

「富山県産スギの材質と強度」

平成12年 3 月

富山県林業技術センター

発刊にあたって

スギは、わが国の主要な樹木として森林を形づくってきました。量的に多く、しかも木理が通直で、材質が軟らかく加工しやすいこともあり、古来より、神社・仏閣、住居、家具、その他各種生活用具など、私達日本人の心と生活に広くとけ込んできました。また、スギは日本林業の中心樹種として、林業関係者の生活や収入の重要な源となってきました。

しかし、最近の林業は、戦後植林されたスギが伐期に近づいているにもかかわらず、担い手の不足、原木価格の低迷、その他の要因によって非常に厳しい状況に置かれています。

「人と地球環境保全の時代」と言われる21世紀を目前に控え、森林・林業の重要性が高まりつつある今、いかに森林を持続的に管理、経営し、林業・木材産業が新たな活路を見出ししていくかが、まさに大きな課題となっていると言えます。

このようなことから、当センターでは、これまで林業試験場におきまして、スギ林の長伐期施業や造林育林技術、例えば下刈り、枝打ち、間伐の適正技術、あるいはシステム収穫表による林分成長を予測するシステムの開発等に取り組んで来ました。また、木材試験場では、県産スギの材質、強度、あるいは製材適正木取り法や人工乾燥法、またボードの製造技術、表層WPC床材等各種表面改質材、防腐処理法の開発等にも取り組んで来ました。これらの成果につきましては林業技術センター研究成果発表会、「吉峰だより」、「木試だより」、研究報告、さらに「緑」、「樹」等で随時発表するとともに、林業普及指導事業との連携のもとに普及されつつあります。

今回発刊しました「富山県産スギの材質と強度」は、木材試験場が創設以来30年にわたって取り組んできたスギに関する研究のうちで特に材質と強度に関する研究成果を取りまとめたものです。これらは単に小試片による実験室データではなく、できるだけ実用性の高い実大材によるデータを中心としたものであり、本県のスギ利用を考えていく上で基本となるスギの基礎データ集として関係者のご活用を切に願っております。

なお、本誌は木材試験場材料加工課の中谷副主幹研究員が中心となって精力的に研究を進め、取りまとめたものです。

終わりにになりましたが、調査および発刊に、ご支援ご協力いただいた関係各位に厚く感謝の意を表します。

平成12年3月

富山県林業技術センター所長 茅原 正毅

「富山県産スギの材質と強度」

目 次

発刊にあたって		
1.	はじめに	4
2.	本資料を使用するにあたって	4
3.	丸太	
3.1	丸太の形質	
3.1.1	細り 丸太の細り	6
3.1.2	曲り 丸太曲り（直径比） 丸太曲り（長さ比） 丸太曲り量（長さ別）	6
3.1.3	平均年輪幅	8
3.1.4	市場における丸太形状調査 曲り、年輪数、年輪幅	9
3.1.5	丸太心材率 直径と心材率 高さと心材率	10
3.1.6	丸太重量	12
3.1.7	丸太比重	13
3.2	丸太ヤング率	15
	1) 丸太ヤング率の計測方法	
	2) 丸太ヤング率分布 年輪幅と丸太ヤング率 比重を測定しない場合の丸太ヤング率	
	3) 丸太ヤング率の高さ方向変化	
3.3	丸太の曲げ強度	18
4.	材質	
4.1	成長量	19
4.2	樹幹内含水率 辺心材含水率分布 含水率の半径方向変化	21
4.3	容積密度数の樹幹内分布 容積密度数分布 容積密度数の半径方向変化	25
4.4	比重の樹幹内分布 辺心材生材比重の分布 生材比重の半径方向変化	27
4.5	強度的性質の樹幹内分布 ヤング率の樹幹内分布 曲げ強度の樹幹内分布	31
4.6	県産スギ各品種の無欠点材強度性能	36
5.	製材	
5.1	製材材質	37
	1) 生材時含水率	
	2) 比重	
	3) 生材時の比重と含水率の関係	
	4) 平均年輪幅の分布	

5) 繊維傾斜の分布	
6) 曲りの分布	
5.2 製材の実大曲げ性能	・・・ 41
5.2.1 製材の実大曲げ強度データの扱い	・・・ 41
5.2.2 実大曲げ強度性能	・・・ 42
5.2.3 構造用製材 JAS による目視等級区分	・・・ 43
5.2.4 構造用製材 JAS による機械等級区分	・・・ 44
5.2.5 製材材質と強度性能の関係	・・・ 45
5.2.6 実大材付属データ	・・・ 46
縦振動ヤング率と曲げヤング率の関係	
丸太ヤング率と製材ヤング率の関係	
製材の乾燥による寸法、ヤング率の変化	
計器による含水率と全乾法の違い	
5.2.7 品種による強度性能の違い	・・・ 50
1) タテヤマスギ	
2) ボカスギ	
3) 品種による実大強度性能の違いー全国ー	
4) 県産スギの実大曲げ性能まとめ	
5.2.8 間伐材の特性	・・・ 53
5.2.9 スギ材の許容応力度と全国のスギ実大曲げ強度性能	・・・ 54
6. 柱の圧縮性能	・・・ 56
1) スギ実大材の圧縮性能 (全国)	
2) 座屈性能	
3) 柱の座屈耐力の推定	
7. 集成材用ラミナ	・・・ 59
ラミナの歩留まり	
ラミナの収縮率	
ラミナのヤング率分布	
丸太ヤング率測定によるラミナヤング率の推定	

執筆： 木材試験場 材料加工課 中谷 浩

1. はじめに

建築基準法の性能規定化、住宅品質確保法による住宅性能表示、瑕疵補償制度の実施など、建築行政施策が大きく変わろうとしていることから、木材の主要な需要先である建築業界でも急速な対応を迫られています。このような一連の動きは、規制緩和に伴う産業の活性化、国際標準化による貿易障壁の撤去、さらには関西大地震をきっかけに強くなった消費者保護も目的としています。このため、開発力、性能、価格、さらに環境を軸として、海外資材も含めた激しい競争原理の中で今後の住宅産業が動いていくことが予想されます。

このような状況下で県産スギ材の利用促進を考えていく場合の重要な観点は、住宅を含めた建築物が性能を明示、保証していかなければならないことであり、それに伴って材料供給側にも性能の明示と保証を求められてくることにあります。すなわち、これからは材料品質を明確にしていくことが重要であり、これが需要を確保するための基本的な要件となると考えられます。したがって、県産スギの需要拡大を図るためには、県産スギの性能を実用レベルでいかに明確化していくかが重要な課題となります。

当场では平成9年から11年の3カ年に亘って、住宅資材性能規定化対策事業の中で富山県産スギの実大材のデータ蓄積を進めてきました。最終年度にあたって、本事業で得られたデータに加えて、これまで富山県林業技術センターで蓄積されてきた実大材を含めた数多くのデータを一括して整理し、まとめることとしました。

ここでは県産スギのデータに関して、単に平均値のみではなく、頻度分布のデータまで細かく記載することとしました。これは、県産スギの供給あるいは生産体制の整備までを具体的に計画しようとした場合、たとえば県産スギの集成材化を例にとれば、単にラミナの性能の平均値やどんな集成材ができるかだけでなく、ラミナの歩留まり、狂いの程度と割合、ラミナのヤング率分布がどの程度か等、詳細な技術情報がわからなければ、確度の高い製造計画ができないと考えたためです。そのために、やや技術的に過ぎるくらいはありますが、データの保存とオープン化の意味も含めて可能な限り詳細な情報まで整理することとしました。

スギ材の利用は、住宅分野に限らず家具、土木等様々な分野での展開があります。そのため、丸太重量など建築とは関わりがなさそうなものも記録することとしましたが、内容的には材質と強度性能に限られています。内容は、建築家、設計士、工場技術者、林業行政等の技術者を想定してまとめていますので、木材用語や強度関係の用語の説明は省略しています。このため難解な点があるかもしれませんが、ご容赦下さい。また、今回のデータは、考察して整理する研究報告等とは異なり、生データを単純に整理した形でまとめています。したがって、2つのデータ間で整合性がとれず、どちらを用いたらよいか迷う場合があるかもしれません。試料の種類、背景でどうしても説明がつかない場合には、対象に最も近い材料のデータを利用するのが適当と思われる。

2. 本資料を使用するにあたって

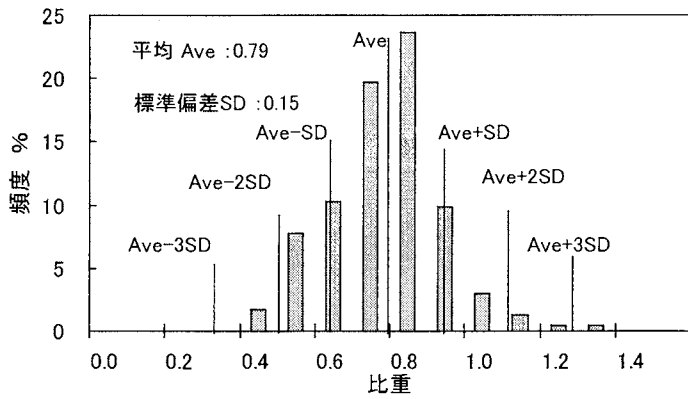
【 頻度分布 】

○頻度分布のグラフの場合は、基本的に以下のような形で記載しました。右欄の表は、棒グラフの階級と頻度の値です。階級の値は、階級の下限の値となっています。表で、比重0.3の階級は、比重が0.3から次の0.4まで、つまり0.3以上0.4未満の範囲を示します。

○グラフには、平均（略字：Ave）と標準偏差（略字：SD）、試験体数（nで記載）が記載されています。標準偏差とは標本データのばらつきを表す指標で、大きな程ばらつきが大きいといえます。また、標準偏差を平均値で除してパーセントで表したものを変動係数と呼びます。

平均値±標準偏差、±標準偏差の2倍、±標準偏差の3倍の間に、全データの68%、95%、99%が含まれてきます。これは統計計算上では正確ではありませんが、実用上では十

分利用できると思いますので、安全性を考えて設定する場合などの参考にしてください。

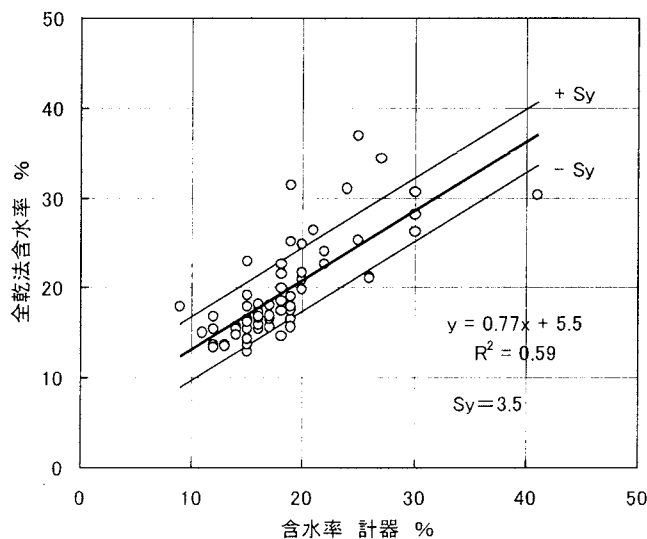


比重	頻度 %
0	0.0
0.1	0.0
0.2	0.0
0.3	0.0
0.4	1.7
0.5	7.7
0.6	10.3
0.7	19.7
0.8	23.6
0.9	9.9
1.0	3.0
1.1	1.3
1.2	0.4
1.3	0.4
1.4	0.0
1.5	0.0

【 相関分布 】

相関関係の場合は、関係式と決定係数 (R^2)、標準誤差 (Sy) を記載しました。決定係数 (寄与率) は、相関の程度を表すもので、相関係数の 2 乗に相当しデータが完全に一直線上に並べば $R^2=1$ となります。1 に近いほど、相関関係が強いと見てください。

標準誤差は、頻度分布の標準偏差に相当するもので、関係式とデータとの推定誤差を表しています。これも、大きいほどばらつきが大きいとみなせます。ここでも、標準偏差と同様に関係式の ± 標準誤差の範囲にデータの 68%、同じく ± 標準誤差の 2 倍、3 倍の間に 95%、99% のデータが含まれて来ますので、必要に応じて利用してください。



3. 丸太

3.1 丸太の形質

3.1.1 細り

長さ3ないし4mの丸太181本に関して、長さ1m当りの直径細り量 (cm) を図3-1、表3-1に示す。計測した丸太の直径は、平均24.8cm (13.5~37.5cm)。

○丸太の直径、年輪数、年輪幅、品種と細りに明確な傾向は認められなかった。

○全国的には、1m当りの細りは1cm程度とされており、県産スギ丸太は細りがやや強い傾向にある。

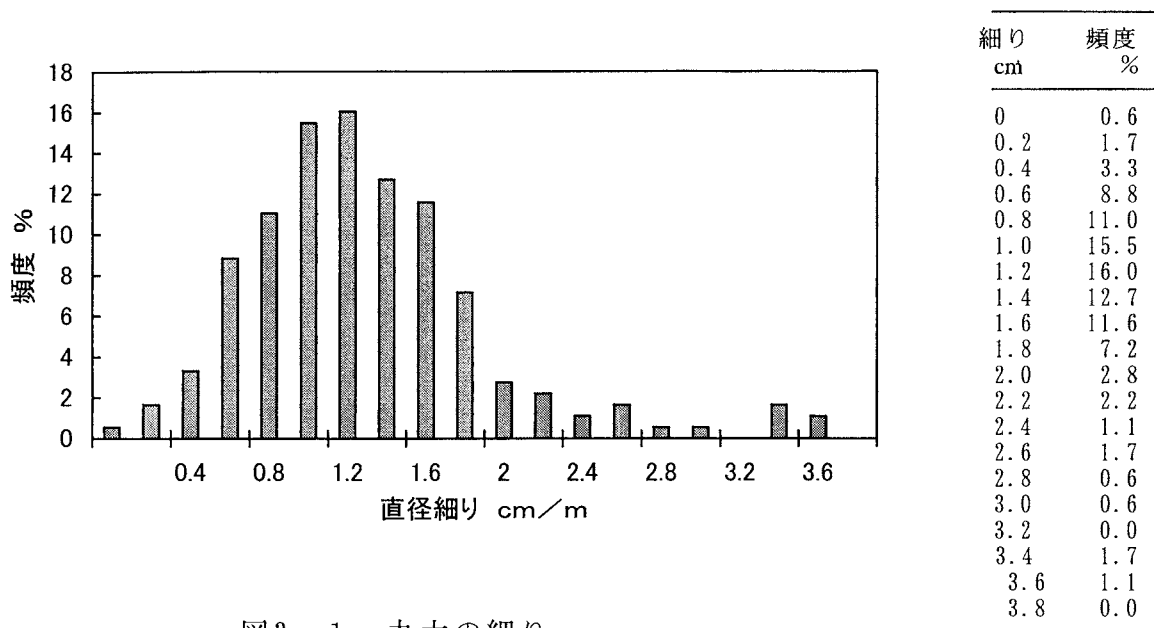


図3-1 丸太の細り

表3-1 丸太細りの概要

細り	(直径) cm / 1 m
平均	1.45
最小値	0.20
最大値	3.76
標準偏差	0.64
変動係数	44.1 %
本数	181 本

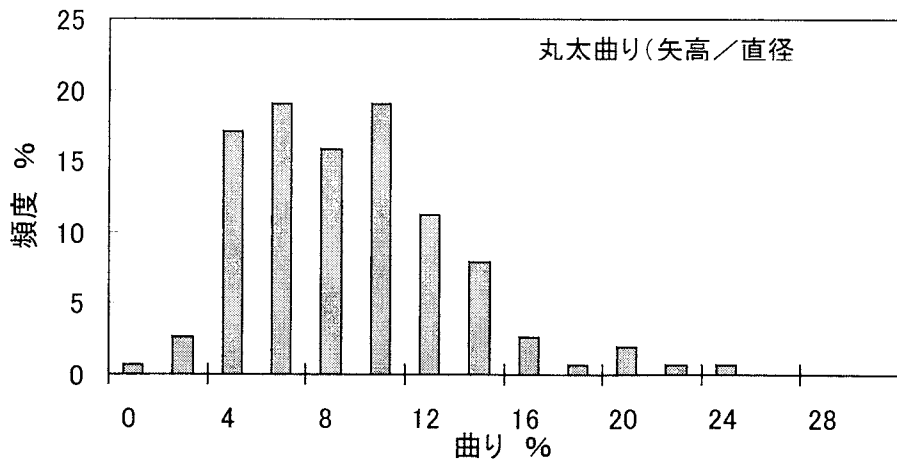
3.1.2 曲り

長さ3、4m丸太に基づく、丸太曲り量の分布を図3-2-1に示す。測定丸太数152本、末口直径は6.5cmから37cmの丸太で平均直径は21.4cmである。

丸太の曲りは「素材の日本農林規格」に従うと、曲り量 (矢高) / 末口直径の百分率で表わされる。参考として、図3-2-2に矢高を丸太の長さに対する百分率で示した。

○長さ3m材で平均1.9cm、4m材で平均2.5cm程度の曲り量となる。

○3mと4m材では長さによる違いは認められない。また、直径、年輪数、年輪幅と曲り量の間に明確な傾向は認められない。



曲り %	頻度 %
0	0.7
2	2.6
4	17.1
6	19.1
8	15.8
10	19.1
12	11.2
14	7.9
16	2.6
18	0.7
20	2.0
22	0.7
24	0.7
26	0.0
28	0.0
30	0.0

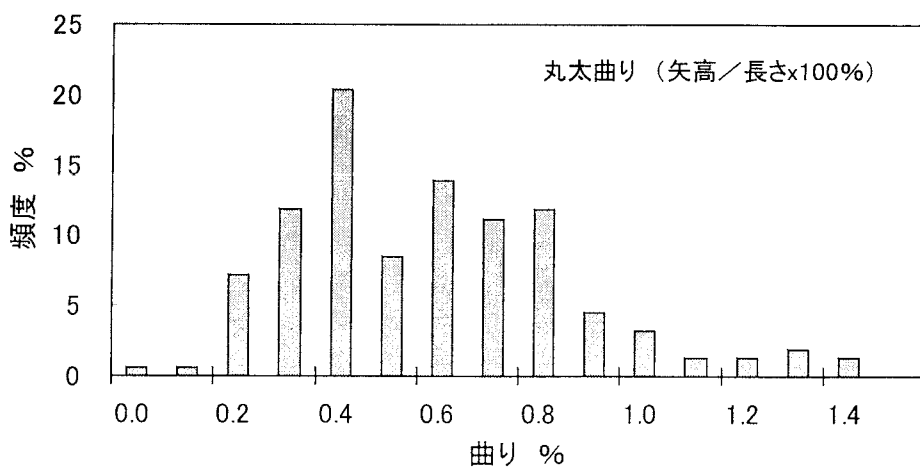
図3-2-1 丸太の曲り (直径比)

表3-2 丸太の曲り (直径比)

丸太の曲り (直径比) %	
平均値	9.7
最小値	0
最大値	24
標準偏差	4.2
変動係数	43.2 %
本数	152

表3-3 丸太の曲り (長さ比)

丸太の曲り (長さ比) %	
平均値	0.63
最小値	0.00
最大値	1.47
標準偏差	0.28
変動係数	43.8 %
本数	152



曲り %	頻度 %
0	0.7
0.1	0.7
0.2	7.2
0.3	11.8
0.4	20.4
0.5	8.6
0.6	13.8
0.7	11.2
0.8	11.8
0.9	4.6
1.0	3.3
1.1	1.3
1.2	1.3
1.3	2.0
1.4	1.3
1.5	0.0

図3-2-2 丸太曲り (長さ比)

表3-4 丸太曲り量（長さ別）

	丸太長さ 3 m				丸太長さ 4 m			
	直径 cm	曲り量 cm	曲り 直径比	% 長さ比	直径 cm	曲り量 cm	曲り 直径比	% 長さ比
平均値	20.5	1.9	9.38	0.64	22.6	2.5	10.04	0.63
最小値	11.2	0.0	0.00	0.00	6.5	0.7	2.96	0.17
最大値	33.0	4.4	22.00	1.47	37.0	6.0	24.00	1.46
標準偏差	3.7	0.8	3.96	0.26	6.7	1.2	4.44	0.30

3 m丸太：83本、4 m丸太69本

3. 1. 3 平均年輪幅

直径6.5~37cmまでの182本の丸太の末口で測定した結果を図3-3、表3-5に示す。県産スギ丸太の平均は4.3mm。

○丸太の年輪幅は、基本的に年輪数の影響を受けており、年輪数が大きくなると小さくなる傾向にある（図3-4参照）。同図では便宜的に直線で示したが、年数が大きくなると成長量（年輪幅）が小さくなるため、平均年輪幅は曲線型で低下すると考えられる。

○ボカスギは、同一年輪数で比べればタテヤマスギより年輪幅が大きい傾向にある。（図3-5）

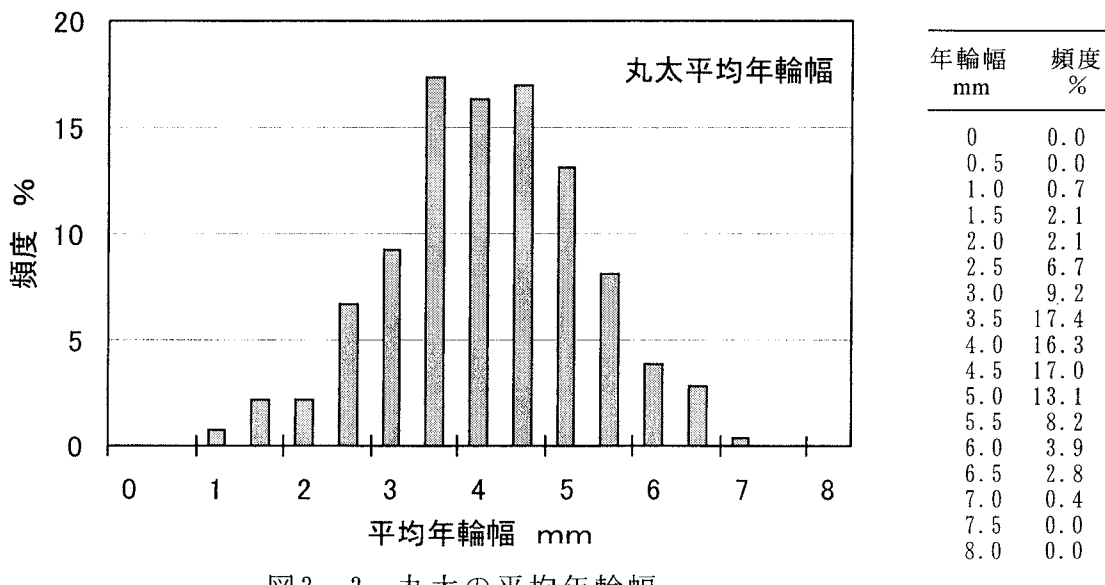


図3-3 丸太の平均年輪幅
表3-5 年輪幅の概要

	直径 cm	年輪数	年輪幅 mm
平均値	24.0	31.3	4.3
最小値	6.5	11.0	1.3
最大値	37.5	88.0	7.5
標準偏差	5.6	12.8	1.1
本数	282		

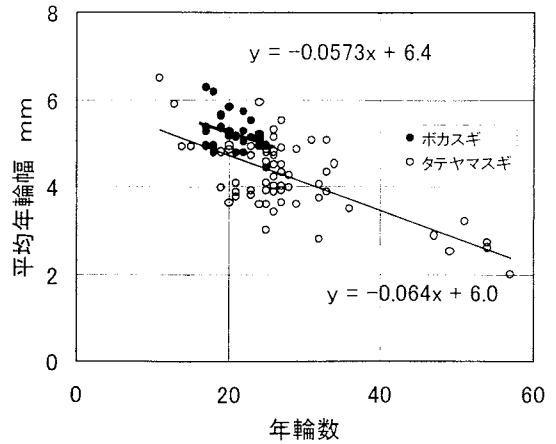
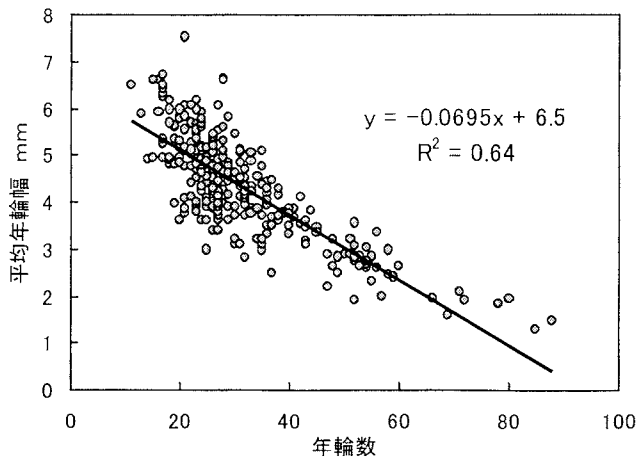


図3-4 年輪数と平均年輪幅の関係 図3-5 品種別の年輪数と平均年輪幅の関係

3.1.4 市場における丸太形状調査

富山県森森林組合連合会共販所に県内各地から出荷されたスギ丸太213本について形状を調査した結果（富山県林政課内 県産材利用促進研究会）を参考として図3-6、7、8に示す*）。この結果は、3.1.2に比べて、より一般的条件と考えられるが、値はほぼ同様であった。

表3-6 丸太形状の市場調査結果

末口径	元口径	年輪数	平均年輪幅	曲り
20.4cm	25.3cm	28	4.1mm	9.2%

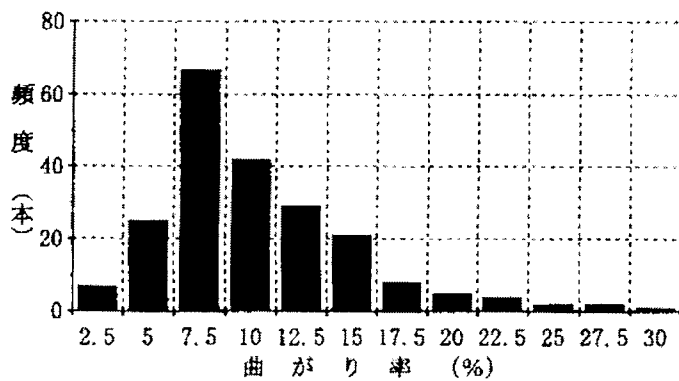


図3-6 丸太の曲り（市場調査）

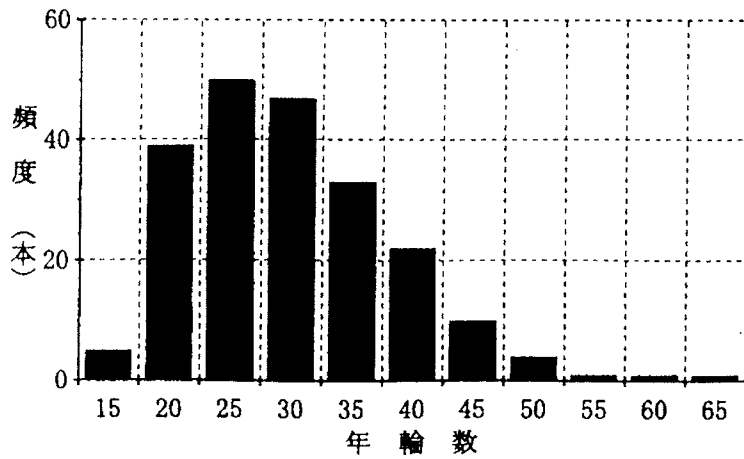


図3-7 丸太の末口年輪数 (市場調査)

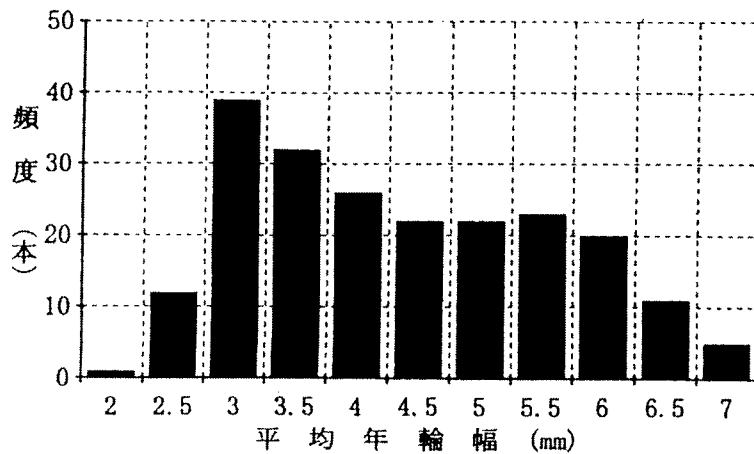


図3-8 丸太の平均年輪幅 (市場調査)

*) 「県産材需給実態調査報告書」、県産材利用促進研究会、1998

3. 1. 5 丸太心材率

1) 直径と心材率

丸太の心材率は、心材部直径／直径の百分率で与えられる。

○心材率は直径あるいは年輪数の影響を受けている。心材化は樹皮から一定年数を経過してから起きてくるため、直径が小さい場合には全て辺材となり心材率0%、大径材になるほど100%に近づいていくことになる。今回のデータでは50年生の丸太で心材率80%弱であった。(図3-9)

○心材化にはスギの品種による違いが認められ、ボカスギはタテヤマスギよりも心材率がやや低い傾向にある(図3-9、表3-7)。

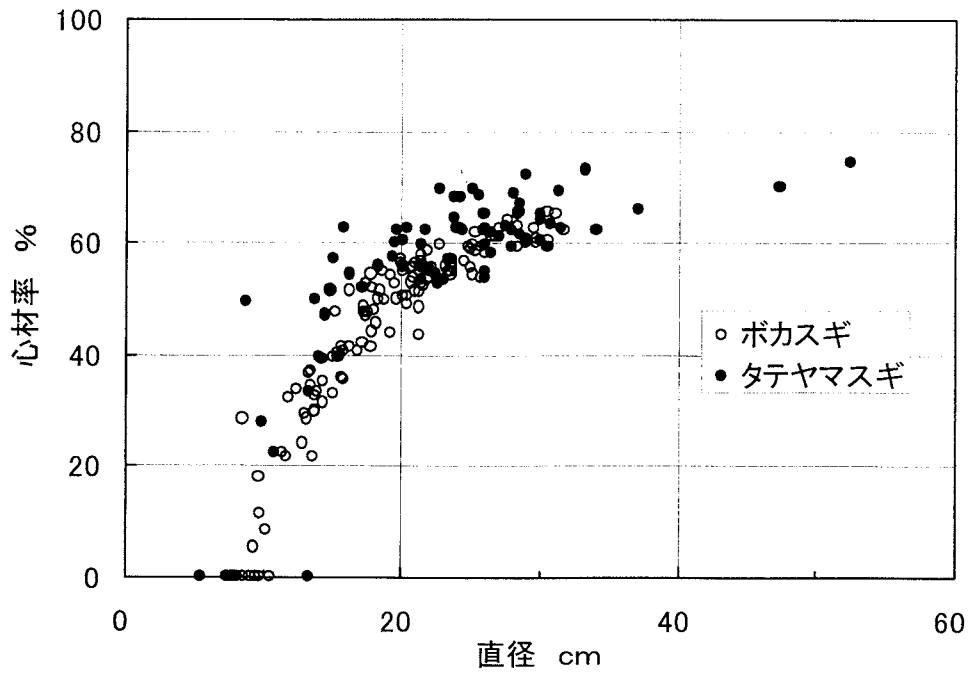


図3-9 直径と心材率の関係

表3-7 直径と心材率の関係 (品種別)

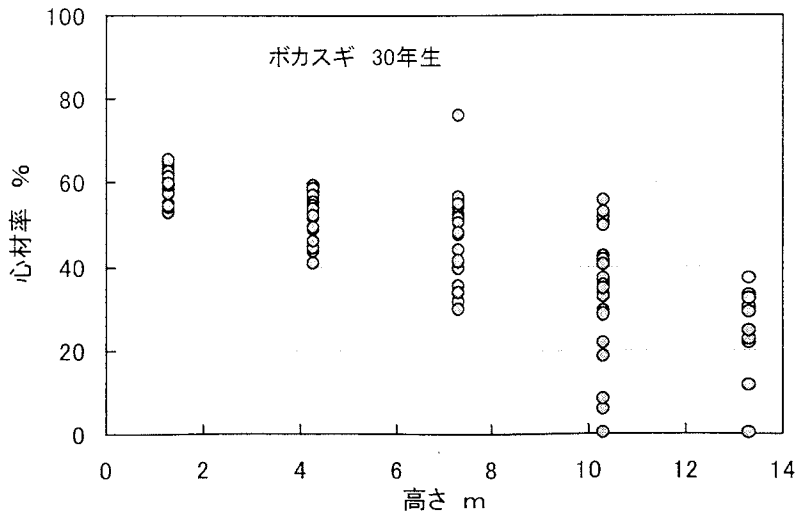
直径階	総 数		タテヤマスギ		ボカスギ	
	本数	心材率 % 平均 (SD)	本数	心材率 % 平均 (SD)	本数	心材率 % 平均 (SD)
6~	24	10.3 (14.0)	6	16.5 (20.3)	18	8.2 (11.3)
12~	32	36.7 (11.1)	9	42.3 (18.3)	23	34.4 (5.8)
16~	45	52.3 (6.3)	6	57.1 (19.4)	25	49.1 (4.9)
20~	83	56.7 (5.7)	15	59.0 (5.4)	33	54.1 (3.2)
24~	33	60.8 (3.9)	16	62.2 (4.4)	17	59.5 (3.0)
28~	28	63.5 (3.3)	18	64.0 (3.6)	10	62.5 (2.3)
32~52	5	69.1 (5.0)	5	69.1 (5.0)		
本数	250		75		126	

SD : 標準偏差

2) 高さと心材率

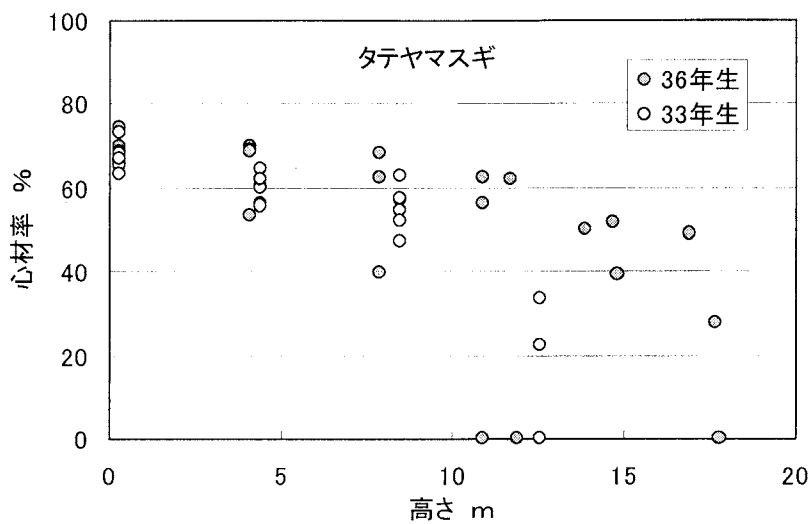
○樹幹の上部に向かうほど年輪数が小さくなるため、心材率は、小さくなる。ただし、心材率は高さばかりではなく樹齢の影響も受けるため、図3-10は、30年生程度のスギに関する数値として理解されたい。

○ボカスギはタテヤマスギに比較して心材率はやや低めである。



高さ	心材率 %
1.3m	60.0
4.3m	53.2
7.3m	48.8
10.3m	32.9
13.3m	15.0

図3-10 心材率の高さによる変化 (ポカスギ30年生)



高さ	心材率 %
0.3m	68.3
4.3m	61.9
8.3m	56.4
12.3m	31.8

図3-11 心材率の高さによる変化 (タテヤマスギ33, 36年生)

3. 1. 6 丸太重量

- 丸太の重量は末口直径の2乗との相関が高く、以下の式で推定可能である。
- 直径25cmを越える丸太では、ばらつきが増加しているが、これは1番玉が含まれてくるため根張り部の影響が関与したものと思われる。
- 以下の推定式は、長さの異なるものには適用できない(4m材は3.8~4.2mを含む)
長さが異なる丸太の重量は、3.1.7丸太比重から求めることができる。

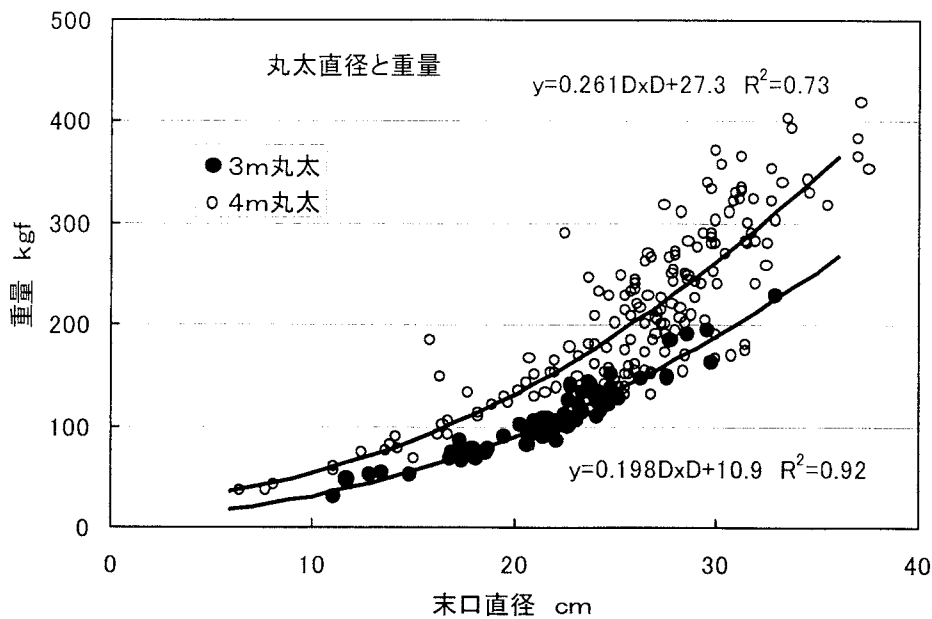


図3-12 丸太重量の推定

重量推定式

3m材	$W=0.198D^2 + 10.9$	$R^2=0.92$	$Sy=10.5$
4m材	$W=0.261D^2 + 27.3$	$R^2=0.73$	$Sy=42.7$

W：重量 kgf 、 D：末口直径 cm
 Sy：標準誤差

3. 1. 7 丸太比重

丸太の比重は、生材時（伐採直後とは限定されず、未乾燥状態程度と想定されたい）の比重を意味している。この場合、丸太の体積の求め方により値が異なるので注意を要する。

ここでは、断面を以下の3種類で扱い体積を求めた。

末口自乗法：丸太市場で材積計算に一般に用いる方式で末口直径の2乗に長さをかけて体積を求める。太りを無視する代わりに末口直径を持った角材とみる。

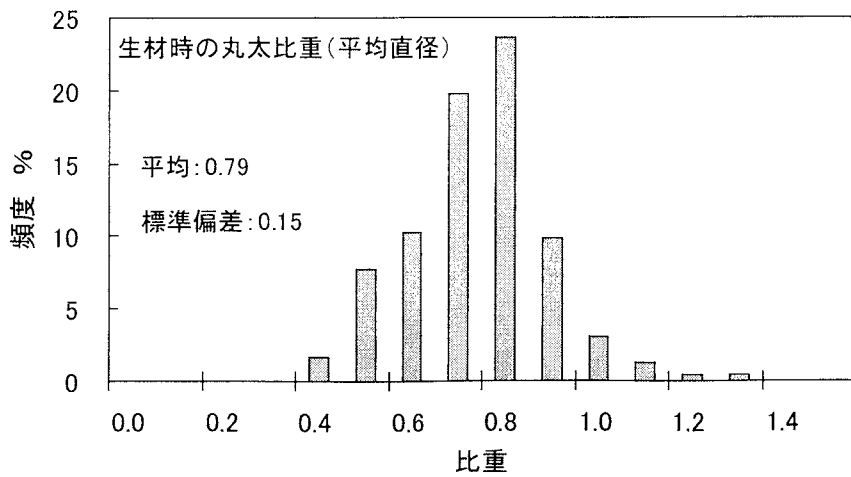
この場合、長さが異なってくると、材積評価への影響度が異なってくる（長くなると実材積より低く見積もる）ので注意を要する。

中央直径法：丸太長さの中央部の直径を持つ円柱として材積を計算

平均直径法：末口と元口の平均直径を持った円柱として材積を計算

○平均直径に基づく丸太の比重は平均0.79となった（図3-13）

同一の丸太で3種の測定法を用いた場合、比重は中央直径（0.706）、末口直径（0.713）、平均直径（0.725）の順で大きくなる（表3-9）。



比重	頻度 %
0	0.0
0.1	0.0
0.2	0.0
0.3	0.0
0.4	1.7
0.5	7.7
0.6	10.3
0.7	19.7
0.8	23.6
0.9	9.9
1.0	3.0
1.1	1.3
1.2	0.4
1.3	0.4
1.4	0.0
1.5	0.0

図3-13 丸太生材比重の分布

表3-8 丸太の生材時比重

		本数	平均値	最小値	最大値	標準偏差	変動係数 (%)
全体	末口自乘法	233	0.79	0.43	2.18	0.21	26.5
	中央直径法	138	0.71	0.45	1.18	0.12	17.2
	平均直径法	182	0.79	0.42	1.32	0.15	19.1
3 m材	末口自乘法	64	0.76	0.61	1.16	0.10	13.1
	中央直径法						
	平均直径法	64	0.82	0.68	1.06	0.08	9.3
4 m材	末口自乘法	169	0.80	0.43	2.18	0.24	29.7
	中央直径法	138	0.71	0.45	1.18	0.12	17.2
	平均直径法	118	0.77	0.42	1.32	0.18	22.8

表3-9 丸太体積測定法の違いによる比重値の違い

	直径			比重		
	末口 cm	中央 cm	平均 cm	末口自乘法	中央直径法	平均直径法
本数	87					
平均値	27.8	31.3	31.1	0.713	0.706	0.725
最小値	20.8	23.7	23.4	0.430	0.451	0.418
最大値	37.5	41.4	44.3	1.413	1.179	1.323
標準偏差	3.9	4.0	3.9	0.169	0.134	0.168

3.2 丸太ヤング率

1) 丸太ヤング率の計測方法

丸太の打撃音を計測し、丸太の固有振動数からヤング率を求める。

測定項目

FQ：固有振動周波数 (Hz)

L：材長 (cm)、D：直径 (cm)

W：重量 (kg)

ρ ：比重 ($= 4 W \times 1000 / \pi D^2$)

$$\text{丸太ヤング率 (tf/cm}^2\text{)} \quad E d = 4 \times L^2 \times FQ^2 \times \rho / 980 / 10^6$$

○比重の求め方、すなわち体積の求め方で値が異なってくるので注意を要する。

2) 丸太ヤング率の分布

図3-14に丸太比重を末元の平均直径を持つ円柱体の体積として求めた場合の丸太ヤング率の分布を示す。異なる比重計算法による場合を表3-10、11に示す。

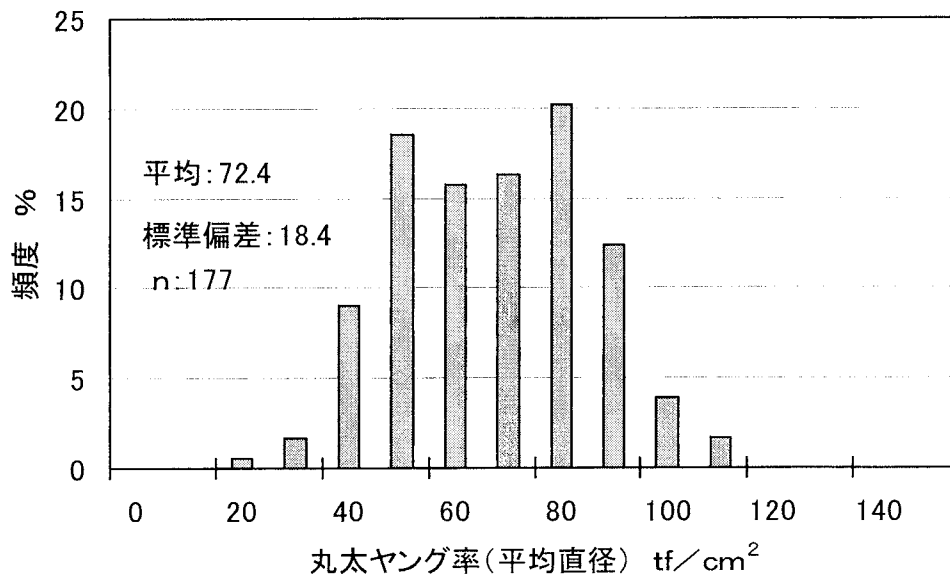


図3-14 丸太ヤング率の分布

○丸太ヤング率の平均は、平均直径法で72.4tf/cm²、中央直径法で67.7tf/cm²、末口自乗法で70.0 tf/cm² となった。平均値に大きな差は無いが、個々の値ではかなり異なってくる。特に、根張りを持つ丸太では違いが大きくなる。

○丸太のヤング率は丸太の平均年輪幅と相関を持っており、年輪幅の大きな丸太はヤング率が低い傾向にある (図3-15)。

○現場的には丸太の重量を測定できない場合も考えられるが、打撃音による周波数測定だけでも、大まかなヤング率区分は可能である (図3-16)。

表3-10 丸太ヤング率分布

ヤング率 tf/cm ²	頻 度 %		
	平均直径	中央直径	末口自乗
0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0
20	0.6	0.0	0.0
30	1.7	5.1	0.9
40	9.0	6.5	12.2
50	18.5	21.7	20.1
60	15.7	24.6	15.7
70	16.3	20.3	23.6
80	20.2	15.9	17.5
90	12.4	2.9	5.7
100	3.9	1.4	1.7
110	1.7	0.7	0.9
120	0.0	0.7	0.9
130	0.0	0.0	0.9
140	0.0	0.0	0.0
150	0.0	0.0	0.0

表3-11 材積測定法によるヤング率の違い

	平均直径	中央直径	末口自乗
平 均	72.4	67.7	70.0
最 小 値	24.5	34.1	35.3
最 大 値	118.7	124.7	133.0
標 準 偏 差	18.4	16.5	17.5
変 動 係 数	25.5	24.4	25.0

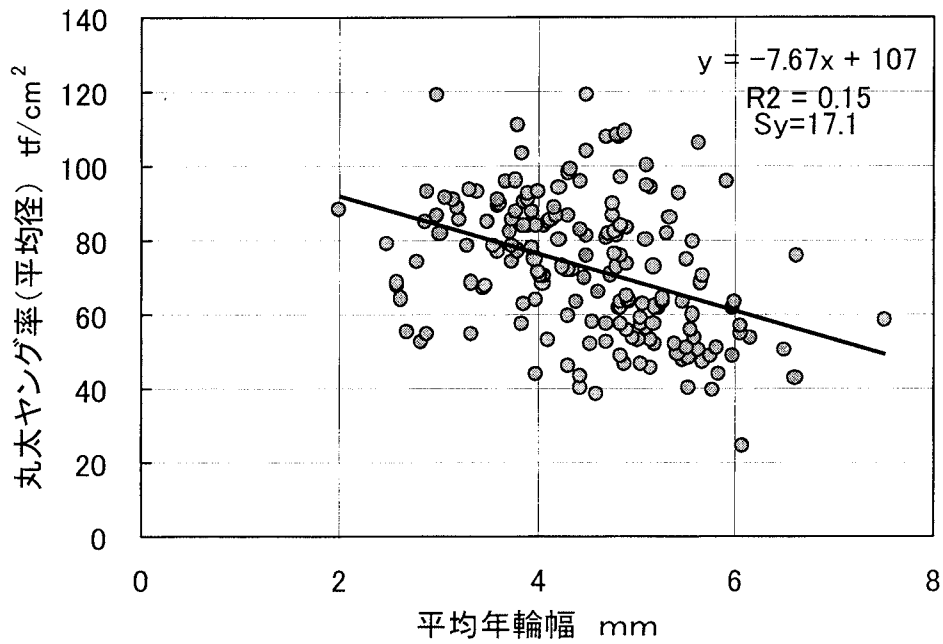


図3-15 丸太ヤング率と年輪幅の関係

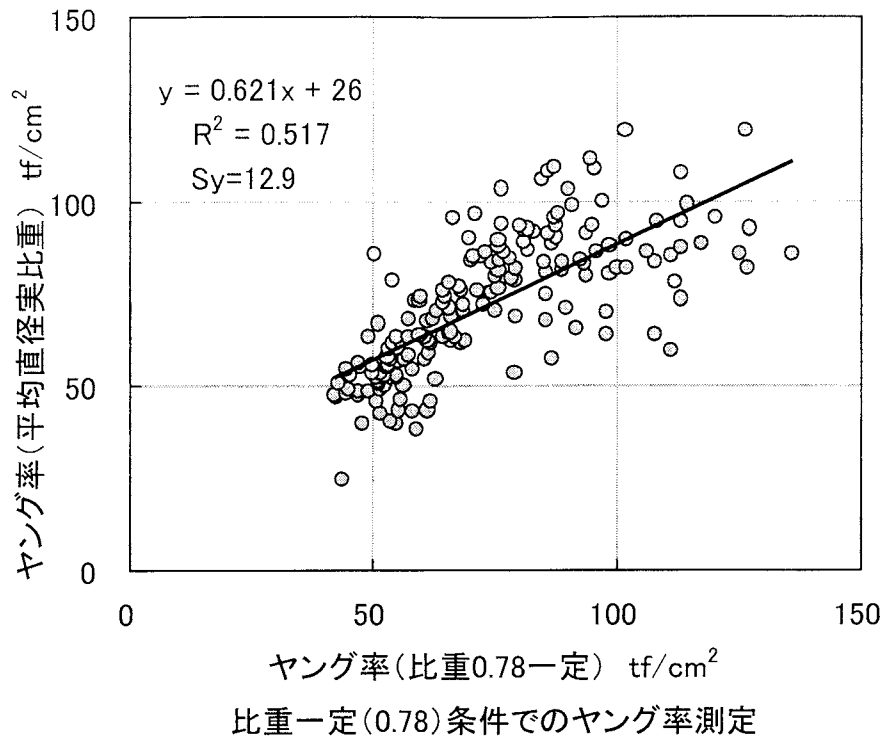


図3-16 体積を測定しない場合の丸太ヤング率予測

3) 丸太ヤング率の高さ方向変化

○丸太ヤング率は樹幹の上部に向かって大きくなる傾向にある。特にこの傾向はボカスギに顕著であり、およそ2番玉より上は平均的なスギ材のヤング率を示している。用途に応じた部位の使い分けが効率的と考えられる。

a) ボカスギ

胸高(1.3m)から3m長さで造材し、縦振動ヤング率を測定(丸太中央部直径で比重を計算)

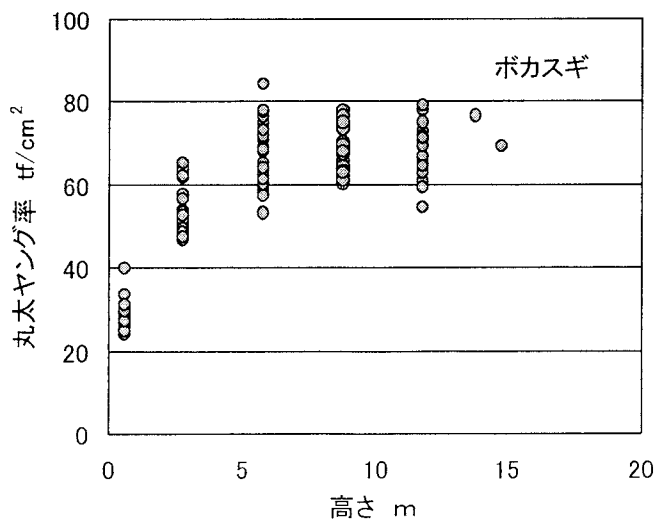


表3-12 丸太ヤング率の高さ変化

高さ	ヤング率 tf/cm^2	比
0.65m	28.9	1.00
2.8 m	54.3	1.89
5.8 m	66.4	2.32
8.8 m	67.6	2.36
11.8 m	66.9	2.34
4m以上	67.1	2.33

図3-17-1 丸太ヤング率の高さ方向変化(ボカスギ)

b) タテヤマスギ

高さ0.3mから4m長さで造材し縦振動ヤング率（末元平均直径使用）を測定

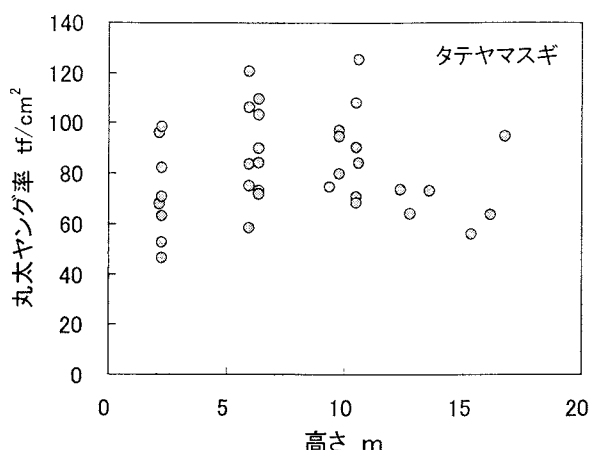


表3-13 丸太ヤング高さ方向変化（タテヤマスギ）

高さ	ヤング率 tf/cm ²	比
2.3m	71.9	1.00
6.4m	88.5	1.27
10.6m	89.1	1.29
13.0m	69.9	

図3-17-2 丸太ヤング率の高さ方向変化（タテヤマスギ）

3.3 丸太の曲げ強度

県産スギ72本の小径丸太（末口直径10~21cm、長さ2.5~3m）の実大曲げ試験の結果を図3-18に示す。試験条件は生材、中央集中荷重条件で行った。治山、土木等での間伐材を利用した構造物を設計する場合の強度性能として県産スギでは以下のようにまとめられる。

○曲げ強度は平均377kgf/cm²、標準偏差104.7kgf/cm²、下限値は202kgf/cm²となり、長期許容応力度（f b）は1/3として67kgf/cm²となることから、スギ製材に与えられている75kgf/cm²より小さめに設定するのが適当と思われる。小径材では、その多くが未成熟材で占められることと生材で試験したことが影響しているものと考えられる。

○丸太の曲げ強度は、末口の年輪数によって変化し、約13年輪で一定となる。そこで、末口年輪数13で区分すれば、13年輪以上の丸太では長期許容応力度106kgf/cm²程度で設計することも可能と考えられる。

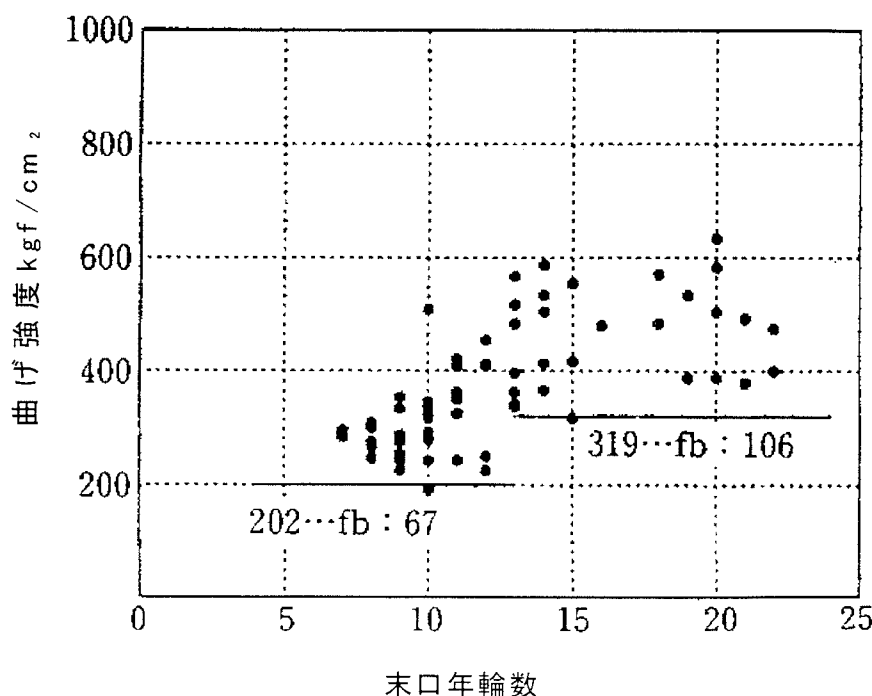


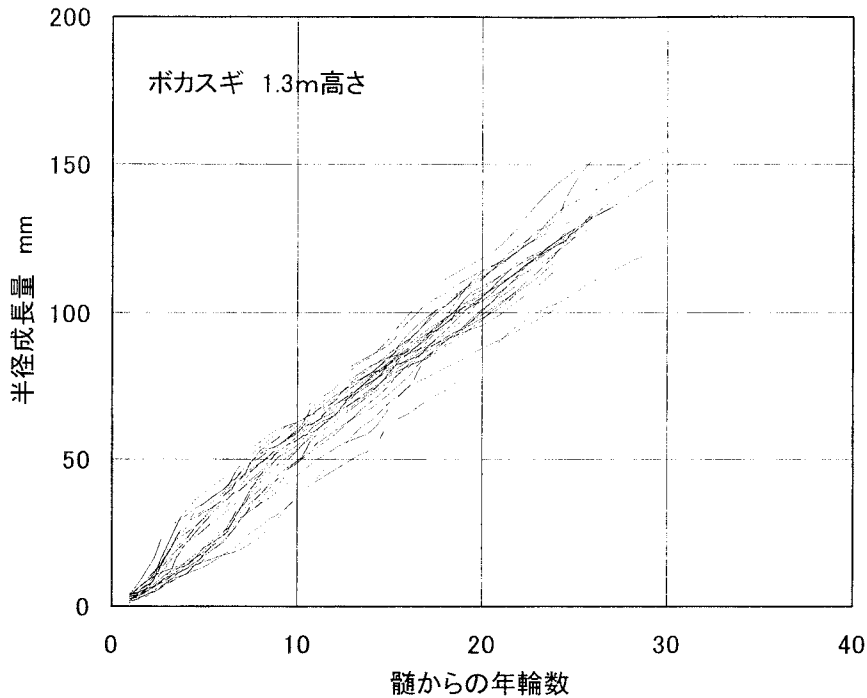
図3-18 丸太の曲げ強度性能

4. 材質

4.1 成長量

1) ボカスギ

氷見市産ボカスギ30年生（植栽本数1030本/ha、間伐なし、平均胸高直径27.4cm）林分からのボカスギ30本の胸高部（高さ1.3m）における成長量を図4-1に示す。



年輪番号	平均 mm	標準偏差 mm
0	0	0.00
1	2.8	0.78
2	6.9	2.42
3	13.3	4.85
4	19.4	6.37
5	24.7	6.70
6	30.4	6.55
7	37.0	6.70
8	43.3	6.55
9	48.7	6.00
10	54.2	5.59
11	59.5	5.62
12	64.8	5.76
13	69.9	6.14
14	74.4	6.27
15	79.5	5.70
16	84.8	5.95
17	89.9	6.64
18	94.7	7.12
19	99.6	7.53
20	104.0	7.63
21	108.4	7.72
22	112.6	7.99
23	117.9	9.38
24	122.4	9.53
25	129.6	8.13
26	132.9	9.19
27	133.8	11.49
28	135.4	16.43
29	138.8	16.41

図4-1 ボカスギの成長量

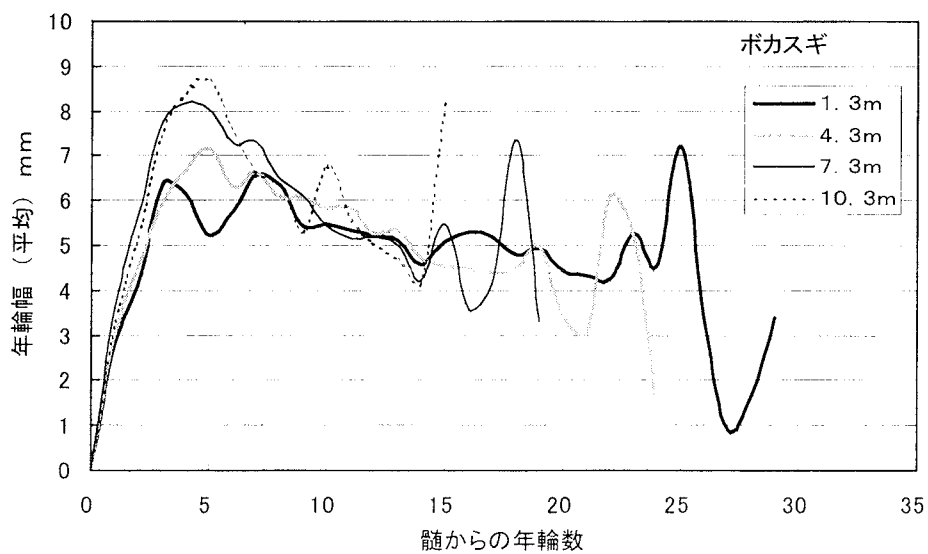


図4-2 年輪幅の変化（高さ別）

- 成長量は、植栽本数や地力など林分状況で異なるので注意すること。
- 髄から4～5年輪目が成長が最も高い。

2) タテヤマスギ

八尾町タテヤマスギ林分よりの30本。採材林分は、60年生のもの（GP1）と補植した30年生のもの（GP2）が混在している。植栽本数は3000本/ha、現存本数2000本/ha。

成長量、年輪幅は胸高部の値である。

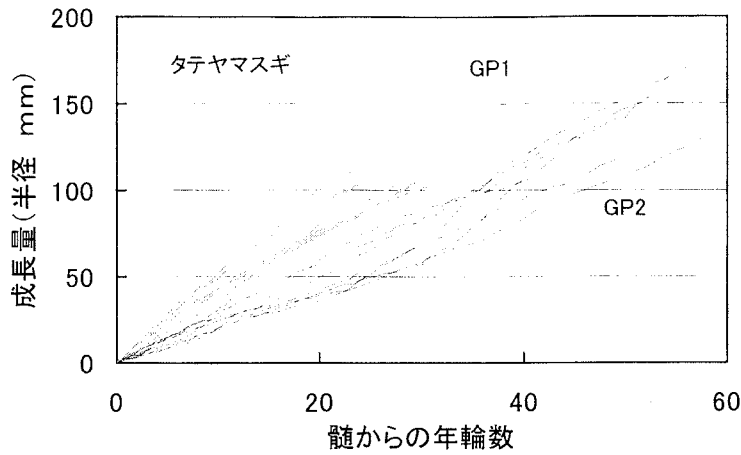


図4-3 タテヤマスギの成長量

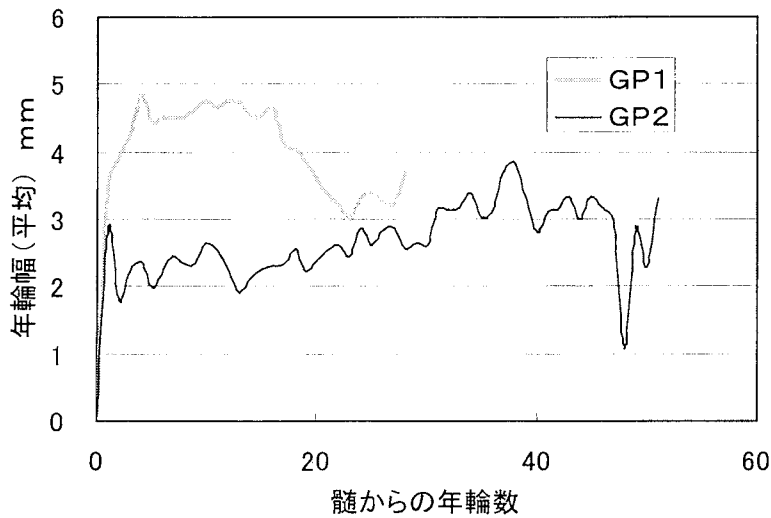


図4-4 年輪幅の変化（胸高）

年輪数	平均	GP1 SD	平均	GP2 SD
1	3.5	0.9	2.9	0.5
2	7.4	2.0	4.7	0.9
3	11.7	3.2	6.9	1.7
4	16.5	4.5	9.3	2.4
5	21.0	5.5	11.3	2.7
6	25.5	6.6	13.5	2.7
7	30.0	7.3	16.0	3.4
8	34.5	7.7	18.3	3.4
9	39.1	7.8	20.7	3.5
10	43.9	8.4	23.3	3.4
11	48.5	9.0	25.8	3.5
12	53.3	9.1	28.1	3.8
13	58.0	9.3	30.0	4.2
14	62.6	10.0	32.1	4.7
15	67.1	10.7	34.4	5.4
16	71.7	11.4	36.7	6.2
17	75.8	12.0	39.0	7.0
18	79.9	12.7	41.6	8.0
19	83.7	13.4	43.8	8.5
20	87.3	13.9	46.2	9.3
21	90.7	14.3	48.8	9.9
22	93.9	14.8	51.4	10.6
23	96.9	15.0	53.8	11.2
24	100.3	15.4	56.7	11.6
25	103.7	15.7	59.3	11.5
26	106.9	16.0	62.1	12.1
27	110.2	16.4	65.0	12.4
28	113.8	17.0	67.5	12.5
29	117.9	17.6	70.2	12.3
30	122.9	17.4	72.8	12.2
31	128.4	17.4	75.9	11.8
32	135.1	19.9	79.1	11.9
33	144.3	40.0	82.2	12.2
34			85.6	12.3
35			88.7	12.2
36			91.8	12.0
37			95.5	12.0
38			99.3	12.5
39			102.6	12.8
40			105.4	12.7
41			108.5	12.6
42			111.7	13.1
43			115.0	14.9
44			118.0	15.3
45			121.4	15.8
46			124.5	16.1
47			127.5	16.4
48			128.6	18.2
49			131.5	18.7
50			133.8	18.9
51			137.1	19.7
52			144.1	20.9
53			147.6	21.4
54			149.0	25.8
55			152.8	26.4
56			147.5	32.0
57			150.5	32.2
58			153.4	32.2
59			181.7	

4. 2 樹幹内含水率

ボカスギ（氷見市）、タテヤマスギ（八尾町）各30本の丸太から円盤を採取後、図4-5のように髓を含む柾目板を切りだし、さらに髓から樹皮に向かって2から3年輪ごとに割裂して試料を作成した。

木材の含水率は、完全に乾燥した時の重量（全乾重量）に対する、その時に含まれる水分の百分率で表す。したがって、含水率100%はもちろん200%、300%という値も出現する。ちなみに、含水率100%の状態が、木材実質と水が半分ずつの状態となる。

木材の含水率（MC %）

$$MC = \frac{(\text{重量} - \text{全乾重量})}{\text{全乾重量}} \times 100$$

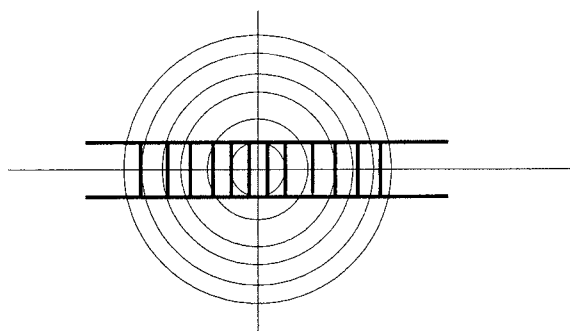
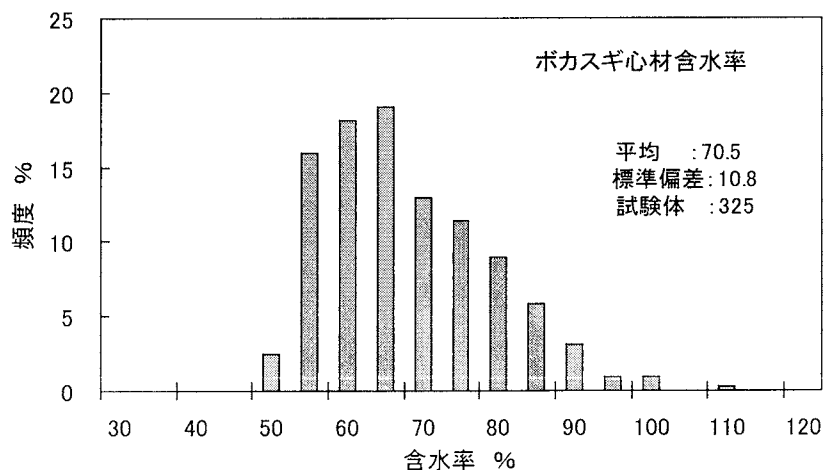


図4-5 円盤からの試料の採取

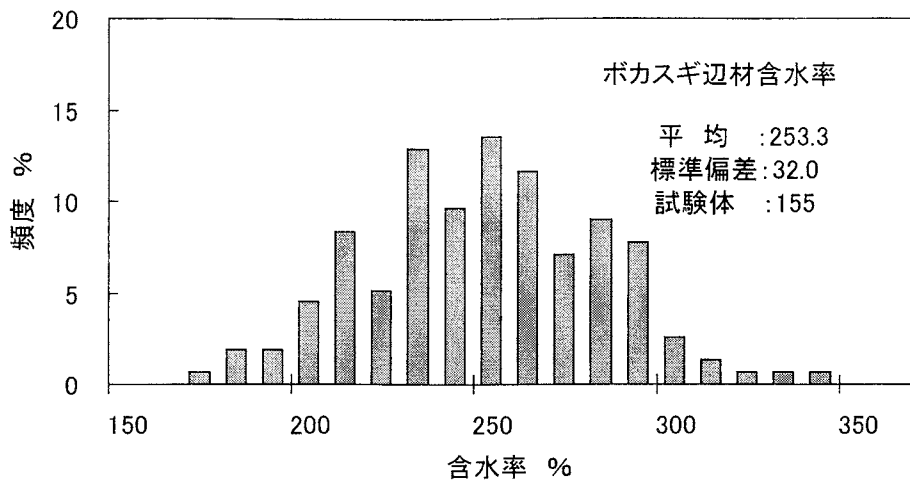
1) ボカスギ

○ボカスギ心材部の含水率は、平均70.5%、辺材部は平均253%であり、特に辺材部では変動が大きい。



含水率 %	頻度 %
30	0.0
35	0.0
40	0.0
45	0.0
50	2.5
55	16.0
60	18.2
65	19.1
70	12.9
75	11.4
80	8.9
85	5.8
90	3.1
95	0.9
100	0.9
105	0.0
110	0.3

図4-6 ボカスギ心材含水率



含水率 %	頻度 %
160	0.0
170	0.6
180	1.9
190	1.9
200	4.5
210	8.4
220	5.2
230	12.9
240	9.7
250	13.5
260	11.6
270	7.1
280	9.0
290	7.7
300	2.6
310	1.3
320	0.6
330	0.6
340	0.6

図4-7 ポカスギ辺材含水率

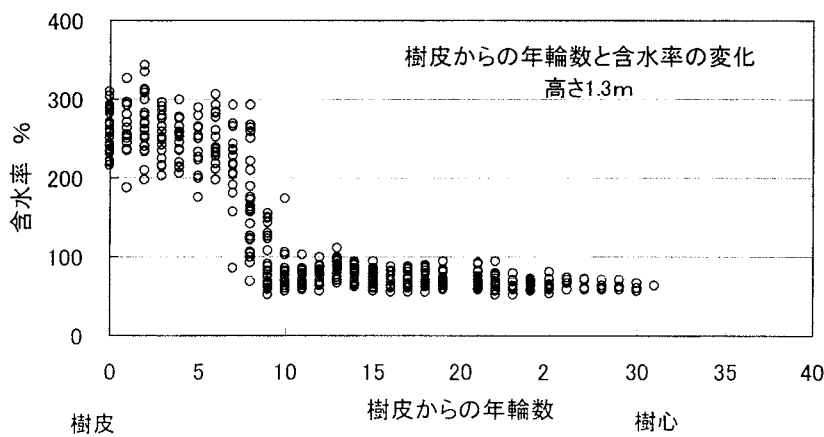
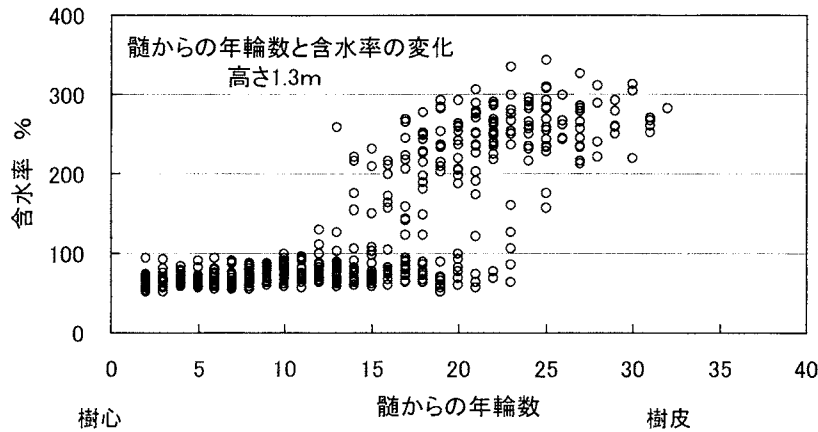


図4-8 含水率の半径方向の変化

○ポカスギは、樹皮より8年輪ぐらいまでが辺材部であり、含水率が高く10年輪目では心材化が完了している。また、個体間のばらつきは、極めて小さいと考えられる。

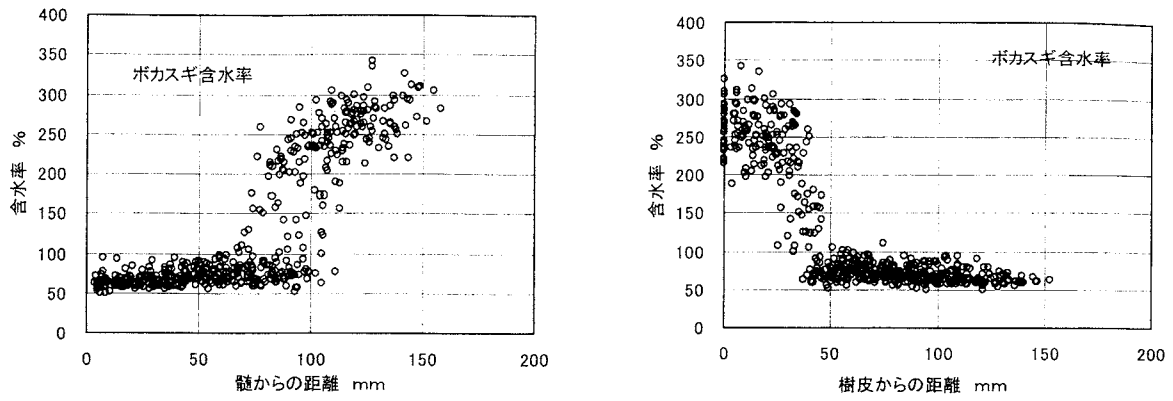


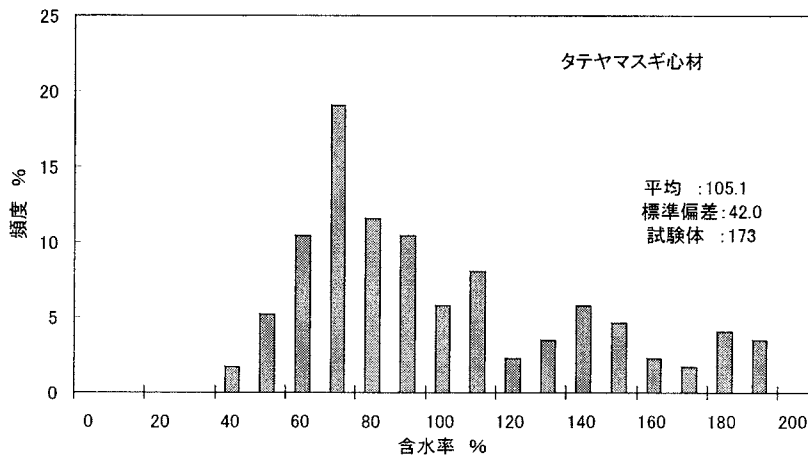
図4-9 含水率の半径方向変化（距離単位）

2) タテヤマスギ

○タテヤマスギの含水率は、心材平均105.1%、辺材平均205%であり、ボカスギに比べて心材部の含水率が高い。

○辺材から心材への変化の過程で移行部が存在するが、タテヤマスギでは平均含水率81.2%と心材部よりも低含水率の移行部が観察される。（図4-13-2）

○タテヤマスギは、実生品種であるため個体間のばらつきが大きい。含水率の変動パターンでも3つのグループ分けとなった。



含水率 %	頻度 %
30	0.0
40	1.7
50	5.2
60	10.4
70	19.1
80	11.6
90	10.4
100	5.8
110	8.1
120	2.3
130	3.5
140	5.8
150	4.6
160	2.3
170	1.7
180	4.0
190	3.5

図4-10 タテヤマスギ心材の含水率

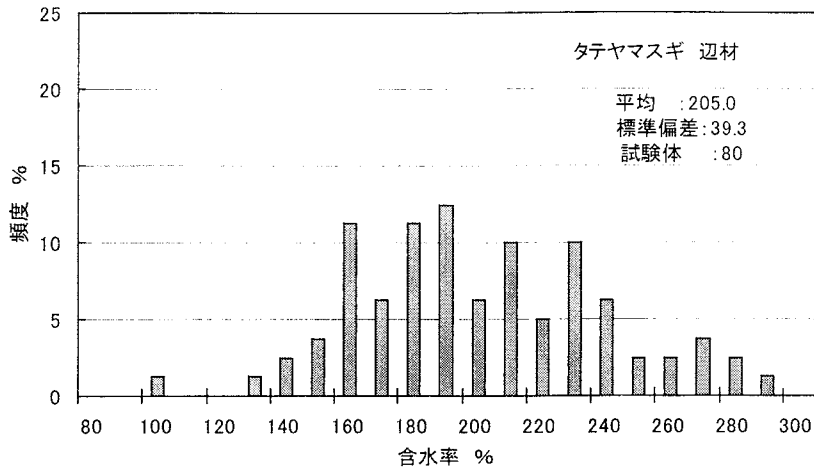


図4-11 タテヤマスギ辺材含水率

含水率 %	頻度 %
90	0.0
100	1.3
110	0.0
120	0.0
130	1.3
140	2.5
150	3.8
160	11.3
170	6.3
180	11.3
190	12.5
200	6.3
210	10.0
220	5.0
230	10.0
240	6.3
250	2.5
260	2.5
270	3.8
280	2.5
290	1.3

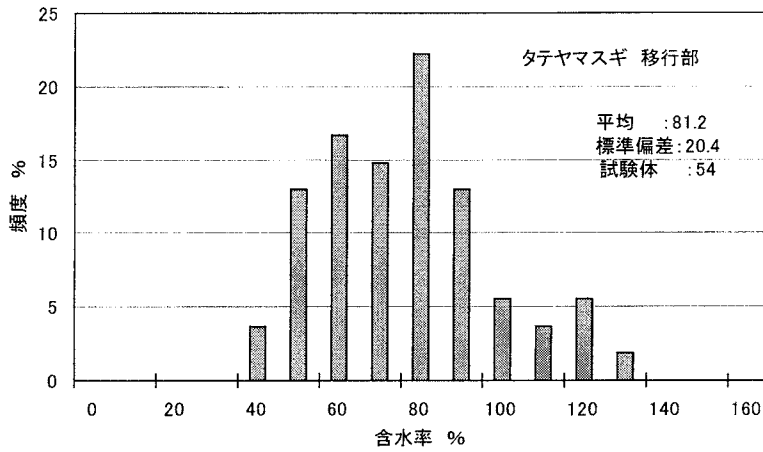


図4-12 タテヤマスギ移行部の含水率

含水率 %	頻度 %
30	0.0
40	3.7
50	13.0
60	16.7
70	14.8
80	22.2
90	13.0
100	5.6
110	3.7
120	5.6
130	1.9
140	0.0
150	0.0

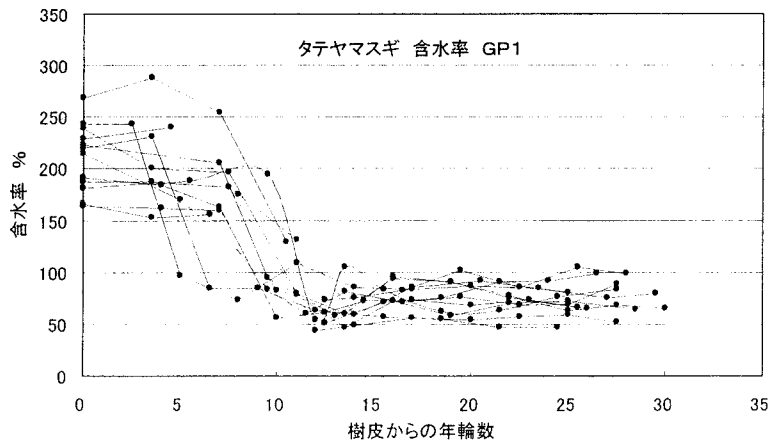


図4-13-1 タテヤマスギ含水率の半径方向変化

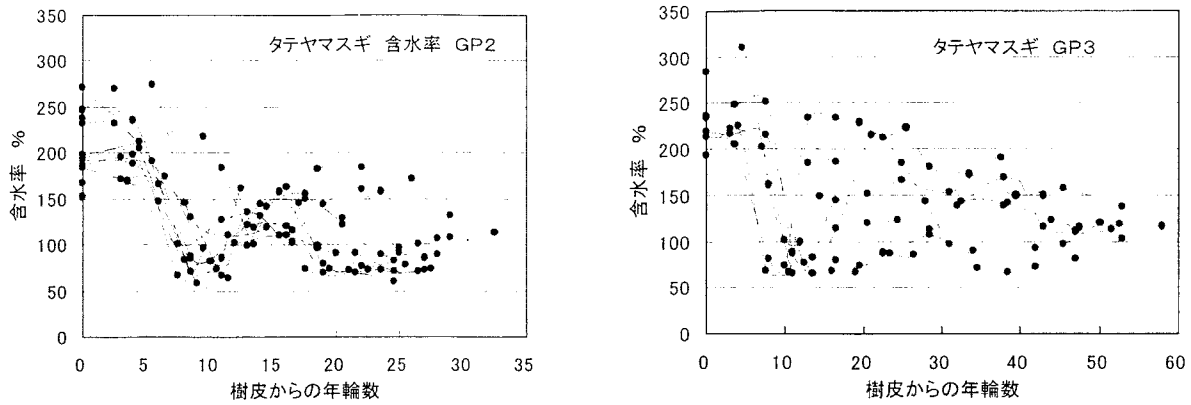


図4-13-2 タテヤマスギ含水率の半径方向変化

4.3 樹幹内の容積密度数分布

容積密度数 (kg/m^3) とは、比重に類似した係数であり、全乾時の重量を生材時の体積で除して求められる。比重は、その時の重量を体積で除して求められるため、含水率の状態ですべて異なる値となる。特に記載されない時は気乾比重であり、含水率15%時の比重を意味する。

試験体については、4.2 樹幹内含水率と同様である。

1) ボカスギ

〇スギの一般的な傾向であるが、容積密度数は髓から樹皮側に向かって減少し、その後安定する。ボカスギの場合、8年輪目以降から一定値になり平均で 286kg/m^3 となる。

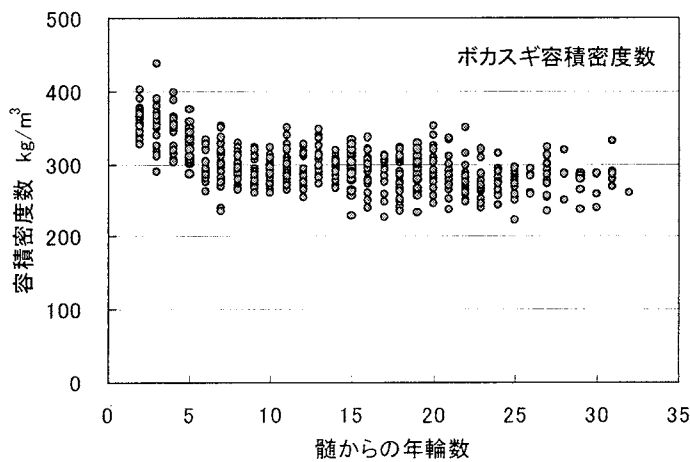


図4-14 ボカスギ容積密度数の半径方向変化

$$\begin{array}{ll}
 \text{10年輪以降} & \text{平均容積密度数} \quad 286 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{8年輪まで} & \text{容積密度数} = -130x \text{ 年輪数} + 390
 \end{array}$$

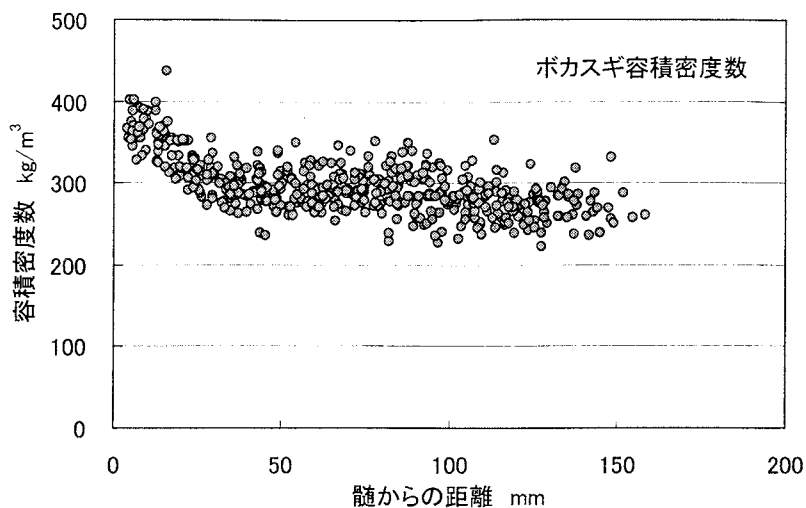
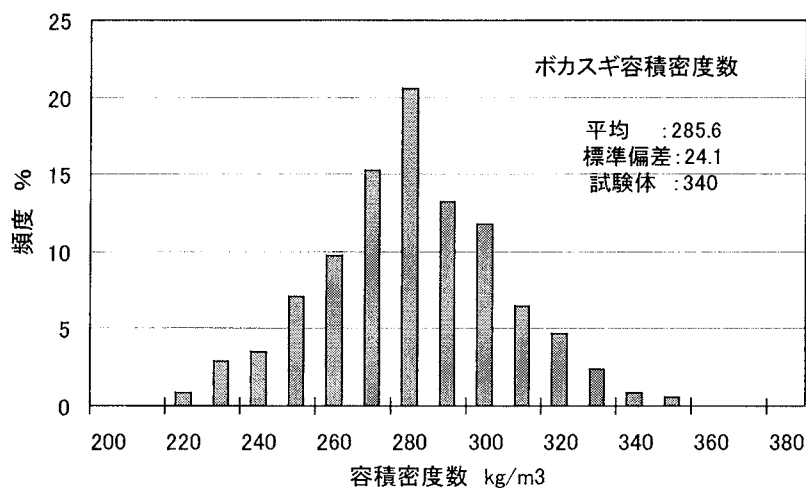


図4-15 ボカスギ容積密度数の半径方向変化（距離単位）



密度	頻度
kg/m ³	%
200	0.0
210	0.0
220	0.9
230	2.9
240	3.5
250	7.1
260	9.7
270	15.3
280	20.6
290	13.2
300	11.8
310	6.5
320	4.7
330	2.4
340	0.9
350	0.6
360	0.0
370	0.0

図4-16 10年輪目以降のボカスギ容積密度数の分布

2) タテヤマスギ

○タテヤマスギの容積密度数は、一般のスギと同様に髄から減少し、一定値になる傾向にあるが、含水率と同じくばらつきが大きく、3グループに分割して示した。

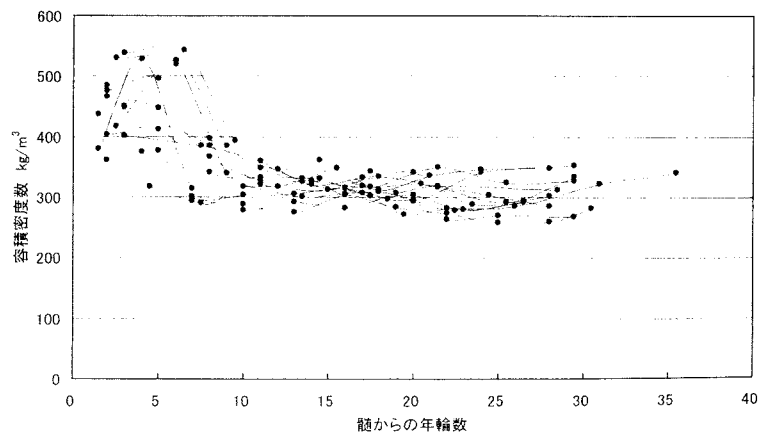


図4-17 タテヤマスギ容積密度数の半径方向変化

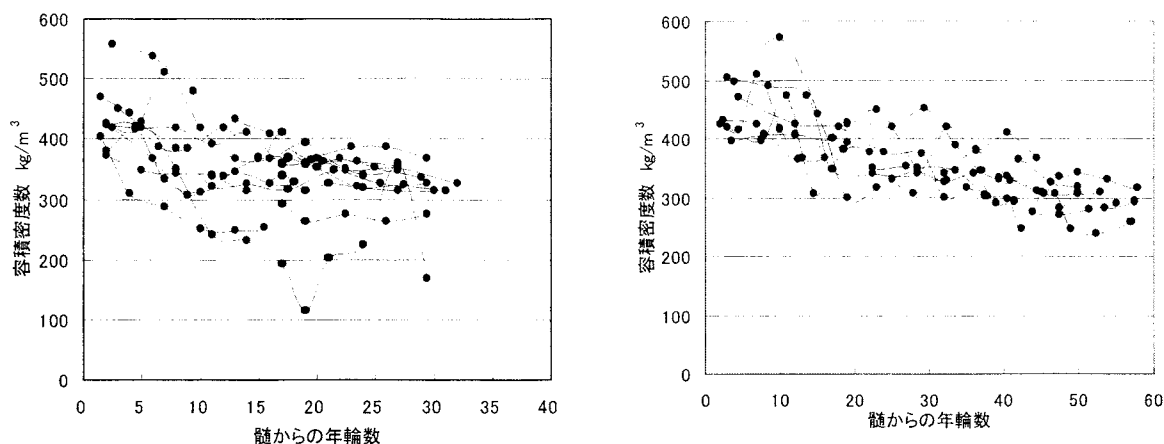
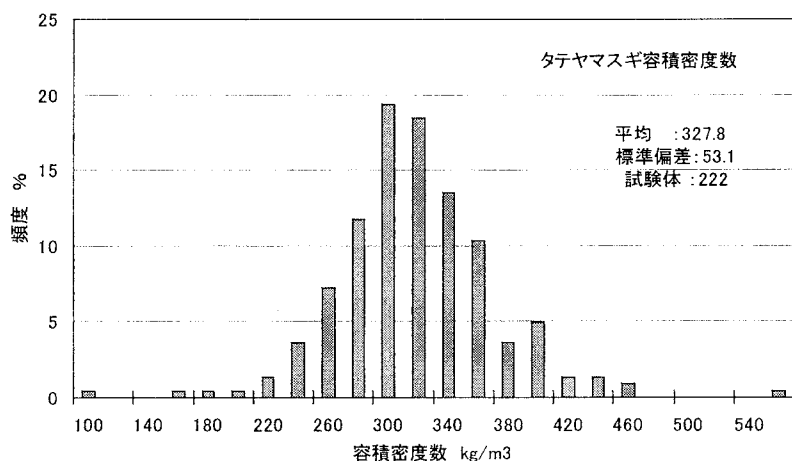


図4-18 タテヤマスギ容積密度数の変化



容積密度数 kg/m ³	頻度 %
100	0.5
120	0.0
140	0.0
160	0.5
180	0.5
200	0.5
220	1.4
240	3.6
260	7.2
280	11.7
300	19.4
320	18.5
340	13.5
360	10.4
380	3.6
400	5.0
420	1.4
440	1.4
460	0.9
560	0.5

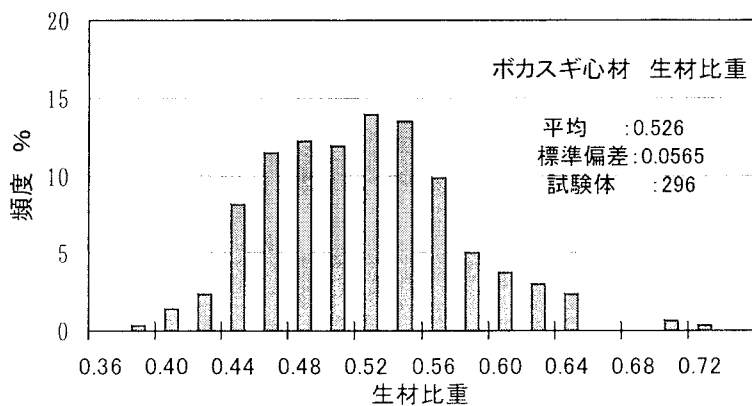
図4-19 容積密度数の分布 (10年輪目以降)

10年輪以降 平均 327.8 標準偏差 53.1 kg/m³
 10年輪未満 平均 418.4 標準偏差 72.1 kg/m³

4.4 比重の樹幹内分布

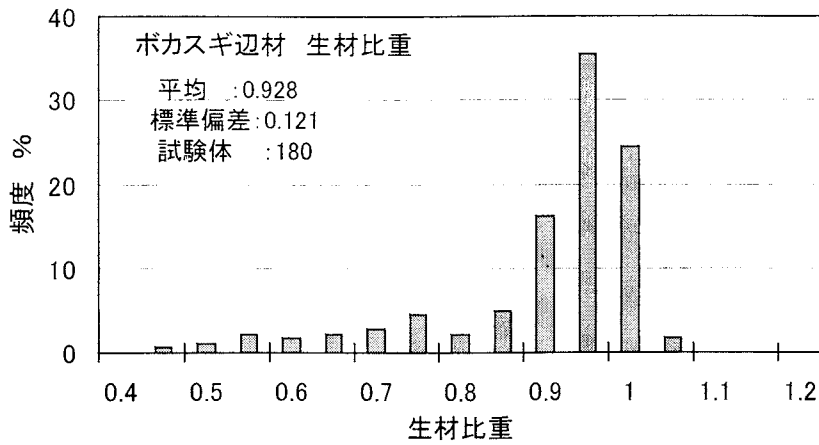
ここで扱う比重は、伐採直後の生材比重であり、試験体は4.2含水率、4.3容積密度数と同じである。

1) ボカスギ



比重	頻度 %	比重	頻度 %
0.36	0.0	0.62	3.0
0.38	0.3	0.64	2.4
0.40	1.4	0.66	0.0
0.42	2.4	0.68	0.0
0.44	8.1	0.70	0.7
0.46	11.5	0.72	0.3
0.48	12.2	0.74	0.0
0.50	11.8		
0.52	13.9		
0.54	13.5		
0.56	9.8		
0.58	5.1		
0.60	3.7		

図4-20 心材部生材比重の分布



比重 %	頻度 %
0.40	0.0
0.45	0.6
0.50	1.1
0.55	2.2
0.60	1.7
0.65	2.2
0.70	2.8
0.75	4.4
0.80	2.2
0.85	5.0
0.90	16.1
0.95	35.6
1.00	24.4
1.05	1.7
1.10	0.0

図4-21 辺材部の木材比重の分布

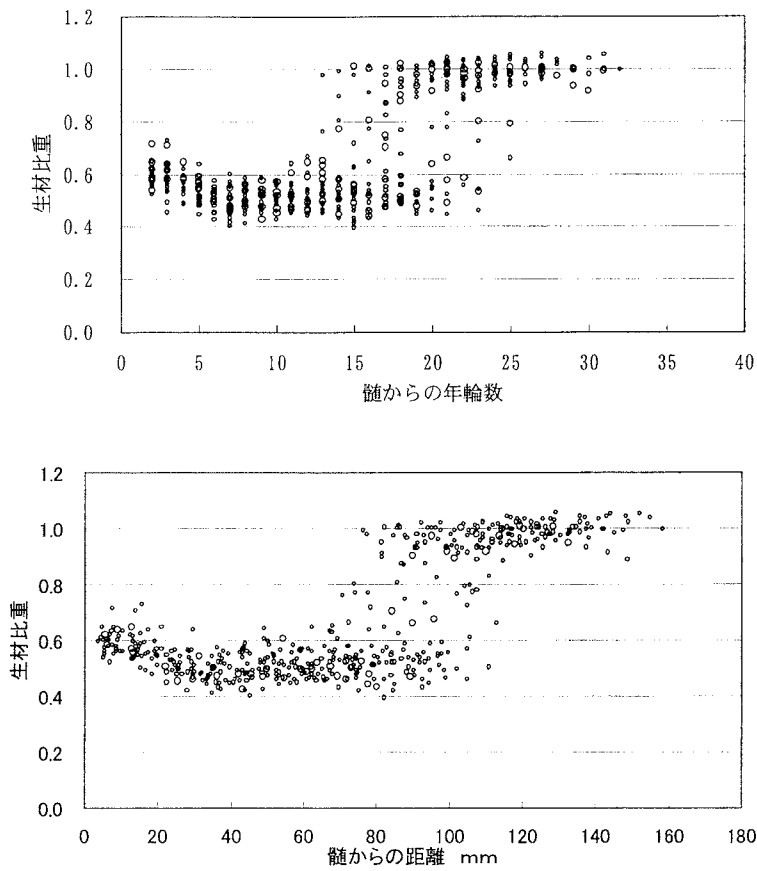
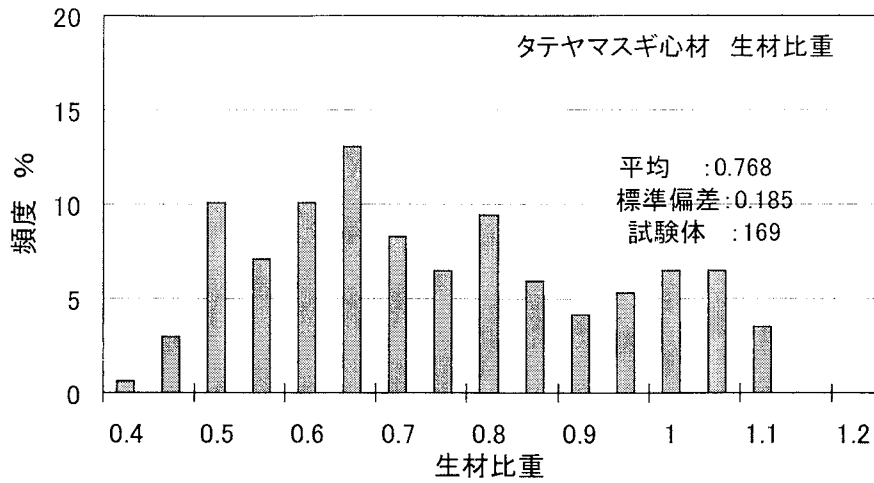


図4-22 ボカスギ木材比重の半径方向の変化

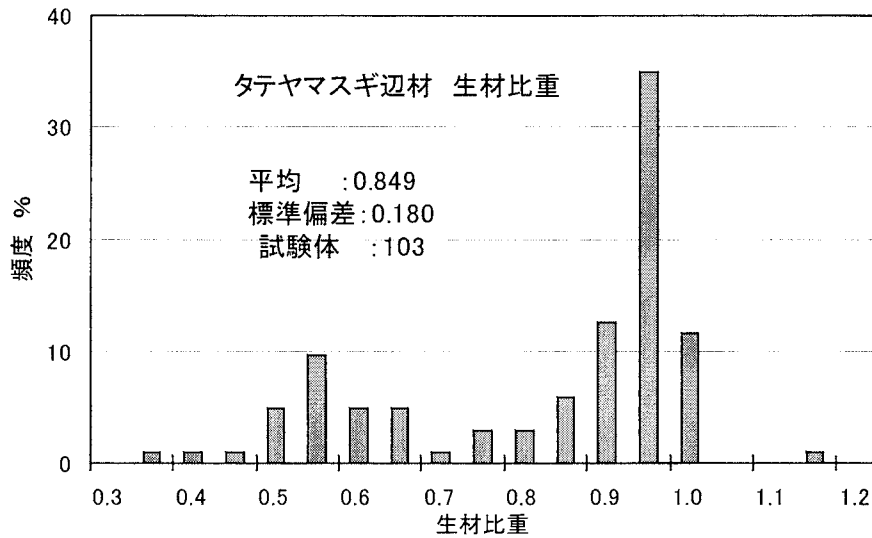
○木材比重は、木材の容積密度数と含水率の二つの影響を合わせたものになり、平均で辺材部0.93、心材部0.53となる。髄から樹皮に向かって、8年輪までの容積密度数の減少の影響、辺材領域での含水率の増大による比重の変化が現れている。

2) タテヤマスギ



比重	頻度 %
0.40	0.6
0.45	3.0
0.50	10.1
0.55	7.1
0.60	10.1
0.65	13.0
0.70	8.3
0.75	6.5
0.80	9.5
0.85	5.9
0.90	4.1
0.95	5.3
1.00	6.5
1.05	6.5
1.10	3.6
1.15	0.0
1.20	0.0

図4-23 タテヤマスギ心材部生材比重の分布



比重	頻度 %
0.30	0.0
0.35	1.0
0.40	1.0
0.45	1.0
0.50	4.9
0.55	9.7
0.60	4.9
0.65	4.9
0.70	1.0
0.75	2.9
0.80	2.9
0.85	5.8
0.90	12.6
0.95	35.0
1.00	11.7
1.05	0.0
1.10	0.0
1.15	1.0
1.20	0.0

図4-24 タテヤマスギ辺材部生材比重の分布

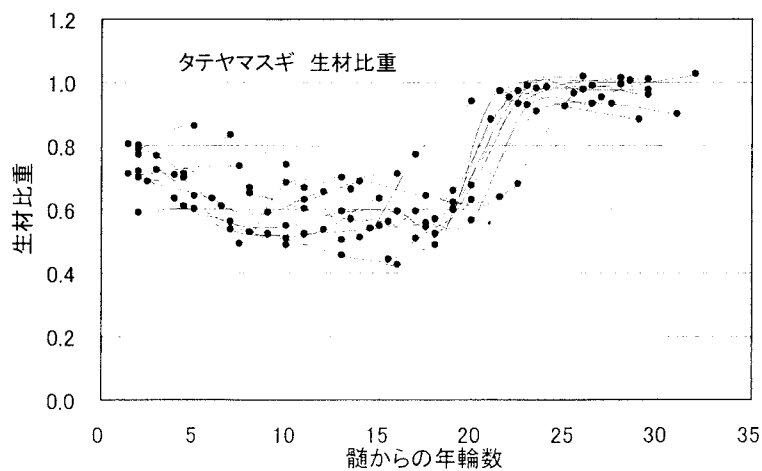


図4-25-1 生材比重の半径方向変化

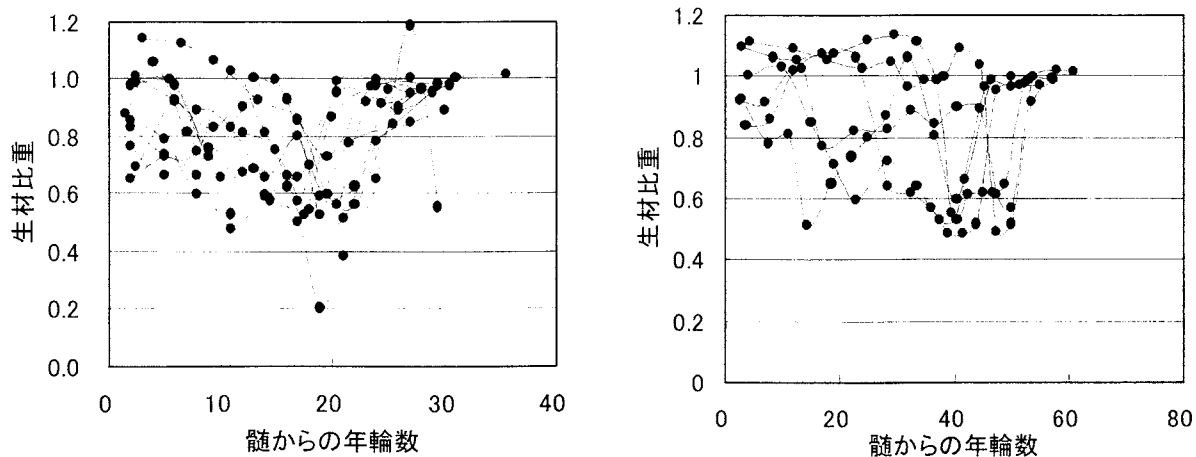


図4-25-2 生材比重の半径方向変化

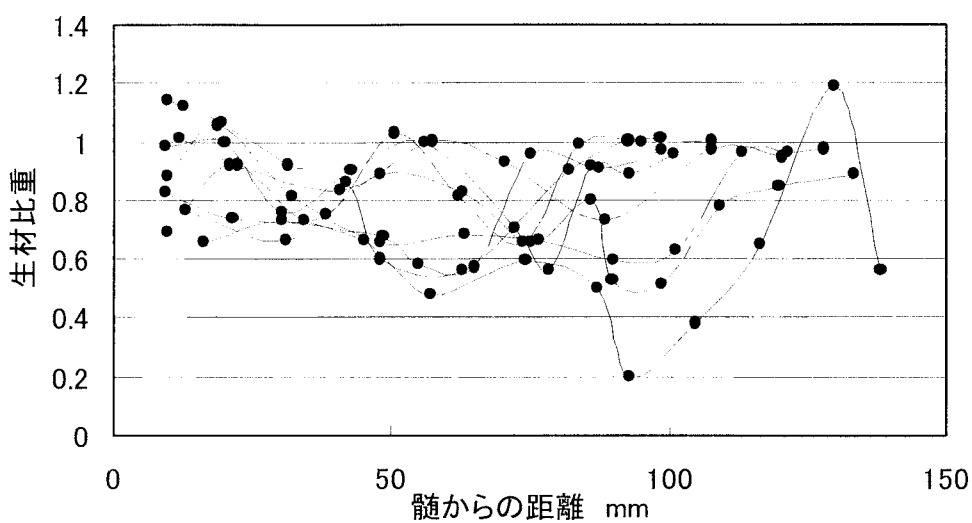


図4-26 生材比重の半径方向変化（距離単位）

○ タテヤマスギの生材比重は、心材平均0.77、辺材平均0.85である。特に、心材部の比重にばらつきが大きいのが特徴的である。半径方向変動は、含水率、容積密度数と同様に3グループに分けたが、個体間での違いが大きい傾向にある。

4.5 強度的性質の樹幹内分布

樹幹内における強度的性質をとらえる場合、未成熟材部の存在を理解する必要があります。樹木の幹は、樹皮内側の形成層とよばれる細胞分裂組織の活動によって肥大します。この形成層細胞が若い時期（髓から10～15年）に分裂してできた細胞（仮道管）は、それ以後に比べて長さが短いなど、未成熟な細胞となっています。髓から10～15年ぐらいまでの領域を未成熟材部、それ以降にできた部分を成熟材部としておおまかに分けて呼んでいます。この未成熟材部は、強度的性質が低いこと、乾燥による狂いが大きいなど利用上の欠点をもっています。

試験材の採材

立木伐採後、高さ1 mより3 m間隔で長さ1 mの1 cm厚桁目板を採材。節等の無い無欠点部より各高さ2試料ずつ、1x1x16cmの曲げ試験体を髓より半径方向に連続的に作成した。

曲げ試験体は、飽水状態を保ち、スパン14cm、中央集中荷重条件で曲げ試験を行った。扱った試験木の林分概要を表4-1に示す。

表4-1 強度的性質の測定試験木の林分概要

		ボカスギ	タテヤマスギ
林令	年	25	38
植栽本数	本/h a	1500	—
現存立木本数	本/h a	1050	1025
林分平均胸高直径	cm	27.21	26.8
林分平均樹高	m	18.74	20.1

○図4-27～29にヤング率の樹幹内分布を図4-30に曲げ強度の樹幹内分布状況を示す。

○ここでの強度的性質は、無欠点試験体ではあるものの全て生材状態であり含水率の影響があること、さらに1 cm角という極めて小さい断面の試験体であるため早材部のみで構成される試験体の存在など、一般的な無欠点試験体とは条件を異にしており、強度値そのものは低めに現れてくる。したがって、数値の絶対値よりも、1つの樹幹内での相対的な強度性能分布状況としてとらえるのが妥当である。

○ヤング率は髓からの年輪数に比例して増大しほぼ10年輪ぐらいから安定する。

○曲げ強度は、髓からやや低下する傾向を示してから、増大し安定する。しかし、ヤング率の変化に比べると変化は明確ではない。

○ヤング率の髓からの年輪数に比例して増大する傾向は、高い樹幹部位になるほど増大の仕方が急速である。すなわち、樹幹の上方では急速に大きくなる傾向をもつ。特にボカスギにこの傾向が強い。

○また、成熟材部のヤング率、曲げ強度も樹幹上部にいくほど高くなる傾向にある。

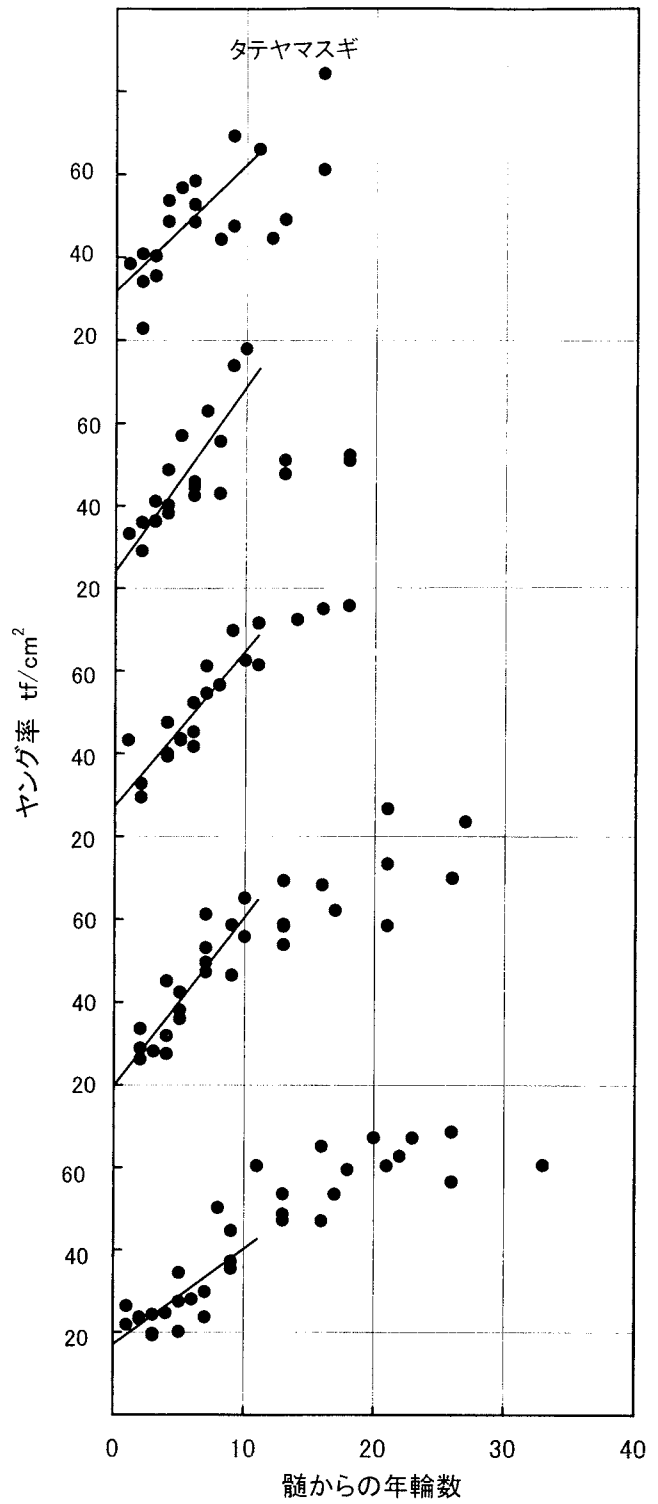
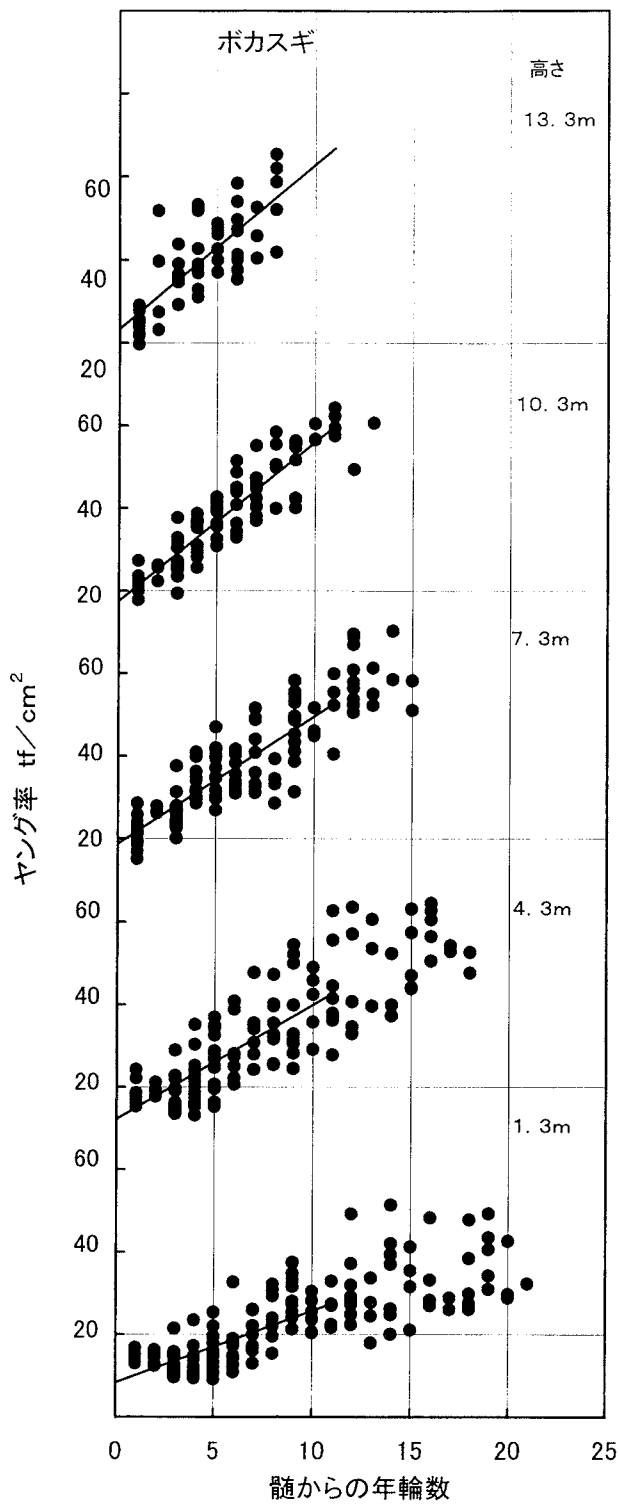


図 4-27 ヤング率の樹幹内分布

1.3m	$E = 8.3 + 1.73\text{Ring}$	$r : 0.73$
4.3m	$E = 12.2 + 2.77\text{Ring}$	$r : 0.74$
7.3m	$E = 18.8 + 3.07\text{Ring}$	$r : 0.83$
10.3m	$E = 17.5 + 3.85\text{Ring}$	$r : 0.90$
13.3m	$E = 23.3 + 3.96\text{Ring}$	$r : 0.78$

1.3m	$E = 17.0 + 2.32\text{Ring}$	$r : 0.68$
4.3m	$E = 20.0 + 4.07\text{Ring}$	$r : 0.88$
7.3m	$E = 27.4 + 3.75\text{Ring}$	$r : 0.86$
10.3m	$E = 24.3 + 4.45\text{Ring}$	$r : 0.85$
13.3m	$E = 31.9 + 3.05\text{Ring}$	$r : 0.69$

ボカスギ 25年生

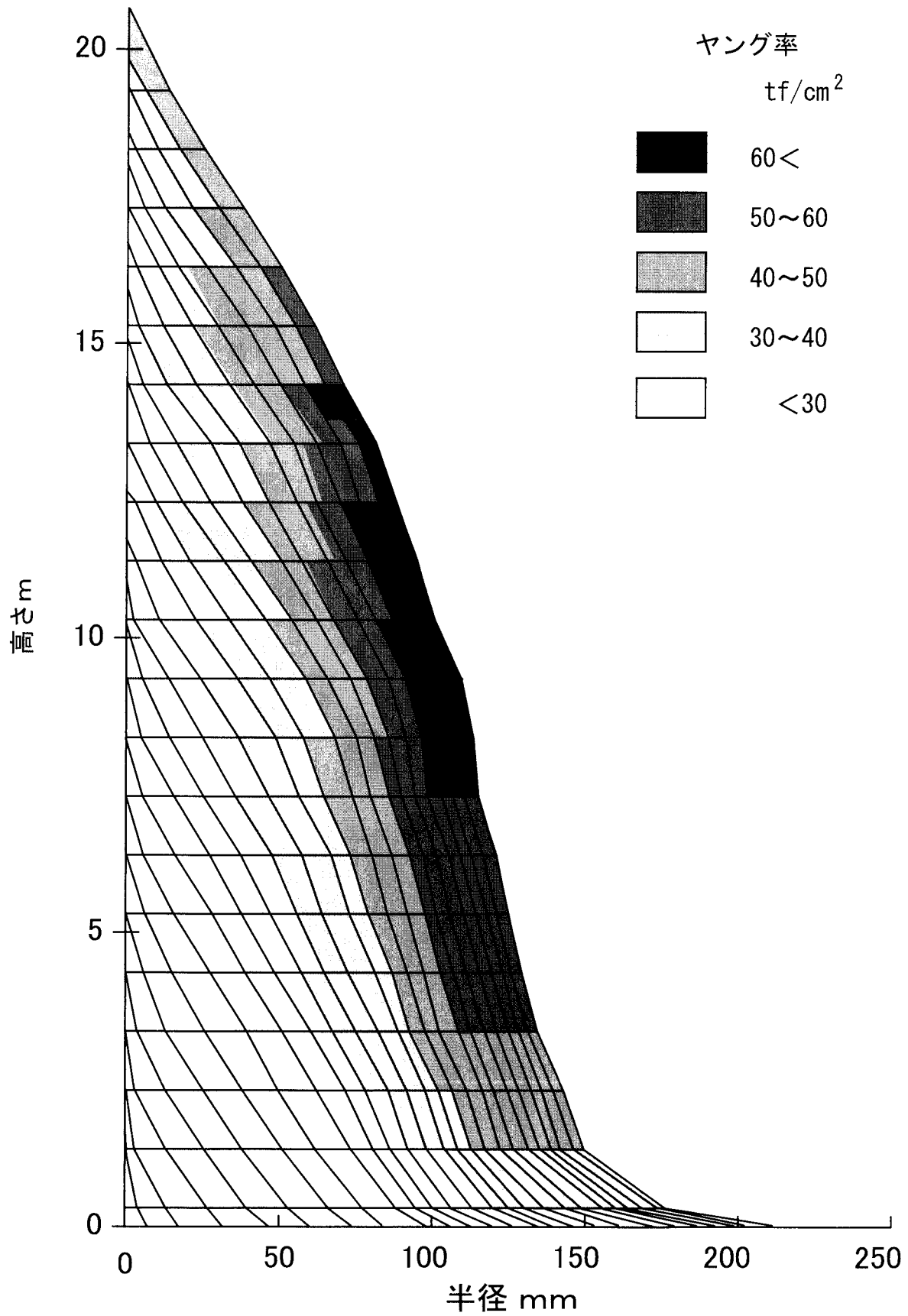


図4-28 ボカスギ ヤング率の樹幹内分布

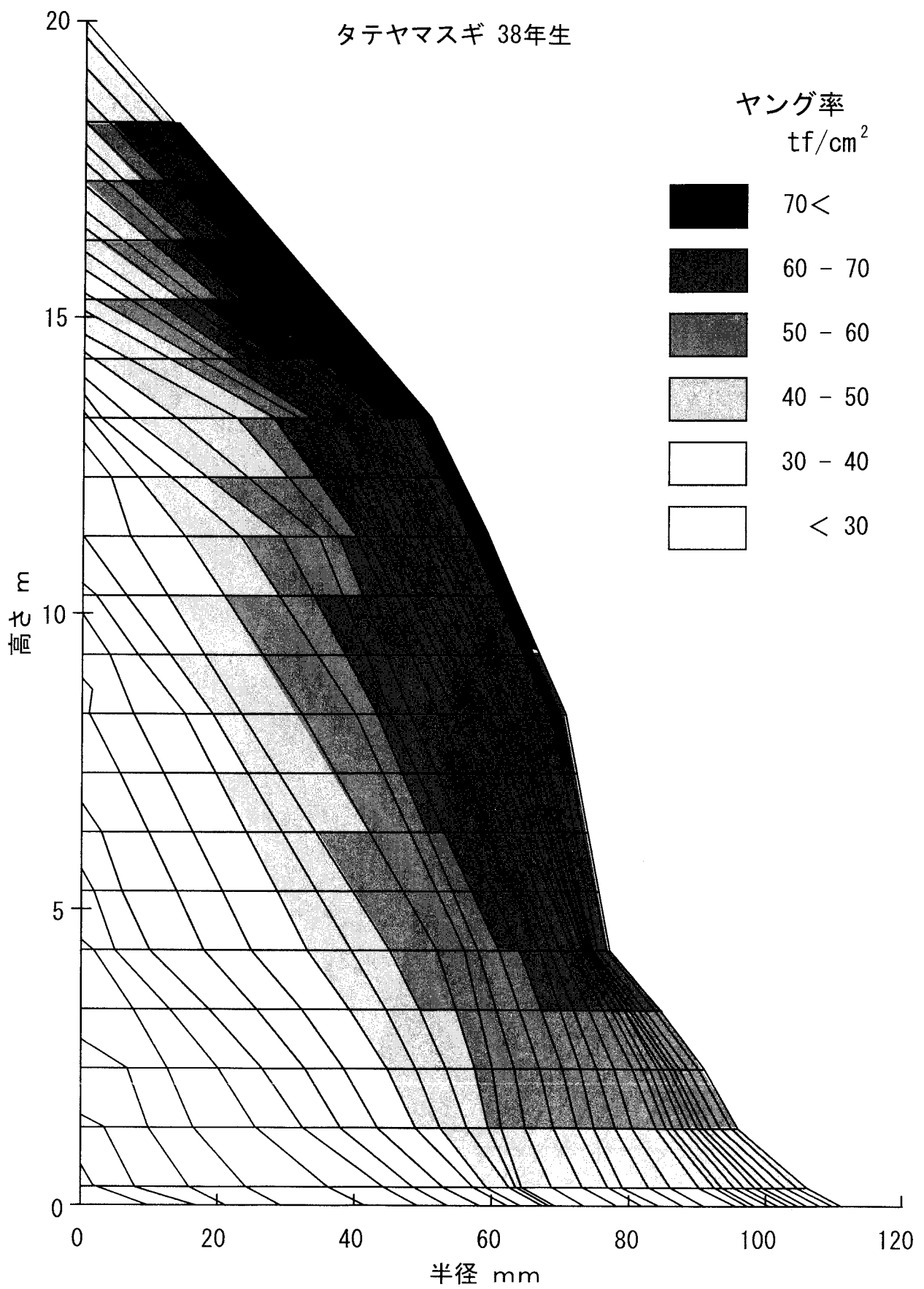


図4-29 タテヤマズギ ヤング率の樹幹内分布

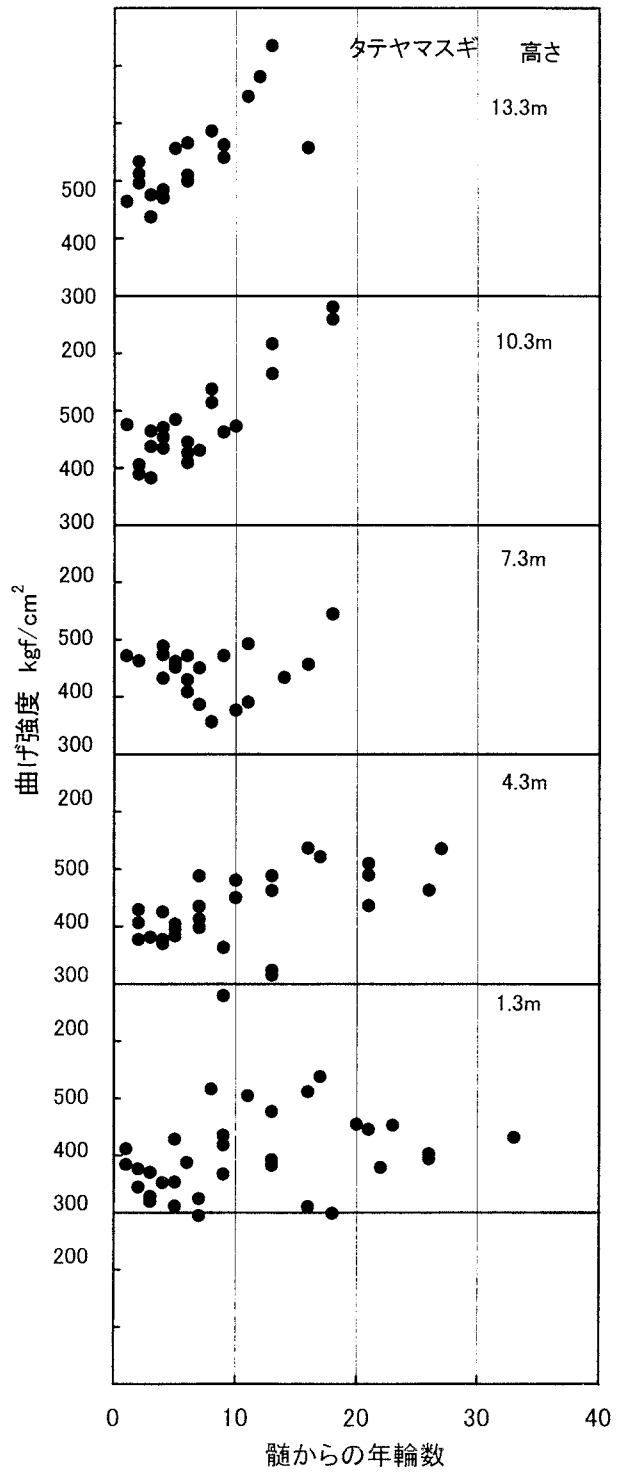
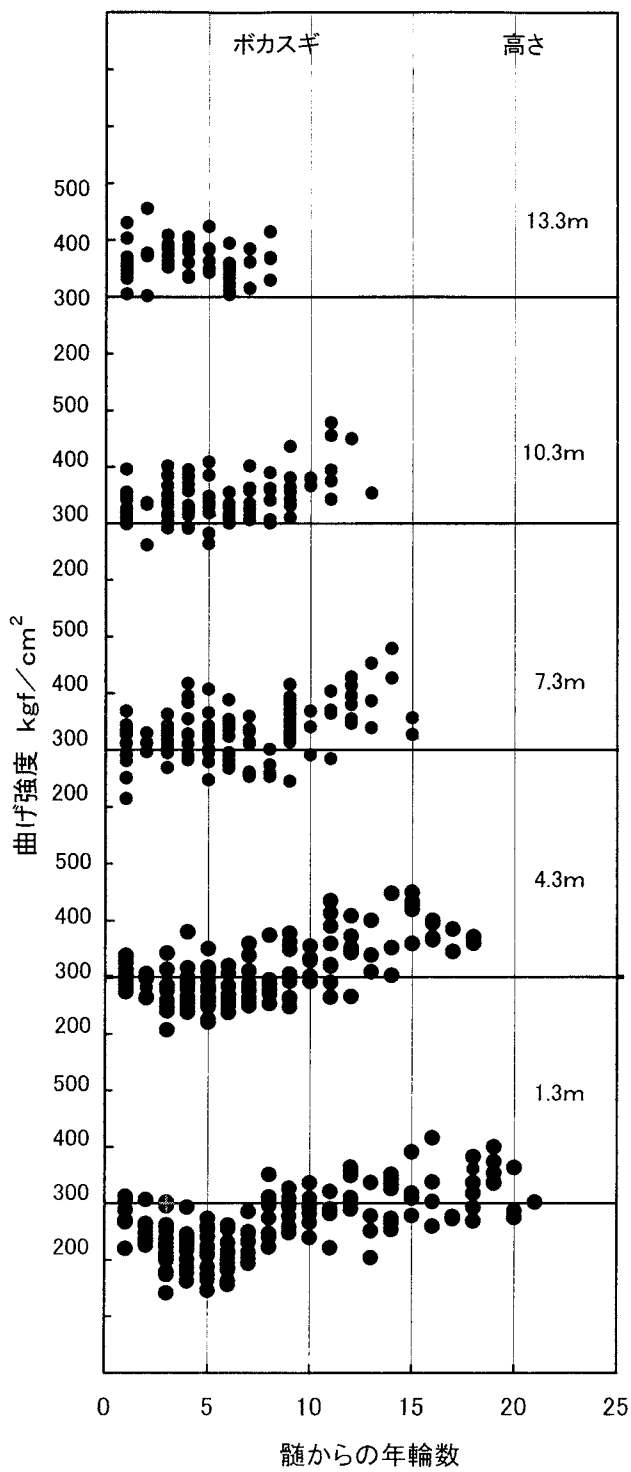


図 4-30 曲げ強度の樹幹内分布

4.6 県産スギ品種の無欠点材の強度性能

表4-2 県産スギ品種の無欠点曲げ性能

樹種	原木本数	樹齡	辺心材	気乾比重	平均年齢幅	曲げ強度	ヤング率
					mm		
タテヤマスギ	2	35	心材	0.40	4.6	633 (530~699)	65 (54~74)
			辺材	0.37	2.4	715 (588~803)	78 (66~88)
ボカスギ	2	32	心材	0.37	3.8	639 (598~712)	51 (46~55)
			辺材	0.36	3.3	617 (530~654)	63 (50~69)
マシヤマスギ	2	72	心材	0.44	1.6	758 (570~841)	92 (80~116)
			辺材	0.41	1.9	716 (543~817)	98 (59~110)
リョウワスギ	1	50	心材	0.34	3.4	488 (444~526)	65 (53~74)
			辺材	0.34	2.7	531 (505~558)	75 (69~80)
ミオスギ	1	54	心材	0.39	2.5	579 (516~652)	83 (76~94)
			辺材	0.41	1.6	658 (580~737)	93 (87~102)
ハラマキスギ	1	111	心材	0.39	3.0	606 (506~697)	79 (59~97)
			辺材	0.39	2.2	575 (458~634)	78 (73~82)
カワイダニスギ	1	45	心材	0.35	5.3	500 (469~582)	51 (46~58)
			辺材	0.41	2.0	651 (608~692)	92 (84~102)
ツボイケスギ	1	64	心材	0.44	2.4	701 (622~800)	75 (63~95)
			辺材	0.36	3.6	577 (511~678)	70 (60~81)
サワスギ	3	66~89	心材			965 (SD:131)	91 (SD:18)
			辺材			812 (SD:92)	83 (SD:13)

平均 (最低~最高)、SD: 標準偏差

表4-3 県産スギ品種の圧縮性能

樹種	辺心材	気乾比重	平均年輪幅	圧縮強度
			mm	kgf/cm ²
タテヤマスギ	心材	0.42	4.2	350 (326~382)
	辺材	0.39	2.2	340 (314~376)
ボカスギ	心材	0.35	8.8	254 (169~348)
	辺材	0.34	3.4	302 (277~319)
マシヤマスギ	心材	0.45	1.5	418 (353~476)
	辺材	0.43	2.0	349 (236~447)
リョウワスギ	心材	0.33	3.8	371 (358~380)
	辺材	0.35	3.2	375 (349~415)
ミオスギ	心材	0.38	3.0	427 (407~474)
	辺材	0.41	2.0	440 (421~471)
ハラマキスギ	心材	0.39	4.3	422 (374~449)
	辺材	0.40	2.4	421 (410~450)
カワイダニスギ	心材	0.34	6.4	319 (288~361)
	辺材	0.40	2.2	411 (379~369)
ツボイケスギ	心材	0.45	3.7	390 (337~452)
	辺材	0.36	6.1	303 (258~341)
サワスギ	心材			525 (SD:56)
	辺材			452 (SD:53)

平均 (最低~最高)、SD: 標準偏差

参考 「主要北洋産樹種および県内産スギの材質特性について」 鷺岡雅、吉田直隆、木材と技術、11 (1972)

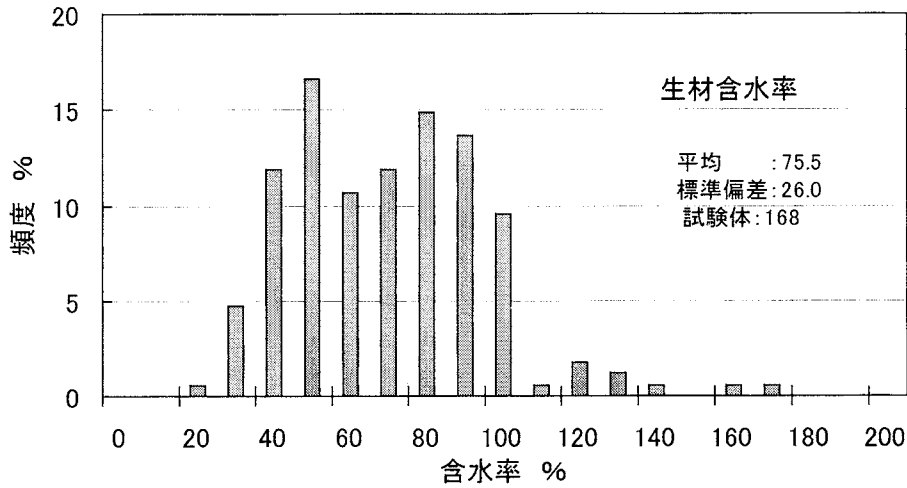
「県内産造林スギおよびサワスギの材質特性について」 斉藤勉、木材と技術21 (1975)

5. 製材

5.1 製材材質

・ 県産スギ製材の材質的な特徴を示す

1) 生材含水率

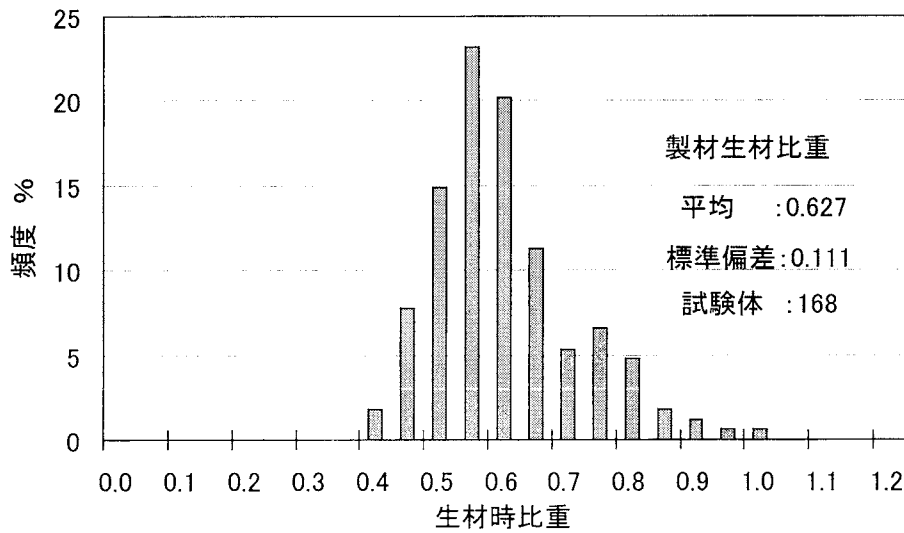


含水率 %	頻度 %
0	0.0
10	0.0
20	0.6
30	4.8
40	11.9
50	16.7
60	10.7
70	11.9
80	14.9
90	13.7
100	9.5
110	0.6
120	1.8
130	1.2
140	0.6
150	0.0
160	0.6
170	0.6
180	0.0

図5-1 生材含水率の分布

注) 平角、正角を含む。伐採時の含水率ではなく、やや風乾されたものも含まれる

2) 比重



比重	頻度 %
0.15	0.0
0.20	0.0
0.25	0.0
0.30	0.0
0.35	0.0
0.40	1.8
0.45	7.7
0.50	14.9
0.55	23.2
0.60	20.2
0.65	11.3
0.70	5.4
0.75	6.5
0.80	4.8
0.85	1.8
0.90	1.2
0.95	0.6
1.00	0.6
1.05	0.0
1.10	0.0
1.15	0.0
1.20	0.0

図5-2-1 生材比重の分布

注) 平角、正角を含む。伐採時の含水率ではなく、やや風乾されたものも含まれる

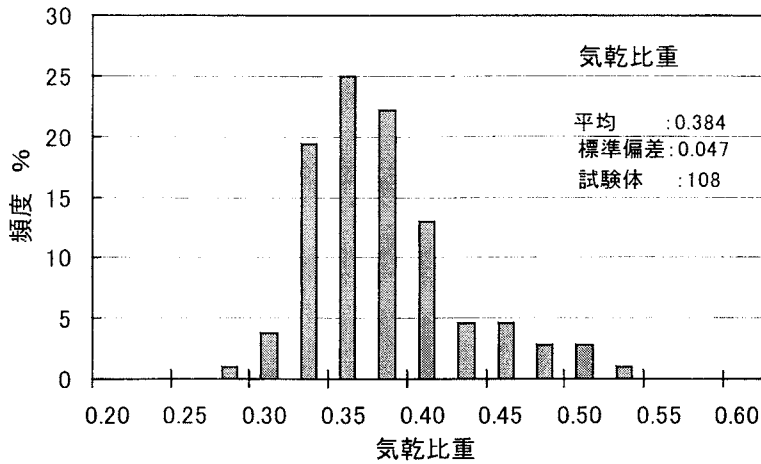


図5-2-2 気乾比重の分布

比重	頻度 %
0.200	0.0
0.225	0.0
0.250	0.0
0.275	0.9
0.300	3.7
0.325	19.4
0.350	25.0
0.375	22.2
0.400	13.0
0.425	4.6
0.450	4.6
0.475	2.8
0.500	2.8
0.525	0.9
0.550	0.0
0.575	0.0
0.600	0.0

3) 生材時の比重と含水率の関係

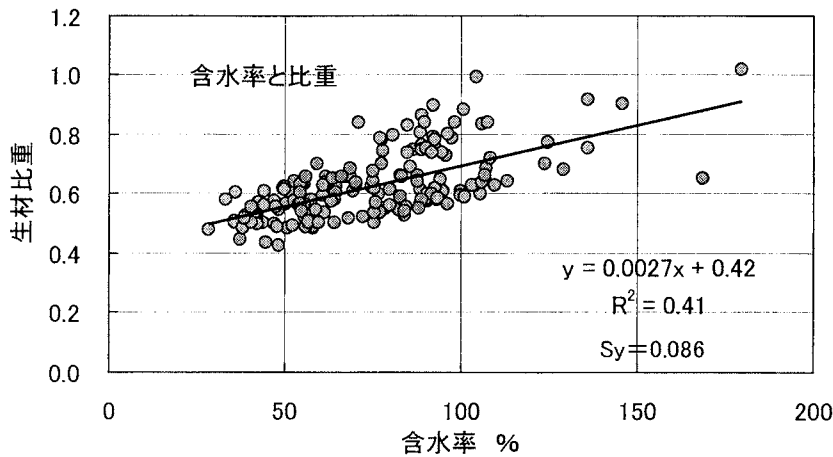


図5-3 生材含水率と比重の関係

4) 平均年輪幅

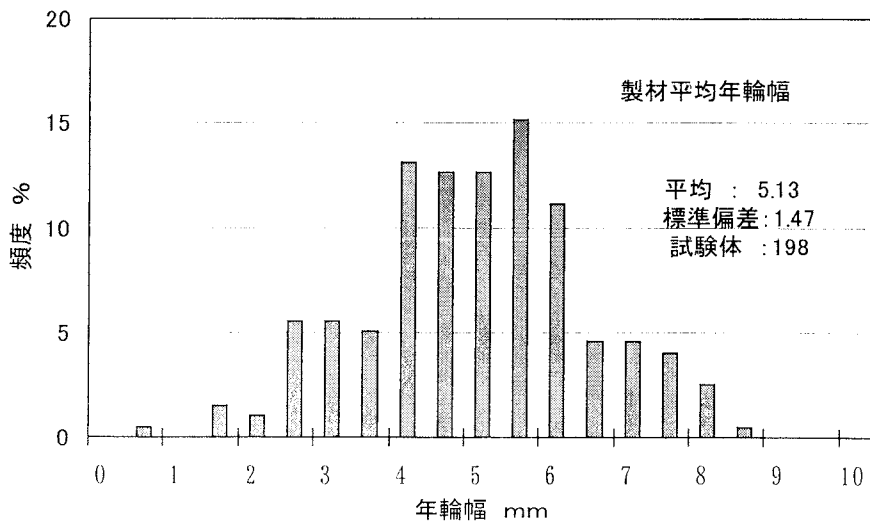


図5-4 製材平均年輪幅の分布

年輪幅 mm	頻度 %
0	0.0
0.5	0.5
1	0.0
1.5	1.5
2	1.0
2.5	5.6
3	5.6
3.5	5.1
4	13.1
4.5	12.6
5	12.6
5.5	15.2
6	11.1
6.5	4.5
7	4.5
7.5	4.0
8	2.5
8.5	0.5
9	0.0
9.5	0.0
10	0.0

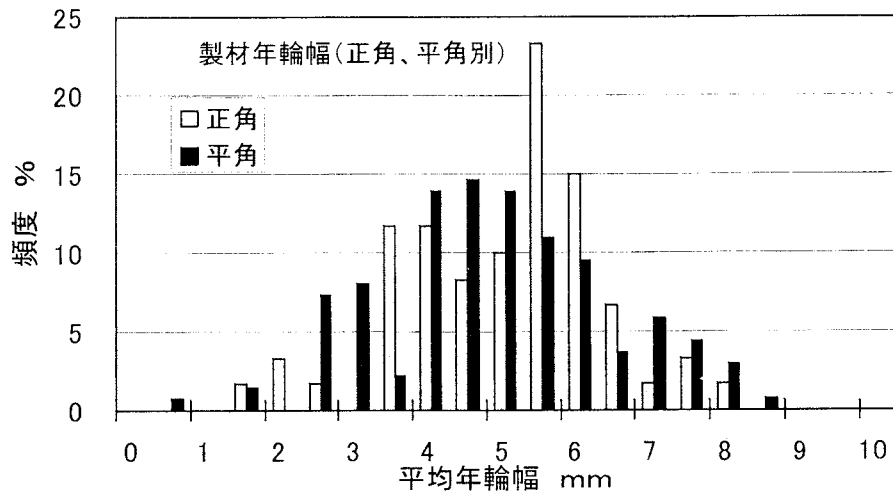


図5-5 製材平均年輪幅の分布 (正角、平角別)

表5-1 製材の平均年輪幅

	平均	最小	最大	標準偏差	本数
全体	5.13	0.75	8.8	1.47	198
正角	5.21	1.9	8.1	1.32	60
平角	5.1	0.75	8.8	1.54	138
ボカ正角	6.02	3.7	8.1	1.00	30
ボカ平角	5.45	0.75	7.7	1.24	30

5) 繊維傾斜

繊維傾斜とは、木材を構成している繊維（針葉樹では仮道管）の製材長さ方向との傾斜を表し、目切れとも呼ばれる。曲りのある丸太から直材を挽いた場合などに、大きな目切れを生じる。強度低下の一因になることから、構造用製材の日本農林規格でも等級別に制限されており、最大でも1 m当たりで167mm以下に制限されている。

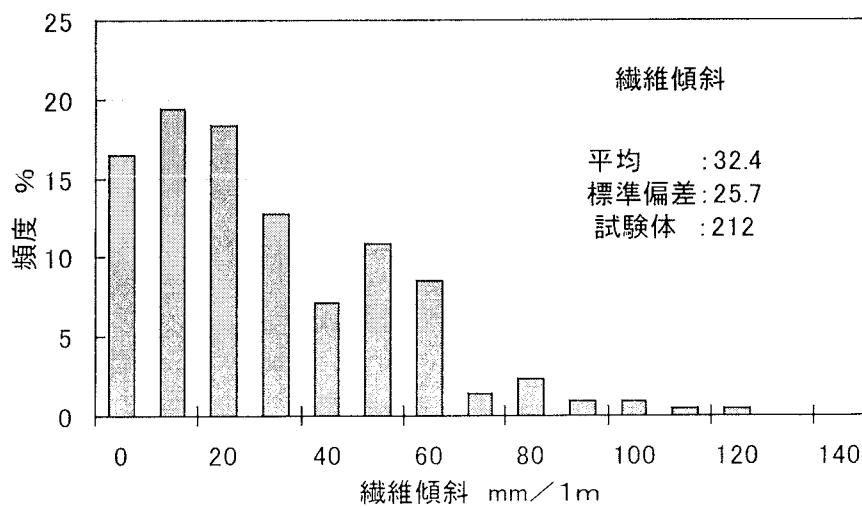


図5-6 繊維傾斜の分布

繊維傾斜 mm/1 m	頻度 %
0	16.5
10	19.3
20	18.4
30	12.7
40	7.1
50	10.8
60	8.5
70	1.4
80	2.4
90	0.9
100	0.9
110	0.5
120	0.5
130	0.0
140	0.0
150	0.0

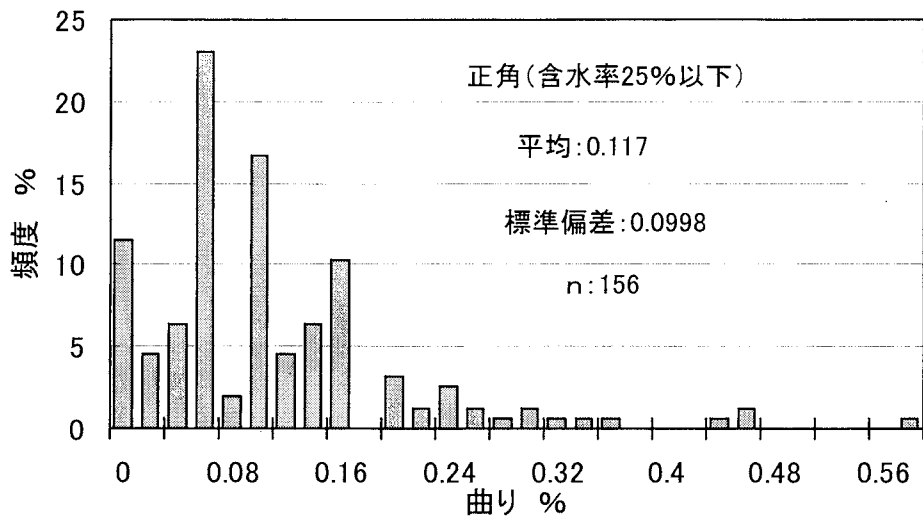
6) 曲り

製材の曲り (%) は、矢高 / 材長 x 100 で表している。品質の制限として、構造用製材の日本農林規格では、1級材0.2%、2級・3級材0.5%以下という制限を設けている。

曲りに代表される製材品の狂いは、乾燥の度合いによって異り、乾燥が進むと狂いが大きくなる。

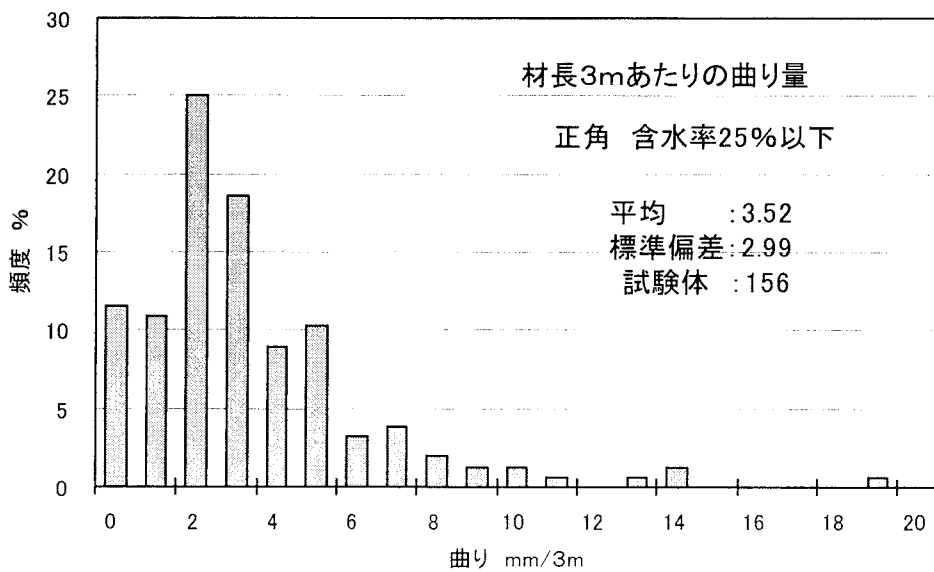
図5-7に、含水率が25%以下まで乾燥された正角材 (105、120mm 角) での曲り量の分布を示す。試験材の平均含水率は18.1%。

○ JAS 規格の曲りの制限で2級以下に格付けされるものはわずかであり、大半が1級材の制限内に入る。



曲り %	頻度 %
0	11.5
0.02	0.5
0.04	6.4
0.06	23.1
0.08	1.9
0.10	16.7
0.12	4.5
0.14	6.4
0.16	10.3
0.18	0.0
0.20	3.2
0.22	1.3
0.24	2.6
0.26	1.3
0.28	0.6
0.30	1.3
0.32	0.6
0.34	0.6
0.36	0.6
0.38	0.0
0.40	0.0
0.42	0.0
0.44	0.6
0.46	1.3
0.48	0.0
0.56	0.0
0.58	0.6

図5-7 正角材の曲りの出現状況



曲り %	頻度 %
0	11.5
1	10.9
2	25.0
3	18.6
4	9.0
5	10.3
6	3.2
7	3.8
8	1.9
9	1.3
10	1.3
11	0.6
12	0.0
13	0.6
14	1.3
15	0.0
18	0.0
19	0.6
20	0.0

図5-8 正角材の曲り (矢高) 出現状況

5. 2 製材の実大曲げ強度性能

5. 2. 1 製材の実大曲げ強度データの取り扱い

構造設計用の許容応力度の設定や、現在進められている限界状態設計法の導入のためには実大強度の統計的な分布や強度に及ぼす様々な因子の検討が重要になっており、現在、実大強度データの蓄積が進められている。

しかし構造用製材の実大曲げ試験に関しては、試験方法がJISやJAS等に規定されているわけではなく、それぞれの試験目的に応じて任意の条件で試験してきたのが実状である。当センターで行われた実大曲げ試験も生材から種々の含水率条件、梁せい105mmから240mm、荷重も様々な条件となっている。実大曲げ試験の結果（曲げ強度、曲げヤング率）には、含水率、試験材の梁せい、荷重条件などが影響を及ぼす。したがって単純に強度データ統合するのは問題が多いため、様々な試験条件下の結果をある特定の条件に統一する必要がある。

現在、森林総合研究所と各県の試験研究機関で構成される「強度性能研究会」では、実大強度データの蓄積を進め、データベース化をはかっている。ここで集められたデータが国内における木材の実大強度データの最大のものと考えられ、規格等の基盤データとしても利用されている。そこで、強度性能研究会の「製材品の強度性能に関するデータベース」を参考に、様々な試験条件下の強度データを調整することとした。

基準条件は、梁せい15cm、スパン270cm（梁せいの18倍）、3等分点4点荷重法、含水率15%である。調整式は省略するが、以下の実大強度データは全てこの条件に基準化された値である。

下限値

構造設計に用いられる、長期許容応力度は、材料強度の1/3とされている。また、建築関連法令で木材の材料強度は、データの信頼水準75%の95パーセント下側許容限界と定められている。これが5%下限値あるいは単に下限値と呼ぶ値である。5%下限値とは、100本の試験データがあったなら、低い方から5本目の値を意味する。したがって、ある材料母集団の基準強度を定める時に、5%下限値の値をとれば、その母集団からの木材の95%はそれより高い強度を持っていることが期待できる。現実には統計的な意味での信頼水準がかかってくるので、一般には下側5番目よりやや低い値となる。曲げ強度から許容応力度を誘導するために特に重要な数値であり、計算方法はいくつかあるが、ここでは順序統計量として求めた。

なお、ヤング率は破壊と直接結びつかないので、平均値で評価している。

建築基準法施行令の改正に関して

今年度改正予定の建築基準法施行令では、許容応力度を含めて設計計算の体系が変わります。材料強度は、基準強度となりますが記載した下限値として誘導されるところは同じです。しかし、これまで荷重期間として長期と短期の2本建てだったのが、多雪地域の積雪期間（3ヶ月程度）や3日程度の短期の積雪期間が設けられます。これに伴い、許容応力度も短期（基準強度の2/3：従来どおり）、長期（基準強度の1.1/3：従来1.1倍）、長期の積雪（3ヶ月：長期許容応力度の1.3倍）、短期の積雪（3日：短期の許容応力度の0.8倍）となります。

また、単位がS I単位となり応力 kgf/cm^2 は N/mm^2 （ $1 \text{ N/mm}^2 = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$ ）に荷重 kg は kN （ $1 \text{ kN} = 102 \text{ kgf}$ ）に変わります。

5. 2. 2 富山県産スギ実大材の曲げ強度性能

富山県産スギ構造材の実大曲げ強度性能を図5-9に示す。試験材は、10.5cm 正角から 12x240cm 平角まで、これまで試験された総数237本のデータに基づく。

○富山県産スギ実大材の曲げ強度、曲げヤング率は平均でそれぞれ357.8kgf/cm²、62.0tf/cm²となった。この値は、全国平均値*）（試験体数約6000、曲げ強度422kgf/cm²、ヤング率73.4tf/cm²）に比べると、やや低めの値とみなされる。

○曲げ強度の下限値は246.4kgf/cm²であり、建築基準法施行令に示される材料強度225 kgf/cm²（新施行令では基準強度22.2N/mm²（226kgf/cm²））を超えている。したがって、建築基準法施行令に記載される許容応力度を用いての設計には、十分な安全性を保持しているといえる。

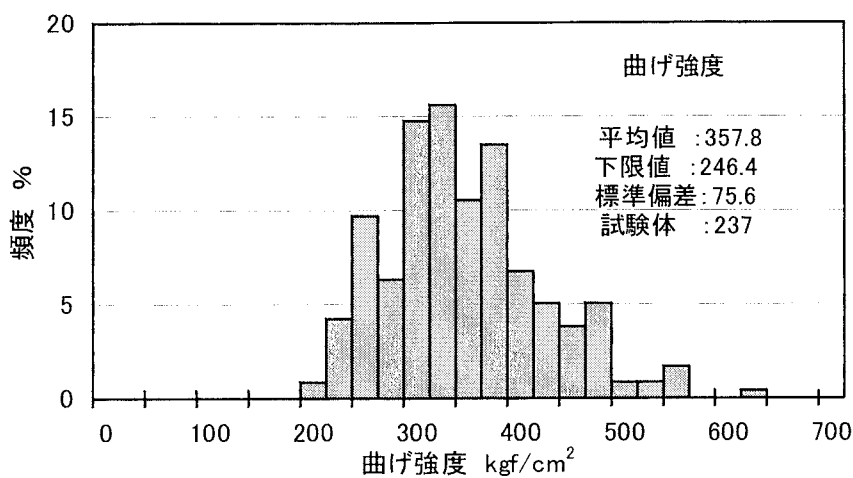


図5-9 富山県産スギの曲げ強度

曲げ強度 kgf/cm ²	頻度 %
200	0.8
225	4.2
250	9.7
275	6.3
300	14.8
325	15.6
350	10.5
375	13.5
400	6.8
425	5.1
450	3.8
475	5.1
500	0.8
525	0.8
550	1.7
575	0.0
600	0.0
625	0.4

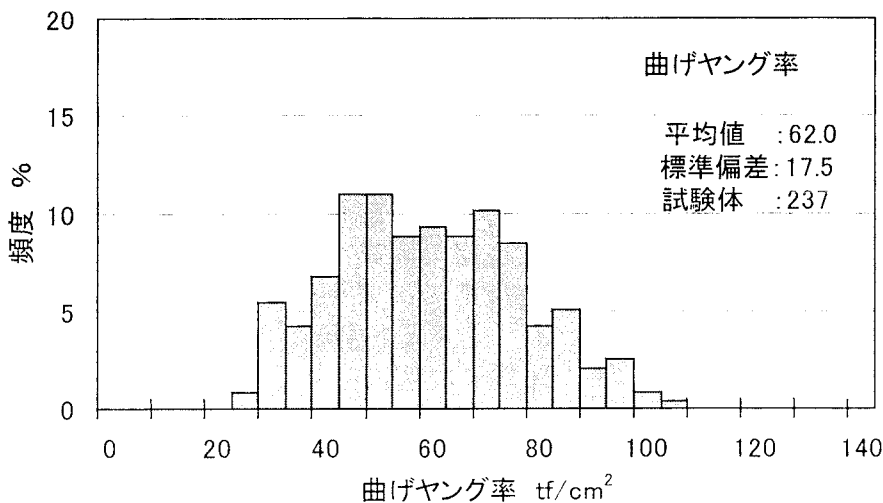


図5-10 富山県産スギの曲げヤング率

曲げヤング率 tf/cm ²	頻度 %
25	0.8
30	5.5
35	4.2
40	16.8
45	11.0
50	11.0
55	8.9
60	9.3
65	8.9
70	10.1
75	8.4
80	4.2
85	5.1
90	2.1
95	2.5
100	0.8
105	0.4
110	0.0

*）「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集（4）、強度性能研究会

5.2.3 構造用製材のJASによる目視等級区分

5.2.2における曲げ強度性能は、材料的な品質チェックの無い状態で流通する場合における強度性能の評価といえる。したがって、極端に強度の低い材料が紛れ込む可能性も持っている。また、木材の強度性能は5%下限値で評価しているが、大きなばらつきを持っているため、強度の高い材料では性能を過小評価していることになる。

そこで、信頼性の向上と無駄のない材料利用のために、材料の等級区分法（グレーディング）が用意されている。日本では、構造用製材の日本農林規格（JAS）が存在し、強度に影響する節の大きさ等を目でみて区分する目視等級区分法と機械で行う機械等級区分法がある。また、等級区分された木材には等級別に許容応力度が与えられる。

JAS規格では用途により

甲種	梁、桁等の主に曲げ材としての用途	1～3級
乙種	柱等の主に圧縮材としての用途	1～3級

に等級区分している。

○図5-11は、JASの目視等級区分を行って、県産スギ材を3等級に区分した時の強度の分布状況である。正規化順位（%）とは、強度の低い順に並べて、順位を全体の本数で除してパーセントにしたものである。弱い順に左から並べたと考えてもよい。各等級とも100本ずつのデータなら、そのまま順位となる。

○この5%目が各等級の下限値となる。JAS1、2、3級で少し値が異なっている（表5-2）。県産スギを等級区分して計算される許容応力度は、甲種JAS材に与えられているスギの許容応力度（1, 2, 3級それぞれ90, 85, 75kgf/cm²）に対して少し低い値となったが、データ数等が十分ではないことから今後値が変わる可能性もあり、問題にする程の差ではない。

○県産スギをJAS甲種材の規格で等級区分した場合、材種によっても異なるが、試験で扱った範囲では等級の構成割合は、1級20%、2級62%、3級15%、等外3%となった。

○柱材としての乙種材では、試験材の殆どが1級材に格付けされたので、乙種1級のみ許容応力度を計算できた。値は82kgf/cm²であり、乙種JAS材の許容応力70kgf/cm²を十分満たしている。

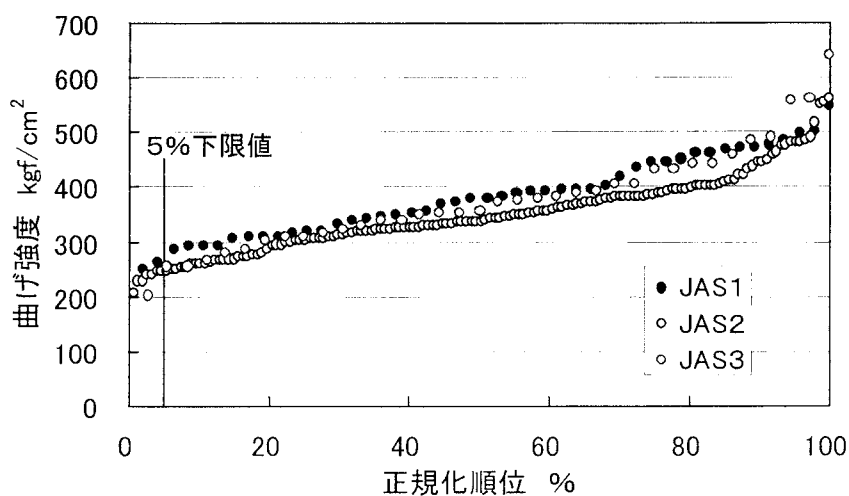


図5-11 JAS目視等級区分による強度の分布

表 5-2 JAS 目視等級区分結果

	試験体数	曲げ強度		下限値 kgf/cm ²	長期許容応力度		曲げヤング率	
		平均 kgf/cm ²	標準偏差 kgf/cm ²		県産スギ kgf/cm ²	JAS kgf/cm ²	平均 tf/cm ²	標準偏差 tf/cm ²
全体	237	357.8	75.7	246	82		62.0	17.6
甲種								
JAS 1級	47	381.3	72.1	258	86	90	61.3	19.1
JAS 2級	147	348.1	70.4	245	82	85	61.4	17.4
JAS 3級	36	376.0	93.1	220	73	75	64.5	17.2
等外	7	310.9	59.9				64.1	12.6
正角	99	371.4	89.6	246			62.3	19.9
乙種 1級	85	373.4	87.4	247	82	70	62.6	19.6
2級	11	349.0	96.2			65	59.6	24.0
3級	2					60		
等外	1							

県産スギの長期許容応力度は下限値の1/3として計算した参考値である。新施行令ではこの数値を1.1倍したものが長期許容応力度に相当する。

5. 2. 4 構造用製材のJASによる機械等級区分

木材の曲げ試験を行うと、図5-12に見られるように、曲げ強度と最も関係の深いのは曲げヤング率となる。曲げヤング率は、たわみ難さを表す係数であり、一定量を撓ませるのに必要な荷重に相当するものである。したがって、非破壊的にたわみと荷重の関係だけで求めるられることから、曲げヤング率を用いて等級区分を行うことが可能となる。また、この方法は機械的に行うことができることから、機械的等級区分と呼ばれており、目視等級区分よりも精度が高い推定が可能であり、その結果許容応力度も高い値となる。

○ JAS 機械等級区分にしたがい、ヤング率階ごとに下限値、許容応力度を求めると(表5-3) E50クラスは JAS と同等だが、ヤング率の高い階級に行くほど差異を生じるようである。E90クラスはデータ数が不足しているものの、図5-12の曲げヤング率と曲げ強度の相関関係の直線の傾きの違いが全国値と異なることが考えられる。

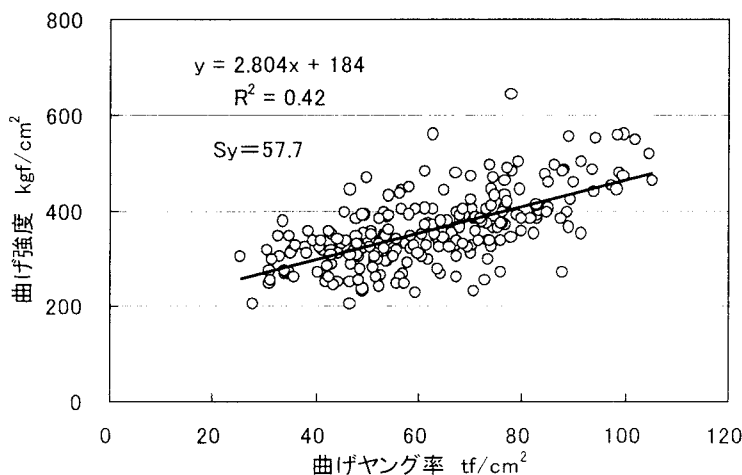


図5-12 曲げ強度と曲げヤング率の関係

表5-3 機械等級区分結果

	試験体数	ヤング率 tf/cm ²	曲げ強度 kgf/cm ²	下限値 kgf/cm ²	長期許容応力度		
					県産スギ kgf/cm ²	JAS kgf/cm ²	
E50	40~60未満	89	50.5	321.4	234	78	75
E70	60~80未満	87	70.0	377.2	262	87	95
E90	80~100未満	33	89.1	436.4	289	96	115
E110	100~120未満	3	104.0	508.3			135

新施行令の長期許容応力度は本数値を1.1倍したものが相当する。

5.2.5 製材の材質と強度的性質の関係

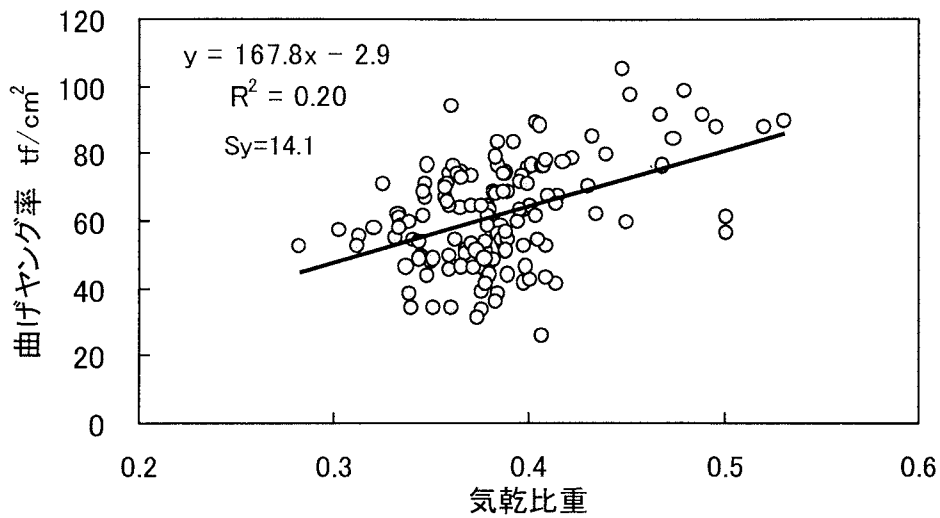


図5-13 比重と曲げヤング率の関係

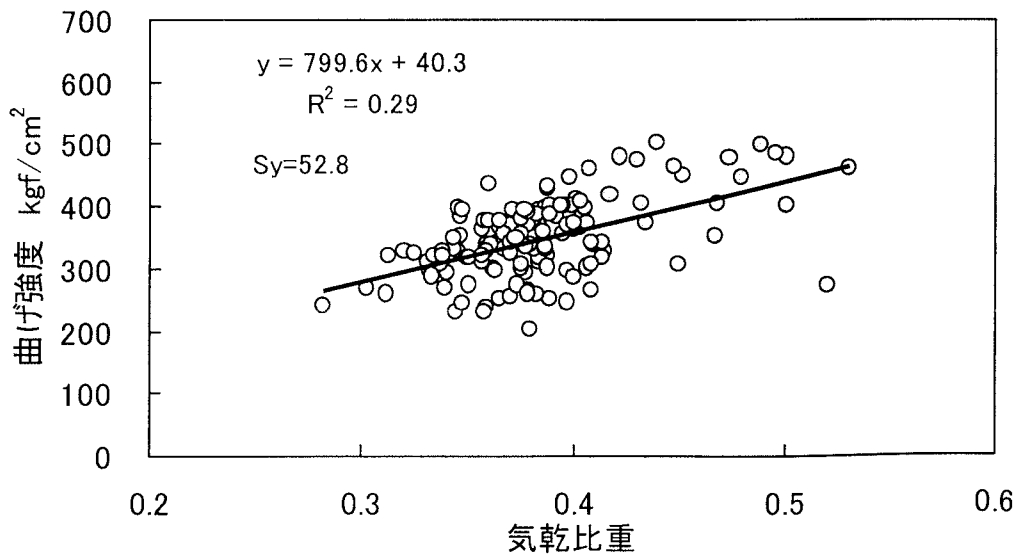


図5-14 比重と曲げ強度の関係

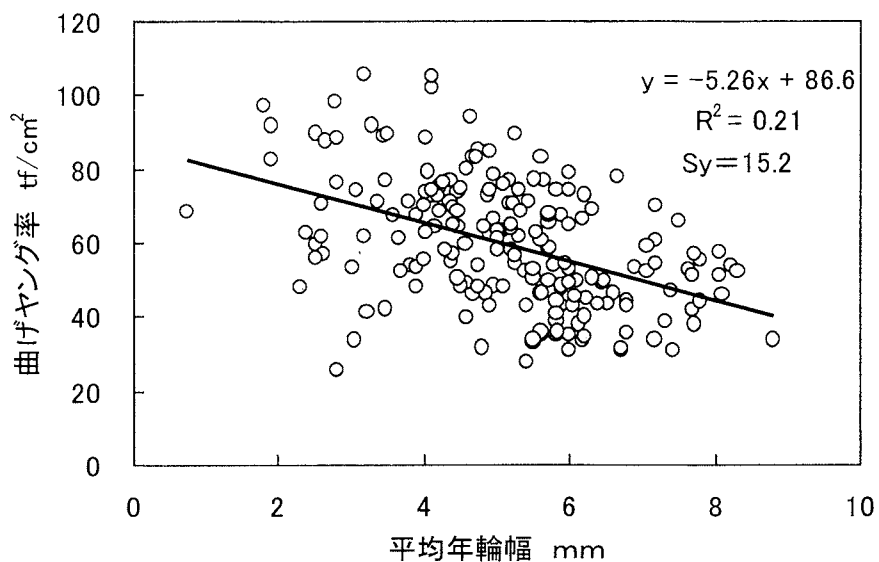


図5-15 平均年輪幅と曲げヤング率の関係

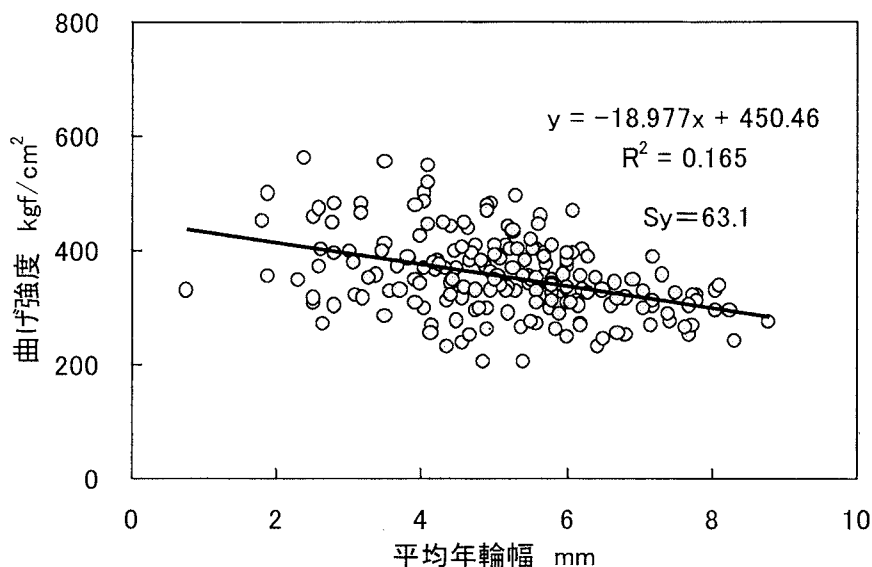


図5-16 平均年輪幅と曲げ強度の関係

5. 2. 6 実大材付属データ

1) 縦振動ヤング率と曲げヤング率の関係

○縦振動ヤング率と曲げヤング率の関係を図5-17、18に示す。共に、曲げ試験時の直接的な値であり、調整を行っていない。したがって、含水率の状態は生材から乾燥状態まで様々である。

○相関は非常に高く、縦振動ヤング率での曲げヤング率の推定は十分可能であるが、値は縦振動ヤング率が若干高い傾向にある。

○また、材種によって関係が異なる傾向にある。平角は、正角より値が離れる傾向にある。

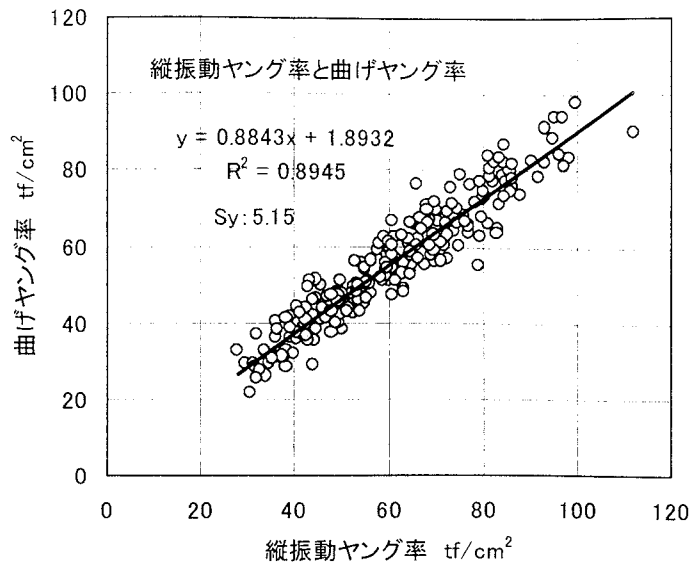


図5-17 縦振動ヤング率と曲げヤング率の関係

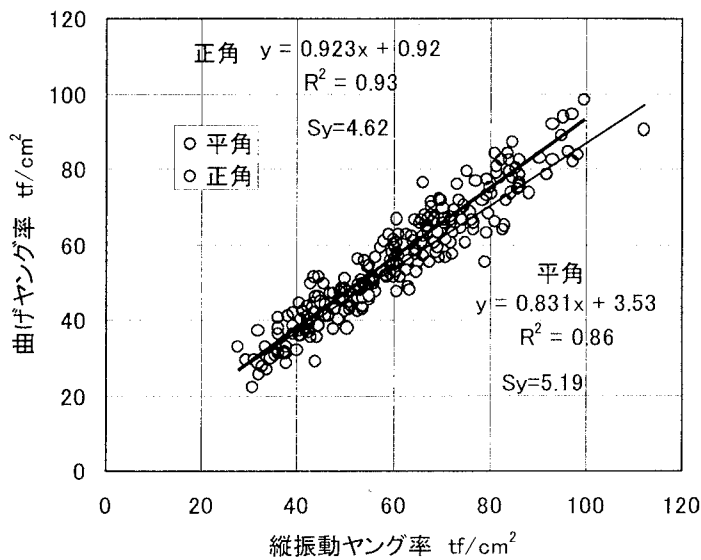


図5-18 縦振動ヤング率と曲げヤング率の関係 (材種別)

2) 丸太ヤング率と製材ヤング率の関係

丸太のヤング率と製材のヤング率の関係を図5-19に示す。正角は心持ち、平角は主に心持ちであり、一部に2丁取りしたものが含まれている。丸太は縦振動ヤング率、製材は曲げ試験時の曲げヤング率で、ともに生材時の値（正角の一部に乾燥材も含まれる）。

○製材のヤング率と丸太のヤング率は高い相関を持っており、製材の強度を丸太の段階で選択することが可能である。

○製材と丸太のヤング率の関係は、材種や製材木取りの方法で異なる。丸太から、最大に近い断面の製材を取った平角と、小断面の正角材を採材した場合には、相関の強さや値に違いが生じる。

○基本的に丸太の樹皮に近い部分が心近くよりも強度性能が高いため、丸太のヤング率が同じでも、外側を多く含む平角はヤング率が高く、心持ちの正角のヤング率は低くなる。

○丸太の比重を一定とみなした丸太ヤング率と製材のヤング率も十分な相関を持っており、打撃による周波数測定のみで丸太ヤング率の選別が期待できる。

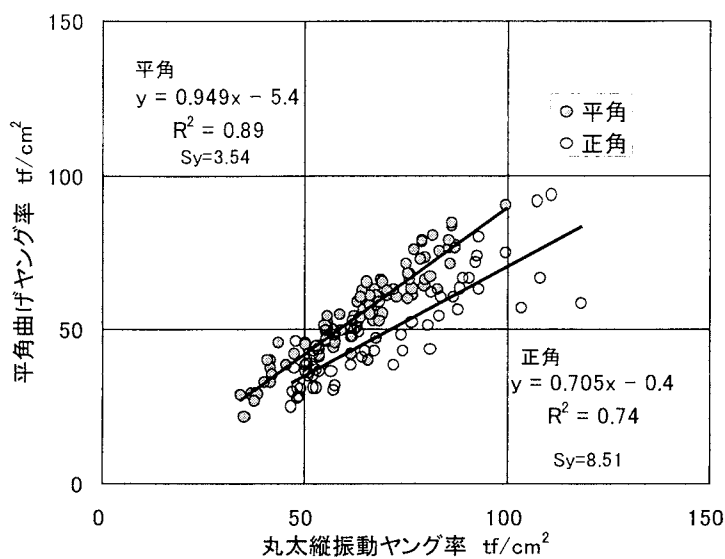


図5-19 丸太と製材のヤング率の関係

表5-4 丸太と製材のヤング率

		正角	平角
製材寸法	mm	105x105	120x210
丸太直径	平均	22.4	29.0
	最小	16.9	21.5
	最大	33.0	37.5
関係式	t/cm ²	E = 0.705 Elog - 0.4	E = 0.949 Elog - 5.4
決定係数	R ²	0.74	0.89
標準誤差	Sy t/cm ²	8.51	3.54

E : 製材の曲げヤング率、Elog : 丸太の縦振動ヤング率

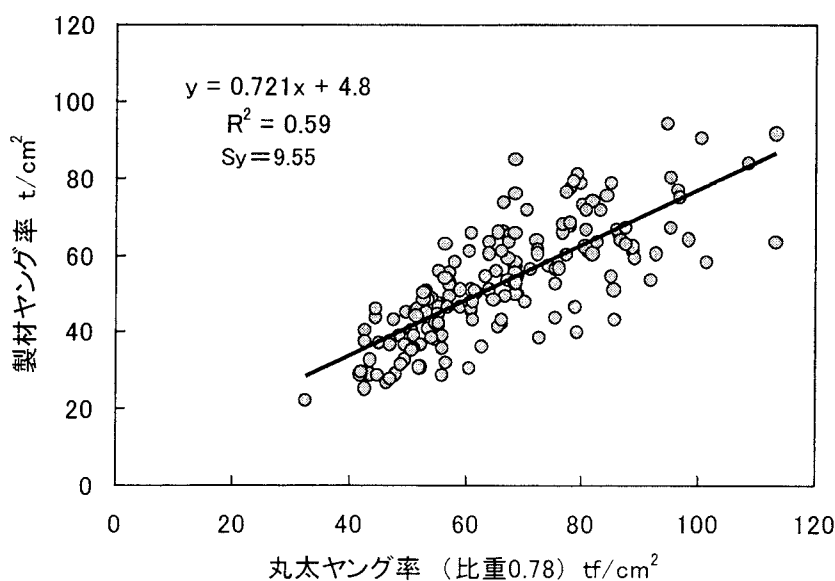


図5-20 丸太ヤング率と製材ヤング率の関係 (比重測定省略)

3) 製材乾燥による寸法、ヤング率の変化

ボカスギ平角 (12x24cm) 30本を蒸気式乾燥した時の寸法、ヤング率の変化を表5-5に示す。

○平角材のため乾燥は断面平均で23.2%だが、外層(梁せいの上下1/4部分)は20%程度まで乾燥している。この条件で、幅の収縮率は2.12% (2.62mm)、高さは内部の未乾燥部分の影響を受けやすく1.45% (3.56mm)と低くなった。

○縦振動ヤング率は同条件で9.1%の上昇となった。

表5-5-1 乾燥前後の状況

		乾燥前				乾燥後			
		平均	最小	最大	SD	平均	最小	最大	SD
重量	kg	71.8	64.6	81.1	4.3	46.0	43.0	51.0	1.54
比重		0.58	0.52	0.68	0.04	0.39	0.37	0.42	0.01
含水率	%	92.2	72.2	129.2	12.2	23.2	19.2	34.0	3.29
幅	mm	123.6	121.2	125.9	0.12	12.1	11.77	12.0	0.15
高さ	mm	245.7	244.8	247.0	0.05	24.2	239.6	240.0	0.10
周波数	Hz	338.5	250.0	407.5	42.9	432.8	330.0	512.0	51.28
Ed	tf/cm ²	45.4	24.0	67.2	11.9	49.3	27.7	70.0	12.11

表5-5-2 乾燥変化率

	含水率			収縮量		収縮率		Ed 変化率 %
	平均 %	外層 %	内層 %	幅 mm	高さ mm	幅 %	高さ %	
平均値	23.2	20.0	25.5	2.62	3.56	2.12	1.45	9.1
最小値	19.2	17.5	20.4	0.99	1.74	0.79	0.71	3.4
最大値	34.0	29.0	39.0	3.81	5.32	3.07	2.17	16.6
標準偏差	3.29	2.67	4.06	0.60	0.80	0.50	0.30	3.2

Ed: 縦振動ヤング率 tf/cm²

4) 計器による含水率と全乾法の違い

○含水率計による含水率の測定は、蒸気式乾燥を行った正角材ではおおむね良好といえる。しかし、基本的に含水率計は内部までの水分測定はできないので、断面の大きな平角材などでは、全乾法との誤差は大きなものとなるので注意を要する。

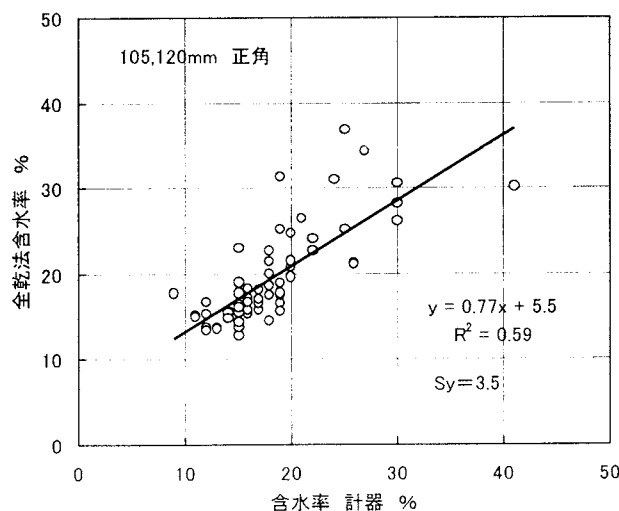
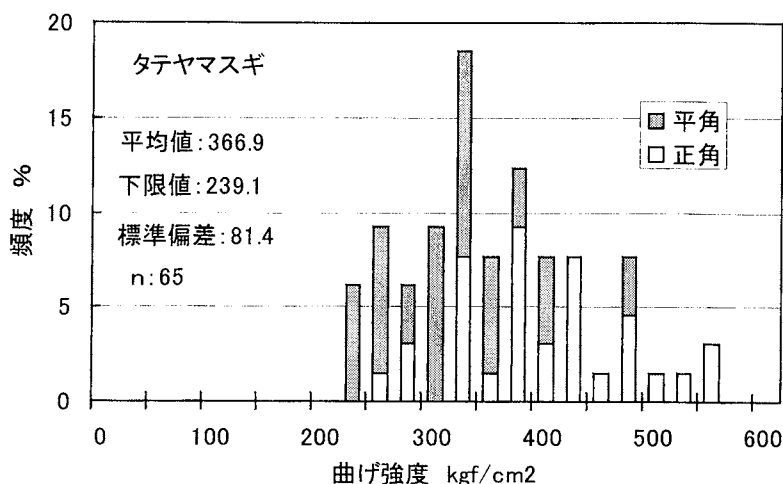


図5-21 計器と全乾法による含水率

5. 2. 7 品種による強度性能の違い

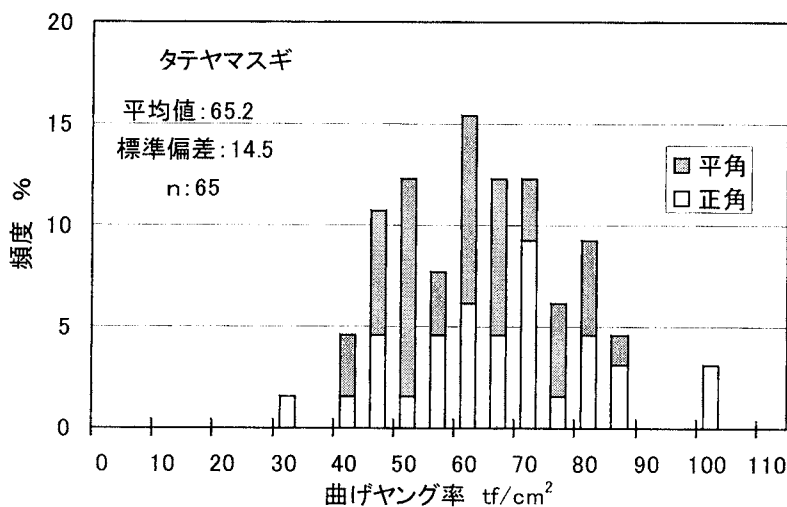
1) タテヤマスギ

実大曲げ試験結果の中で、タテヤマスギと品種が確定できるものについて図5-22, 23に示す。いずれも心持ち材で。正角、平角が約半分の割合となっている。○一般的には平角のヤング率は正角より高くなるが、この正角材には年輪幅の密なものが含まれたため、やや特異な傾向を示している。



曲げ強度 kgf/cm ²	頻度 %
200	0.0
225	6.2
250	9.2
275	6.2
300	9.2
325	18.5
350	7.7
375	12.3
400	7.7
425	7.7
450	1.5
475	7.7
500	1.5
525	1.5
550	3.1
575	0.0
600	0.0

図5-22 タテヤマスギ曲げ強度の分布



曲げヤング率 tf/cm ²	頻度 %
25	0.0
30	1.5
35	0.0
40	4.6
45	10.8
50	12.3
55	7.7
60	15.4
65	12.3
70	12.3
75	6.2
80	9.2
85	4.6
90	0.0
95	0.0
100	3.1
105	0.0

図5-23 タテヤマスギ曲げヤング率の分布

表5-6 タテヤマスギの曲げ強度性能

	試験体数	平均年輪幅 mm	曲げヤング率 tf/cm ²		曲げ強度 kgf/cm ²	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差
正角	30	4.4	68.4	16.7	413.5	78.0
平角	35	5.8	62.5	12.2	326.9	62.4
総数	65	5.2	65.2	14.6	366.9	82.0

2) ボカスギ

ボカスギ実大曲げ試験は平角30本、正角30本の合計60本について行っており、実大強度性能分布を図5-24、25に示す。

○曲げ強度、曲げヤング率とも平角材で大きくなる。特に、正角材ではヤング率が平均40tf/cm²であり低い値であるが、平角木取りでは平均55tf/cm²まで上昇している。高さによる違いがあり、2番玉より上では一般のスギとヤング率は同等レベルになると考えられる。

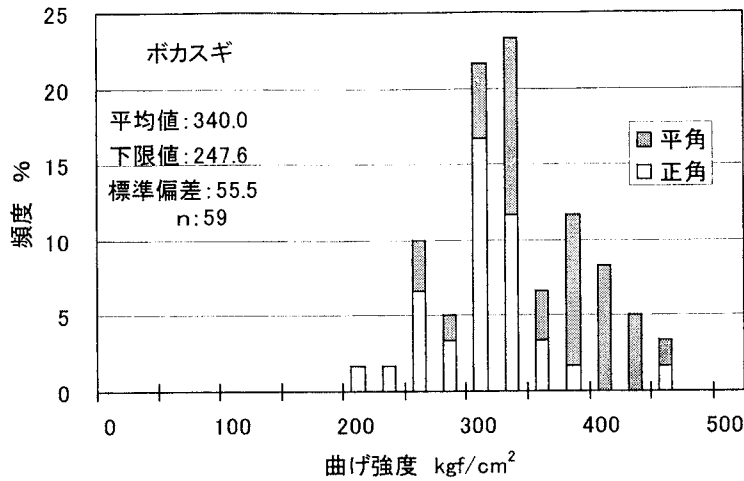


図5-24 ボカスギ曲げ強度の分布

曲げ強度 kgf/cm ²	頻度 %
150	0.0
175	0.0
200	1.7
225	1.7
250	10.2
275	5.1
300	22.0
325	23.7
350	6.8
375	11.9
400	8.5
425	5.1
450	3.4
475	0.0
500	0.0

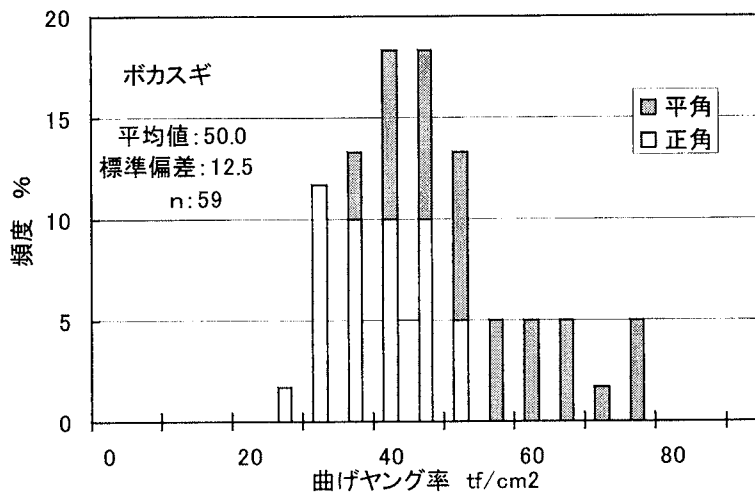


図5-25 ボカスギ曲げヤング率の分布

ヤング率 tf/cm ²	頻度 %
20	0.0
25	1.7
30	11.9
35	13.6
40	18.6
45	18.6
50	13.6
55	5.1
60	5.1
65	5.1
70	1.7
75	5.1
80	0.0

表5-7 ボカスギの曲げ強度性能

	n	平均年輪幅 mm		ヤング率 tf/cm ²		曲げ強度 kgf/cm ²	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
正角	29	6.0		40.4	7.4	315.3	47.4
平角	30	5.5		55.3	12.2	363.9	52.9
全体	59	5.7		48.0	12.6	340.0	55.5

3) 品種による実大強度性能の違い—全国—

スギの実大強度性能を見る場合、相当数のデータに基づかなければ、品種間差や地域による違いを述べることは難しい。特にタテヤマスギのような場合、地域性品種と呼ばれる実生苗の品種は、材質のデータにも見られるように、非常にばらつきが大きく、一つの形質を特徴づけるのにも、かなりのデータ数でなければ、特殊な一例で代表してしまう可能性が高い。特に、実大強度試験の場合は、一つの林分で数十本の単位で試験材をとるため、限られた一つの林分のデータになる可能性が高いことに注意しておく必要がある。

加えて、スギ材の場合は成長など林分影響が大きいというに、地域で施業方式がかなり異なることが関わってくる。もちろん、施業条件が限定されてくるような品種は良いが、地域性品種ではそれも曖昧な場合が多くなる。また、他の樹種でも心持ちや心去り、正角、平角等の寸法影響はあるが、スギの場合は一般に年輪幅が広いいため、成長の影響がこれに加わり、その影響を複雑にしている。

したがって、可能な限り、試験条件を統一したうえで品種間の違いを見なければ、誤解を招く恐れの方が多いと考えられる。

平成3～5年に林業普及活動システム化事業で「スギ品種の材質特性の評価」が行われ、地域性品種、挿し木品種、精英樹クローンを含めて全国11県、43品種、クローンについて30～40年生林分から各30本、1番玉、心持ち正角材という条件で試験が行われた。その結果の一部を表5-8に示す。

表5-8 同一条件下でのスギ品種間差

	試験体数	曲げ強度		曲げヤング率	
		平均	変動係数	平均	変動係数
		kgf/cm ²	%	tf/cm ²	%
全国スギ	735	390	21.1	60.3	27.1
タテヤマスギ	30	412	18.9	69.0	24.4
ボカスギ	30	320	14.8	40.9	20.8

ここでの数値は、含水率による強度性能調整のみを行っている。

○1林分での値だが、この結果から比較するとタテヤマスギは全国のスギと同等以上の強度性能を持っていると見なすことができる。

○ボカスギについては、全体に強度性能は低めだが、曲げ強度はスギとしてのレベルを満たしている。特に1番玉の心持ち正角材ではヤング率が低めなので撓みに対する配慮が必要と考えられる。

4) 県産スギの実大曲げ性能まとめ

県産スギは、これまでの試験データからの計算では、長期曲げ許容応力度が82kgf/cm²となり施行令等の75kg/cm²の値での設計に対して十分な安全性を持っている。JAS規格材の場合も、試験データの的に2～4kg/cm²程度甲種では低めとなったが、1、3級ではデータ数が十分ではないため変化する可能性が高く、JAS規格材の許容応力度を使っても問題ないと考えられる。逆に乙種構造材では12kg/cm²も高めの結果となっており、より高めに評価することも可能と考えられる。機械等級区分に関しては上位等級で誤差が見受けられ、県産スギでは異なる評価が適当と考えられる。

品種については必要以上に意識する必要はないが、曲げ強度についてはボカスギ、タテヤマスギともスギ材の許容応力度を確保できる値を持っている。タテヤマスギは、ばらつきが大きくデータの偏りの可能性があることから、より広範な試験データの積

み重ねを行えば、より高めの数値を与える可能性を持っている。ボカスギでは低ヤング率の材料が含まれる可能性があることから、設計に際して撓みに対する配慮を行うのが適当であろう。また、低ヤング率材は正角材特に1番玉に多いことから、材料供給面で低ヤング率材をチェックするのも有効と考えられる。

5.2.8 間伐材の特性

スギ^{*}間伐材100本について、7~9cm角材を製材したときの、乾燥変形と実大強度試験の結果を表5-9~11に示す^{*}。

間伐材とは、育林過程で間引きした材を意味しており、一般に小径であることと、狂いの大きさ、強度性能の低さ等が問題になることが多い。

○乾燥後の曲りは、0.5~0.6%であり矢高で15~18mmにも達しており、直材としてはその用途が限られる。ただし、乾燥は無負荷に近いので負荷により減少する可能性がある。

○曲げ強度は、問題視するほどではないが、ボカスギのヤング率は40tf/cm²クラスとかなり低く、小断面材では撓みに問題のない利用方法が望まれる。

○間伐材に限らず主伐材であっても心近くの採材では同様の結果となるので、より大きな断面での利用が望ましい。

表5-9 間伐材丸太概要

	本数	末口直径 cm		平均年輪幅 mm		
		平均	最小 最大	平均	最小	最大
タテヤマスギ	50本	13.5	12~16	5.2	3.6~7.3	
ボカスギ	50本	11.1	9~14	5.6	2.9~7.9	

製材後、天然乾燥(無負荷20~30%を行い人工乾燥で含水率13%を目標に乾燥した。乾燥時の重量は軽めに設定している。

表5-10 乾燥による形質の変化

	含水率 %	収縮率 %	曲り %		ねじれ度		
			平均	最小~最大	平均	最小~最大	
タテヤマスギ							
7cm 製材後	68.0	27.3~114.3			0.19	0.05~0.63	0
乾燥後	12.2	11.5~13.1	2.2	1.2~3.6	0.67	0.15~3.05	3.4
9cm 製材後	71.4	26.9~119.5			0.12	0.05~0.53	0
乾燥後	12.8	12.0~13.3	1.5	0.7~2.0	0.36	0.07~1.83	1.8
ボカスギ							
7cm 製材後	121.7	65.3~186.6	0.19	0.03~0.45	0.1	0~0.8	
乾燥後	13.3	12.7~14.1	2.3	1.9~2.8	0.59	0.10~3.60	2.7
9cm 製材後	150.3	86.2~224.7			0.12	0.03~0.25	0
乾燥後	14.0	12.8~16.1	1.9	1.0~2.3	0.50	0.08~1.75	0.6

表5-11 間伐材の実大曲げ試験結果

	含水率 %	曲げヤング率 tf/cm ²			曲げ強度 kgf/cm ²		
		平均	最小	最大	平均	最小	最大
タテヤマスギ							
7cm 角	12.2	11.4~13.1	64	38~98	376	212~574	
9cm 角	12.8	12.0~13.3	68	40~102	386	278~541	
ボカスギ							
7cm 角	13.3	12.7~14.1	47	32~64	346	236~453	
9cm 角	14.0	12.8~16.1	44	29~73	325	257~438	

強度性能値に含水率、寸法、試験条件等の調整は行っていない

*) 「タテヤマスギとボカスギ間伐材の材質特性」 武田和正他、木材と技術、No.46(1981)

5. 2. 9 スギ材の許容応力度と全国のスギ実大曲げ強度性能

県産スギに関わらず、一般にスギ材を利用する場合の設計値を表5-12、13に、平成12年度に施行される新建築基準法施行令に従って示す。ここでは構造計算の体系が変わり、許容応力度等も新たな値となる。内容が変わる可能性もあるので参考とする場合は、施行令及び関連告示での確認が必要である。

また、全国のスギ実大材の強度データを参考として表5-14に示す。

表5-12 スギ材の基準強度 F

			圧縮	引張	曲げ
			N / mm ² (kgf / cm ²)		
日本農林規格 目視等級区分材	甲種	1 級	21.6 (220)	16.2 (165)	27.0 (275)
		2 級	20.4 (208)	15.6 (159)	25.8 (263)
		3 級	18.0 (184)	13.8 (141)	22.2 (226)
	乙種	1 級	21.6 (220)	13.2 (135)	21.6 (220)
		2 級	20.4 (208)	12.6 (128)	20.4 (208)
		3 級	18.0 (184)	10.8 (110)	18.0 (184)
日本農林規格 機械等級区分材	E50		19.2 (196)	14.4 (147)	24.0 (245)
	E70		21.6 (220)	16.2 (165)	26.4 (269)
	E90		28.2 (288)	21.0 (214)	34.8 (355)
	E110		32.4 (330)	24.6 (251)	40.8 (416)
	E130		37.2 (379)	27.6 (281)	46.2 (471)
	E150		41.4 (422)	31.2 (318)	51.6 (526)
無等級材			17.7 (180)	13.5 (138)	22.2 (226)

せん断の基準強度はいずれも $1.8\text{N} / \text{mm}^2$ ($18\text{kgf} / \text{cm}^2$)

許容応力度は以下の式で求められる。

$$\begin{aligned} \text{長期許容応力度} &= 1.1 F / 3 \\ \text{継続的な積雪時 (3ヶ月) の許容応力度} &= 1.3x \text{ 長期許容応力度} \\ \text{短期的な積雪時 (3日) の許容応力度} &= 0.8x \text{ 短期許容応力度} \\ \text{短期許容応力度} &= 2.0 F / 3 \end{aligned}$$

富山県のような多雪地域では、これまで積雪荷重を長期荷重としても扱ってきたが、新施行令では中期ともいふべき3ヶ月程度の荷重期間が採用され、積雪荷重に対する許容応力度は長期許容応力度の1.3倍を用いて設計可能となる。

例えばスギ無等級材の許容応力度は

表5-13 スギ材の許容応力度（無等級材）

	圧縮	引張	曲げ
	N / mm ² (kgf / cm ²)		
基準強度 F	17.7(180)	13.5(138)	22.2(226)
長期許容応力度	6.5(66)	5.0(51)	8.1(83)
積雪中期 "	8.4(86)	6.4(66)	10.6(108)
積雪短期 "	9.4(96)	7.2(74)	11.8(121)
短期 "	11.8(120)	9.0(92)	14.8(151)

スギ材の曲げ許容応力度をみると、従来の75kgf/cm²から83kgf/cm²に大きくなった印象を持つが、これは荷重継続時間の影響に関する設計体系の考え方の変化により従来の数字の1.1倍となっているのであり、材料強度の評価方法が変わったためではない。基準強度は材料強度として位置づけられており、従来の225kgf/cm²と変わっていないし、短期許容応力度については従来と同じである。

したがって、県産スギのデータを新しい新施行令の設計体系に合わせる場合は、従来の長期許容応力度を1.1倍すればよい。

表5-14 スギ実大強度性能（全国データ）*

	試験体数	含水率 %	密度 kg/m ³	年輪幅 mm	ヤング率		強度		
					平均	標準偏差	平均	標準偏差	
曲げ	II A	4500	20.1	414	5.2	72.7	17.2	425.2	87.8
	II B	1000	32.1	392	5.1	77.9	17.2	420.1	89.0
圧縮	II A	700	21.8	402	5.5			295.7	58.6
引張	II A	500	18.4	412	4.6			276.3	66.6

構造用 II A、B は構造用製材 JAS の材種区分であり、II A は長辺が 150mm 以下の正角、平割程度、II B は 150mm 以上のいわゆる平角相当材

* 「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集（4）、強度性能研究会、2000

6. 柱の圧縮性能

1) 圧縮強度

県産スギ材の実大圧縮試験は実施していないことから、全国で蓄積されたデータを参考として表記する。

表6-1 スギ実大材の圧縮強度^{*)}

	試験体数	平均値	最小	最大	標準偏差
圧縮強度 kgf/cm^2	672	295.7	187.6	545.6	58.6

^{*)} 「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集(4)、強度性能研究会

2) 座屈性能

105mm 角の柱で長さが30cm 程度なら、上記のデータでは平均で32.6トンで破壊することになる。しかし、これは長さが短く圧縮で破壊する場合であり、住宅の柱のように3m 近い長さでは、遙かに低い荷重で曲がって折れる現象を示す。これを、柱の座屈と呼んでいる。

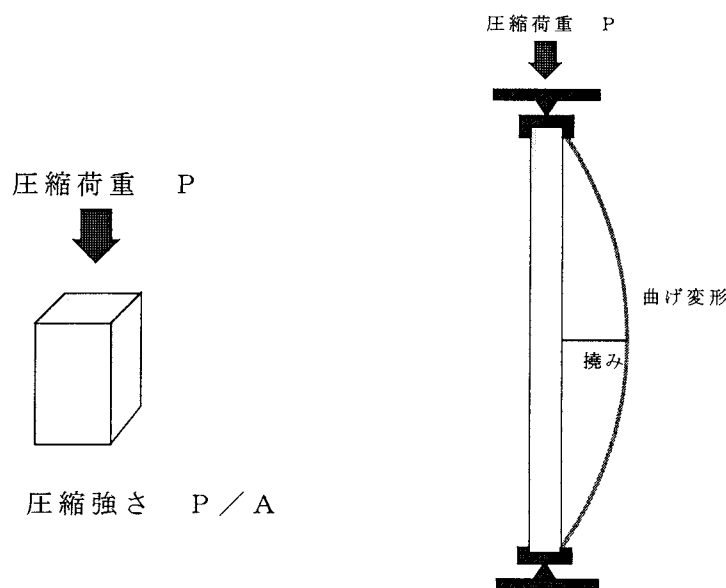


図6-1 圧縮荷重による柱の変形

座屈では、図6-1のように曲がって破壊するので、曲げ試験と同様に曲がりに対する抵抗力を表すヤング率が耐力に大きく関わってくる。

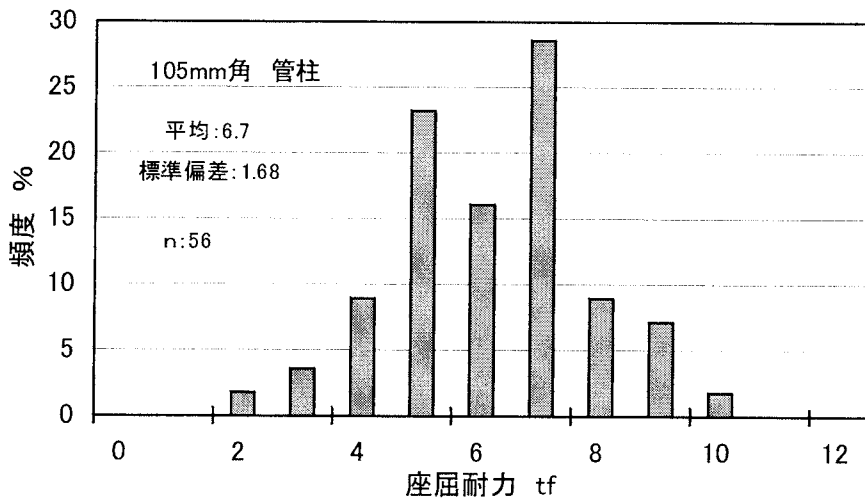
県産スギ柱材105mm 角、120mm 角それぞれ約50本について座屈試験を行った結果を表6-2、図6-2、3に示す。柱の長さは280cm でナイフエッジまで含めた座屈長は305cm である。

○県産スギ柱の圧縮性能は、105mm 角で平均6.7トン、120mm 角で平均11.5トンの座屈耐力となった。ただし、ばらつきが非常に大きく、最小と最大で3~4倍の違いがある。

○柱の圧縮性能は、ヤング率の測定により実用上十分な精度で推定できる (図6-4)

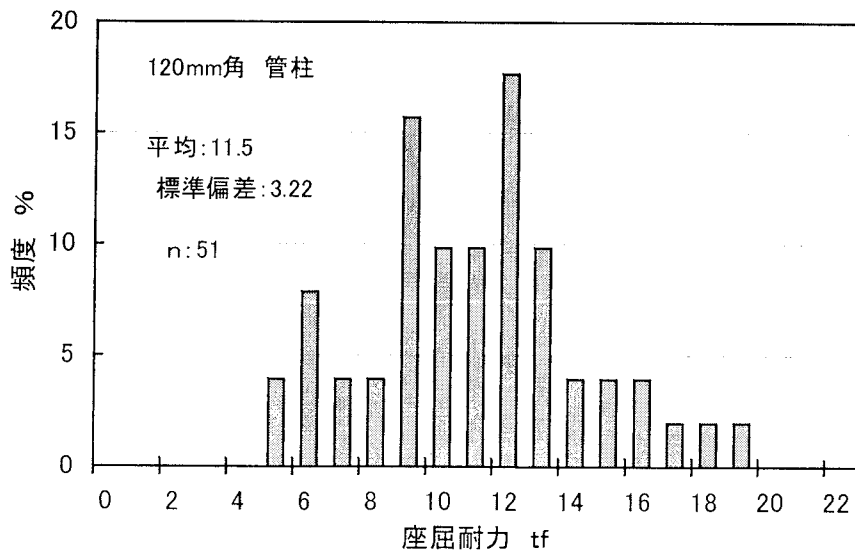
表6-2 県産スギの座屈耐力

	105mm 角	120mm 角
本数	56	51
耐力平均	t 6.7	11.5
最小	t 2.8	5.6
最大	t 10.7	20.1
標準偏差	t 1.70	3.25
変動係数	% 25.4	28.3



耐力 tf	頻度 %
0	0.0
1	0.0
2	1.8
3	3.6
4	8.9
5	23.2
6	16.1
7	28.6
8	8.9
9	7.1
10	1.8
11	0.0
12	0.0

図6-2 105mm 角管柱の圧縮性能



耐力 tf	頻度 %
4	0.0
5	3.9
6	7.8
7	3.9
8	3.9
9	15.7
10	9.8
11	9.8
12	17.6
13	9.8
14	3.9
15	3.9
16	3.9
17	2.0
18	2.0
19	2.0
20	0.0

図6-3 120mm 角管柱の圧縮性能

3) 柱の座屈耐力の推定

○柱の座屈耐力は、部材のヤング率測定で十分な精度で推定できる（図6-4）。したがって、柱材のヤング率による等級分けで、強度信頼性の高い柱材を供給可能である。

○寸法、長さが異なる柱の場合も、柱の座屈耐力は、オイラーの推測式で十分推定できる。

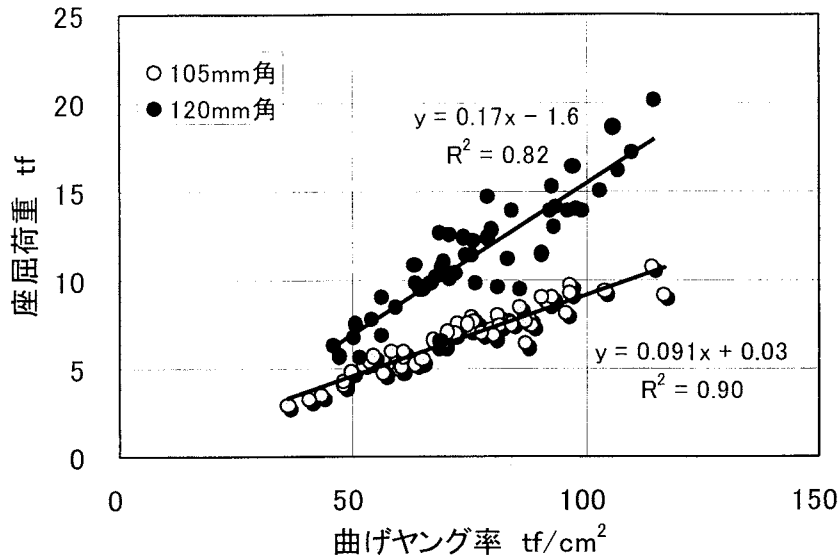


図6-4 座屈耐力とヤング率の関係

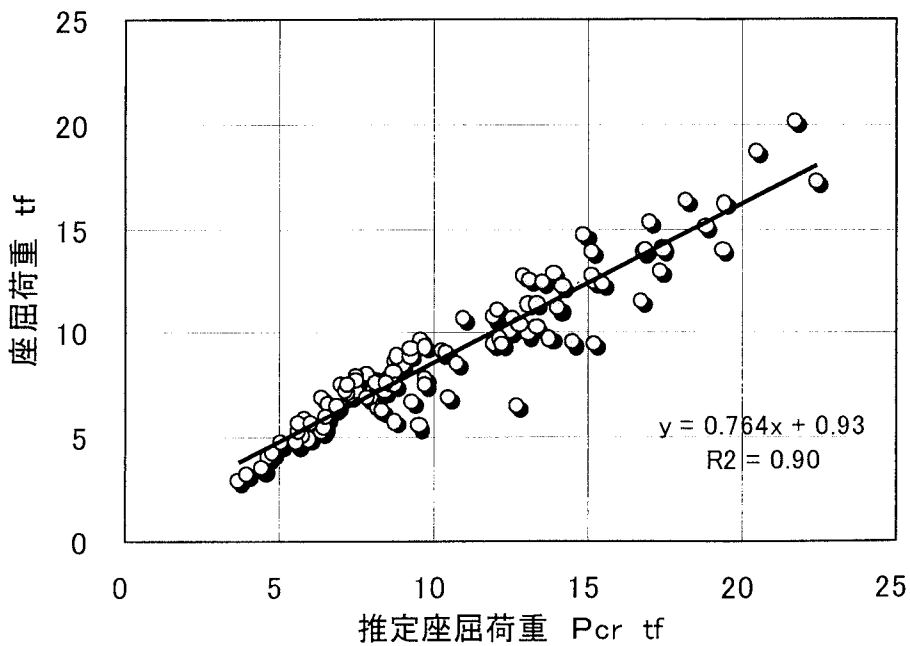


図6-5 座屈荷重の推定

$$\text{推定座屈荷重 } P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L^2} \quad I = \frac{b h^3}{12}$$

E : ヤング率 、 L : 柱座屈長さ
b : 材幅 、 h : 材せい

7. 集成材用ラミナ

県産スギ丸太38本から、構造用スギ集成材を製造した際の、ラミナのヤング率の分布、集成材の性能を示す。使用丸太は直径21~37cm、平均27.4cm、ラミナは仕上がり寸法30x150mmとした*)。

○ラミナのヤング率の平均は、80.1tf/cm²であり、E60からE90のラミナグレードが多い。(図7-1)

○ラミナのヤング率は丸太のヤング率と十分な相関を持っており、丸太のヤング率測定で選択的なラミナの採材が可能と考えられる。

○県産スギを用いた場合、E85-F255(ヤング率85tf/cm²、曲げ強度255kgf/cm²)集成材が最も高クラスの集成材となるが、ラミナの使用効率は低い。ラミナの使用効率の最も高いスギ集成材はE65-F225(ヤング率65tf/cm²、曲げ強度225kgf/cm²)である。

表7-1 ラミナの採材歩留り

	丸太末口直径 cm	乾燥ラミナ材積 m ³	歩留り %
平均	27.4	0.139	44.8
最小	21.0	0.079	25.9
最大	37.0	0.242	60.5
標準偏差	3.2	0.042	8.0
試料数	38		

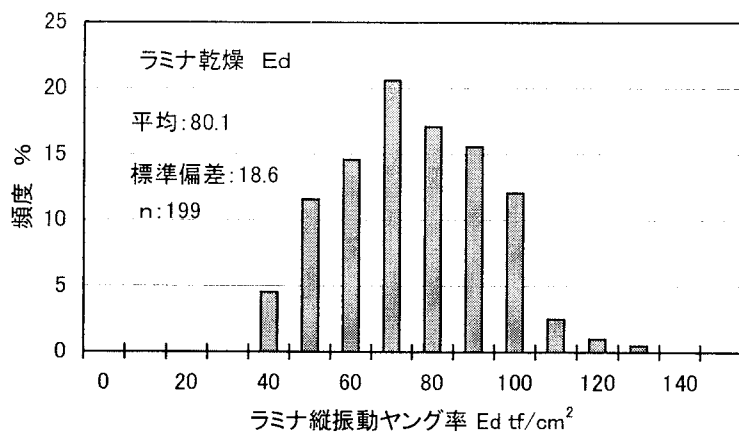
表7-2 スギ乾燥ラミナの性状

	含水率 %	曲り mm	縦ぞり mm	比重
平均値	10.9	6.5	10.2	0.39
最大値	15.0	27	51	0.50
最小値	7.3	0	0	0.31
標準偏差	1.8	4.7	8.4	0.04
変動係数	16.2	72.3	82.6	9.2
試料数	40			

表7-3 ラミナの収縮率

	計器含水率 %	収縮量		収縮率	
		幅 mm	厚さ mm	幅 %	厚さ %
平均	10.9	4.80	1.00	2.72	2.56
標準偏差	1.8	1.37	0.51	0.77	1.27
変動係数	16.2	28.5	51.2	28.5	49.4

*)「地域産材を利用した異樹種積層材の製造と性能評価」、柴和宏他、富林技研報 No.13, 2000



ヤング率 tf/cm ²	頻度 %
30	0.0
40	4.5
50	11.6
60	14.6
70	20.6
80	17.1
90	15.6
100	12.1
110	2.5
120	1.0
130	0.5
140	0.0

図7-1 県産スギラミナのヤング率分布

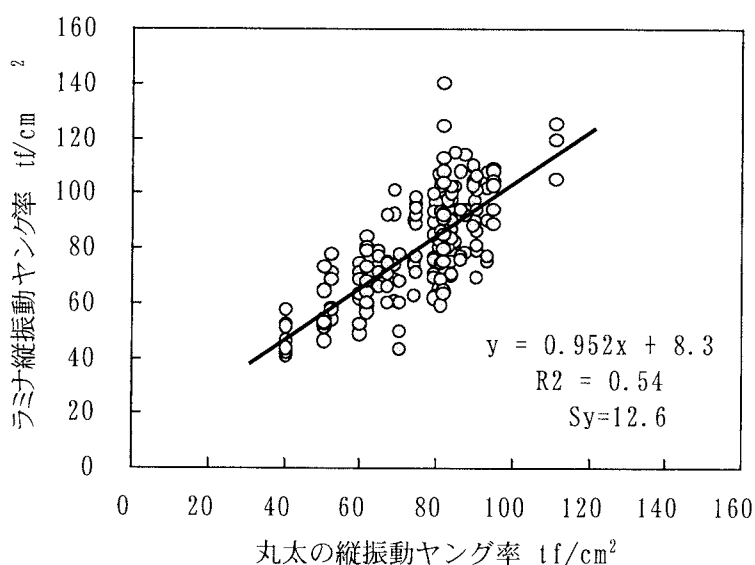


図7-2 丸太のヤング率測定による採材ラミナヤング率の推定

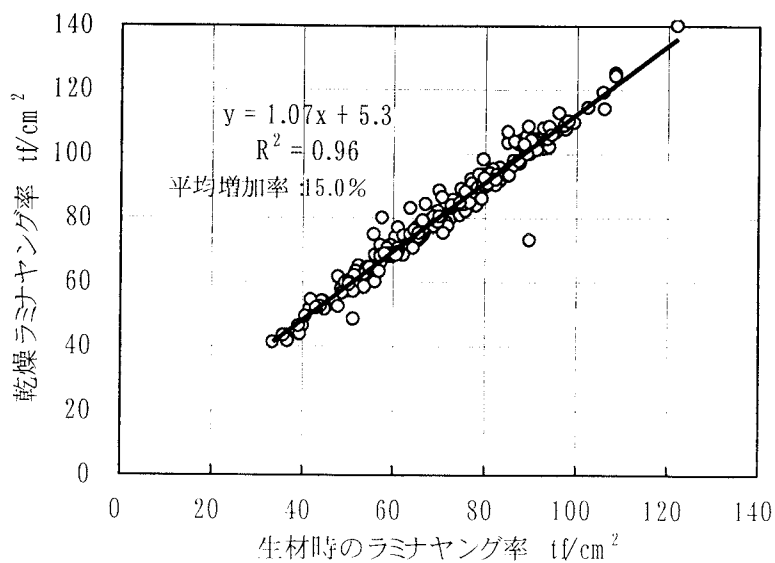


図7-3 ラミナの未乾燥時と乾燥時のヤング率の関係