

スギノアカネトラカミキリ穿孔被害を受けたラミナを用いた 構造用集成材の曲げ強度特性

濱口隆章・山裾伸浩¹・森川陽平・城戸杉生²・宮本健治

和歌山県林業試験場

Bending Strength Properties of Structural Glued Laminated Timber Composed of Laminae damaged by the Wood Boring Insect (*Anaglyptus subfasciatus*)

Takaaki Hamaguchi, Nobuhiro Yamasuso, Yohei Morikawa, Sugio Jyodo and Kenji Miyamoto

Forestry Experiment Station, Wakayama Prefecture

緒言

和歌山県において、スギノアカネトラカミキリによるスギ・ヒノキの穿孔被害（以下、「虫害」という。）が深刻な問題となっている。虫害材は製品材面に食害痕や変色を伴うことや、「アリクイ」や「トビクサレ」などの名称からイメージされる強度や耐久性に対する不安の声などから、利用が進んでいないのが現状である。

これらの問題に対応するため、当県では虫害材の強度特性（山裾ら, 2014a, 2014b, 2015）や、木材腐朽菌・シロアリに対する虫害材の耐朽性（高橋ら, 2014）について検討を行ってきた。また、他県産材においても虫害材の強度特性に関する検討（例えば倉本ら, 2011, 2013a, 2013b）が行われてきた。これらの結果を総じて言えば、腐朽や入り皮等の重大な欠点が存在しない条件では、穿孔による強度低下への影響は極めて小さく、虫害材の耐朽性についても健全材と遜色のない性能を有することが明らかになっている。

今回、虫害材の新たな用途開発の一つとして集成材に着目した。接着層に虫害部位を配置することで、外観上の欠点を解消することが可能と考えられるが、このような配置が強度に及ぼす影響については、これまでに検討された事例がなく不明である。そこで本研究では、虫害材ラミナを用いて、対称異等級構成集成材を作製し、その曲げ強度特性について検討を行った。

材料および方法

1) 供試ラミナ

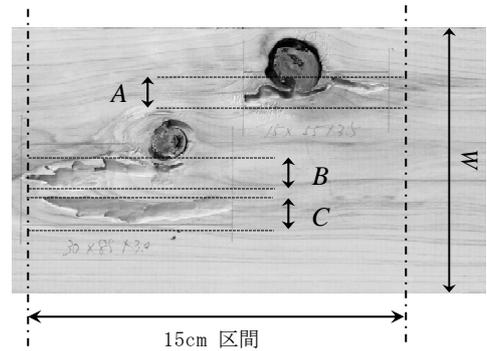
集成材の作製には、和歌山県産のスギ、ヒノキのラミナ（寸法：W115mm×T30mm×L3,000mm）を用いた。供試ラミナは広い面、すなわち接着面における中央部 600mm 区間（荷重点間）に虫害を含むものと、含まないものに予め選別し、「虫害」と「健全」の2つのグループに分けて集成材を作製し、比較することとした。選別後、集成材の日本農林規格（農林水産省告示第 1587 号, 2012, 以下、「集成材 JAS」という）の方法に基づき、ラミナの材縁節径比、曲げヤング係数を測定し、あわせて広い面の中央部 600mm 区間での虫害の程度を測定した。

¹現在：農林水産部林業振興課

²現在：東牟婁振興局地域振興部

2) 虫害の評価方法

虫害の定量的な評価方法として、これまでに断面変色率および材面変色率（吉野ら, 1987），食害長さおよび食害面積（倉本ら, 2011），集成材 JAS または製材 JAS の集中節径比に準じた虫害幅径比による方法（山裾ら, 2014b, 濱口ら, 2015）が報告されている。曲げ強度に影響する可能性がある虫害による断面欠損をある程度量的に評価できることや、評価のしやすさなどを総合的に判断し、今回は集中節径比に準拠した虫害の幅径比で評価する方法とした。この方法のうち、集成材用ラミナの虫害評価で用いられた既報の方法（山裾ら, 2014b）では、幅面の同じ 15cm 区間の両面の虫害幅で評価することになるが、節と異なり両面で欠点の対応関係が独立している虫害の場合、実質的に片面の評価になる場合が多く、各幅面における虫害の最大箇所 で評価する方法と大きな相違がないと判断されたため、今回は製材 JAS（農林水産省告示第 1920 号, 2013）の集中節径比に準拠した虫害の最大幅径比（濱口ら, 2015, 第 1 図）として評価した。



虫害の最大幅径比(%)

$$= \frac{A + B + C}{W} \times 100$$

ただし A, B, C : 15cm区間に存在する各穿孔の幅径
 W : 材幅

第 1 図 虫害の最大幅径比の評価

3) 集成材の作製

上記のラミナを用いて、グループごとに縦継ぎ無しの梁せい 150mm，幅 105mm，材長 3,000mm，5 プライの対称異等級構成集成材を作製した。なお積層構成の決定はラミナの機械等級のみで行い、ラミナの虫害の程度は考慮しなかった。またグループ間の集成材の強度等級とサンプル数は同じ条件になるようにした。今回作製した集成材の強度等級，試験体数の一覧を第 1 表に，集成材の積層構成を第 2 図に示す。

ラミナの積層接着は、水性高分子イソシアネート系接着剤（光洋産業株：主剤 KR-134，架橋剤 AX-200）を使用し、圧縮圧力 1.2N/mm²，圧縮時間 1 時間の条件で行った。なお、最外層ラミナは、原則として接着層側に虫害が含まれるよう積層接着した。

第 1 表 作製した集成材の強度等級および試験体数

樹種	強度等級	グループ	
		虫害	健全
スギ	E95-F270	1	1
	E85-F255	3	3
	E75-F240	3	3
	E65-F225	2	2
	E55-F200	2	2
	試験体 計	11	11
ヒノキ	E120-F330	1	1
	E105-F300	6	6
	E95-F270	3	3
	E85-F255	3	3
	試験体 計	13	13

スギ

L110 L90 L70 L90 L110	L100 L80 L70 L80 L100	L90 L70 L60 L70 L90	L80 L70 L60 L70 L80	L70 L60 L50 L60 L70
-----------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

E95-F270 E85-F255 E75-F240 E65-F225 E55-F200

ヒノキ

L140 L125 L110 L125 L140	L125 L110 L100 L110 L125	L110 L100 L90 L110 L110	L100 L90 L90 L90 L100
--------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------

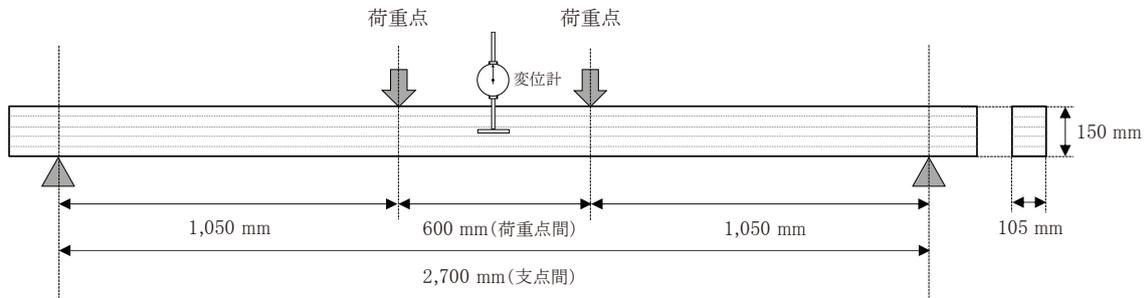
E120-F330 E105-F300 E95-F270 E85-F255

第 2 図 作製した集成材の積層構成

4) 試験方法

集成材の曲げ試験は集成材 JAS の曲げ A 試験の方法に基づき、支点間距離 2,700mm, 荷重点間距離 600mm の 4 点荷重方式とし、クロスヘッドスピードを 5mm/min で実施した。(第 3 図)

なお、試験前に縦振動法による動的ヤング率の測定を行い、曲げヤング係数については、スパン中央の全体たわみ量から、せん断の影響を含んだ見かけの曲げヤング係数として求めた。



第 3 図 曲げ試験の試験条件

結果および考察

今回作製した集成材の基本性能値を第 2 表に示す。スギ、ヒノキとも、見かけの密度については虫害のグループが高い値となっている。岸ら (2006), 山裾ら (2014b) の報告でも、虫害材が健全材に比べ、見かけの密度が高くなる結果が報告がされている。この理由の一つとして、スギノアカネトラカミキリによる穿孔部周辺の広い範囲で形成される傷害心材の存在があげられる。傷害心材部の抽出物量は健全材心材部と比べてスギで約 1.5 倍, ヒノキで約 2 倍(高橋ら, 2014)程度含まれ、これらの抽出物量は乾燥重量の 5~10%を占めることから、みかけの密度にも影響した可能性がある。また、穿孔被害は材齢で概ね 22 年以下の未成熟材部 (原田, 1989) であり、一般的に髓付近の容積密度が高いスギ、ヒノキから虫害材をサンプリングした場合に、必然的に密度の高いサンプル

第 2 表 作製した集成材の基本性能値 (全体)

樹種	グループ (試験体数)	含水率 (%)	みかけの 密度 (kg/m ³)	平均年輪幅 (mm)	最外層ラミナ		<i>E_f</i> (kN/mm ²)	<i>MOE-app</i> (kN/mm ²)	<i>MOR</i> (N/mm ²)	
					材縁節 径比(%)	虫害の最大 幅径比(%)				
スギ	平均値	14.4	463	3.6	12.8	13.5	8.97	8.90	49.7	
	虫害 (n=11)	最大値	14.8	481	5.8	23.0	23.0	10.4	10.6	66.5
		最小値	14.1	447	1.3	5.7	7.0	7.63	7.38	30.2
		変動係数(%)	1.6	2.2	26.3	47.2	34.7	10.4	12.4	21.2
		平均値	14.1	442	3.7	13.2	-	9.00	8.95	49.3
	健全 (n=11)	最大値	14.6	465	6.8	32.0	-	10.3	10.3	62.9
		最小値	13.4	402	1.2	0.0	-	7.70	7.40	38.9
		変動係数(%)	3.0	4.2	29.8	71.1	-	9.9	11.1	16.8
ヒノキ		平均値	15.4	580	2.9	21.6	12.9	12.6	11.8	55.2
	虫害 (n=13)	最大値	16.6	611	4.8	38.1	32.0	13.6	13.7	80.0
		最小値	14.7	548	0.4	13.0	5.0	11.3	10.2	40.7
		変動係数(%)	3.6	2.9	29.8	31.1	66.6	6.0	8.3	21.5
		平均値	14.3	540	2.8	23.3	-	12.6	11.9	59.6
	健全 (n=13)	最大値	15.1	599	4.8	39.0	-	14.0	13.2	81.8
		最小値	13.8	482	0.9	6.7	-	10.8	10.4	34.0
		変動係数(%)	3.1	6.9	33.2	46.2	-	8.3	8.3	21.5

ここで *E_f*:縦振動法による動的ヤング係数, *MOE-app*:みかけのヤング係数, *MOR*:曲げ強度

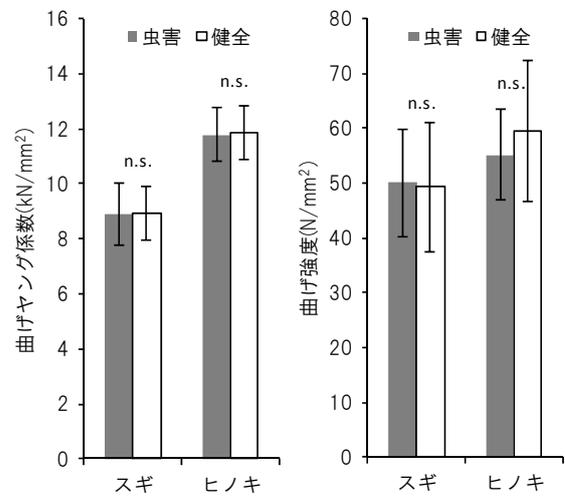
が多くなることも理由と考えられた。なお、最外層ラミナの材縁節径比については、集成材 JAS では17%以下と規定されているが、今回は必要とする機械等級と虫害のラミナを確保することを優先させたため、集成材 JAS の規格外のラミナを一部含んでいる。このためヒノキの材縁節径比の平均値は、高めの値となっている。

今回試験を行った全ての試験体の曲げ強度は、集成材 JAS の対称異等級構成集成材の強度等級における基準強度を上回った(第3表)。また、スギ、ヒノキとも虫害と健全のグループ間で、曲げヤング係数、曲げ強度に有意差は認められなかった(第4図)。

集成材の曲げヤング係数と曲げ強度の関係について検討した結果、ヒノキの虫害のグループで有意な正の相関が認められたが、それ以外では有意な相関が認められなかった(第5図)。

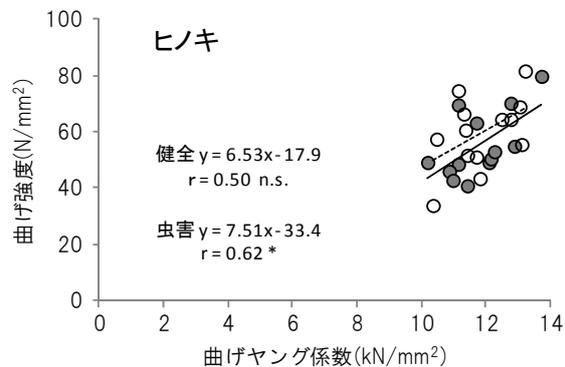
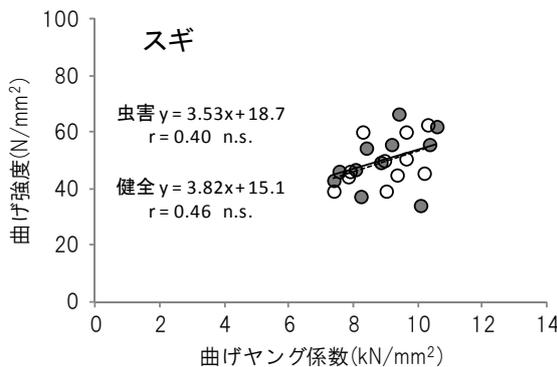
第3表 強度等級ごとの試験結果

樹種	強度等級	曲げ強度 (N/mm ²)		基準強度 (N/mm ²)	
		虫害	健全		
スギ	E95-F270	平均値	55.5	59.9	27.0
		最大値	-	-	
		最小値	-	-	
	E85-F255	平均値	47.1	56.4	25.5
		最大値	61.7	62.9	
		最小値	30.2	50.0	
	E75-F240	平均値	56.4	45.2	24.0
		最大値	66.5	50.3	
		最小値	46.8	38.9	
	E65-F225	平均値	45.9	52.4	22.5
		最大値	54.2	59.9	
		最小値	37.5	44.9	
E55-F200	平均値	44.6	41.7	20.0	
	最大値	46.3	44.1		
	最小値	43.0	39.3		
ヒノキ	E120-F330	平均値	80.0	68.9	33.0
		最大値	-	-	
		最小値	-	-	
	E105-F300	平均値	54.8	60.8	30.0
		最大値	70.2	81.8	
		最小値	40.7	50.9	
	E95-F270	平均値	48.1	60.9	27.0
		最大値	52.9	74.5	
		最小値	43.1	43.6	
	E85-F255	平均値	54.9	52.7	25.5
		最大値	69.4	66.4	
		最小値	46.4	34.0	



n.s. 有意差なし (Mann-Whitney のU 検定)
有意水準5% エラーバーは標準偏差

第4図 曲げヤング率・曲げ強度の比較(全体)



● 虫害 ○ 健全 ——— 虫害 - - - - - 健全

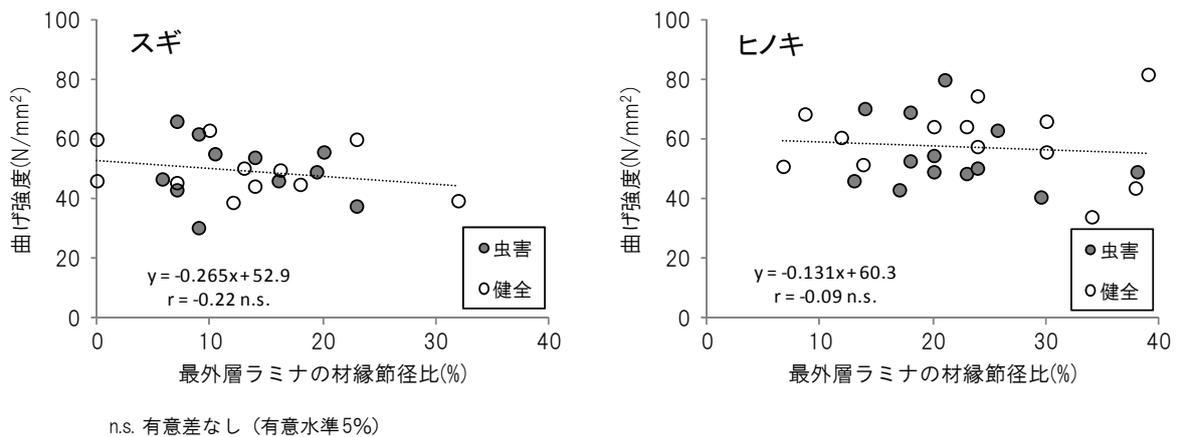
● 虫害 ○ 健全 ——— 虫害 - - - - - 健全

* 5%水準で有意, n.s. 有意差なし

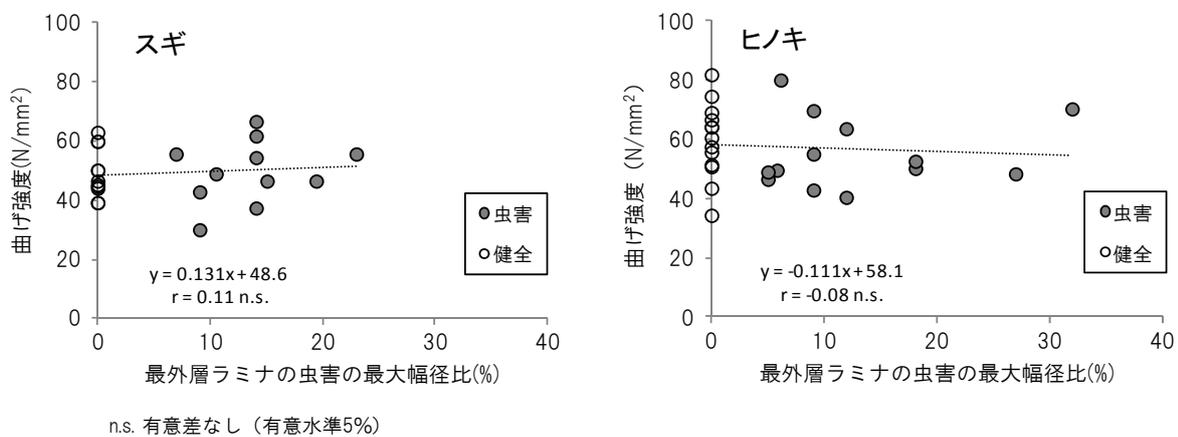
第5図 曲げヤング率と曲げ強度の関係

一般に木材では、曲げヤング係数と曲げ強度の間に正の相関が認められる場合が多いが、今回の集成材において有意な相関関係が認められなかった理由として、統計処理におけるサンプル数の問題に加え、最外層ラミナの材縁節径比のばらつきが大きかったことや、髓付近の未成熟材部から製材したと思われるラミナが相対的に多かったため、材質のばらつきも大きかった可能性があり、結果として同一強度等級における曲げ強度にばらつきが生じてしまったためと推察された。

次に集成材の曲げ強度性能に強く影響すると考えられる最外層ラミナの材縁節径比、虫害の最大幅径比と曲げ強度の関係について検討したところ、スギ・ヒノキとも、いずれの項目においても有意な相関は認められなかった（第6図，第7図）。



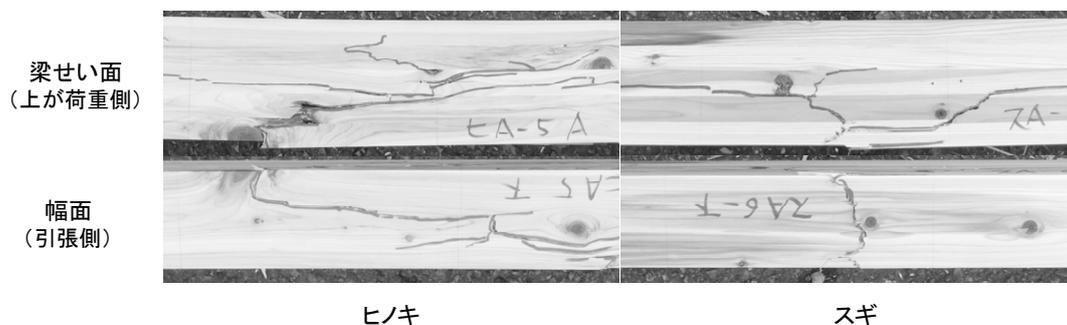
第6図 最外層ラミナの材縁節径比と曲げ強度の関係



第7図 最外層ラミナの虫害の最大幅径比と曲げ強度の関係

材縁節径比と曲げ強度の関係については、製材では有意な負の相関が認められる場合でも、決定係数が低い場合が多い（例えば、山裾ら, 2014b）。特に集成材の場合は積層効果もあるので、曲げ強度と最外層ラミナの材縁節径比の相関はかなり低くなるものと考えられた。また、虫害の最大幅径比が製材の曲げ強度に及ぼす影響については、正角材，平割材（エッジワイズ加力，フラットワイズ加力）において、一部で有意な負の相関が認められているものの，集中節，材縁節による影響と比較すると，その影響度は小さい（山裾ら, 2014b，濱口ら, 2015）。

このことから、接着層に虫害部位を配置した今回の集成材の場合では、虫害部ではなく離などの問題が生じない限り、虫害が曲げ強度へ及ぼす影響は更に小さくなると考えられた。そこで曲げ試験後の試験体の破壊形状を確認したところ、すべての試験体で引張側の最外層ラミナから破壊が開始していた。破壊起点の大部分は節であり、材料の性質上、節に虫害部位を含むケースはあったものの、虫害部位そのものが破壊起点となっているケースは確認されなかった。また、虫害部を含む接着層ではなく離も確認されなかった（第8図）。



第8図 曲げ試験後の試験体の破壊形状例

以上の結果から、集成材においても、虫害が曲げ強度に及ぼす影響は極めて小さいと考えられ、接着層に虫害部位を配置することで、健全材ラミナのみで構成した集成材と同等の曲げ強度を確保することが可能であることが明らかになった。

なお、集成材 JAS では、目視区分と等級区分機による方法で違いはあるが、集中節径比や幅面の材縁節径比の上限や、腐れ、割れ、変色、その他欠点等の事項でラミナの品質基準が設けられている。虫害材の特性上、集中節径比、材縁節径比が大きくなる傾向にあり、今回の試験においても虫害材ラミナでは材縁節径比で規格外のものが高い頻度で発生した。このことから、虫害材の利用においては、上記の品質基準に留意した適切な材料選別や、品質に応じた用途の選択が重要になると考えられる。

摘 要

スギノアカネトラカミキリの穿孔被害を受けたスギ、ヒノキのラミナを用いて構造用集成材を製作し、曲げ強度性能について検討を行った。結果、接着層に虫害部位を配置することによる曲げ強度への影響は確認されず、健全材ラミナのみで構成した集成材と比べ、遜色のない曲げ強度を有していることが明らかになった。

引用文献

- 岸久雄・並木勝義・中山伸吾. 2006. スギ・ヒノキ穿孔性害虫被害材の有効利用技術の開発研究—アライ材の物性とその活用研究—三重県科学技術振興センター林業研究部業務報告書 43号 : P. 15.
- 倉本一紀・森田浩也・柴田寛・川上敬介・西村臣博・長尾範通. 2011. スギノアカネトラカミキリ

被害材の強度性能(第1報)ヒノキ正角材の材面の食害程度と強度との関係. 木材工業 Vol. 66, No. 6.

倉本一紀・森田浩也・柴田寛・川上敬介・西村臣博・長尾範通. 2013a. スギノアカネトラカミキリ被害材の強度性能(第2報)スギ正角材の材面の食害程度と強度との関係. 木材工業 Vol. 68, No. 2.

倉本一紀・森田浩也・柴田寛・植田幸秀・川上敬介・西村臣博・大久保嗣臣. 2013b. スギノアカネトラカミキリ被害材の強度性能(第3報)スギ厚板の材面の食害程度と強度との関係. 木材工業 Vol. 68, No. 10.

高橋孝悦・芦谷竜矢・森川卓哉. 2014. 「アカネ材利用促進のための技術開発」受託研究報告書. 山形大学農学部(内部資料, 成果の一部は, 和歌山県林試業報 No. 72 : P. 20-21, 2015 に掲載).

濱口隆章・城戸杉生・森川陽平・長尾博文・原田真樹・加藤英雄・井道裕史・小木曾純子・高田裕市. 2015. スギノアカネトラカミキリ穿孔被害を受けたスギ・ヒノキの強度評価. 日本木材加工技術協会第33回年次大会(札幌)講演要旨集 : P. 27-28.

原田公造. 1989. 異なる立木密度条件下で穿孔性害虫により発生した被害の解析—スギカミキリとスギノアカネトラカミキリ—. 岡山県林業試験場研究報告8号 : P. 1-13.

山裾伸浩・森川陽平・城戸杉生・長尾博文・原田真樹・加藤英雄・井道裕史. 2014a. スギノアカネトラカミキリ被害を受けたスギ, ヒノキ集成材用ラミナの縦引張り強度. 第64回日本木材学会大会(松山)研究発表要旨集 : P. 139.

山裾伸浩・森川陽平. 2014b. アカネ材利用促進のための技術開発(第1報)スギ, ヒノキ板材(ラミナ)の各種強度性能. 和歌山県林試業報 No. 71 : P. 25-26.

山裾伸浩・森川陽平・城戸杉生. 2015. スギノアカネトラカミキリ被害材の利用に関する研究—スギ・ヒノキ板材の曲げ強度および縦圧縮強度—. 和歌山県農林水研報3 : P. 131-146.

吉野安里・橋爪丈夫・吉田孝久・武井富喜雄. 1988. スギノアカネトラカミキリによる被害材の分類と品等区分. 長野県林業指導所業務報告. 昭和62年度 : P. 31-32.

集成材の日本農林規格. 農林水産省告示第1587号, 2012 : P. 28.

製材の日本農林規格. 農林水産省告示第1920号, 2013 : P. 25.