

# 県産木材を用いた大断面構造柱の開発

研究報告

(県単課題 平成 18 年～ 21 年度)

小沼 研二

山田 茂隆\*

## 目 次

要 旨	
I はじめに	16
II 縦圧縮試験	16
1 試験体と試験方法	16
2 結果および考察	18
III 座屈試験	22
1 無垢材による座屈試験	22
2 縦継ぎの検討	29
IV 大断面構造柱の試作	35
1 試験体と試験方法	35
2 結果および考察	37
V まとめ	38
VI 参考文献	38

## 要 旨

スギ正角材を用いた大断面構造柱の開発を目的として、その基本部材となる正角材の縦圧縮試験、座屈試験を実施後、大断面構造柱の試作試験体の性能評価を行った。その結果は以下のとおりであった。

(1) 縦圧縮試験の結果、縦圧縮強さの平均値は  $33.9\text{N/mm}^2$ 、下限値は  $26.0\text{N/mm}^2$  であり、国土交通省（旧建設省）告示に定めるスギ無等級材の圧縮基準強度を上回った。

(2) 座屈試験の結果、105mm 正角材（細長比 102）の座屈強さの平均値は  $6.29\text{N/mm}^2$ 、下限値は  $4.15\text{N/mm}^2$ 、120mm 正角材（細長比 90）の座屈強さの平均値は  $7.80\text{N/mm}^2$ 、下限値は  $5.31\text{N/mm}^2$  であったが、国土交通省（旧建設省）告示に定める数式により求めた材料強度を下回った。

(3) 縦継ぎの有無による座屈強度を比較したが有意な差は認められなかった。

(4) 大断面柱の曲げ強度試験の結果、曲げヤング係数と等価断面法による計算値との間には一定の関係がみられた。

(5) 大断面構造柱の接着性能試験の結果、浸せき剥離試験、ブロックせん断試験におい

受付日 平成 22 年 3 月 23 日

受理日 平成 22 年 4 月 13 日

\* 現県南農林事務所森林林業部

て集成材の日本農林規格による試験基準を満たしたが、煮沸はく離試験については基準を満たさなかった。

## I はじめに

福島県における主要造林樹種であるスギ人工林の民有林面積は約 131 千 ha あり、うち間伐が必要とされる 4～9 齢級までの面積は約 76 千 ha ある<sup>1)</sup>が、間伐が適切になされていない森林が多数存在し<sup>2)</sup>、その適切な管理が急務となっている。福島県では森林環境基金を利用し、間伐の推進を図っており、また森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法が施行されたこともあり、今後間伐材の供給量の増加が見込まれる。一方、木材の利用についてみると、国において公共施設における木材利用の義務化についての検討や木材自給率を 10 年後には 50%以上とする目標が盛り込まれた森林・林業再生プラン、農林水産省における補助事業対象施設及び関係機関の木造率を 100%とする目標を盛り込んだ木材利用推進計画が策定されたことなどから、今後大規模公共建築物への国産材利用がより推進されていくことが期待される。

現在、木造公共建築物の構造材には集成材が用いられるのが一般的であるが、集成材ラミナに替わり、乾燥技術の進歩によって安定生産が可能となったスギ心持ち正角材を用いた大断面構造柱の開発を試みた。形状は正角材を接着、集成して正方形断面としたが、基本部材となる正角材について、曲げ強度については県産材の試験結果が明らかになっているものの<sup>3)</sup>、縦圧縮強度および座屈強度については当県における試験実施例がないため、試験を実施した。そのうえで試作試験体を作製後、曲げ強度試験を実施した。

## II 縦圧縮試験

### 1 試験体と試験方法

#### (1) 試験体

平成 12～15 年度の県単課題「スギ・カラマツ・アカマツ等の強度試験」において実施したスギ実大材曲げ強度試験（以下、曲げ強度試験という）に供した 105mm 正角材（人工乾燥材）の非破壊部より長さを 630mm として 120 体の試験体を採用した。

#### (2) タッピング法による動的ヤング係数の調査

試験体の寸法、重量を測定後、木口面の一方をハンマーで打撃して材を縦振動させ、発生した音波を他方の木口面からマイクロホンで取り込み、FFT アナライザーを用いて基本振動数を求め、この結果と密度および材長から次式により動的ヤング係数（E<sub>fr</sub>）を算出した。

$$E_{fr} \text{ (kN/mm}^2\text{)} = 4 \times L^2 \times f^2 \times \delta$$

L : 試験体の材長 (m)

f : 基本振動数 (kHz)

δ : 試験体の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

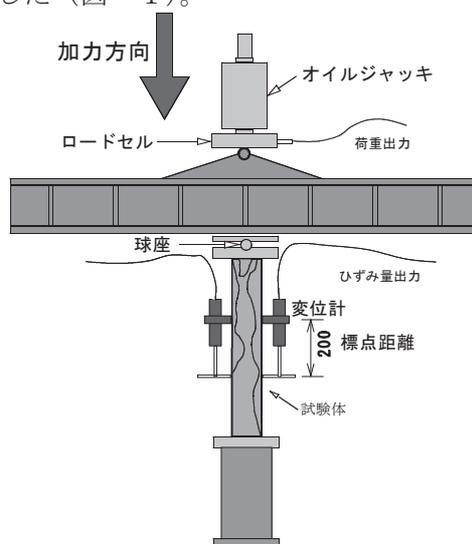
#### (3) 試験体の外観特性調査

「製材の日本農林規格」に定める目視等級区分製材における材面の品質の基準に準じ、材面に出現する最大の単独節径比（以下、節径比という）や最大の集中節径比（以下、集中節径比という）、片側木口面より心材率、偏心率の調査を行った。また、縦圧縮試験終

了後の試験体の非破壊部より端部を避けて試料を採取し、全乾法による含水率（以下、含水率という）を調査した。これらの結果をもとに、乙種構造材の基準による目視等級区分を行った。

#### （４） 実大材縦圧縮試験

実大材縦圧縮試験は、（財）日本住宅・木材技術センターによる「構造用木材の強度試験法」（以下、強度試験法という）<sup>4)</sup>に従い、荷重容量 100t の実大強度試験機を用いて、材が破壊に至るまで加力した（図－１）。



図－１ 実大材縦圧縮試験の概略図

最大荷重から縦圧縮強さ（ $F_c$ ）を、ひずみ量から縦圧縮ヤング係数（ $E_c$ ）をそれぞれ以下の式から求めた。なお、ひずみ量は標点距離を 200mm とした 2 個のひずみ計の平均値とした。

$$F_c (\text{N/mm}^2) = P_{\text{max}} / A$$

$P_{\text{max}}$  : 最大荷重 (N)

$A$  : 試験体横断面の面積 ( $\text{mm}^2$ )

$$E_c (\text{kN/mm}^2) = \ell (F_2 - F_1) / \{A (w_2 - w_1)\}$$

$\ell$  : 標点距離 (mm)

$A$  : 試験体の横断面の面積 ( $\text{mm}^2$ )

$F_2 - F_1$  : 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分 (kN)

$w_2 - w_1$  :  $F_2 - F_1$  に対応するひずみの増分 (mm)

#### （５） 含水率による試験データの調整について

強度試験法では、試験結果を含水率が 15% の場合に補正する方法がいくつか示されている（ただし、全試験体の含水率が  $15 \pm 2\%$  の範囲にある場合は補正しなくてもよい）。本試験でもこれにならい試験データを強度試験法に記載のある ASTM D 2915 の方法<sup>4)</sup>により含水率 15% 時の値 ( $P_2$ ) に換算した。換算式を以下に示す。

$$P_2 = P_1 \{(\alpha - \beta M_2) / (\alpha - \beta M_1)\}$$

$P_1$  : 含水率  $M_1\%$  時の縦圧縮強さ ( $\text{N/mm}^2$ )

$P_2$  : 含水率  $M_2\%$ 時の縦圧縮強さ ( $N/mm^2$ )

$M_1, M_2$  : 含水率 (%)  $M_2$ は今回 15 とした)

$\alpha, \beta$  : 含水率補正係数 (縦圧縮強さの場合、 $\alpha = 2.75, \beta = 0.0833$ )

## 2 結果および考察

### (1) 試験体の外観特性

節径比、集中節径比、心材率、偏心率、寸法・重量・含水率から求めた含水率 12%時の密度(以下、密度という)、含水率の調査結果及び曲げ試験時に調査した平均年輪幅を表-1、含水率の分布を図-2に示す。各因子を平均値で見ると、平均年輪幅は 4.4mm で、「製材品の強度性能に関するデータベース」のデータ集〈7〉(以下、データ集〈7〉という)<sup>5)</sup>の正角材の寸法に該当する構造用Ⅱ A の平均年輪幅 ( $n=398$ ) の平均値は 5.7mm であり、今回の試験で得られた値はこれよりも小さいものであった。節径比および集中節径比、偏心率は、いずれの因子も材によりばらつきが大きい結果であった。心材率は心持ち正角材であったため平均値は 87.4%とほとんどが心材であった。試験時の密度の平均は  $423kg/m^3$  であり、データ集(7)の気乾密度 ( $n=804$ ) の平均値  $404kg/m^3$  を上回った。実大材縦圧縮試験時の含水率は 10.6 ~ 14.8%であり、全ての試験体で 15%以下であった。

表-1 試験体の外観特性

	平均年輪幅 mm	節径比	集中節径比	心材率 %	偏心率 %	密度 $kg/m^3$	含水率 %
平均値	4.4	18.0	27.5	87.4	26.3	423	13.2
標準偏差	1.1	6.2	12.7	15.3	15.4	39.1	1.1
変動係数	25.9	34.6	46.3	17.5	58.8	9.2	8.2
最小値	1.6	0.0	0.0	30.2	3.8	350	10.6
最大値	7.7	33.3	55.7	100.0	85.7	515	14.8

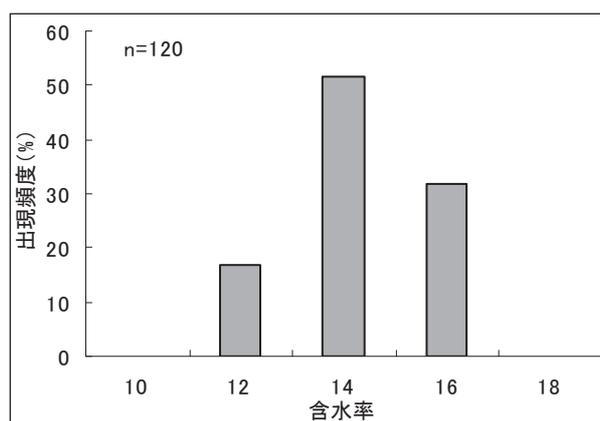


図-2 含水率の分布

### (2) 実大材縦圧縮試験の結果

実大材縦圧縮試験および動的ヤング係数の調査結果を表-2に示す。また、縦圧縮強さおよび縦圧縮ヤング係数の出現頻度の分布を図-3、4に示す。

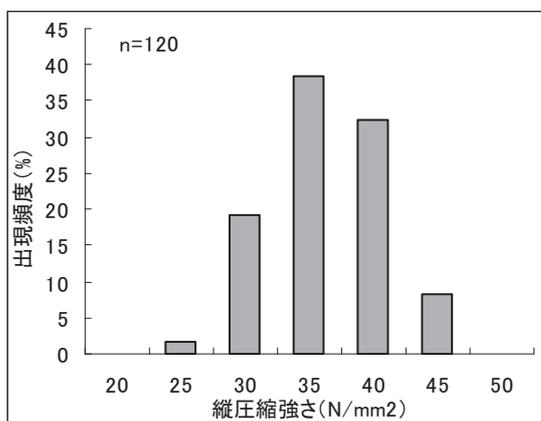
表－2 実大材縦圧縮試験および動的ヤング係数の調査結果

	最大荷重 kN	縦圧縮強さ N/mm <sup>2</sup>	縦圧縮	動的
			ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>
平均値	364.7	33.9	7.91	7.36
標準偏差	48.3	4.5	1.5	1.0
変動係数	13.2	13.3	18.7	14.2
最小値	229.4	21.1	4.59	5.10
最大値	484.2	44.9	11.10	10.02
下限値		26.0		

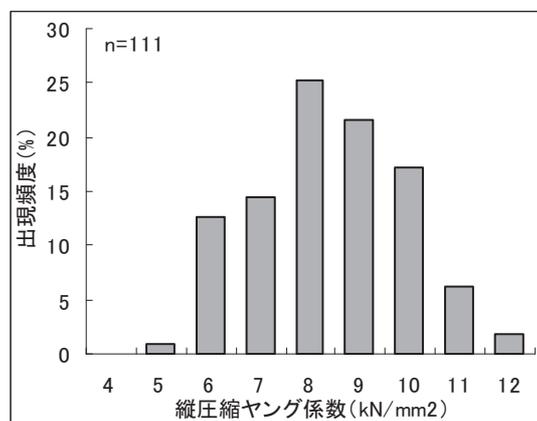
※下限値は信頼水準 75%における 5%下側許容限界値である。

縦圧縮ヤング係数のみデータ数は 111 である。

縦圧縮強さの範囲は 21.1 ～ 44.9N/mm<sup>2</sup> 平均値は 33.9N/mm<sup>2</sup> で、信頼水準 75%の 5%下側許容限界値（以下、下限値という）は 26.0N/mm<sup>2</sup> であった。この値は、国土交通省（旧建設省）告示に定めるスギ無等級材の縦圧縮基準強度 17.7N/mm<sup>2</sup> を上回った。縦圧縮ヤング係数の範囲は 4.59 ～ 11.10kN/mm<sup>2</sup> 平均値は 7.91kN/mm<sup>2</sup> であった。また動的ヤング係数の範囲は 5.10 ～ 10.02kN/mm<sup>2</sup> 平均値は 7.36kN/mm<sup>2</sup> であった。データ集〈7〉のスギ構造用Ⅱ A の縦圧縮強さ（n=700）の平均値は 28.9N/mm<sup>2</sup>、標準偏差 5.7N/mm<sup>2</sup> である。これを正規分布と仮定して、下限値を算出<sup>6)</sup>すると約 19.2N/mm<sup>2</sup> となる。今回の結果は、平均値、下限値ともにデータ集〈7〉の値を上回っており、福島県産のスギ正角材が、縦圧縮性能において構造材として十分な強度性能を有していることが認められた。



図－3 縦圧縮強さの分布



図－4 縦圧縮ヤング係数の分布

### (3) 目視等級区分の縦圧縮強さ

外観特性調査で調査した節及び曲げ強度試験時に調査した平均年輪幅から、製材の日本農林規格に定める乙種構造材の基準による目視等級区分を行った結果を表－3に示す。

出現頻度は、1級、2級、3級でそれぞれ 85.8%、14.2%、0.0%であり、1級の材がほとんどで3級の材は出現しなかった。また等級外の材も出現しなかった。各等級の縦圧縮強さの平均値は、1級は 34.5N/mm<sup>2</sup>、2級は 30.2N/mm<sup>2</sup> となり、1級と2級では 1%レベ

ルで差が認められ、1級がより高い値となった。データ集〈7〉のスギ乙種構造用の縦圧縮強さの平均値は、1級が 29.2N/mm<sup>2</sup>(n=518)、2級が 28.6N/mm<sup>2</sup>(n=141)であり、今回の結果は、データ集のものを上回っていた。なお、建築基準法に関する告示に定められた各等級ごとの基準強度と比較した際、基準強度未満の試験体は、1級において1本あった。この原因としては調査項目が少ないため本来の等級より高く区分されたことが考えられる。

表－3 目視等級区分ごとの縦圧縮強さ

等級	出現本数 (本)	出現頻度 (%)	縦圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )		基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	基準値未満 本数 (本)
			平均値	最小値		
1級	103	85.8	34.5	21.1	21.6	1
2級	17	14.2	30.2	23.4	20.4	0
3級	0	0.0	—	—	18.0	0
計	120	100.0				1

#### (4) 機械等級区分の縦圧縮強さ

動的ヤング係数を用い、製材の日本農林規格に定める機械等級区分による区分を行った結果を表－4に示す。出現した等級の範囲は E50 ～ E110 で、出現頻度は E50 から E110 の順に 7.5%、60.0%、30.8%、1.7%となり、約9割が E70 以上の等級に区分された。各等級の縦圧縮強さの平均値は、E50 から E110 の順に、25.6N/mm<sup>2</sup>、32.5N/mm<sup>2</sup>、38.1N/mm<sup>2</sup>、42.3N/mm<sup>2</sup> で、等級が上がると平均値も高くなっていた。なお、国土交通省（旧建設省）告示に定められた各等級ごとの基準強度と比較した際、全ての等級において基準強度を上回っていた。データ集〈7〉の機械による等級区分の縦圧縮強さの平均値は、E50 から E110 の順に、23.9N/mm<sup>2</sup>(n=124)、26.6N/mm<sup>2</sup>(n=284)、29.7N/mm<sup>2</sup>(n=170)、36.3N/mm<sup>2</sup>(n=18)で、各等級とも本県の値が上回った。

表－4 機械等級区分ごとの縦圧縮強さ

等級	出現本数 (本)	出現頻度 (%)	縦圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )		基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	基準値未満 本数 (本)
			平均値	最小値		
E50	9	7.5	25.6	21.1	19.2	0
E70	72	60.0	32.5	26.5	23.4	0
E90	37	30.8	38.1	34.0	28.2	0
E110	2	1.7	42.3	40.6	32.4	0
計	120	100.0				0

#### (5) 強度性能因子の関係

縦圧縮試験で得られた縦圧縮強さと縦圧縮ヤング係数、縦圧縮強さと動的ヤング係数、縦圧縮ヤング係数と動的ヤング係数及び縦圧縮強さと曲げ強度試験で得られた曲げヤング係数との関係を図－5～8に示す。縦圧縮強さと縦圧縮ヤング係数の相関係数は 0.811、縦圧縮強さと動的ヤング係数の相関係数は 0.876、縦圧縮ヤング係数と動的ヤング係数の相関係数は 0.894、縦圧縮強さと曲げヤング係数の相関係数は 0.753 といずれも強い相関が認められた。機械等級区分の結果から見ても、非破壊的に材の強度を推定する方法とし

て、タッピング法などにより動的ヤング係数を測定することは、品質管理上有効な方法であることを示す結果となった。

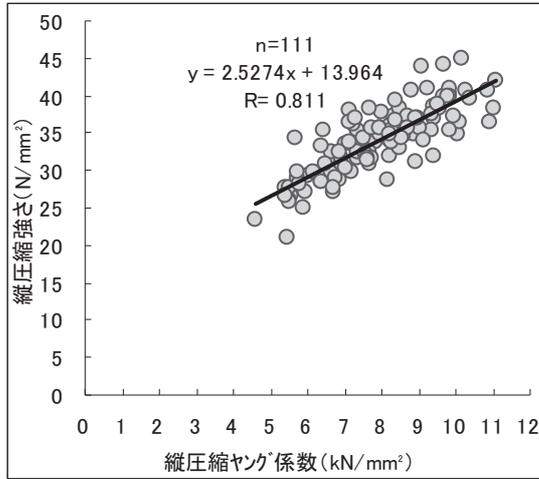


図-5 縦圧縮強さと  
縦圧縮ヤング係数の関係

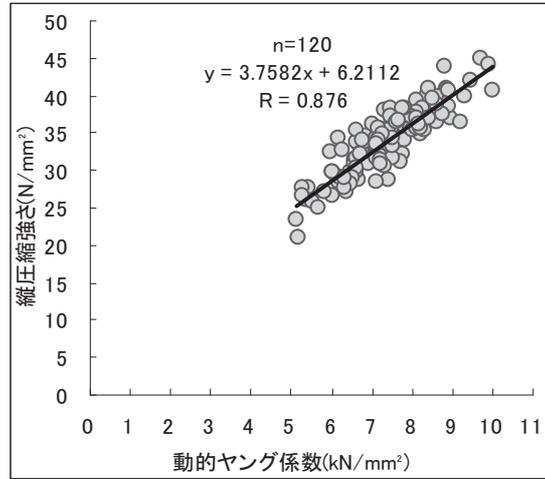


図-6 縦圧縮強さと動的ヤング係数の関係

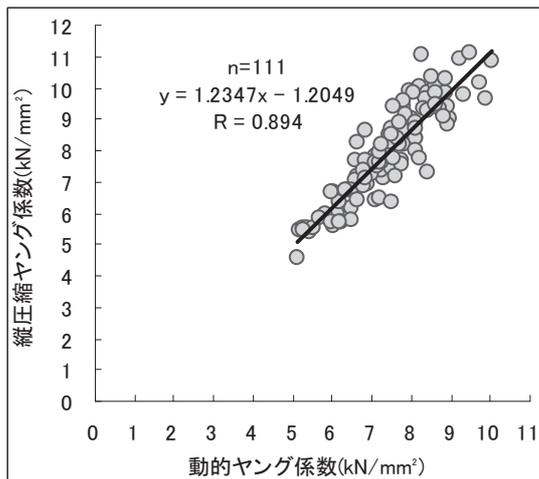


図-7 縦圧縮ヤング係数と  
動的ヤング係数の関係

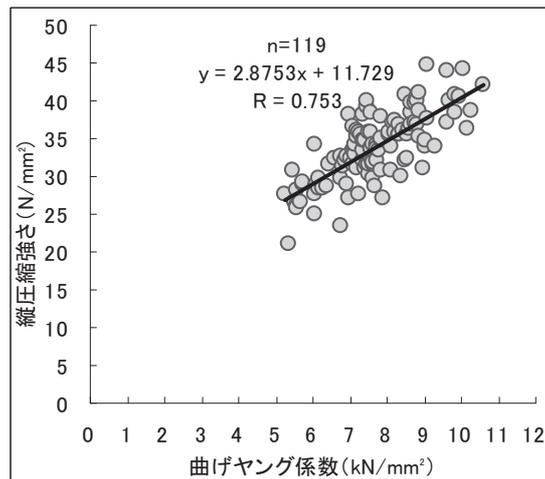


図-8 縦圧縮強さと曲げヤング係数の関係

## (6) 強度性能と材質因子の関係

縦圧縮強さと縦圧縮ヤング係数について、外観特性で調査した材質因子との単相関係数を表-5に示す。縦圧縮強さは平均年輪幅との間に低い相関が、密度との間に高い相関がみられた。縦圧縮ヤング係数は、密度との間に高い相関がみられたが、その他とは相関がみられなかった。平均年輪幅は、日本農林規格の目視等級区分製材に示される品質の評価対象であり、低い相関ではあるが目視等級区分と強度との関係を示すともいえる。しかし、同じく日本農林規格の目視等級区分製材に示される品質の評価対象である節径比、集中節径比との間には相関がみられなかったことや平均年輪幅と縦圧縮強さとの相関も、縦圧縮強さと動的ヤング係数との相関 ( $r=0.876$ ) よりは弱く、今回の試験結果から機械等級区分による品質管理は目視による品質管理に比べてより適正な管理が可能であることが示唆された。

表－5 強度性能と材質因子の関係

	平均			集中		
	年輪幅	密度	節径比	節径比	心材率	偏心率
縦圧縮強さ	-0.315	0.808	0.011	0.041	0.095	-0.099
縦圧縮ヤング係数	-0.197	0.656	0.113	0.090	0.111	-0.068

### (7) 縦圧縮試験の結果（補正データ）

縦圧縮強度試験で得られた縦圧縮強さについて、強度試験法に準じ含水率 15%時の値に補正した。結果を表－6に示す。平均値は補正前に比べ約1割ほど低下した。補正後の縦圧縮強さを補正前の縦圧縮強さと同様データ集<7>と比較すると平均値、下限値ともにデータ集<7>の値を上回っており、補正後の縦圧縮強さにおいても構造材として十分な強度性能を有していることが認められた。

表－6 補正前の縦圧縮強さと補正後の縦圧縮強さ

	補正前の縦圧縮強さ	補正後の縦圧縮強さ
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
平均値	33.9	30.9
標準偏差	4.5	3.9
変動係数	13.3	12.6
最小値	21.1	18.7
最大値	44.9	38.5
下限値	26.0	24.0

## III 座屈試験

### 1 無垢材による座屈試験

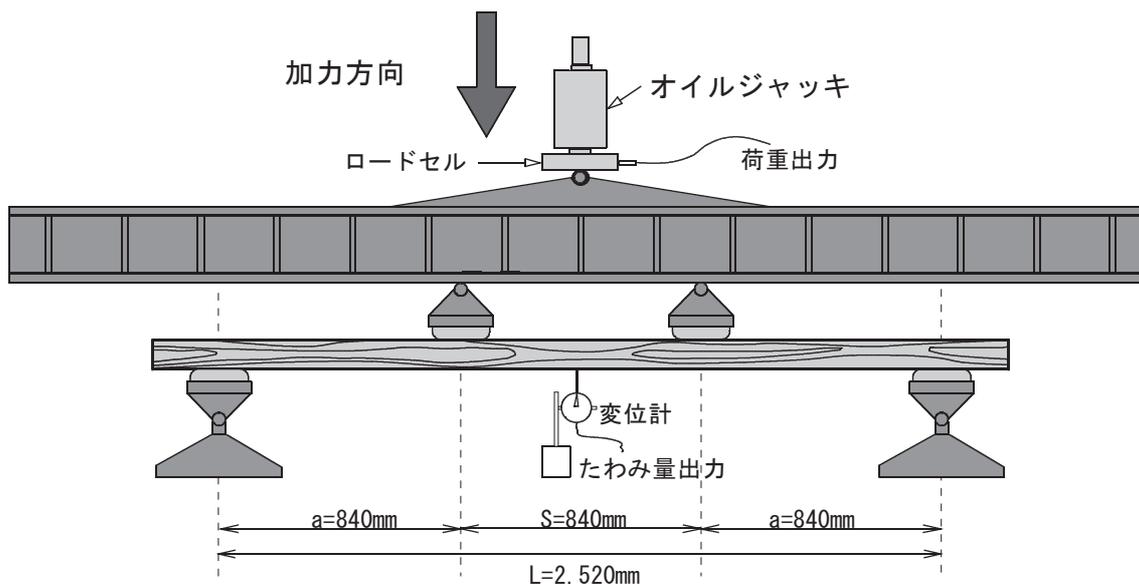
#### (1) 試験体と試験方法

##### ① 試験体

寸法が 105mm × 105mm × 3000mm 及び 120mm × 120mm × 3000mm のスギ人工乾燥材を購入し、II-1-(2)と同様の方法で、タッピング法による動的ヤング係数の調査を行ったのち、その値が同程度となるように各 30 本を試験に供した。

##### ② 曲げヤング係数の調査

実大強度試験機により試験体の各面を荷重面とした場合の曲げヤング係数について、製材の日本農林規格の曲げ試験により測定した。試験条件は下部スパンを 2520mm とし、載荷速度を 20mm/min とした。なお 105mm 正角材で 10.2kN、120mm 正角材で 15.2kN 以内で載荷し、このときの荷重とたわみ量から曲げヤング係数を算出した。そして曲げヤング係数の最も弱い載荷面の反対側を座屈方向と仮定した。(図－9)

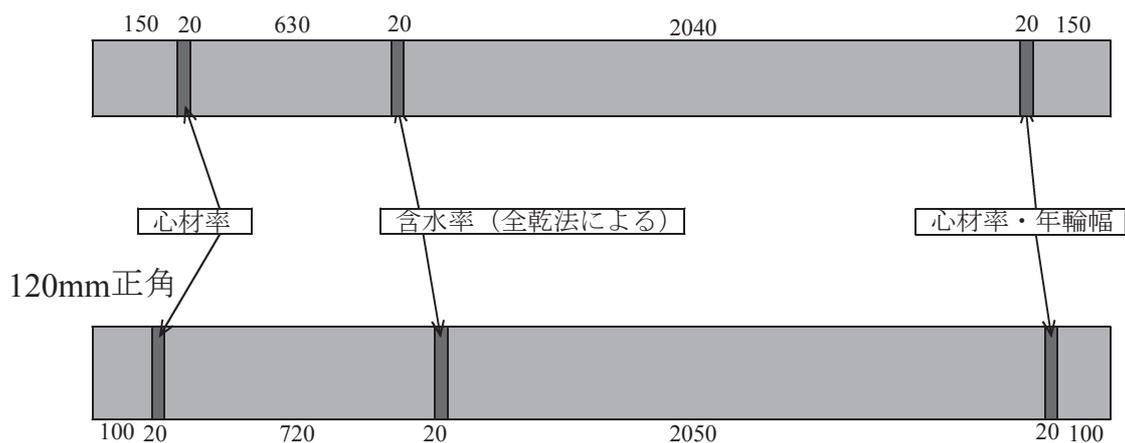


図－9 曲げヤング係数の調査の概略図

③ 試験体の外観特性調査

Ⅱ－1－(3)と同様に節径比、集中節径比の調査を行った。また、試験終了後の試験体より厚さ約2cmの試験片を3枚採取し(図－10)、1枚は含水率の調査を行った。残り2枚から心材率を調査しその平均を心材率とした。またそのうちの1枚は平均年輪幅の調査に使用した。またⅢ－1－(1)－②による曲げヤング係数の調査により決定した予測される座屈方向と反対側の材面の曲がり方を調査した。これらの結果をもとに、乙種構造材の基準による目視等級区分を行った。

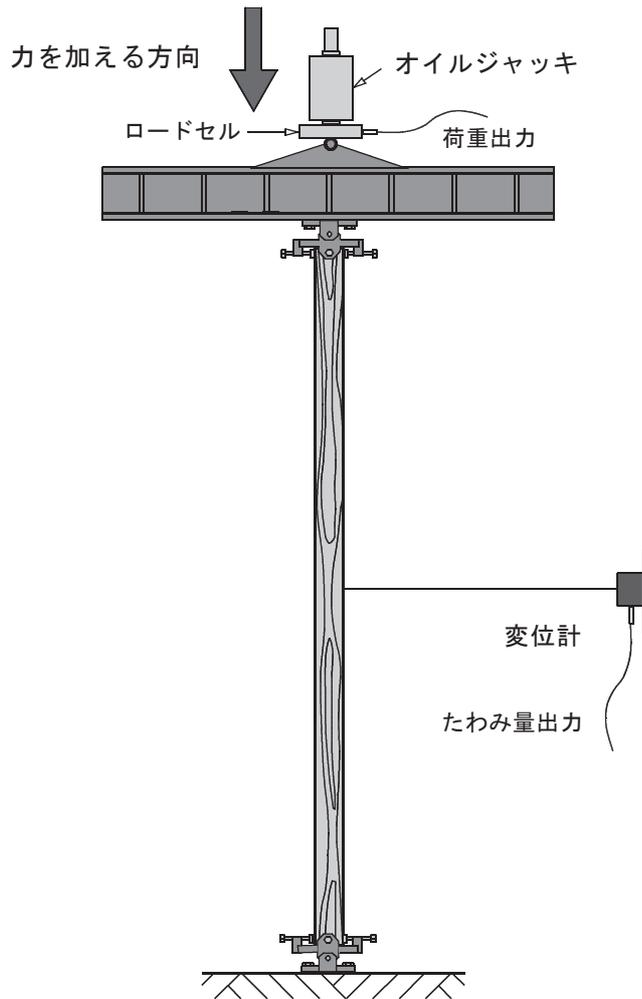
105mm正角



図－10 調査片採取位置

④ 座屈試験

荷重容量 100t の実大強度試験機を用い、载荷速度を 4mm/min として材中央のたわみ量を巻き込み式変位計により測定しながら加力した。(図－11)



図－1 1 座屈試験の概略図

最大荷重から座屈強さを求めた。

$$\text{座屈強さ (N/mm}^2\text{)} = P_{\text{max}} / A$$

$P_{\text{max}}$  : 最大荷重 (N)

$A$  : 試験体横断面の面積 ( $\text{mm}^2$ )

⑤ 座屈強さの補正と推計

サウスウェルの手法により材中央部のひずみ量から、初期の曲がりをも補正した最大荷重を求め、そこから座屈強さを補正した (以下、補正座屈強さという)。

$$\text{補正座屈強さ (N/mm}^2\text{)} = \{ P_{\text{max}} \times (\Delta 0 + \Delta 1) / \Delta 1 \} / A$$

$\Delta 0$  : 試験実施前の中央の曲がり (mm)

$\Delta 1$  : 変位計による横変位 (mm)

また、曲げヤング係数からオイラー式による座屈強さの推計を行った。

$$\text{オイラー式による座屈強さ (N/mm}^2\text{)} = n \times \pi^2 \times E \times I / (L^2 \times A)$$

$n$  : 端末係数 (今回は両端ピン支持であったので 1 とした)

$\pi$  : 円周率

E : 曲げヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>)

I : 柱の最小断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

L : 治具を含む柱の長さ (mm 治具の長さは 110mm とする)

## (2) 結果および考察

### ① 試験体の外観特性

平均年輪幅、節径比、集中節径比、曲がり、含水率、密度、心材率の調査結果を表-7 に、含水率の分布を図-12に示す。平均年輪幅及び節径比、集中節径比、曲がりは、いずれの因子も材によりばらつきが大きい結果であった。心持ち正角材であったため心材率は9割以上となった。密度は 105mm 正角材で 404kg/m<sup>3</sup>、120mm 正角材で 398kg/m<sup>3</sup> であった。また座屈試験時の含水率は 105mm 正角材で 10.4 ~ 14.3%、120mm 正角材では 9.7 ~ 17.6%であり 1 体のみ 15%を超えるものがあった(17.6%)が、それ以外は全て 15%以下であった。

表-7 試験体の外観特性

		平均	集中		曲がり %	心材率 %	密度 kg/m <sup>3</sup>	含水率 %
		年輪幅 mm	節径比	節径比				
105mm 正角材	平均値	5.0	15.3	31.3	0.06	96.8	404	12.9
	標準偏差	1.1	3.7	11.4	0.1	3.7	22.0	0.9
	変動係数	22.8	24.4	36.3	87.7	3.8	5.4	6.8
	最小値	2.9	7.6	0.0	0.00	89.0	376	10.4
	最大値	7.8	21.9	61.0	0.18	100.0	463	14.3
120mm 正角材	平均値	4.5	15.0	27.4	0.05	93.9	398	13.6
	標準偏差	1.0	4.6	11.3	0.1	6.0	29.7	1.4
	変動係数	22.1	30.5	41.1	97.4	6.4	7.4	9.9
	最小値	2.6	5.0	0.0	0.00	79.7	347	9.7
	最大値	6.5	23.3	55.8	0.23	100.0	449	17.6

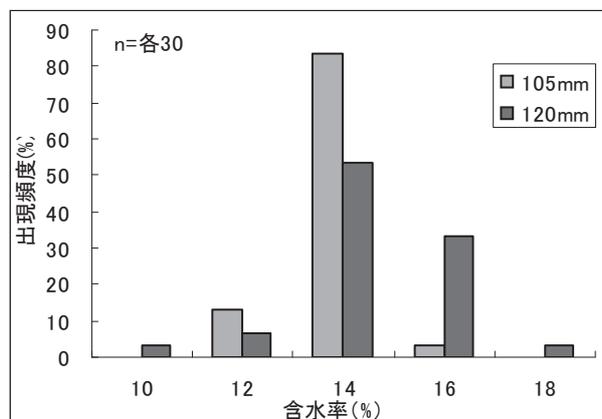


図-12 含水率の分布

## ② 座屈試験の結果

座屈試験の結果を表－8に示す。

表－8 座屈試験の結果

	最大荷重 kN	座屈強さ N/mm <sup>2</sup>	曲げヤン	動的ヤン	
			グ係数 kN/mm <sup>2</sup>	グ係数 kN/mm <sup>2</sup>	
105mm 正角材	平均値	71.2	6.29	7.06	7.21
	標準偏差	13.1	1.1	1.1	1.2
	変動係数	18.4	18.3	15.4	16.2
	最小値	50.4	4.47	5.46	5.44
	最大値	98.9	8.73	9.00	9.51
	下限値		4.15		
120mm 正角材	平均値	114.1	7.80	6.79	6.92
	標準偏差	19.5	1.3	1.2	1.1
	変動係数	17.1	17.1	17.1	15.4
	最小値	79.9	5.50	4.79	4.89
	最大値	159.9	10.78	9.05	9.22
	下限値		5.31		

座屈強さの範囲は 105mm 正角材で 4.47 ～ 8.73N/mm<sup>2</sup>、平均値は 6.29N/mm<sup>2</sup>、下限値は 4.15N/mm<sup>2</sup> であり、120mm 正角材で 5.50 ～ 10.78N/mm<sup>2</sup>、平均値は 7.80N/mm<sup>2</sup> で下限値は 5.31N/mm<sup>2</sup> であった。国土交通省（旧建設省）告示に定める数式によるスギ無等級材の座屈の材料強度はそれぞれ 5.10N/mm<sup>2</sup>、7.08N/mm<sup>2</sup> となるが、既往の報告<sup>6)</sup>では座屈試験結果がこの値を下回ることが報告されており、今回の試験においても同様に下回る結果となった。

## ③ 目視等級区分の座屈強さ

外観特性調査で調査した平均年輪幅、節、曲がりから製材の日本農林規格に定める乙種構造材の基準による目視等級区分を行った結果を表－9に示す。

105mm 正角材について、出現頻度は 1 級、2 級、3 級それぞれ 56.7%、40.0%、3.3% であり、3 級の材はほとんど出現しなかった。各等級の座屈強さの平均値は、1 級は 6.68N/mm<sup>2</sup>、2 級は 5.84N/mm<sup>2</sup>、3 級は 5.12N/mm<sup>2</sup> となり、等級が下がる毎に強度は低下した。

120mm 正角材について、出現頻度は 1 級、2 級、3 級、無等級材それぞれ 83.4%、13.3%、0.0%、3.3% であり、1 級がほとんどを占め、3 級の材は出現しなかったが等級外が 1 本存在した。各等級の座屈強さの平均値は、1 級は 8.05N/mm<sup>2</sup>、2 級は 6.61N/mm<sup>2</sup>、等級外は 6.32N/mm<sup>2</sup> であり、1 級から 2 級に等級が下がった場合、座屈強さの平均値は低下したが、2 級と等級外はほとんど同じになった。

表－9 目視等級区分ごとの座屈強さ

	等級	出現本数 (本)	出現頻度 (%)	座屈強さ (N/mm <sup>2</sup> )	
				平均値	最小値
105mm 正角材	1 級	17	56.7	6.68	4.47
	2 級	12	40.0	5.84	4.88
	3 級	1	3.3	5.12	5.12
	等級外	0	0.0	—	—
	計	30	100.0	—	—
120mm 正角材	1 級	25	83.4	8.05	5.67
	2 級	4	13.3	6.61	5.50
	3 級	0	0.0	—	—
	等級外	1	3.3	6.32	6.32
	計	30	100.0	—	—

④ 機械等級区分の座屈強さ

動的ヤング係数を用い、製材の日本農林規格に定める機械等級区分による区分を行った結果を表－10に示す。出現した等級の範囲は E50 ～ E90、105mm 正角材の出現頻度は E50 から E90 の順に 16.7%、53.3%、30.0%となり、8割以上が E70 以上の等級に区分された。各等級の座屈強さの平均値は、E50 から E90 の順に、4.98N/mm<sup>2</sup>、5.95N/mm<sup>2</sup>、7.64N/mm<sup>2</sup>であった。また、120mm 正角材の出現頻度は E50 から E90 の順に 16.7%、63.3%、20.0%となり、こちらも8割以上が E70 以上の等級に区分された。各等級の座屈強さの平均値は、E50 から E90 の順に、5.87N/mm<sup>2</sup>、7.70N/mm<sup>2</sup>、9.71N/mm<sup>2</sup>であった。両試験区とも等級が上がると平均値も高くなっていた。

表－10 機械等級区分ごとの座屈強さ

	等級	出現本数 (本)	出現頻度 (%)	座屈強さ (N/mm <sup>2</sup> )	
				平均値	最小値
105mm 正角材	E50	5	16.7	4.98	4.47
	E70	16	53.3	5.95	4.88
	E90	9	30.0	7.64	6.38
	計	30	100.0	—	—
120mm 正角材	E50	5	16.7	5.87	5.50
	E70	19	63.3	7.70	6.32
	E90	6	20.0	9.71	8.79
	計	30	100.0	—	—

⑤ 強度性能因子の関係

座屈強さと曲げヤング係数および動的ヤング係数の関係を図－13、14に示す。相関係数は座屈強さと曲げヤング係数の関係で、105mm 正角材は 0.935、120mm 正角材で 0.919、座屈強さと動的ヤング係数の関係で 105mm 正角材は 0.929、120mm 正角材は 0.942 となりいずれも高い相関がみとめられた。このことから非破壊的に材の強度を推定する方法とし

て、曲げヤング係数やタッピング法などによる動的ヤング係数を測定することは、品質管理上有効な方法であることを示す結果となった。

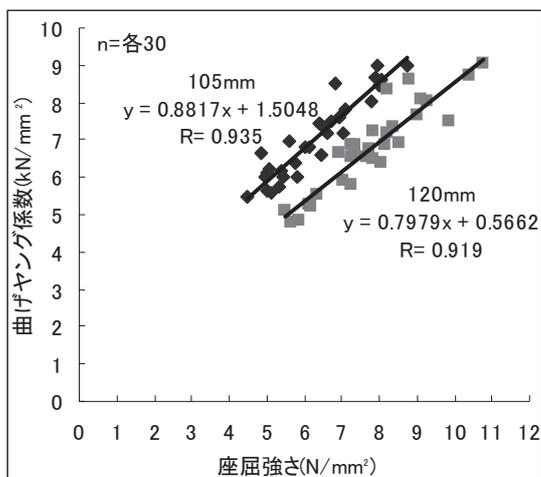


図-13 座屈強さと曲げヤング係数の関係

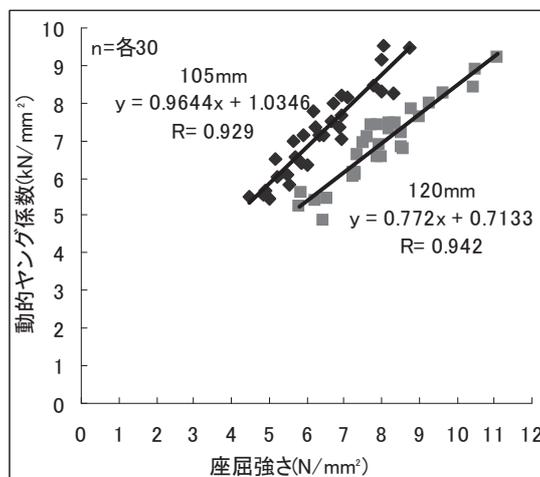


図-14 座屈強さと動的ヤング係数の関係

#### ⑥ 強度性能と材質因子の関係

座屈強さについて、外観特性で調査した材質因子との単相関係数を表-11に示す。105mm 正角材、120mm 正角材ともに平均年輪幅とは低い相関がみられ、曲がりとは中位の相関がみられた。集中節径比は 120mm 正角材と低い相関がみられたが 105mm 正角材とは相関がみられなかった。心材率は 105mm 正角材と低い相関がみられたが、120mm 正角材とは相関がみられなかった。節径比とは 105mm 正角材、120mm 正角材とも相関が見られなかった。密度は 105mm 正角材と中位の相関が、120mm 正角材とは高い相関がみられた。平均年輪幅と曲がりとは日本農林規格の目視等級区分製材に示される品質の評価対象であり、相関がみられたことは目視等級区分と強度との関係を示すとも言える。しかし、同じく日本農林規格の目視等級区分製材に示される品質の評価対象である節径比と 105mm 正角材の集中節径比には相関が見られなかったことや縦圧縮強さと同様、平均年輪幅や曲がりとの相関も座屈強さと動的ヤング係数との相関(105mm 正角材 :  $r=0.929$ 、120mm 正角材 :  $r=0.949$ )よりは低く、今回の試験結果から機械等級区分による品質管理は目視による品質管理に比べてより適正な管理が可能であることが示唆された。

表-11 強度性能と材質因子の関係

	平均年輪幅	節径比	集中節径比	曲がり	心材率	密度
	mm			%	%	kg/m <sup>3</sup>
105mm	-0.274	0.059	-0.010	-0.419	-0.376	0.556
120mm	-0.348	-0.182	-0.266	-0.429	-0.017	0.628

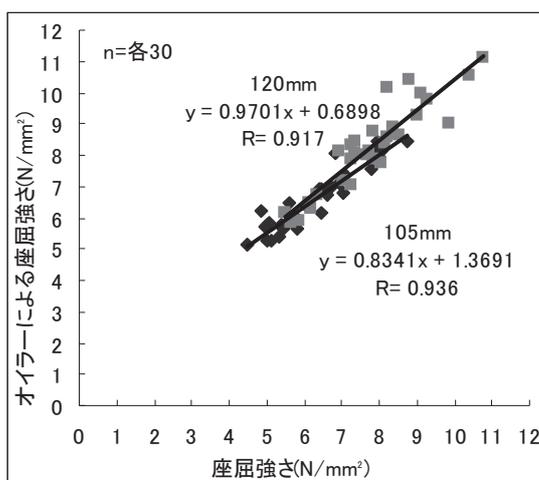
#### ⑦ 座屈強さの補正と推計

最大荷重からサウスウェルの手法により、初期の曲がりを補正した座屈強さを表-12に示す。また、曲げヤング係数からオイラー式により、推計した座屈強さを併せて示す。オイラー式による座屈強さと座屈強さ、補正後の座屈強さとの関係を図-15、16に示

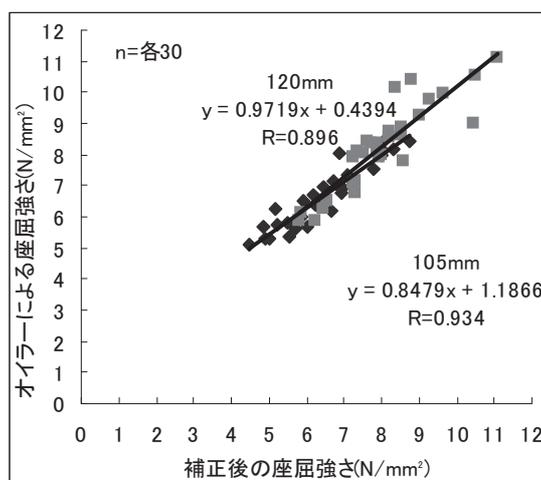
す。いずれの関係においても高い相関がみられ、オイラー式の有効性が確認された。

表－１２ 座屈強さの補正と推計

		補正前の 座屈強さ N/mm <sup>2</sup>	補正後の 座屈強さ N/mm <sup>2</sup>	オイラー式による 座屈強さ N/mm <sup>2</sup>
105mm 正角材	平均値	6.29	6.41	6.62
	標準偏差	1.1	1.1	1.0
	変動係数	18.3	17.6	15.5
	最小値	4.47	4.47	5.12
	最大値	8.73	8.73	8.45
	下限値	4.15	4.30	
120mm 正角材	平均値	7.80	8.04	8.25
	標準偏差	1.3	1.3	1.4
	変動係数	17.1	16.2	17.1
	最小値	5.50	5.83	5.87
	最大値	10.78	11.11	11.09
	下限値	5.31	5.61	



図－１５ 座屈強さとオイラー式による座屈強さの関係



図－１６ 補正後の座屈強さとオイラー式による座屈強さの関係

## 2 縦継ぎの検討

### (1) 試験体と試験方法

#### ① 試験体

高温乾燥後、曲がりやねじれのため市場に流通しなかった材（以下、B材という）を入手し、一辺が115～130mmであったものを90mmに再調整した長さ3mの心持ち正角材26本を試験に供した。

#### ② タッピング法による動的ヤング係数の調査

II-1-(2)と同様の方法で、タッピング法による動的ヤング係数の調査を行った。

### ③ 縦継ぎの実施

動的ヤング係数が同程度になるよう2グループに分け一方は無垢のままとし(以下、NFJという)一方は中央を切断後フィンガージョイントに加工し、縦継ぎを行った(以下、FJという)。フィンガースhapeを図-17に示す。接着剤は水性高分子イソシアネート系接着剤(株式会社オーシカ、PI-4000)を使用し、圧縮圧力6.4MP、圧縮時間4秒にて縦継ぎを行った。養生後再度Ⅱ-1-(2)と同様の方法で、タッピング法による動的ヤング係数の調査を行った。



図-17 フィンガースshape

### ④ 試験体の外観特性調査

製材の日本農林規格に準じ平均年輪幅、節径比、曲がりの調査を行った。また、試験終了後速やかに試験体の両木口から60cm以上中央によつた箇所から試験片を1枚ずつ採取し含水率の調査に供した。これらの結果をもとに、乙種構造材の基準による目視等級区分を行った。

### ⑤ 曲げヤング係数の調査

Ⅲ-1-(1)-②と同様の方法で、曲げヤング係数を調査した。試験条件は下部スパンを1620mmとし、載荷重は5kN程度とした。

### ⑥ 座屈試験

Ⅲ-1-(1)-④と同様の方法で試験を実施した。なお、約半数については破壊するまで加力した。

### ⑦ 座屈強さの補正と推計

Ⅲ-1-(1)-⑤と同様の方法で座屈強さの補正と推計を実施した。

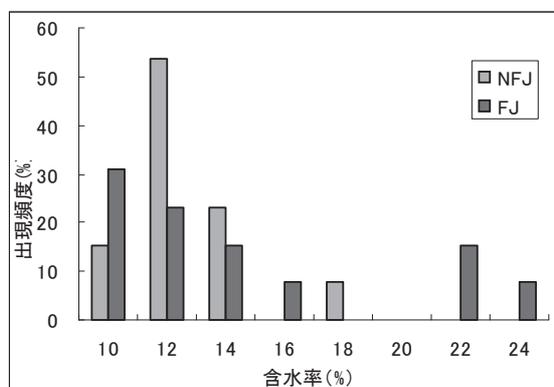
## (2) 結果および考察

### ① 試験体の外観特性

平均年輪幅、節径比、曲がり、含水率、密度の調査結果を表-13に、含水率の分布を図-18に示す。曲がり材によりばらつきが大きい結果であった。座屈試験時の含水率はNFJで7.8~16.5%であり、FJでは7.9~23.3%であった。20%を超えるものも存在したが品質管理がなされていないB材であったためと考えられた。また密度は平均値でNFJは401kg/m<sup>3</sup>、FJは413kg/m<sup>3</sup>であった。

表－13 試験体の外観特性

	平均年輪幅	節径比	曲がり	含水率	密度	
	mm		%	%	kg/m <sup>3</sup>	
NFJ	平均値	5.4	29.0	0.05	11.4	401
	標準偏差	1.4	6.8	0.1	2.1	36.6
	変動係数	26.5	23.4	129.8	18.3	9.1
	最小値	3.4	17.8	0.00	7.8	324
	最大値	7.3	43.5	0.18	16.5	470
FJ	平均値	4.9	27.2	0.17	13.7	413
	標準偏差	0.9	4.9	0.4	5.0	28.5
	変動係数	18.3	18.0	213.5	36.6	6.9
	最小値	3.8	22.3	0.00	7.9	351
	最大値	7.1	40.1	1.36	23.3	460



図－18 含水率の分布

② 座屈試験の結果

座屈試験の結果を表－14に示す。

表－14 座屈試験の結果

	最大荷重	座屈強さ	曲げヤング係数	動的ヤング係数	
	kN	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	
NFJ	平均値	36.3	4.51	6.30	7.65
	標準偏差	9.2	1.1	1.5	1.9
	変動係数	25.3	25.3	23.7	25.3
	最小値	20.9	2.58	3.96	4.76
	最大値	55.4	6.88	9.20	10.87
FJ	平均値	36.9	4.57	6.03	7.46
	標準偏差	8.4	1.0	1.3	1.7
	変動係数	22.9	22.8	21.5	23.0
	最小値	18.4	2.28	3.62	4.08
	最大値	49.9	6.19	8.54	10.18

座屈強さの範囲は NFJ で 2.58 ～ 6.88N/mm<sup>2</sup>、平均値は 4.51N/mm<sup>2</sup>、FJ で 2.28 ～ 6.19N/mm<sup>2</sup>、平均値は 4.57N/mm<sup>2</sup>であった。NFJ と FJ の間には 1%レベルで差が認められなかった。

### ③ 目視等級区分の座屈強さ

外観特性調査で調査した平均年輪幅、節、曲がりから製材の日本農林規格に定める乙種構造材の基準による目視等級区分を行った結果を表-15に示す。

NFJ について、出現頻度は1級、2級、3級それぞれ 23.1%、69.2%、7.7%であり、3級の材はほとんど出現しなかった。各等級の座屈強さの平均値は、1級は 6.01N/mm<sup>2</sup>、2級は 4.07N/mm<sup>2</sup>、3級は 3.97N/mm<sup>2</sup>となり、等級が下がる毎に強度は低下した。

FJ について、出現頻度は1級、2級、3級、無等級材それぞれ 38.4%、30.8%、7.7%、23.1%であり、3級の材はほとんど出現しなかったが等級外が3本存在した。各等級の座屈強さの平均値は、1級は 4.54N/mm<sup>2</sup>、2級は 4.52N/mm<sup>2</sup>、3級は 5.45N/mm<sup>2</sup>、等級外は 4.41N/mm<sup>2</sup>であり、等級と座屈強さの間に一定の傾向はみられなかった。

表-15 目視等級区分ごとの座屈強さ

	等級	出現本数 (本)	出現頻度 (%)	座屈強さ (N/mm <sup>2</sup> )	
				平均値	最小値
NFJ	1級	3	23.1	6.01	5.13
	2級	9	69.2	4.07	2.58
	3級	1	7.7	3.97	3.97
	等級外	0	0.0	—	—
	計	13	100.0	—	—
FJ	1級	5	38.4	4.54	3.49
	2級	4	30.8	4.52	3.78
	3級	1	7.7	5.45	5.45
	等級外	3	23.1	4.41	2.28
	計	13	100.0	—	—

### ④ 機械等級区分の座屈強さ

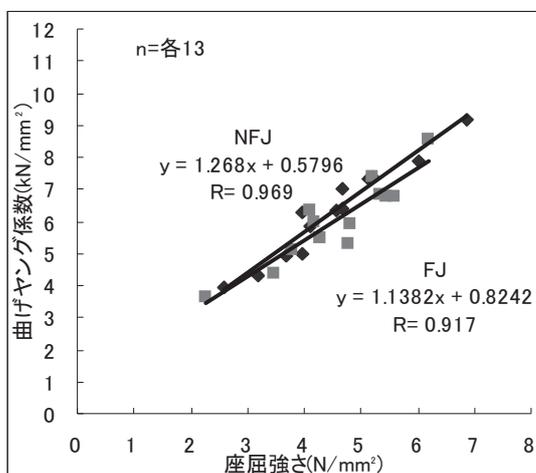
動的ヤング係数を用い、製材の日本農林規格に定める機械等級区分による区分を行った結果を表-16に示す。NFJ の出現した等級の範囲は E50 ～ E90、出現頻度は E50 から E90 の順に 38.5%、46.1%、15.4%となり、6割以上が E70 以上の等級に区分された。各等級の座屈強さの平均値は、E50 から E90 の順に、3.51N/mm<sup>2</sup>、4.70N/mm<sup>2</sup>、6.44N/mm<sup>2</sup>であった。また、FJ の出現した等級の範囲は E50 ～ E110、出現頻度は E50 から E110 の順に 15.4%、46.1%、30.8%、7.7%となり、8割以上が E70 以上の等級に区分された。各等級の座屈強さの平均値は、E50 から E90 の順に、2.88N/mm<sup>2</sup>、4.39N/mm<sup>2</sup>、5.29N/mm<sup>2</sup>、6.19N/mm<sup>2</sup>であった。両試験区とも等級が上がると平均値は高くなっていた。

表－１６ 機械等級区分ごとの座屈強さ

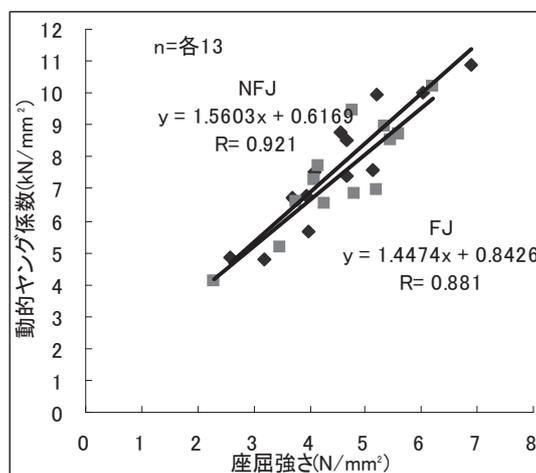
等級	出現本数 (本)	出現頻度 (%)	座屈強さ (N/mm <sup>2</sup> )		
			平均値	最小値	
NFJ	E50	5	38.5	3.51	2.58
	E70	6	46.1	4.70	3.95
	E90	2	15.4	6.44	6.01
	E110	0	0.0	—	—
計	13	100.0	—	—	
FJ	E50	2	15.4	2.88	2.28
	E70	6	46.1	4.39	3.78
	E90	4	30.8	5.29	4.76
	E110	1	7.7	6.19	6.19
	計	13	100.0	—	—

⑤ 強度性能因子の関係

座屈強さと曲げヤング係数および動的ヤング係数の関係を図－１９、２０に示す。相関係数は座屈強さと曲げヤング係数の関係では NFJ で 0.969、FJ で 0.917、座屈強さと動的ヤング係数の関係では NFJ で 0.921、FJ で 0.881 となりいずれも高い相関がみとめられた。105mm 正角材や 120mm 正角材の座屈試験と同様、非破壊的に材の強度を推定する方法として、曲げヤング係数やタッピング法などにより動的ヤング係数を測定することは、品質管理上有効な方法であることを示す結果となった。



図－１９ 座屈強さと曲げヤング係数の関係



図－２０ 座屈強さと動的ヤング係数の関係

⑥ 強度性能と材質因子の関係

座屈強さについて、外観特性で調査した材質因子との単相関係数を表－１７に示す。NFJ、FJ ともに曲がりとは低い相関がみられた。NFJ は平均年輪幅、節径比と中位の相関がみられ、FJ は密度と中位の相関がみられたがその他について相関がみられなかった。平均年輪幅、節径比、曲がりとは日本農林規格の目視等級区分製材に示される材面の品質に

あたるもので、NFJ においては負の相関がみられたことは目視等級区分と強度との関係を示すとも言える。いずれの相関係数も縦圧縮強さ、105、120mm 正角材による座屈試験と同様、座屈強さと動的ヤング係数との相関(NFJ :  $r=0.921$ 、FJ :  $r=0.881$ )よりは低く、今回の試験結果から機械等級区分による品質管理は目視による品質管理に比べてより適正な管理が可能であることが示唆された。

表－17 強度性能と材質因子の関係

	平均年輪幅	節径比	曲がり	密度
NFJ	-0.408	-0.560	-0.386	0.093
FJ	-0.149	0.284	0.380	0.437

⑦ 座屈強さの補正と推計

最大荷重からサウスウェルの手法により、初期の曲がりを補正した座屈強さを表－18に示す。また、曲げヤング係数からオイラー式により、推計した座屈強さを併せて示す。オイラー式による座屈強さと座屈強さ、補正後の座屈強さとの関係を図－21、22に示す。いずれの関係においても高い相関がみられ、オイラー式の有効性が確認された。また FJ において補正後の座屈強さとの関係の相関が低下したが、1 試験体において補正值が大きく増加したものがあり (4.76 → 7.30)、この試験体を除外した場合、相関係数は 0.935 となった。

表－18 座屈強さの補正と推計

	補正前 座屈強さ N/mm <sup>2</sup>	補正後 座屈強さ N/mm <sup>2</sup>	オイラー式による 座屈強さ N/mm <sup>2</sup>	
	平均値	4.51	4.59	4.40
	標準偏差	1.1	1.1	1.1
NFJ	変動係数	25.3	24.3	24.8
	最小値	2.58	2.81	2.69
	最大値	6.88	6.88	6.54
	下限値	2.20	2.33	
	平均値	4.57	4.86	4.27
	標準偏差	1.0	1.3	1.0
FJ	変動係数	22.8	27.4	22.3
	最小値	2.28	2.47	2.50
	最大値	6.19	7.30	6.10
	下限値	2.46	2.13	

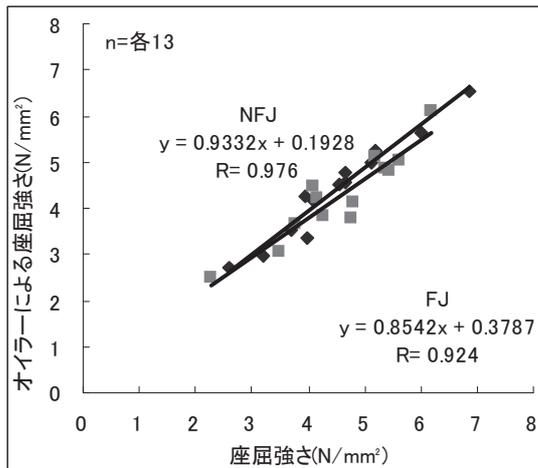


図-2 1 座屈強さとオイラー式による  
座屈強さの関係

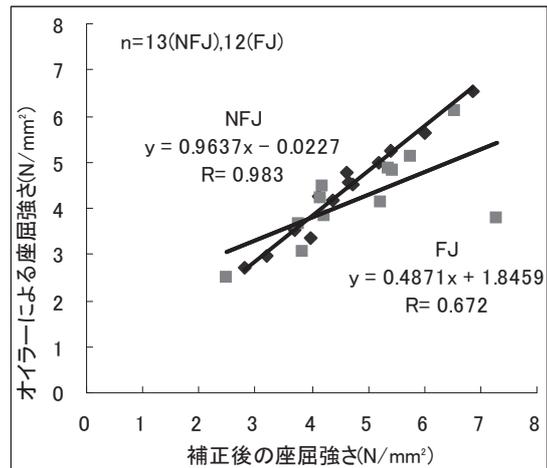


図-2 2 補正後の座屈強さと  
オイラー式による座屈強さの関係

#### IV 大断面構造柱の試作

##### 1 試験体と試験方法

##### (1) 試験体

Ⅲ-2-(1)-①と同様の材を108本試験に供した。

##### (2) タッピング法による動的ヤング係数の調査

Ⅱ-1-(2)と同様の方法で、タッピング法による動的ヤング係数の調査を行った。

##### (3) 試作

動的ヤング係数の調査結果から同程度のものを2本フィンガージョイントにより縦継ぎを実施した。なおフィンガージョイントの形状、接着条件はⅢ-2-(1)-③と同様とした。その後、再度動的ヤング係数を調査し、高い物から順に9本ずつ6グループに分けた。それぞれのグループについてフィンガージョイントの位置がずれるように長さを5100mmに調整し(図-2 3)、3本を接着して1層となし、3層を集成接着し、270×270×5100mmの試験体を6体試作した。接着剤は水性高分子イソシアネート系接着剤(株式会社オーシカ、PI-100)とし、接着条件はメーカー指定によった。

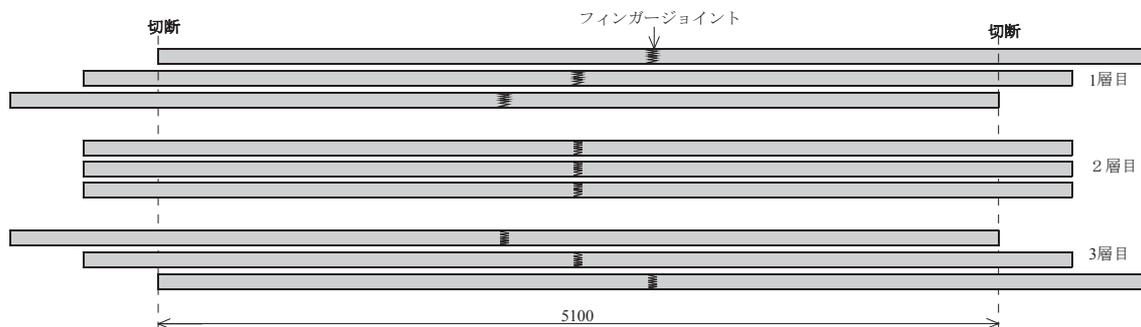


図-2 3 各層のフィンガージョイント位置

##### (4) 曲げヤング係数の調査

試作された試験体について一週間以上養生後、Ⅲ-1-(1)-②と同様に曲げヤング

係数を調査した。なお下部スパンは 4860mm とし、載荷重は 5 kN 程度とした。

### (5) 実大材曲げ試験

実大材曲げ試験は、強度試験法に準じ、載荷速度を 20mm/min に設定のうえ、下部スパンを 4860mm とする 3 等分点 4 点荷重法により、荷重容量 50t の実大強度試験機を用いて、材が破壊に至るまで加力した (図-24)。

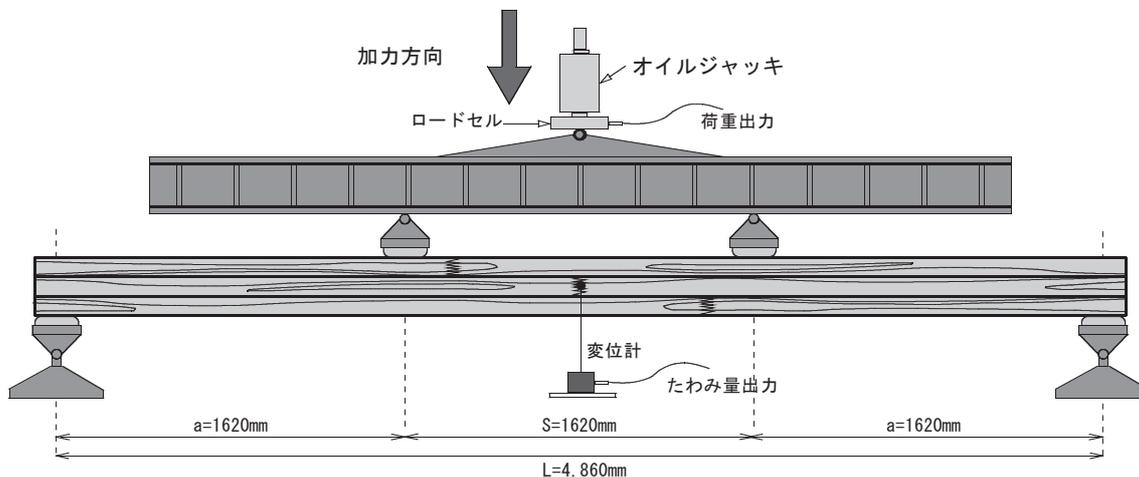


図-24 実大材曲げ試験の概略図

最大荷重から曲げ強さ (MOR) を、材中央部のたわみ量から曲げヤング係数 (MOE) をそれぞれ下記の式から求めた。

$$MOR = aP_{max} / (2Z)$$

a : 支点・荷重点間距離 (mm)

P<sub>max</sub> : 最大荷重 (N)

Z : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$$MOE = a(3L^2 - 4a^2) (F_2 - F_1) / \{48I(w_2 - w_1)\}$$

L : 支点間距離 (mm)

I : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

F<sub>2</sub>-F<sub>1</sub> : 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分 (N)

w<sub>2</sub>-w<sub>1</sub> : F<sub>2</sub>-F<sub>1</sub> に対応する変形の増分 (mm)

### (6) 接着性能試験

集成材の日本農林規格に準じ、浸せきはく離試験、煮沸はく離試験、ブロックせん断試験を実施した。試験片は実大材曲げ試験後の非破壊部を繊維方向に 4 分割し (図-25)、両木口それぞれのブロックから、試験片を採取した。

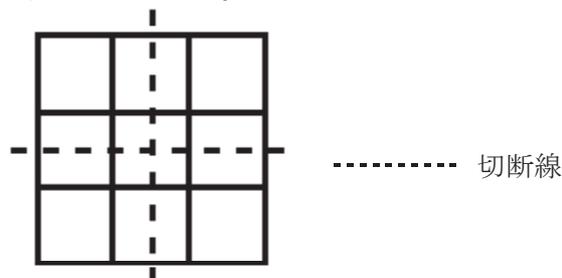


図-25 横断面図

## 2 結果および考察

### (1) 実大材曲げ試験

大断面試作試験体実大材曲げ試験結果を表-19に示す。曲げ強さは18.3～30.3N/mm<sup>2</sup>、曲げヤング係数は4.84～8.24kN/mm<sup>2</sup>となった。また、集成前に測定した動的ヤング係数を用いて、各層3本の平均値をその層のヤング係数とみなし等価断面法により計算した値と、曲げ試験から得られた曲げヤング係数との間に一定の関係が見られた(図-26)。このことから、集成前の部材強度を調べることにより試作試験体の曲げヤング係数の推計が可能であることが示唆され、事前に部材強度を調べておくことは大断面構造柱の強度推定に有効であると考えられた。またその破壊状況を目視により確認した結果、全ての試験体において試験時の下面側の破損がより大きく、5体はフィンガージョイント部を含むものであった。

表-19 実大材曲げ試験結果

試験体No.	曲げ		等価断面法
	曲げ強さ N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	による計算値 kN/mm <sup>2</sup>
1	20.6	4.84	5.34
2	18.3	5.35	6.26
3	21.0	6.32	7.02
4	19.5	6.41	7.50
5	29.1	7.84	8.83
6	30.3	8.24	10.62

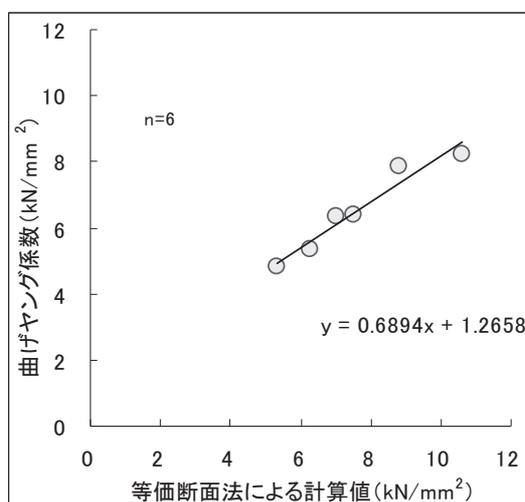


図-26 等価法による計算値と曲げヤング係数との関係

### (2) 接着性能試験

試験結果を表-20に示す。この表において、基準値未満試験体数の割合が10%未満で集成材の日本農林規格の基準に合格、10%以上30%以下で再試験、30%を超えると不合格となる。浸せき剥離試験、ブロックせん断試験については集成材の日本農林規格に定める基準を満たしたが、煮沸剥離試験については基準を満たさなかった。

表－２０ 接着性能試験結果

	浸せき剥離試験	煮沸剥離試験	ブロックせん断試験	
	はく離率	はく離率	せん断強さ	木部破断率
	%	%	N/mm <sup>2</sup>	%
平均値	0.9	7.3	7.32	100
標準偏差	0.7	2.7	1.1	1.3
変動係数	71.1	36.7	15.2	1.3
最小値	0.2	3.9	4.64	92
最大値	2.2	10.9	12.83	100
試験体数	6	6	144	144
(うち基準値未満)	0	5	1	0
基準値未満割合	0.0	83.3	0.7	0.0

## V まとめ

大断面構造柱の開発を目的として、単一の部材であるスギ正角材の縦圧縮強度、座屈強度について把握することが出来た。縦圧縮試験では縦圧縮強さの下限值が建設省告示に定める基準強度を上回り、構造材として十分な強度性能を有していることが認められた。座屈試験では残念ながら座屈強さは建設省告示に定める算定式により求めた強度に満たなかった。また、目視等級区分に比べ機械等級区分では、その等級区分の信頼性が高いことが認められた。縦圧縮強さ、座屈強さとも、縦圧縮ヤング係数、曲げヤング係数や動的ヤング係数との相関が、年輪幅や節といった材質因子よりも強く、このことから、構造用製材の等級区分は、非破壊的に測定可能な曲げヤング係数、動的ヤング係数による指標が信頼できる换言之、県産スギ材についても、構造材として利用拡大を図るには、これらに配慮した適切な等級区分を行い、品質要求に応えられる信頼性のある等級区分製材として市場に流通させることが重要である。

フィンガージョイントによる縦継ぎの有無による座屈強さには差がみられなかったことはフィンガージョイントによる縦継ぎ材の座屈応力を受ける建築部材等への利用の可能性があるものと考えられた。また、試作した大断面構造柱はその曲げヤング係数は等価断面法による計算値と一定の関係を示し、適切な等級区分がされた製品を製作することが可能であると考えられた。これらの結果が今後の製品開発の参考になればと考える。

## VI 参考文献

- 1) 福島県農林水産部：「福島県森林・林業統計書」16, (2008)
- 2) 森林との共生を考える県民懇談会：「森林との共生を考える県民懇談会報告書(資料編)」, 21 (2004)
- 3) 安田茂隆、高橋宏成：「福島県林業研究センター研究報告」第37号 (2004)
- 4) 日本住宅・木材技術センター：「構造用木材の強度試験法」9,10,12,13,19,53 (2000)
- 5) 強度性能研究会：「製材品の強度性能に関するデータベース・データ集〈7〉」強度性能研究会, 32 - 33, 51 (2005)
- 6) 日本建築学会：「木質構造設計基準・同解説」, (社)日本建築学会, 153, (2003)

7) 中谷浩ほか4名：「富山県林業技術センター研究報告」No. 18, 30 - 35 (2005)