

構造材の耐力性能に関する研究 (I)

— 年輪幅が異なる場合について —

遠 矢 良太郎

スギ、ヒノキ、ベイツガ、ベイマツの10.5cm角材の材料強度を調べた結果、平均年輪幅2mm以下の材は建築基準法の材料強度の上級構造材に相当し、2~4mmの材は普通造材に相当する。4mm以上の材は普通構造材に適合しなくなり、構造材として利用する際には材の断面寸法を大きくすることが望まれる。

1. 目 的

年輪幅は材質を評価する基準になることから、いろいろな規格<sup>1)</sup>の中で取り上げられている。

年輪幅の密度が材料強度に影響を及ぼすことは無欠点小試験体では多くの報告<sup>2)</sup>があるが、製材品の実大寸法での年輪幅と材料強度の関係についての報告は少ない。

そこで、スギ、ヒノキ、ベイツガおよびベイマツの10.5cm角材における年輪幅と材料強度の関係を明らかにすることと、強度等級区分のための基礎資料を得ることを目的として試験を行った。

2. 試験方法

供試した樹種はスギ、ヒノキ、ベイツガ、ベイマツである。

スギとヒノキは丸太を20本ずつ用い、それぞれの樹種で丸太直径が同じになるようにし、年輪幅の広い丸太と狭い丸太が約半数になるようにした。

丸太の製材に際しては、地上高の低い側の1m部分からくぎの引き抜き抵抗試験用のまさ目板を採取し(写真-1)残りの2m部分から心持ちの10.5cm角材を採取し

た(写真-2)。

ベイツガとベイマツは、釘の引き抜き試験用の二方まさ目材の製材品と、10.5cm角の2m材をそれぞれベイツガで22本、ベイマツで20本とした。10.5cm角材のほとんどは心去り材である。

試験は、10.5cm角2m材について曲げと圧縮の試験を、二方まさ目材についてくぎの引き抜き抵抗試験を行った。

曲げ試験(写真-3)はスパン160cm、中央荷重間の距離60cmの四点荷重方式として、スパン160cmに対する曲げヤング係数と曲げ破壊係数を測定した。圧縮試験(写真-4)は曲げ試験終了後の試験体の非破壊部分より、長さ約60cmの圧縮試験体を採取し、これについて圧縮強さと節径比を測定した。

くぎの引き抜き抵抗試験はJIS Z 2121によって行い、板目面、まさ目面、木口面のくぎ引き抜き抵抗を求めた。

なお、10.5cm角材およびくぎの引き抜き抵抗試験体については、それぞれ含水率、比重、平均年輪幅を測定した。

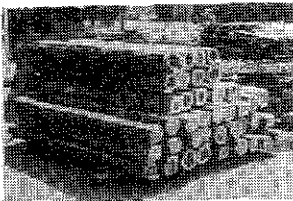


写真-1  
くぎ引き抜き用供試材



写真-2  
10.5cm角材

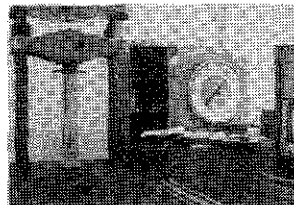


写真-3 曲げ試験

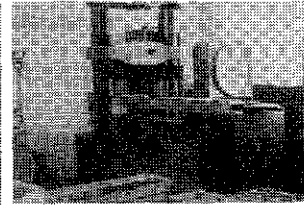


写真-4 圧縮試験

### 3. 結果と考察

#### (1) スギおよびヒノキの肥大成長

スギの年輪幅の狭い丸太は直径（最小16.7cm～平均20.2cm～21.7cm最大）年輪数（38～44～51）年輪幅の広い丸太は直径（17.0cm～19.2cm～22.0cm）年輪数（14～15～19）、ヒノキの年輪数の狭い丸太は直径（15.8cm～17.6cm～19.6cm）年輪数（45～56～65）、年輪幅の広い丸太は直径（15.3cm～17.7cm～19.5cm）年輪数（18～20～21）であり、年輪幅の狭い丸太と狭い丸太では年輪数において約3倍の違いがみられた。

図-1、2の肥大成長経過と平均年輪幅をみると、樹心から10年輪までの年輪幅に大きな違いがみられ、広い

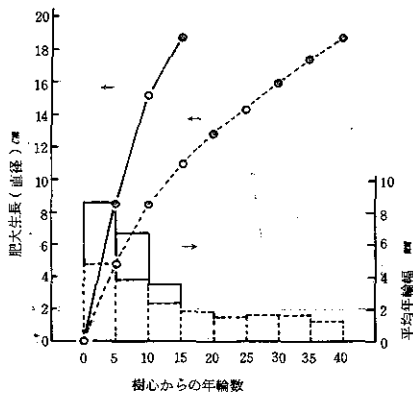


図-1 スギの肥大生長経過と平均年輪幅

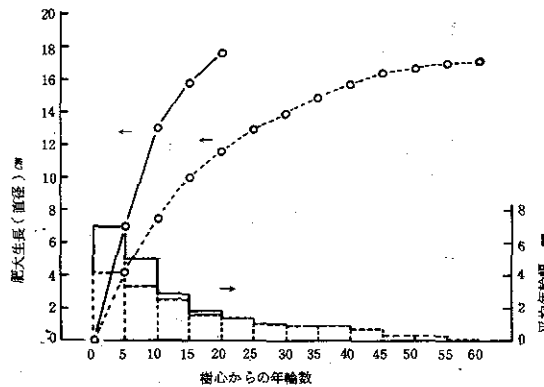


図-2 ヒノキの肥大生長経過と平均年輪幅

材の年輪幅は狭い材の約1.7～1.8倍で、肥大成長に対する影響は大きい。

10.5cm角材を得るために必要な直径約15cmの丸太に占める樹心から10年輪の材部は、スギの年輪幅の広い材で100%、狭い材で56%、ヒノキの広い材で87%、狭い材で50%となっている（写真-5、6、7、8）。

心持ち材の材料強度は、年輪幅の影響に加えて未成熟材の占める割合による影響が考えられる。

ベイツガとベイマツは心去り材であり、ほとんどが成熟材部で占められていた。

#### (2) 平均年輪幅と材料強度の関係

スギ、ヒノキ、ベイツガ、ベイマツの10.5cm角材の平均年輪幅と材料強度の関係を図-3に、単相関係数を表-1に示す。

全乾比重、圧縮強さ、曲げ破壊係数、曲げヤング係数は平均年輪幅の増加に伴い減少し、有意な相関がみられる。単相関係数は曲げヤング係数において最も大きく、曲げヤング係数Ebは平均年輪幅Awから次式によってある程度推定可能である。

$$\text{スギ } Eb = -4.9 \times 10^{-3} Aw + 93.2$$

$$\text{ヒノキ } Eb = -3.7 \times 10^{-3} Aw + 90.5$$

$$\text{ベイマツ } Eb = -6.4 \times 10^{-3} Aw + 120.0$$

$$\text{ベイツガ } Eb = -4.4 \times 10^{-3} Aw + 94.1$$

木構造設計規準による木材のヤング係数<sup>3)</sup>を参考にし、スギとヒノキの製材品の等級をみると、平均年輪幅が4mm以下の材は普通構造材に相当し、さらに2mm以下の材では上級構造材に該当するものがあつた。4mm以上の材は普通構造材の曲げヤング係数に満たなかつた。この場合約20年施業では普通構造材が採れ、約40年施業で上級構造材が生産されることになる。

ベイツガの1mm以下の製材品には曲げヤング係数の小さいStarvation Woodと思われる材が存在した。

単相関係数を樹種別にみるとスギ>ベイマツ>ヒノキ>>ベイツガで、年輪が明瞭で、早材と晩材の密度差が大きいスギとベイマツは平均年輪幅の影響をより強く受けるものとする。

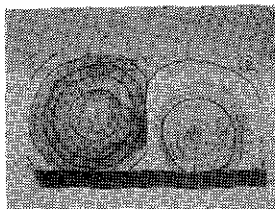


写真-5 スギ

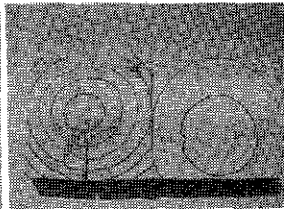


写真-6 ヒノキ

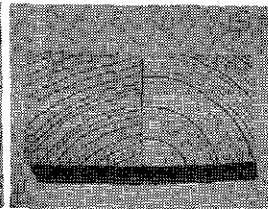


写真-7 ベイツガ

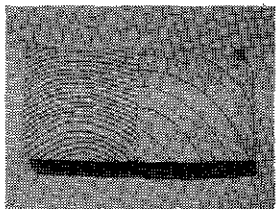


写真-8 ベイマツ

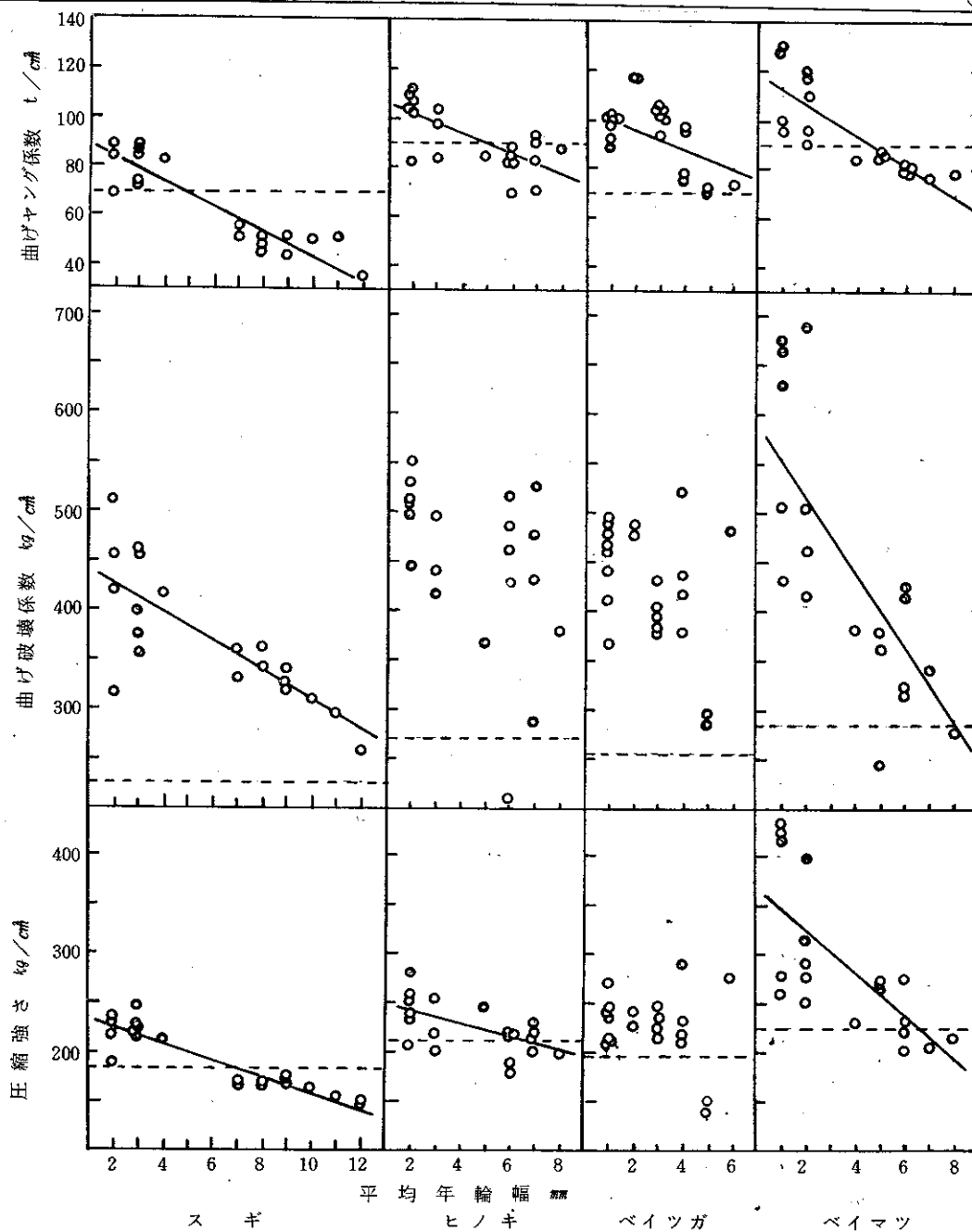


図-3 10.5cm角材の材料強度と平均年輪幅

注：破線は、木構造設計規準のヤング係数<sup>3)</sup>と建築基準法の材料強度<sup>4)</sup>の値

表-1 平均年輪幅と材料強度の単相関係数

全乾比重	-0.73	-0.66	-0.78	-0.63
圧縮強さ	-0.91	-0.56	-0.19	-0.68
曲げ破壊係数	-0.77	-0.45	-0.37	-0.74
曲げヤング係数	-0.91	-0.65	-0.59	-0.80

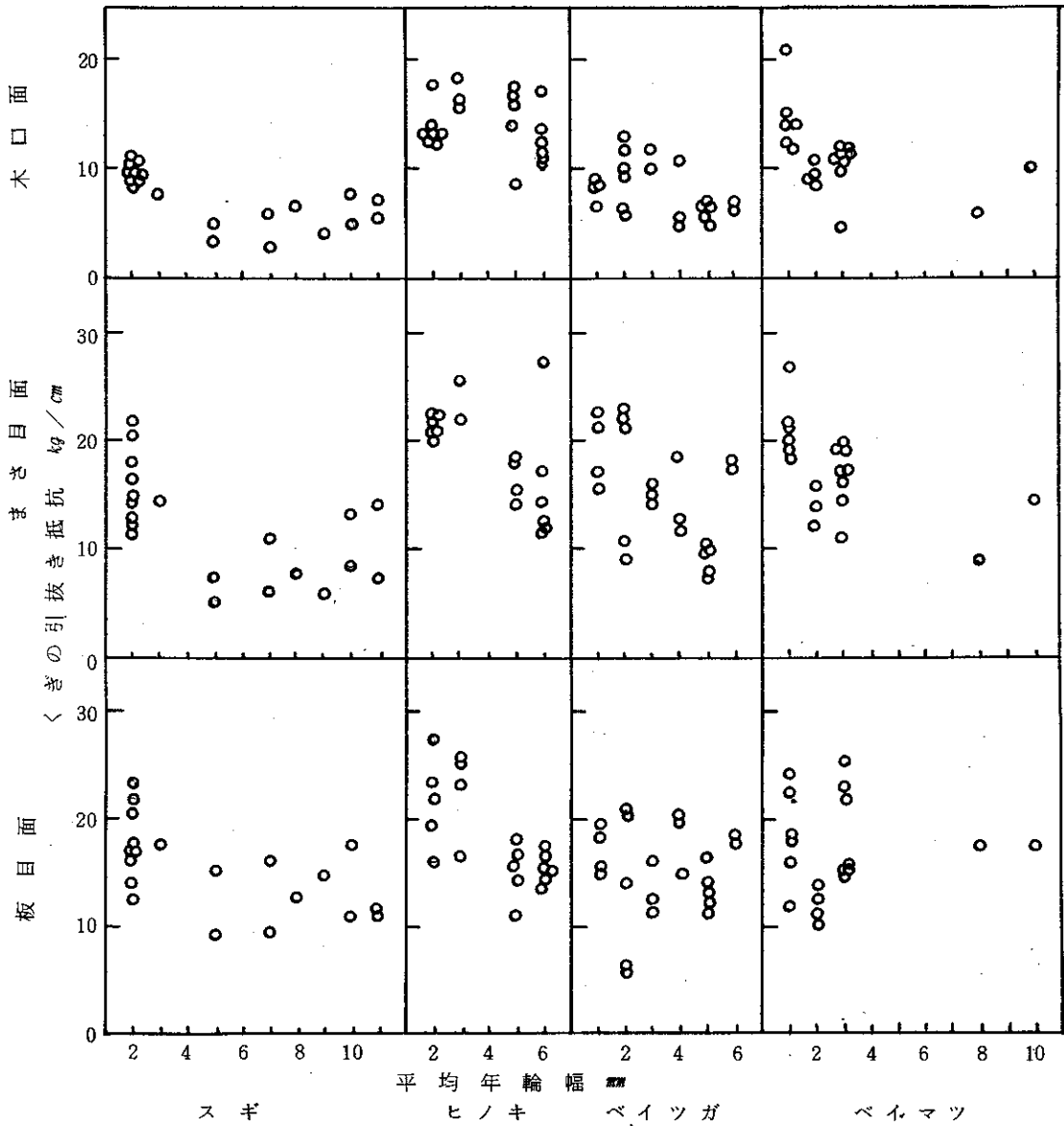


図-4 くぎの引き抜き抵抗と平均年輪幅

表-2 くぎ引き抜き抵抗と平均年輪幅および全乾比重の単相関係数の比較

引き抜き面	スギ		ヒノキ		ベイツガ		ベイマツ	
	Aw	ro	Aw	ro	Aw	ro	Aw	ro
板目面	-0.47	0.65	-0.72	0.83	0.03	0.70	-0.14	0.64
まさ目面	-0.62	0.80	-0.58	0.75	-0.44	0.83	-0.51	0.74
木口面	-0.65	0.90	-0.26	0.66	-0.29	0.59	-0.47	0.68

Aw: 平均年輪幅

ro: 全乾比重

供試した10.5cm角材の全乾比重はスギ(最小0.33~平均0.42~最大0.54、標準偏差0.05)、ヒノキ(0.37~0.49~0.60、0.05)、ベイツガ(0.33~0.48~0.67、0.08)、ベイマツ(0.40~0.50~0.65、0.08)で平均値ではヒノキ、ベイツガ、ベイマツは同じような比重を示している。

含水率はスギ(最小44.3%~平均82.4%~最大115.3%、標準偏差28.3%)ヒノキ(33.7%~42.6%~64.6%、8.1%)ベイツガ(17.5%~39.1%~77.4%、16.5%)ベイマツ(20.6%~27.7%~34.2%、3.8%)で、ほとんどが繊維飽和点以上の試験体であるが、ベイツガとベイマツのなかには一部繊維飽和点以下の含水率の低い試験体があった。

(3) 最大節径比と集中節径比

長さ60cmの圧縮試験体について測定した最大節径比はスギ(最小12.4%~平均21.6%~34.3%最大%)ヒノキ(13.3%~23.0%~34.3%)ベイツガ(0%~14.2%~38.1%)ベイマツ(0%~16.5%~37.1%)、集中節径比はスギ(最小16.2%~平均37.7%~最大64.8%)ヒノキ(14.0%~37.4%~82.9%)ベイツガ(0%~15.8%~39.0%)ベイマツ(0%~18.8%~32.4%)である。スギとヒノキには小さな節が多く出現し、集中節径比は

最大節径比の1.6~1.7倍となっている。ベイツガやベイマツは心去り材であり最大節径比、集中節径比ともに小さく、スギやヒノキの約半分である。

圧縮強さと最大節径比および集中節径比の間には有意な関係はほとんどなかった。

(4) 平均年輪幅とくぎの引き抜き抵抗の関係

板目面、まさ目面、木口面におけるくぎの引き抜き抵抗と平均年輪幅の関係を図-4に、くぎの引き抜き抵抗および気乾比重の単相関係数を表-2に示す。くぎの引き抜き抵抗は平均年輪幅が増加するにつれて減少する傾向にある。平均年輪幅の広い材のなかには極端に数値の小さいものも散見され、とくにスギ材の場合には注意が必要であろう。単相関係数は平均年輪幅よりも気乾比重において大きく、くぎの引き抜き抵抗に対しては比重の影響が大きいことを示している。

(5) 曲げヤング係数(Eb)と曲げ破壊係数(σb)、曲げヤング係数(Eb)と圧縮強さ(σc)の関係

製材品の強度等級区分のための基礎資料とするためEbとσb、Ebとσcの関係を調べ、図-12、13に示す。これらの関係はスギ、ヒノキ、ベイマツでは有意な相関があり、図中の関係式によって非破壊試験のEb測定値から、σbとσcを推定することができる。

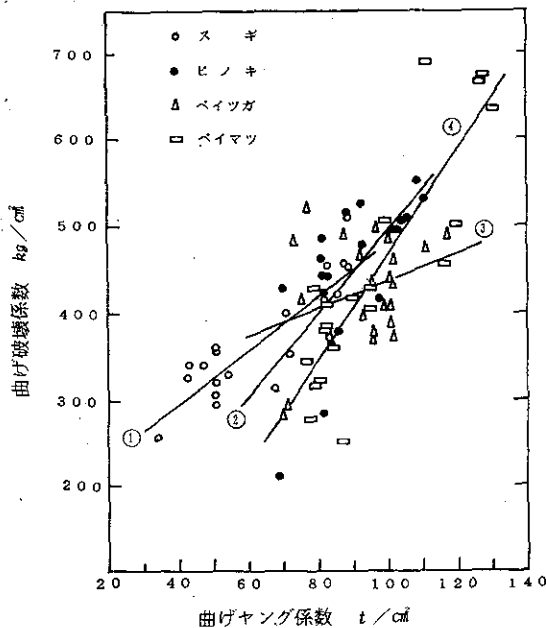


図5 曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

- ①: スギ  $\sigma_b = 3.08 \times 10^{-3} E_b + 171.6$
- ②: ヒノキ  $\sigma_b = 4.75 \times 10^{-3} E_b + 17.5$
- ③: ベイツガ  $\sigma_b = 1.58 \times 10^{-3} E_b + 278.2$
- ④: ベイマツ  $\sigma_b = 6.06 \times 10^{-3} E_b - 141.9$

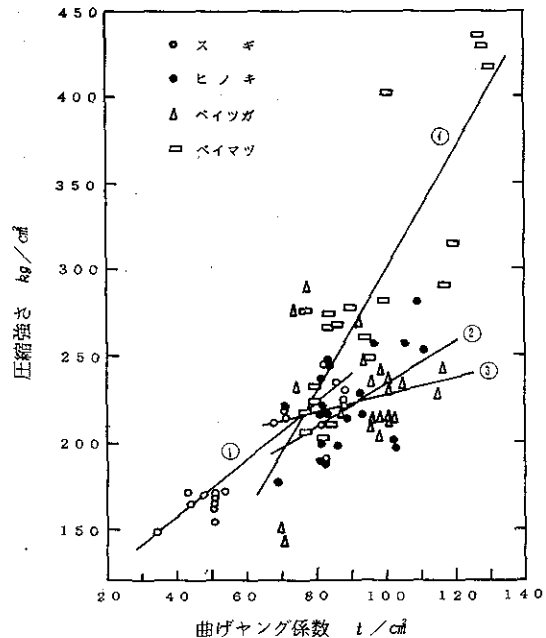


図6 曲げヤング係数と圧縮強さの関係

- ①: スギ  $\sigma_c = 1.55 \times 10^{-3} E_b + 92.0$
- ②: ヒノキ  $\sigma_c = 1.24 \times 10^{-3} E_b + 111.3$
- ③: ベイツガ  $\sigma_c = 0.48 \times 10^{-3} E_b + 179.8$
- ④: ベイマツ  $\sigma_c = 3.51 \times 10^{-3} E_b - 50.5$

## 4. 結 論

本報告では、10.5cm角製材材の実大強度試験を行い、曲げヤング係数と曲げ破壊係数および圧縮強さは平均年輪幅と有意な負の相関関係にあることを示し、木構造設計規準のヤング係数をもとに、構造材の平均年輪幅は4mm以下が望ましいことを提案した。

また、構造材の非破壊試験の基礎資料となる曲げヤング係数と曲げ破壊係数、および曲げヤング係数と圧縮強さの関係式を示した。

## 引用文献

- 1) 林業試験場：改訂3版木材工業ハンドブック、60～61、1982
- 2) 日本木材学会組織と材質研究会：材質指標と材料としての性質との関連、17～23、1980
- 3) 木構造設計規準・同解説：日本建築学会、124、1973
- 4) 上野嘉久：行政からみた建築設計1、229、建築知識、1979

表3 強度試験結果総括表

項 目	スギ			ヒノキ			ベイツガ			ベイマツ			
	①	②	②/①	①	②	②/①	①	②	②/①	①	②	②/①	
10.5 cm 角 材 (高含水 率材)	平均年輪 幅 mm	$\bar{x}$ 2.76 $\sigma$ (0.57)	8.92 (1.60)	3.2 (0.38)	2.20 (0.38)	6.35 (0.82)	2.9 (0.82)	1.98 (1.21)	5.10 (0.77)	2.6 (0.77)	1.57 (0.40)	5.77 (1.21)	3.7 (1.21)
	全乾比重	$\bar{x}$ 0.46 $\sigma$ (0.04)	0.39 (0.03)	0.85 (0.03)	0.53 (0.03)	0.46 (0.04)	0.85 (0.04)	0.50 (0.06)	0.40 (0.08)	0.80 (0.08)	0.55 (0.09)	0.45 (0.02)	0.82 (0.02)
	圧縮強さ kg/cm <sup>2</sup>	$\bar{x}$ 221 $\sigma$ (16)	164 (7)	0.74 (27)	238 (27)	211 (20)	0.89 (20)	228 (17)	214 (69)	0.94 (69)	336 (76)	240 (29)	0.71 (29)
	曲げヤング 係数 t/cm <sup>2</sup>	$\bar{x}$ 81 $\sigma$ (8)	48 (6)	0.59 (11)	100 (11)	83 (8)	0.83 (8)	99 (9)	78 (10)	0.79 (10)	111 (15)	81 (3)	0.73 (3)
	曲げ破壊 係 kg/cm <sup>2</sup>	$\bar{x}$ 416 $\sigma$ (58)	323 (31)	0.78 (44)	488 (44)	415 (99)	0.85 (99)	437 (42)	392 (107)	0.90 (107)	538 (115)	346 (58)	0.64 (58)
	くぎの 引き抜き 抵抗 kg/cm (気乾材)	まさ目面	$\bar{x}$ 15.9 $\sigma$ (3.4)	8.7 (3.1)	0.55 (4.2)	23.3 (4.2)	16.0 (4.7)	0.69 (4.8)	16.8 (4.8)	12.5 (4.4)	0.03 (4.4)	17.7 (3.7)	12.1 (-)
板目面		$\bar{x}$ 17.7 $\sigma$ (3.2)	12.8 (2.8)	0.72 (3.9)	22.2 (3.9)	15.6 (2.1)	0.70 (4.9)	15.1 (4.9)	15.6 (3.0)	0.74 (3.0)	17.4 (4.8)	17.6 (-)	1.01 (-)
木口面		$\bar{x}$ 9.0 $\sigma$ (1.3)	5.3 (1.5)	0.59 (2.2)	14.7 (2.2)	13.4 (3.0)	0.91 (2.4)	8.8 (2.4)	7.1 (1.9)	0.81 (1.9)	11.5 (3.3)	8.1 (-)	0.70 (-)

注：①：平均年輪幅4mm以下 ②：平均年輪幅4mmをこえるもの  $\bar{x}$ ：平均値  $\sigma$ ：標準偏差  
( )内は標準偏差