1.3	7.7	1.4	7.8	1.5
	たわみ振動法	-	-	-	-	6.3	0.8

注：n=19。

表2 曲げ試験の結果

試験体	単位	A	B	C	D	E	F	平均値	標準偏差	
密度	(g/cm ³)	0.35	0.37	0.38	0.38	0.37	0.39	0.37	0.01	
動的ヤング係数	縦振動法	実測値	5.8	6.8	7.2	8.1	8.8	9.6	7.7	1.4
		計算値	6.0	7.0	7.5	8.4	9.1	9.9	8.0	1.4
	たわみ振動法	実測値	5.2	6.2	6.4	-	-	-	(5.9)	(0.6)
		計算値	5.3	5.6	6.5	6.6	6.8	7.3	6.4	0.7
曲げヤング係数	(中央たわみ)	5.4	6.7	7.5	8.6	9.0	9.6	7.8	1.6	
	(ヨーク)	7.3	8.8	10.8	10.4	13.8	-	(10.2)	(2.4)	
破壊荷重	(kN)	56.9	73.7	68.6	96.2	86.7	107.7	81.6	18.8	
曲げ比例限度	(N/mm ²)	22.7	24.9	27.5	17.6	28.1	35.2	26.0	5.9	
曲げ強度	(N/mm ²)	28.6	37.5	34.9	49.0	44.2	54.9	41.5	9.7	

注：-：測定値が低く、正確に測定できていないと判断して除外した。()は表に計上した値の平均値。計算値：集成材を構成する3枚の板材の計測値の平均値。

スパン中央たわみより算出した曲げヤング係数（以下曲げヤング係数とする）は、縦振動ヤング係数の実測値および計算値と近似していた。これに対し、たわみ振動ヤング係数は曲げヤング係数よりも低く、加えてD～Fでは周波数が低く正確に測定できていないと考えられた。また、たわみ振動ヤング係数の計算値はすべて曲げヤング係数よりも低かった。このことは、試験時のスパン長の相異が一因と思われる。すなわち、曲げ試験のスパンは3800mmで 0.95ℓ （ ℓ は集成材長さ）あったのに対し、たわみ振動法のスパンは 0.552ℓ である2208mmであったため、たわみ振動法ではせん断たわみの影響がより大きくなり、ヤング係数が低下したものと推測される。

曲げ強さは、A試験体以外はすべて 30kN/mm^2 以上であった。今回作製した集成材の断面構成は、JASにおけ

る縦使い限定の同一等級3プライ集成材に相当する。今回の各試験体の曲げヤング係数を基にJASの等級と比較すると、A試験体はE55-F225に、B試験体はE65-F240に、C試験体はE75-F255に、D試験体およびE試験体はE85-F270に、およびF試験体はE95-F285にそれぞれ対応する。よって、A試験体～F試験体の曲げ強さは、すべてJAS基準値以上であった。

図4のスパン中央たわみ-曲げ荷重曲線が示すように、A試験体～C試験体での塑性域は少なかったものの、D試験体～F試験体では明確な塑性域が認められ、曲げヤング係数の増大とともに曲げ性能は向上した。

図5(a)～(c)に、A試験体～C試験体の破壊形状を、図6(a)～(c)にはD試験体～F試験体の破壊形状を示す。いずれも引張外層の破断により破壊しており、目切れ等が破壊の起点になったものと考えられる。

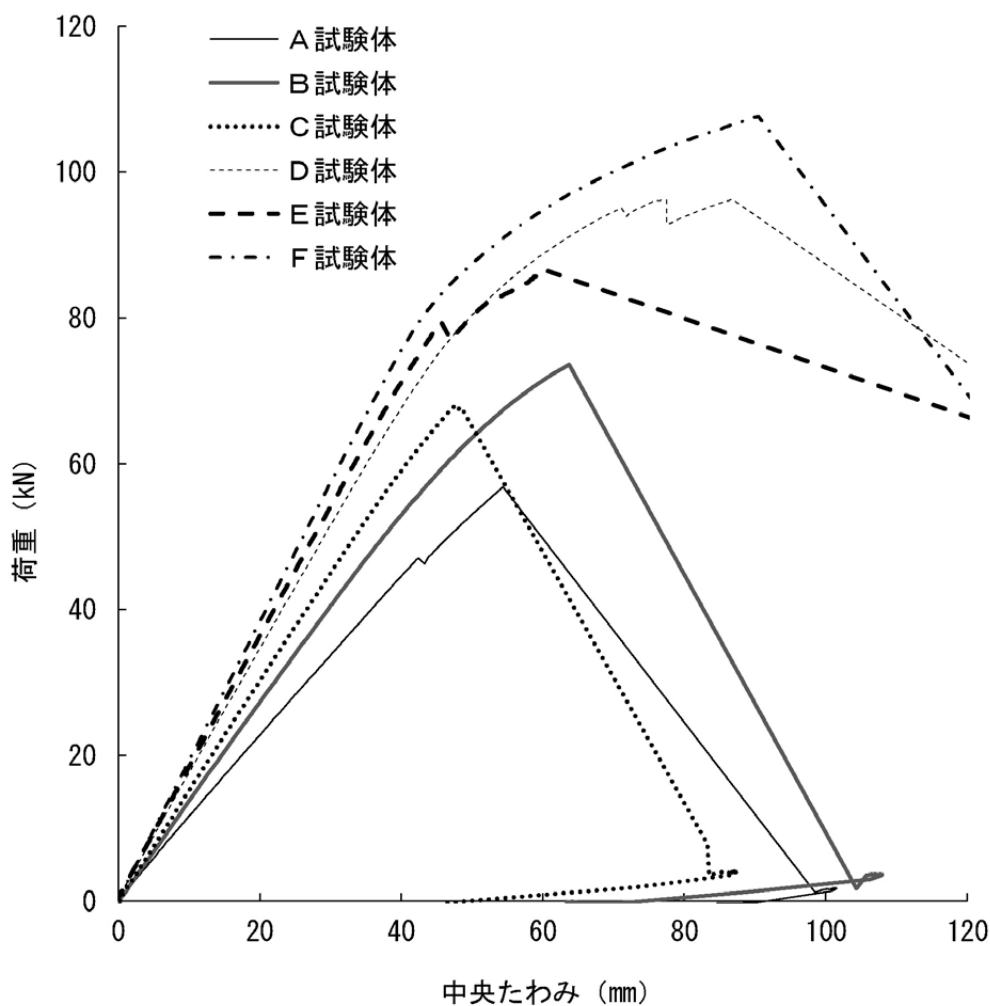
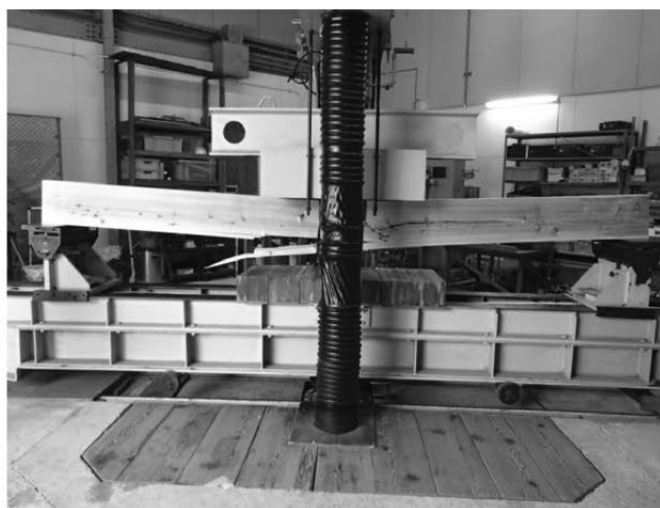
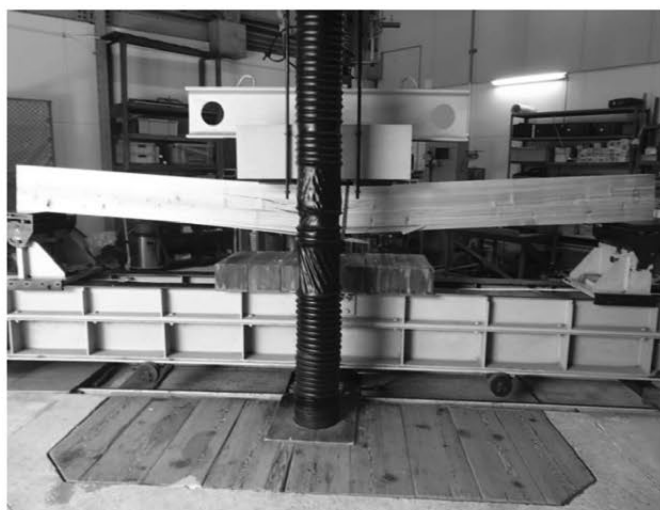


図4 曲げ試験における中央たわみ-荷重曲線図



(a) A試験体の破壊

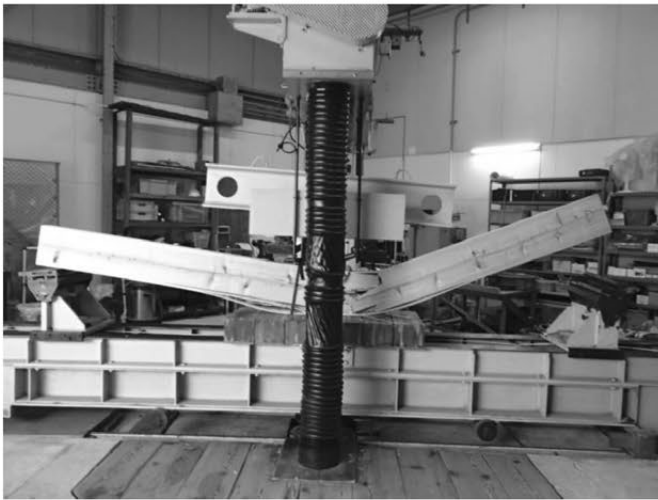


(b) B試験体の破壊

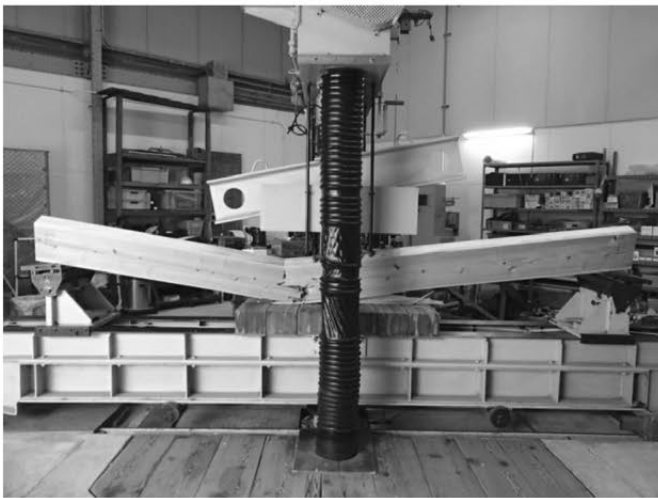


(c) C試験体の破壊

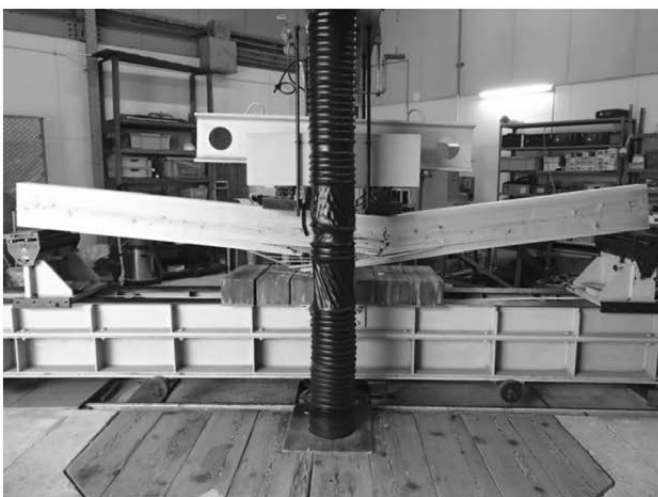
図5 A～C試験体の破壊



(a) D 試験体の破壊



(b) E 試験体の破壊



(c) F 試験体の破壊

図6 D～F 試験体の破壊

3.3 減圧加圧剥離試験の結果

各試験体の減圧加圧剥離試験の結果、接着層に剥離は発生しておらず、剥離率および最大剥離率ともに0%であった。図7に、減圧加圧剥離試験後のC試験体を示す。幅広板材の接着面は半径方向であり、柾目面同士の接着であったため、吸水による膨潤および乾燥による収縮は板目面同士よりも小さかったものと考えられる。このことが、剥離が発生しなかった一因と考えられる。



図7 減圧加圧剥離試験後の試験片 (C試験体)

3.4 ブロックせん断試験の結果

表3に、ブロックせん断試験の結果を各試験体別に示す。また、表4には、全試験体の結果を試験片採取位置別とともに示す。

すべての測定値が JAS 基準値 (5.4N/mm²) を上回り、表3に示すとおり A試験体の平均値は 7.3N/mm² と最も

小さく、F試験体の平均値は 10.4N/mm² と最も大きかった。木部破断率の平均値は 98~100%で、すべての測定値は JAS 基準値 (70%) を上回った。

表4に示すとおり全測定値の平均値は 9.2N/mm² であり、採取位置別では、髓近辺であった採取位置2の試験片の平均値は 9.7N/mm² であり、外側であった採取位置1の 9.0N/mm² および採取位置3の 8.8N/mm² よりも大きかった。

4. 結論

末口径が 300mm を超えるスギ丸太より、心持ちの幅広板材を採取し、材質を測定した後に中温で乾燥した。乾燥後の材質、さらに表面切削後の材質を測定したところ、乾燥により縦振動ヤング係数は約 17%増加し、縦振動ヤング係数はたわみ振動ヤング係数よりも大きかった。縦振動ヤング係数の昇順に3枚を1組として幅広板材を組み合わせ、3プライの集成材を製造した。これらの曲げ試験、減圧加圧剥離試験、およびブロックせん断試験を行い、性能を調べた。各集成材の曲げ強さは、集成材の日本農林規格の基準値を満たしており、減圧加圧剥離試験の結果、剥離は発生しなかった。接着層のせん断強さおよび木部破断率は、集成材の日本農林規格の基準を満たしていた。以上より、心持ちの幅広板材を使用したスギ集成材は、横架材として使用可能と考えられる。

表3 ブロックせん断試験の結果 (各試験体)

測定項目	単位	A試験体	B試験体	C試験体	D試験体	E試験体	F試験体
せん断強さ	平均値	7.3	9.0	9.0	9.9	9.5	10.4
	標準偏差	1.4	0.8	1.3	0.9	0.8	0.8
	変動係数	0.20	0.09	0.14	0.09	0.09	0.08
木部破断率	平均値 (%)	100	98	98	98	98	99
含水率	平均値 (%)	10.3	10.1	9.7	9.4	9.5	9.6

注:n=12。

表4 ブロックせん断試験の結果 (全試験片)

測定項目	単位	全試験片	試験片採取位置 ^{a)}		
			1	2	3
せん断強さ	平均値	9.2	9.0	9.7	8.8
	標準偏差	1.4	1.1	1.3	1.7
	変動係数	0.15	0.12	0.13	0.19
木部破断率	平均値 (%)	100	100	100	100
含水率	平均値 (%)	9.8	9.6	10.1	9.6

注：せん断強さおよび木部破断率の測定数：n=72、試験片採取位置1~3はn=24。

a)：図3を参照。

引用文献

- 1) 伊神裕司：国産材資源大径化の現状と課題 6 スギ大径材の製材. 木材工業. 69(11), 492-497(2014)
- 2) 椎葉 淳、荒武志朗、松元明弘、森田秀樹：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)
- 3) 松村ゆかり、伊神祐司、村田光司、松村順司：スギ大径材から製材した心去り正角の品質. 木材学会誌. 59(3), 138-145(2013)
- 4) (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, 東京, 2011, 64-66.

(2022年3月31日 受理)