

スギ・ヒノキ穿孔性害虫被害の防除技術に関する総合研究 —— スギノアカネトラカミキリによるスギ立木被害の実態とその対策 ——

要 旨

スギノアカネトラカミキリの加害によって生じるトビクサレ被害の実態をスギについて調査を行ったところ、①被害地域は県下の北部地方に多い傾向がみられた。②被害は林齢が20年生になる頃から発生し始め、林齢の高まりに対応して被害程度は大きくなる。③立木の外観的な症状(樹皮型、チョークタケの着生、不定枝及び枯枝の多少など)と被害発生との関係は明らかにできなかった。④材内に生じた被害箇所は初め暗赤褐色を呈した変色の状態であるが、この変色部はやがて腐朽する。変色部の腐朽は20年代から30年代のものでは極めて少ないが、40年代に入ると試料木によってバラツキが認められるものの腐朽しているものの割合が増えてくる。⑤被害と環境との関係をみると、地形的には凸状地に被害の発生率が高い傾向がみられたが、斜面方位と被害との関係は明らかにできなかった。また標高でみると被害が1,000m以上にも及んでいることは本種の生息域がかなり広いことを示している。⑥スギノアカネトラカミキリ成虫を誘引捕捉できる薬剤(試薬を含む)にはホドロン・コガネコール・アネトール・ベンジルアセテートなどがあり、特にベンジルアセテートは優れた誘引効果を期待できる。⑦林齢20年に達した林分に枝打ち実証林を設け、枯枝打ちを行ったところこの方法は被害を回避させる効果が認められた。したがって枝が枯れ始める頃から枝打ちを行い、枝の切口を早い時期に巻き込ませてしまえば、より大きな予防効果を期待できる。⑧被害材市場調査、長野県森林組合連合会長野市場にてスギ被害材の混入割合と落札価格との関係を調査したが両者には明かな関係はみられなかった。⑨実大材強度試験 製材の外観の変色率が5%を越えると、曲げ強度に劣化の傾向が現れた。しかし試験材のすべてが建築基準法施行令に規定するスギの材料強度値225 kg/cm²をみたしていた。⑩小試験片による強度試験 被害が変色にとどまる段階では、機械的な強度が健全材に比べて劣っているとはいえなかった。

試験の目的

スギ・ヒノキを加害する穿孔性害虫の一種にスギノアカネトラカミキリがある。この幼虫が枯枝の付け根付近の組織を通じて樹幹の辺材部に孔道を穿つ。そこで幼虫が穿った傷口が起因となって材内に変色箇所が生じる。材内に生じる変色の原因は材組織の生理的反応あるいは化学的反応らしいと考えられているが、いずれにしてもこの変色箇所は時間の経過に伴って穿たれた幼虫孔道から二次的に菌類が侵入することで変色から腐朽へと進み、材質及び材価が著しく低下する等の状況が生じてくる。

このため本研究では、この害虫による被害の実態を解明するとともに被害を効果的に減少させ得る薬剤利用による予防策に加えて林業的予防策を確立し、さらには被害材の利用面への影響等を明らかにしようとするものである。

第6章 被害材の分類と品等区分

吉野安里
橋爪丈夫
吉田孝久
武井富喜雄
奥村俊介

1 被害材の市場調査

(1) 調査の目的

スギ素材の市場での取引価格と桝積内の被害材混入率との関係から、ユーザー側での被害材の意識を把握する。

(2) 調査の方法

ア 調査日時および場所

昭和58年9月29, 30日

昭和59年12月13日

昭和60年12月13日

長野県森林組合連合会長野市場(長野市)

イ 桝積内調査

木口面に汚染のある材を被害素材とし、桝積内における本数割合を調査した。また桝積内の材積、径級および材長と落札価格との関係を調査した。桝積の材積と材長から桝積中の平均直径を算出した。

(3) 結果と考察

市場での桝積本数は平均で61本で未口径13~18cmのものが多く、一部には20~30cmの素材も含まれており各年度ともにほぼ同じ傾向であった。これらのものは価格が低い傾向が認められた。

調査年度の58, 59, 60年の各調査時での価格には差がある(表-1)。しかしながらいずれの調査においても被害丸太の混入割合が高いと落札価格が低いとは言えなかった。

受容、供給の関係や社会情勢などの他の要因に比べると、被害丸太の混入が価格に及ぼす影響は小さいものと推察される。

表-1 市場価格調査結果

スギ素材 3.65-4.0m 16-40cm	長野市場		長野県内
	価格 (円)	被害丸太 混入割合 (%)	価格 (円)
58	21,853	13.8	16,740
59	21,955	16.9	15,600
60	22,494	9.1	15,950
総 轄	22,096	13.5	

長野県内の価格は「長野県の木材価格」による。

1 m³あたりの落札価格と桝積中の平均直径との関係を見るとおおむね14cm以上22cm未満の「中径材」の価格が高い(図-1)。これは「中径材」としての出材であることを考慮するならば、径級と価格の関係はとくに本調査において、意味を持たないであろう。すなわち「中径材」の範疇を越えた径級の素材が桝積に含まれると落札価格も低くなるのも当然であると考えたからである。したがって被害丸太の混入率と落札価格との関係を明らかにするために当

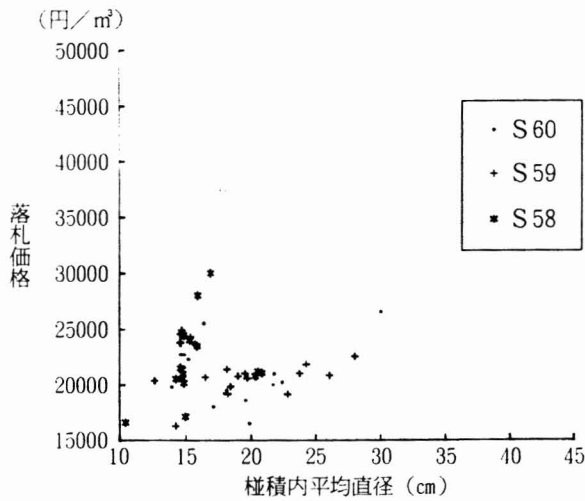


図-1 落札価格 (m³あたり) と極積内平均直径

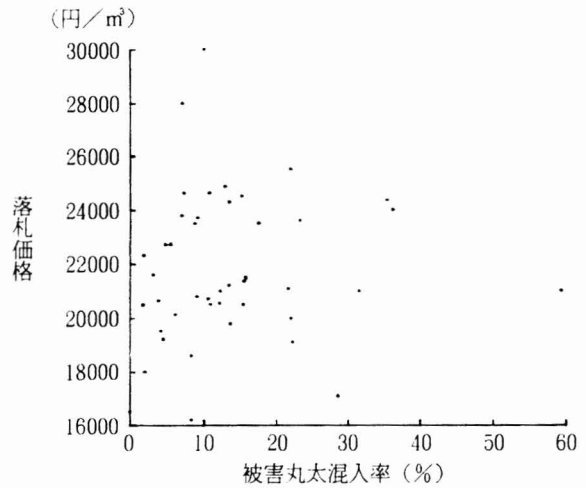


図-2 「中径材」の落札価格と被害丸太の混入率

該径級に検討の対象を絞った。

「中径材」の被害丸太の混入率と極積ごとの落札価格との関係を(図-2)に示す。これによると極積の大部分は、被害丸太の混入率が15%を下回り、また混入率に関係なく2万~2万5千円で落札されている。被害丸太が多く混入しているからといって特に価格が低いとは判断し難い。すなわち本調査の結果からは、被害が特に意識されているという結論は得られなかった。

これらの材の用途として建築構造材の「みえがくれ」として梁・桁をはじめ壁の下地や野地板あるいは仮設部分に使われているものと推察される。ただ被害材が機械的な強度を要求される部材として使われるとなると、これらの強度性能について検証を行なう必要も生じよう。

2 実大材強度試験

(1) 試験の目的

スギノアカネトラカミキリによる被害材は、審美性が著しく低下しているだけでなく、機械的な強度にも劣化をきたしていると考えられる。ここでは被害材の利用方法の確立を図るため、被害材の強度性能について検討する。

(2) 試験の方法

ア 材料 スギ市素材(材長3m、未口径13~20cm)を10.5cm正角に製材し供試材を得た。さらに供試材は2ヶ月間ていど天然乾燥した。なお素材は長野県森林組合連合会にて購入したもので産地は北信地方と思われる。

イ 製材欠点調査 供試材の気乾後に「製材の日本農林規格」に準じた方法によって材の欠点調査をおこなった。

い 最大節径比 その節の存在する材面に対する節の長さの割合を百分率であらわす。

ろ 集中径比 15cmの長さの材面に存在する節に係わる径比の合計

は 材面の変色面積割合 材面にあらわれた被害による変色部分の面積を求めた。被害による変色部分は紡錘形を主とする不定な形のものも多く、その正確な面積を測定することは困難である。そのため長さと幅の積を被害部分の面積と見做し、これら4材面に占める変色面積の割合を材面変色率とした。供試材によっては変色の部分が腐朽にまで及んでいると思われるものもあったが、その程度は特に区別しなかった。判定者の個人差が著しいなど腐朽部分の客観的な判定が期待できないからである。

ウ 実大材曲げ強度試験

い 強度試験機 インストロンタイプのミネベア製TCM-30000を使用した。試験機では荷重100kgごとの試験片のたわみ量および最大荷重値が測定され、同時に応力-ひずみ図(stress-strain diagram)が作成される(図-3)。

ろ 設定条件 スパンは240cmとし、3等分点4点荷重方式によった。材面変色の顕著な面に引張応力がかかるように試験材を試験機に設定した。荷重速度は5mm/minとした。試験材のたわみ量は下スパン側中央部にて測定した。応力-ひずみ図より比例限域を決定した。曲げ強度、みかけの曲げヤング係数およびモーメント一定区間の曲げヤング係数は試験結果から次式により算出した。

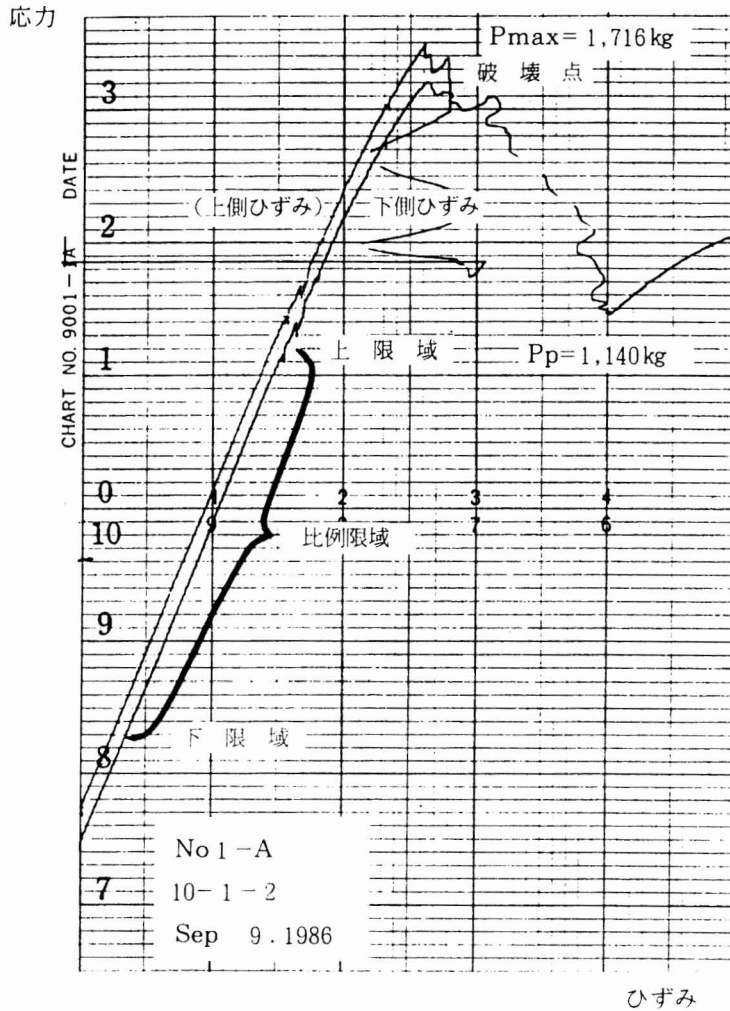


図-3 応力-ひずみ図

- (1) 曲げ強さ = $\frac{Pl}{4Z}$ (kg/cm²)
- (2) 曲げ比例限度 = $\frac{Ppl}{4Z}$ (kg/cm²)
- (3) 曲げヤング係数 = $\frac{\Delta Pl^3}{48I \Delta y}$ (kg/cm²)

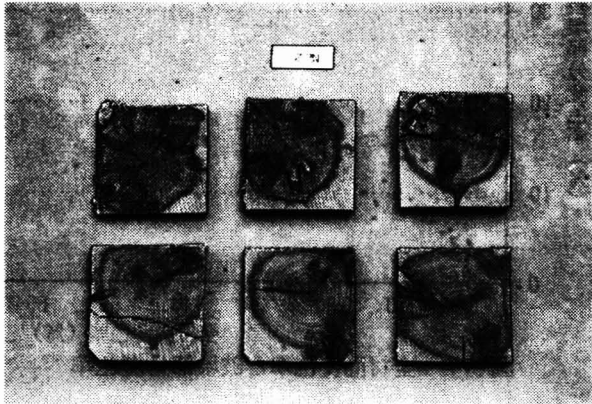
ここに P : 最大荷重 (kg)
 ΔP : 比例域における上限荷重と下限荷重との差 (kg)
 l : スパン (cm)
 Δy : ΔPに対応するスパン中央のたわみ (cm)
 Z : 断面係数 (cm³)
 I : 断面2次モーメント (cm⁴)
 Pp : 比例限度荷重 (kg)

横断面形状	面積 A	断面2次モーメント I	断面係数 Z
	bh	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$

式-1 曲げ強さ

は 供試材の内部変色調査

曲げ強度試験後供試材を40~50cmごとに切断し、1本あたり6箇所の断面について、被害による変色面積の割合を点格子板により調査した(写真-1)。そのうちの強度試験による破壊部分の2箇所の平均値を破壊部分の断面変色率とし、あわせて含水率を測定した。



供試材の断面

表-2 分散分析表

目的変数：曲げ強度

変動要因	平方和	自由度	分散比
回帰による	93581.5	6	7.96**
回帰からの	113605.0	58	
合計	207186.5	64	

$F_0 = 7.96 \geq 3.12 = F_{58}^6(0.01)$ により

有意水準1%で回帰は有意。

$F_{58}^1(0.05) = 4.00$

説明変数	回帰係数	偏相関係数	回帰係数検定のF値
平均年輪幅	-17.837	-0.336	7.39
最大節径比	-1.908	-0.361	8.70
引張面変色率	-1.287	-0.290	5.32
絶乾比重	499.596	0.363	8.83
含水率	-9.465	-0.338	7.47
全材面変色率	1.498	0.251	×3.91

(3) 試験結果と考察

試験材は総計79本である。

供試材の半数以上が材面変色率5%以下であった。また曲げ強度は材の最大筋径比・平均年輪幅・含水率などに有意な相関が認められた。被害材の強度は、実際の被害よりもこれらの因子に依存する部分が多い(表-2)。材面変色率が5%を越えると、曲げ強度に劣化の傾向が認められたが、すべてが建築基準法施工令に規定する材料強度値の規定値225kg/cm²を満たしていた(図-4, 5)。

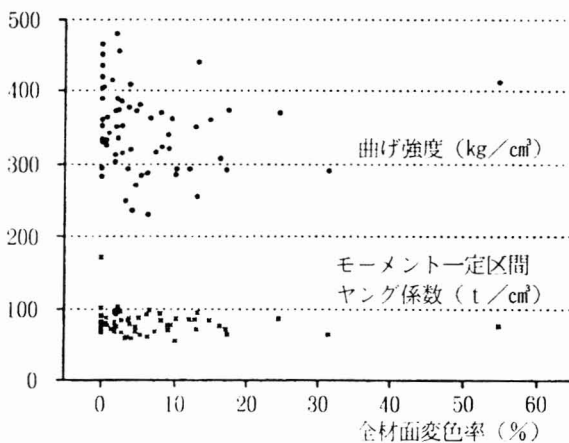


図-4 全材面変色率と曲げ強度

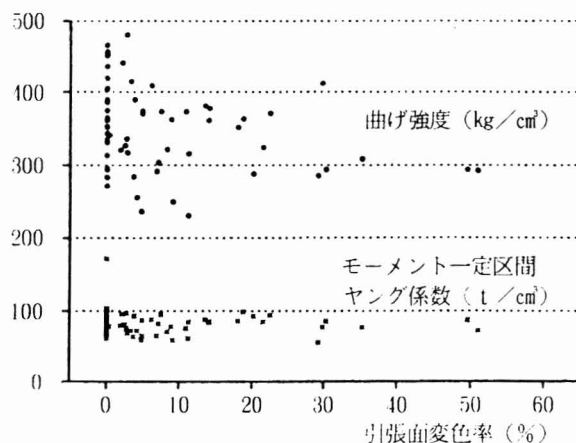


図-5 引張面変色率と曲げ強度

曲げヤング係数については、平均年輪幅に相関があるものの、他因子との関係は明らかにはならなかった(図-6)。しかし平均値は日本建築学会の本構造設計基準に定める木材ヤング値 $70 \times 10 \text{kg/cm}^2$ を満たしていた。また外観上の被害が大きいと内部の被害も進行していた(図-7)。

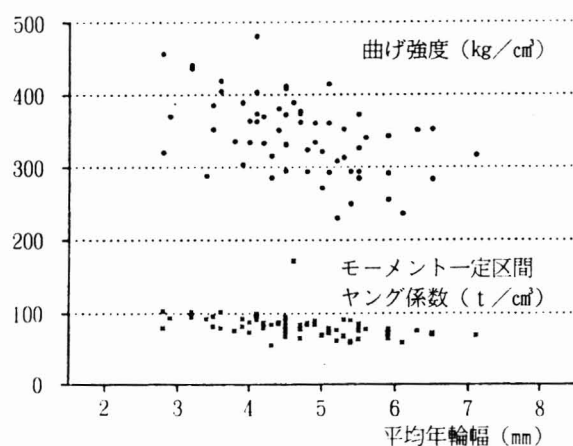


図-6 平均年輪幅と曲げ強度

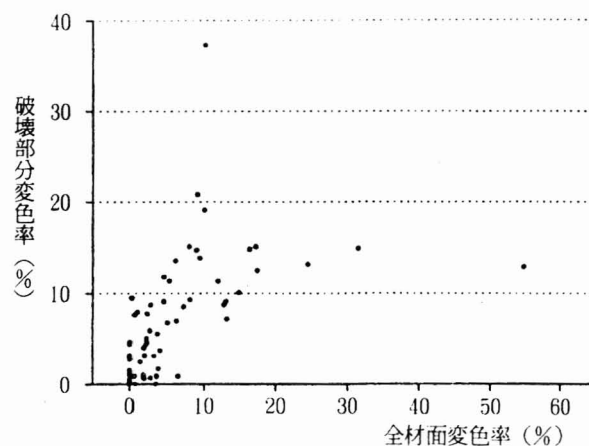


図-7 全材面変色率と破壊部分変色率

3 小試験片による強度試験

実大材による曲げ強度試験において材面の変色と曲げ強度との関係について結論は得られなかった。そこで材の変色とその強度性能との関係を究明するためJ I Sに定める曲げ試験とさらに縦圧縮試験を追加した。

(1) J I Sによる曲げ強度試験

ア 試験の方法

(ア) 試験片

実大材曲げ強度試験後の材より本試験片を得た。採材にあたっては実大材試験による破損部分および荷重の影響を受けた部分を避けた。試験片は横断面正方形の柱体とし、筋・穿孔による断面欠損・その他著しい繊維の乱れを含まない無欠点のものとした。寸法は断面の各辺25mm、長さ40cmを基準とし、採材後3週間から1ヶ月間温室に放置した。試験片はスパン長の3分の1の中央部分の全表面について①変色の認められるものと②全く変色の認められないものの2種類を設定した(図-8)。

(イ) 曲げ試験

い 試験機 ベルトドライブ方式によるインストロンタイプで、したがって荷重速度はやや不安定であるが 5mm/min 程度と思われる。試験機では荷重10kgごとの試験片のたわみ量および最大荷重値が測定される。

ろ 設定条件 J I S Z2113「木材の曲げ試験方法」によった。すなわちスパン長は辺長の14倍である35cmとし、集中荷重はスパンの中央部、試験片の木表側より加えた。試験材のたわみ量は下スパン側中央部にて測定した。曲げ強度、曲げヤング係数は試験結果から次式により算出した。なお試験時の含水率を絶乾法により求め、さらに絶乾比重を算出した。曲げ試験後にその破損の状態を5つに分類した(図-9)。

曲げ強度試験

ア) 試験片の寸法

各辺 25mm 長さ 40cm

イ) 試験片の分類

試験片の 1/3 の中央部分の変色の有無

ウ)

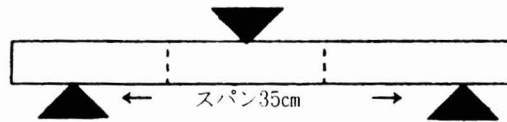


図-8 曲げ強度試験

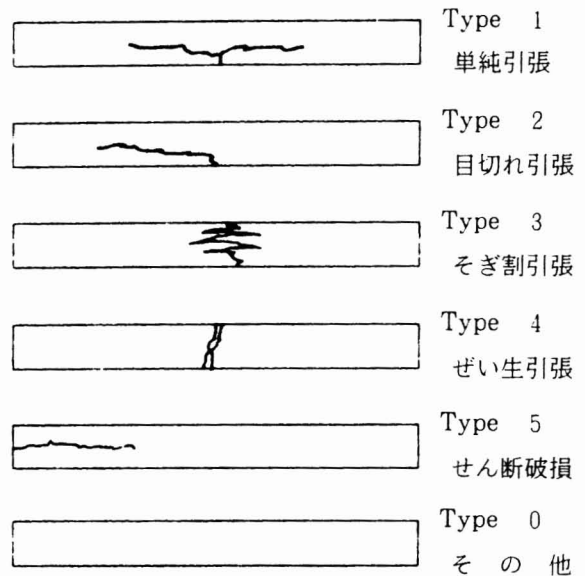


図-9 曲げ材破損のタイプ

イ 試験結果と考察

試験材は総計78本である。

曲げ強度・曲げヤング係数のそれぞれの平均値について、被害材と健全材とでは有為な差はなかった。健全材・被害材ともに強度性能にはかなりのばらつきがある (図-10)。

絶乾比重の平均値についても被害材と健全材とではほとんど差はなかった。一般に木材が腐朽すると材の比重値が低下することが知られている。本試験では腐朽した試験片は得られなかった。比重と曲げ強度とには密接な関係は認められる (図-11)。

曲げ強度試験による試験片の破壊の形態は興味のあるところである。特に引っ張り応力の作用する側の面については、その材料の強度的な性質を知る手がかりになると考えられ、いくつかの破壊形態の分類が試みられている(1) (図-9)。破壊タイプ別の強度性能を図-12に示す。

Type1: 単純引っ張り (simple tension) 26例

杉山(1)によると繊維が通直で乾燥した材の場合に起こるとされる。本試験では曲げ強度・曲げヤング係数ともに平均値は比較的高い値を示した。しかし本タイプのグループの含水率が特に低いと

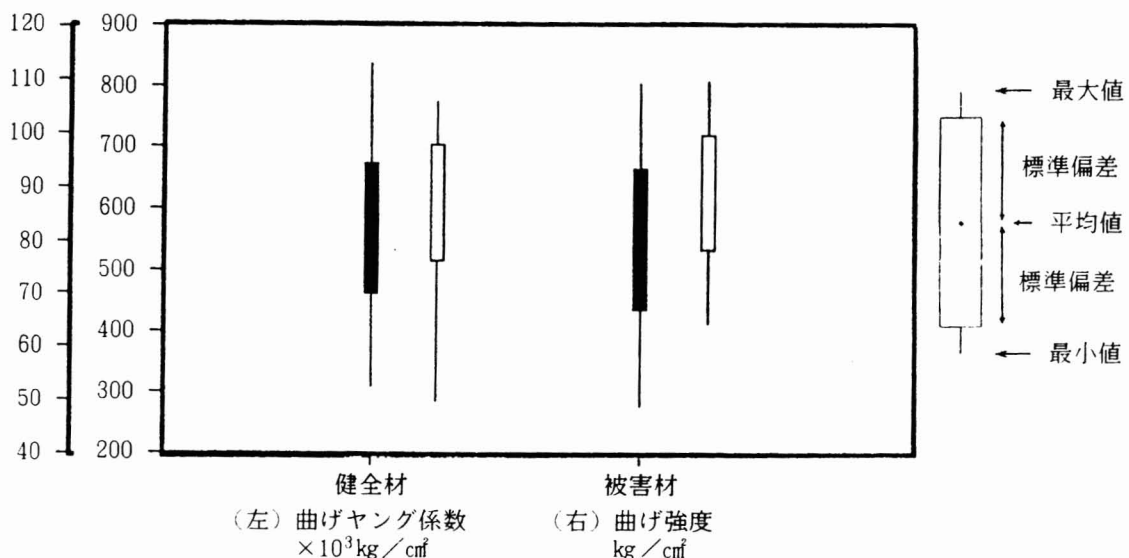
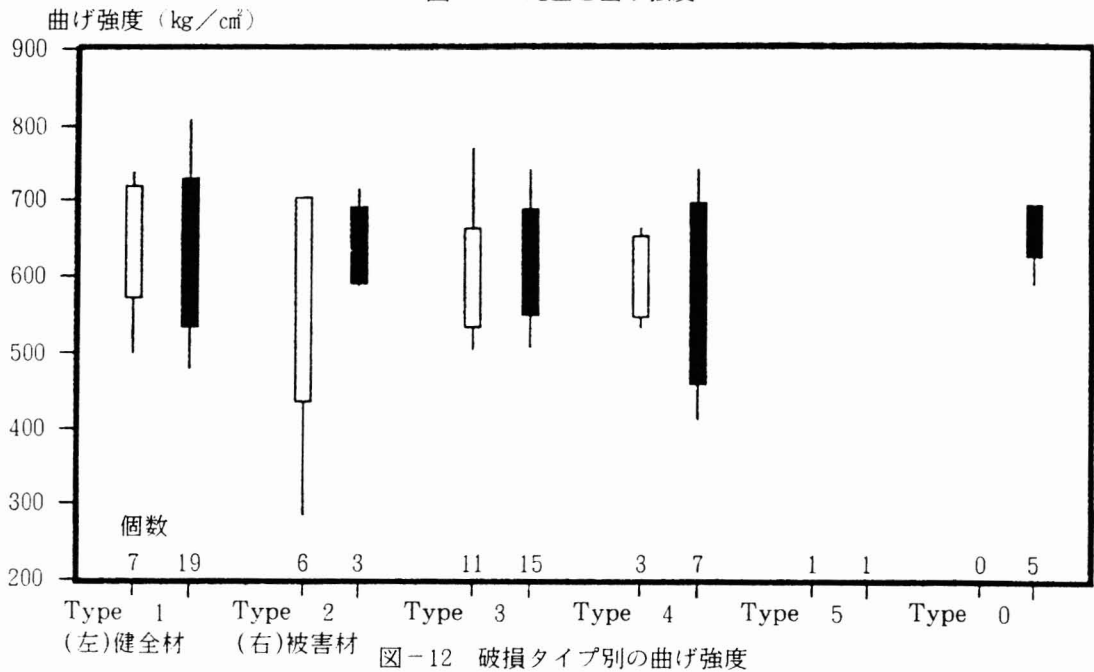
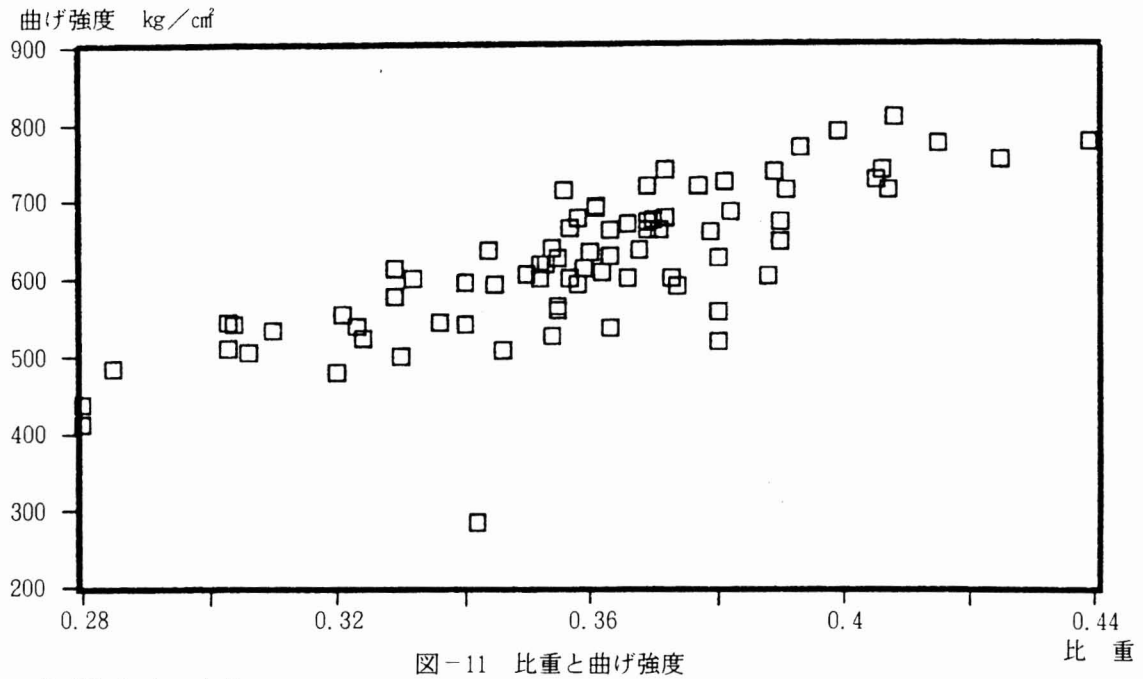


図-10 健全材と被害材の曲げ強度性能



いうことはなかった。

Type 2 : 目切れ引っ張り (Gross - graind tention) 9例

目切れが引っ張り面に存在するとき起こるとされるが、本試験では著しい目切れを有する部分を避けて試験材を採材したこともあり、わずかに9例が本タイプに該当した。

Type 3 : そぎわれ引っ張り (splintering tention) 26例

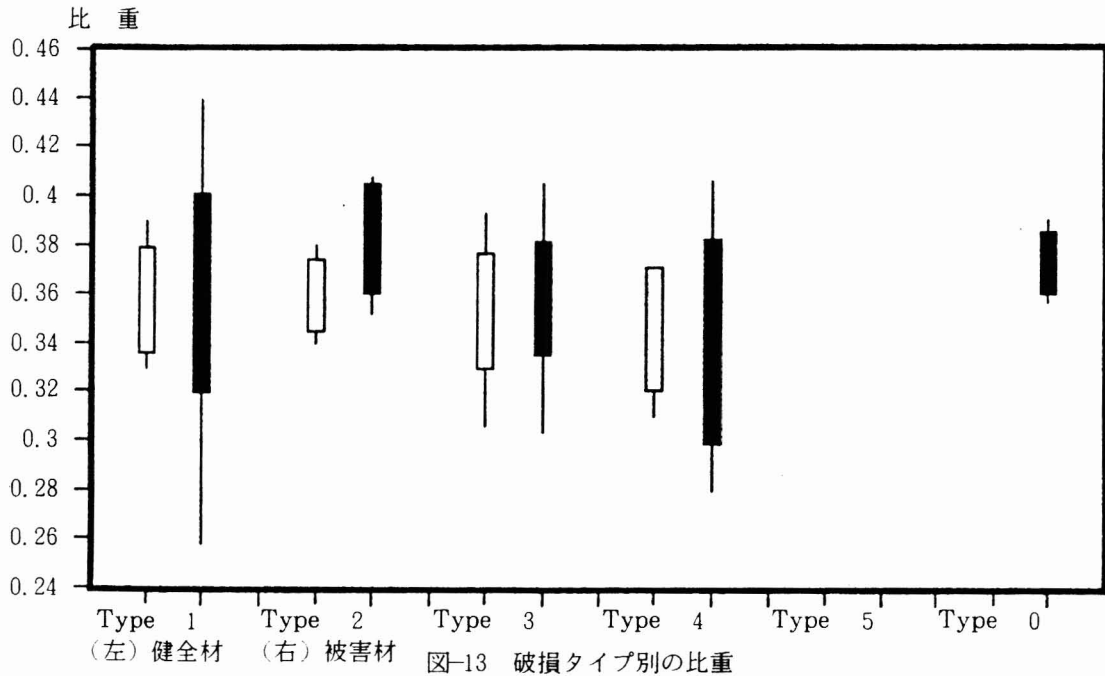
強い材に起こるとされるが、本試験では必ずしも特に強い材にみられたわけではない。強度的には単純引っ張りよりやや低い平均値を示した。

Type 4 : ぜい性引っ張り (Brittle tention) 10例

もろい木材の場合に起こるとされる。本試験ではこのタイプは比較的低い強度値を示した。

Type 5 : せん断破損 2例

梁せいがスパンに対して比較的大きいときに起こるとされるが、わずかに2例あった。



Type 0 : その他 5例

Type 1～5のいずれにも分類できなかったもので5例みられた。

また破損のタイプごとの比重の分布についても強度性能のそれに類似している(図-13)。

破壊の形態による分類を本試験では試みたが、得られた数値的な結果と破損タイプとを説明するには今回の結果からだけでは無理があり、試験片の材質究明の手がかりには直接にはつながらないように思える。

先に行われた実大材強度試験の結果をうけ、本試験では被害と強度性能の関係をより明確にすることを目的としたものの、被害材は材部の変色を除けば健全材となんら変わることはないという印象がより明確になった。

(2) J I Sによる縦圧縮試験

圧縮試験は、小さい試験片で行えることから変色部分のみの強度(圧縮強度)を検討するのに適していると判断した。

ア 試験の方法

(ア) 試験片

縦圧縮試験

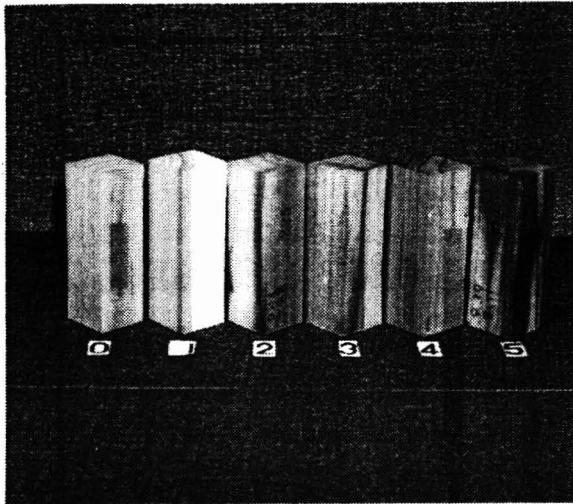
ア) 試験片の寸法

各片 20mm 長さ 60mm

イ) 試験片の類別

類別	被害の状況
0	変色は認められない。
1	かろうじて変色が認められる。
2	1/3以下の変色。
3	1/3から2/3の変色。あるいは半分くらいの変色。
4	2/3以上が変色しているが健全部分が残る。
5	ほぼ全面にわたって変色している。

表-3 縦圧縮試験片



縦圧縮試験片

実大材曲げ強度試験の後の材より無欠点の試験片を得た。試験片は横断面正方形の直六面体とし、実大材試験による破損および荷重の影響を受けない部分から芯・筋・穿孔による断面欠損・その他著しい繊維の乱れを含まないものを厳選し、材軸が繊維方向と平行になるように採材した。寸法は断面の各辺20mm、長さ6cmを基準とした。採材後に25℃・関係湿度65%の雰囲気中に1週間ほど放置した。試験片は全表面に変色の認められるものから全く変色の認められないものまでを6段階に分類した(表-3、写真-2)。各試験片の最大年輪幅と平均年輪幅を測定した。

(イ) 縦圧縮試験

い 試験機 インストロンタイプのミネベア製TCM-5000を使用した。この試験機では荷重100kgごとの試験片のたわみ量および最大荷重値が測定される。

ろ 設定条件 J I S Z2111「木材の圧縮試験方法」によった。荷重方向は繊維方向に平行とし、荷重速度は0.5mm/minとした。縦圧縮強度(以下圧縮強度という。)および圧縮ヤング係数は試験結果より次式により算出した。なお試験時の含水率を絶乾法により求め、さらに絶乾比重を算出した。

- (1) 縦圧縮強さ = $\frac{Pb}{A}$ (kg/cm²)
- (2) 縦圧縮比例限度 = $\frac{Pp}{A}$ (kg/cm²)
- (3) 縦圧縮ヤング係数 = $\frac{\Delta P l}{\Delta l A}$ (kg/cm²)

ここに P b : 最大荷重 (kg)
 A : 断面積 (cm²)
 P p : 比例限度荷重 (kg)
 Δ P : 比例域における上限荷重と下限荷重との差(kg)
 l : 標点距離 (cm)
 Δ l : Δ P に対する縮み (cm)

式-2 縦圧縮強さ

表-4 縦圧縮試験の結果

試験結果(上段:健全材 下段:被害材)			
	比 重	圧縮強度	ヤング係数
平 均	0.327	259.7	34.0
	0.337	273.1	36.5
最 大 値	0.429	392	55.7
	0.418	364	74.6
最 小 値	0.271	199	13.8
	0.277	193	10.2
分 散	0.000	881.8	77.4
	0.000	1280.0	138.6
標準偏差	0.029	29.69	8.80
	0.030	35.78	11.77

イ 試験結果と考察

試験材は総計351本である。

健全材(被害類別0)と被害材(被害類別1~5)の強さを比較した。縦圧縮強度および圧縮ヤング係数の平均値は、被害材の方が高く有為な差であった(表-4)。また被害が進行するにつれて強度値も若干大きくなる傾向を示した(図-14)。ただし最も被害の大きい被害度5については十分なサンプル数ではない。

試験片の比重と圧縮強度・ヤング係数には有為な相関が認められ、比重が大きいほど高い強度値を示している(図-15)。被害が拡大するにつれ

て、比重の平均値はわずかながら高くなる傾向にある(図-16)。変色が腐朽の前段階と考えるならば、材部は分解されはじめて比重も低下すると思われるが、これとは反する試験結果が得られた。

本試験の結果については以下の3つの可能性を考えた。

①被害によって生じた比重の変化はそのばらつきの範囲内であった。

②被害が変色の段階では比重はほとんど変化していない。

③被害の発生部位と関係がある可能性もある。すなわち材内でも高比重部分に変色が好発した。

試験材の採材は筋・繊維の乱れなどを除いてほぼ無作為におこなったにもかかわらず、被害程度の大きいものは年輪幅が小さい傾向がうかがえる(図-17, -18)。

これらの3点のいずれであるかは今回の試験では判断できない。しかし強度値に比重が大きく関わっていることは明かであるので、比重の影響を除いて強度性能と被害の程度とを再検討した(図

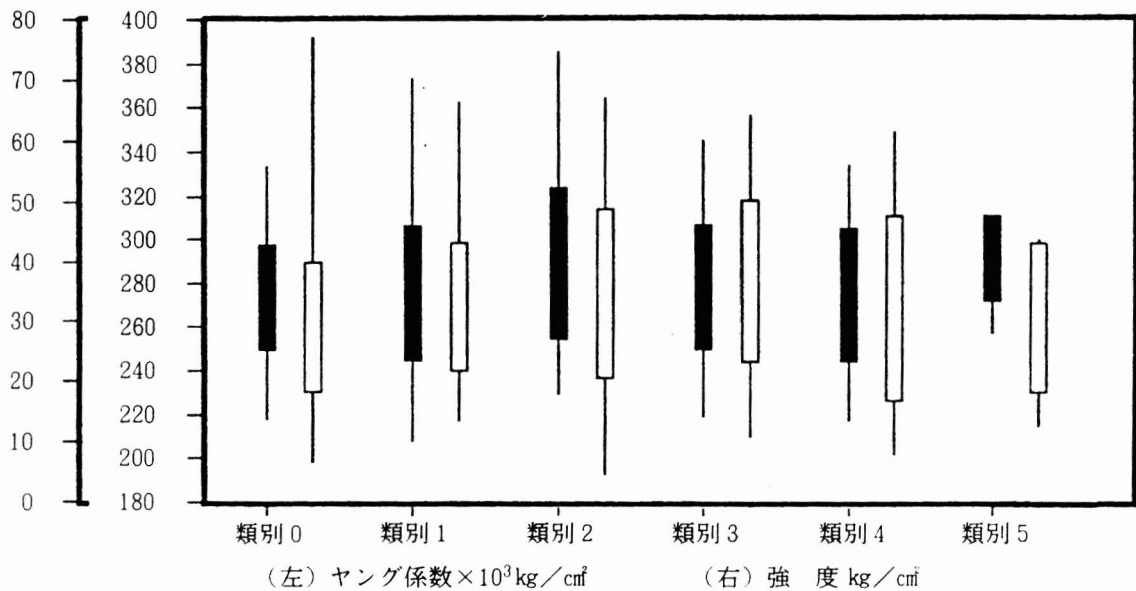


図-14 被害度と圧縮強度・圧縮ヤング係数

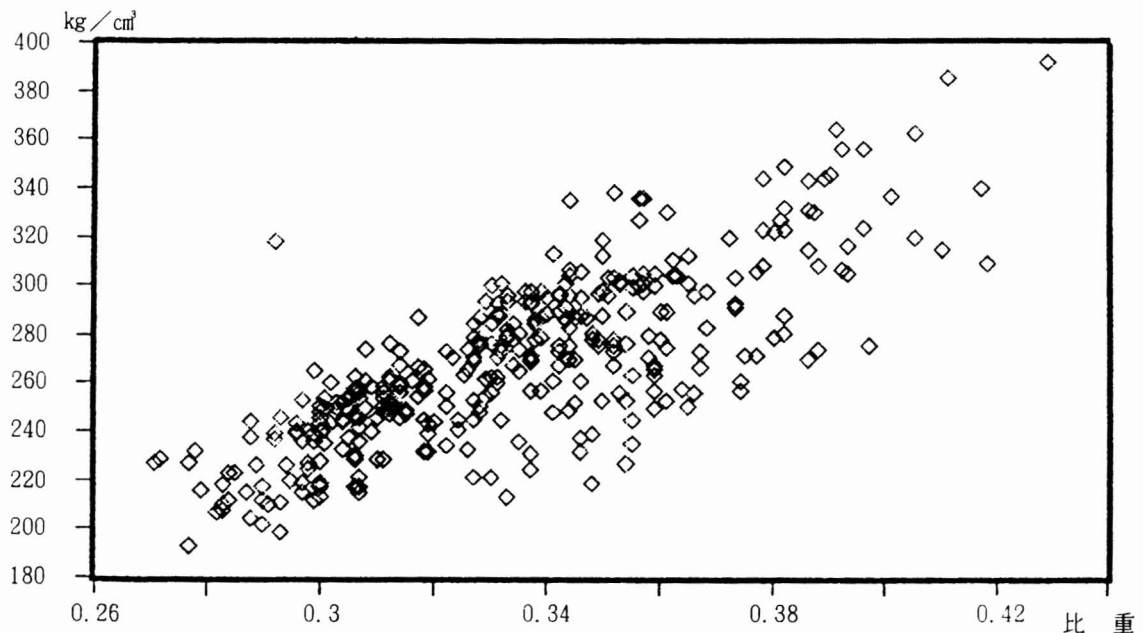


図-15 縦圧縮強度と比重

—19)。圧縮強度，圧縮ヤング係数をそれぞれの比重で除して比強度・比ヤング係数を得た。

比強度・比ヤング係数においては健全材（被害類別0）と被害材（被害類別1～5）とでは平均値には有為な差はもはや認められない。健全材と被害材の強度値の差は比重の差に起因するものと判断した。

比強度と被害度との関係から，材面に変色の発生する段階では強度の劣化はないものと推察される。それでは被害素材は強度性能の上から安心して使えるのだろうか。被害が腐朽にまで及ぶとなると強度性能も低下すると考えられるが，今回の試験では確認できなかった。市場で購入した素材からは腐朽部分をほとんど得られなかったためである。腐朽のすすんだ素材が市場に流通されることは，現実には少ないのかもしれない。

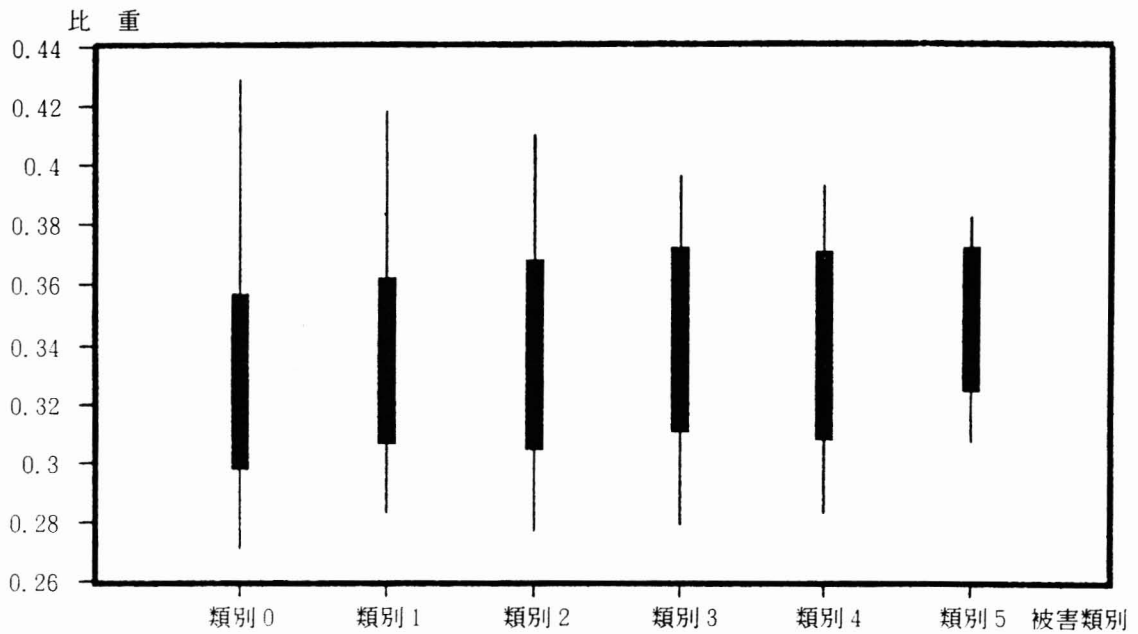


図-16 被害の類別ごとの比重

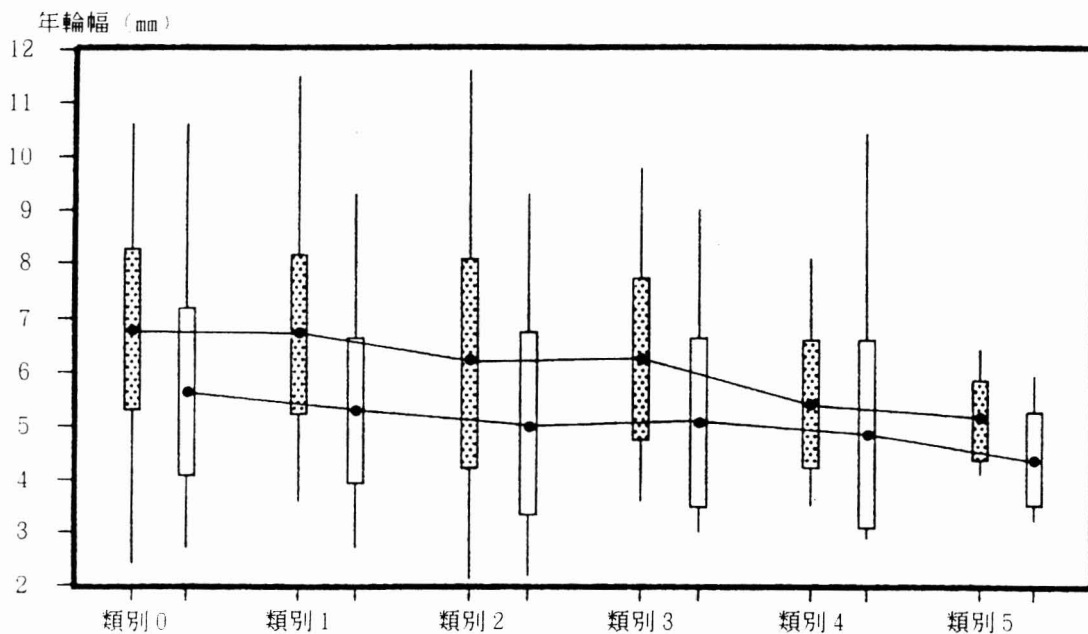


図-17 被害の類別ごとの年輪幅

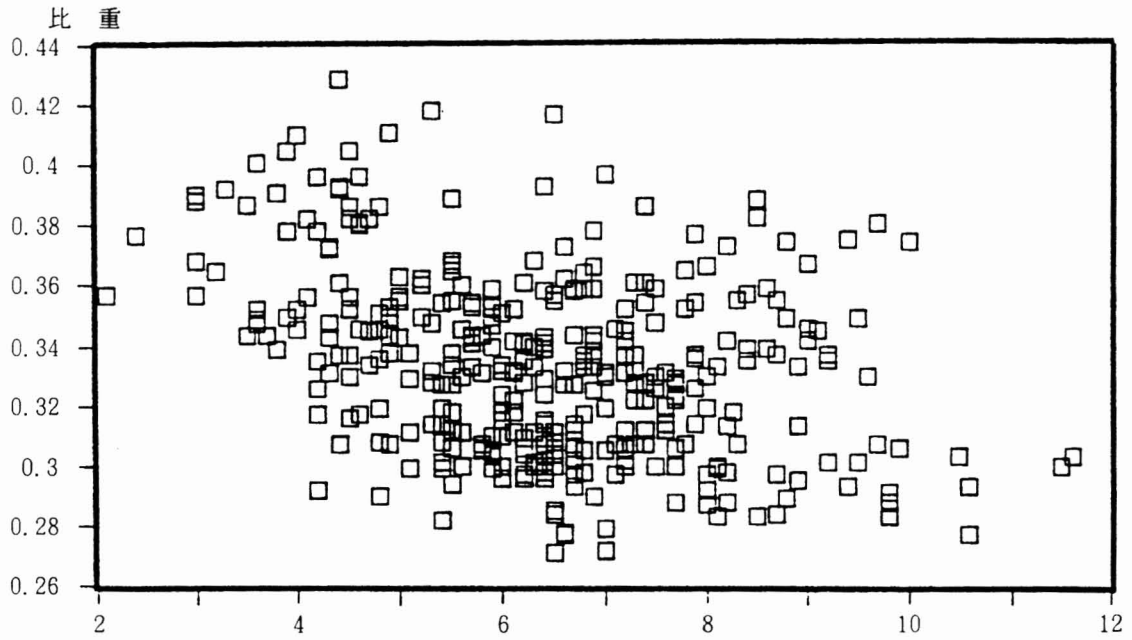


図-18 平均年輪幅と比重

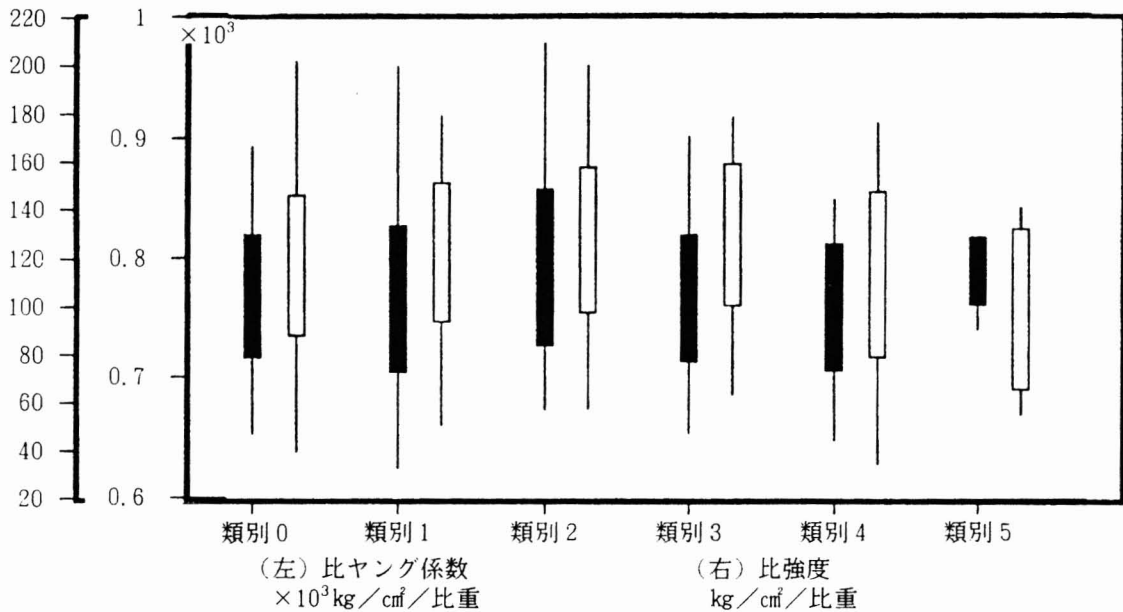


図-19 被害度と圧縮比強度・圧縮比ヤング係数

4. まとめ

- (1) 現実に、市場では被害材が取り引きされている。しかし「トビクサレ」被害が落札価格によく反映されているとはいえない。
- (2) 材部に変色をきたす程度の被害材であれば特に強度性能が低下しているとはいえない。
- (3) 変色部した素材が市場に流通される例は少ないと思われる。これは産地の使用にも関わるからであろう。
- (4) 被害の大きな(材部が腐朽しているような)立木を抱える産地では、出材もままならず林業経営の意欲を喪失しかねず施策上の配慮が強く望まれる。放置されたままの被害林分がスギノアカネトラカミキリの温床になるとすればなおさらであろう。

- (5) 今後に残された課題として、どの程度(腐朽程度)の被害材までならば、強度性能上問題なく使えるかを明確にする必要がある。
- (6) 本被害の実効ある予防方法の確立が求められる。

参考文献

- 1) 小林富士雄編著: スギ・ヒノキの穿孔性害虫 59~100, 1982, 創文
- 2) 日本民族資料館: 図説長野県のカミキリムシ1981, 東京法令出版
- 3) 杉山英男: 建築構造学体系22, 26~27, 1972, 彰国社
- 4) 齊藤諦: スギ良質材の生産を疎外する穿孔性害虫の防除に関する研究, 1978, 山形県林試研報
- 5) 槇原寛: スギノアカネトラカミキリの被害と防除 1988, 林業科学技術振興所