

平成10年度 農林水産省補助事業
技術開発研究推進事業
住宅部材安全性能向上等事業

建築用木材性能評価事業報告書

平成11年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

序

当財団は、林野庁の助成を受けて「日本住宅・木材技術センター事業」を長年にわたり進めている。事業の実施に当たっては課題ごとに委員会を組織し、また必要に応じて分科会を組織して実施計画・実行内容を検討し、年度ごとに報告書を作成している。

この事業のうち、「建築用木材性能評価事業」として、木造建築の多様化に伴って丸太を構造体に用いた建物が増えつつある現状に鑑み、丸太・たいこ挽材の実大曲げ強度性能を明らかにし、製材との強度性能の比較、含水率の変化に伴う強度変化等に関する知見を得ることを図った。この種のデータの集積は国産小径材の利用分野を拡大するために資することができると思う。

本書は、その事業のために組織した「建築用木材性能評価委員会」で取りまとめた平成2年度～平成4年度の事業報告書を、当(財)日本住宅・木材技術センターにおいて再整理したものである。事業報告書には上記委員会で作成し、対象となったカラマツ、スギ丸太、たいこ挽材、正角材の結果が収録されている。

試験の対象とした国産小径材は次のとおり。

- (1)北海道産カラマツ 36年生 1番玉
- (2)宮城県産スギ 33年生 1～2番玉
- (3)徳島県産スギ 50～60年生 2～4番玉

本書の内容を企画・実行した「建築用木材性能評価委員会」の構成は次のとおり。

(所属・肩書きは事業実施当時)

委員長	中井 孝	農林水産省森林総合研究所 木材利用部 材料性能研究室長
委員	田中 俊成	農林水産省森林総合研究所 木材利用部 主任研究官
委員	長尾 博文	農林水産省森林総合研究所 木材利用部 材料性能研究室
委員	森泉 周	北海道立林産試験場 構造性能科長 (平成2年度)
委員	工藤 修	北海道立林産試験場 材料性能科長 (平成3～4年度)
委員	鈴木 登	宮城県林業試験場 木材利用科長
事務局	倉田 久敬	(財)日本住宅・木材技術センター 試験研究部長(平成2年度)
	牧 勉	(財)日本住宅・木材技術センター 試験研究部長(平成3～4年度)
	鴛海 四郎	(財)日本住宅・木材技術センター 主任研究員
本書整理者	松本 庸夫	(財)日本住宅・木材技術センター 客員研究員

本書の基となった事業報告書は次のとおり。

- 1) (財)日本住宅・木材技術センター：建築用木材性能評価事業報告書
建築用木材性能評価事業報告書 平成3年3月 pp.86 (1991)
- 2) (財)日本住宅・木材技術センター：建築用木材性能評価事業報告書

建築用木材性能評価事業報告書 平成4年3月 pp.43 (1992)

3) (財)日本住宅・木材技術センター：建築用木材性能評価事業報告書

建築用木材性能評価事業報告書 平成5年3月 pp.86 (1993)

本書は次の5章から成り立っており、その基となった上記事業報告書の執筆者を併せて示す。

第1章 丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験 実施要領

(財)日本住宅・木材技術センター

第2章 カラマツ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

森泉 周・工藤 修 北海道立林産試験場

第3章 33年生1～2番玉スギ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

鈴木 登 宮城県林業試験場

第4章 50～60年生2～4番玉スギ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

中井 孝・田中俊成・長尾博文 森林総合研究所木材利用部

第5章 カラマツ・スギの丸太・たいこ挽材実大曲げ試験の総括

中井 孝 森林総合研究所木材利用部

丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

目 次

第1章 丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験 実施要領

1. はじめに	1
2. 試験の概要	1
3. 試験用丸太の選定	1
4. 試験方法別試験木のグループ仕分け	1
5. 丸太の実大曲げ試験方法	2
5.1 形状寸法の計測	2
5.2 試験方法	2
5.3 破断後の作業	3
6. たいこ挽材の実大曲げ試験方法	4
6.1 たいこ挽製材	4
6.2 形状寸法の計測	4
6.3 試験方法	4
6.4 破断後の作業	5
7. 試験結果のとりまとめ	5
7.1 断面の算定	5
7.2 得られる主なデータ	6

第2章 カラマツ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

1. はじめに	8
2. 供試丸太	8
3. 試験方法	8
4. 基本振動周波数による丸太の動的ヤング係数測定及びグループ仕分け	8
5. 生材丸太の実大曲げ試験	9
5.1 丸太形状と欠点調査	9
5.2 実大材の曲げ試験	9
5.3 生材丸太の試験結果と考察	10
6. 気乾丸太の実大曲げ試験	12
6.1 生材時丸太の曲げ剛性試験	12
6.2 丸太の天然乾燥	12
6.3 重量・寸法の測定	12
6.4 動的ヤング係数の測定	12
6.5 丸太形状と欠点調査	12

6.6	気乾丸太の実大曲げ試験	13
6.7	気乾丸太の試験結果と考察	13
6.8	試験時の含水率の影響	14
7.	たいこ挽材用丸太の曲げ試験	16
7.1	丸太の天然乾燥	16
7.2	重量・寸法の測定	16
7.3	動的ヤング係数の測定	16
7.4	丸太の曲げ剛性試験	16
8.	たいこ挽材の実大曲げ試験	16
8.1	たいこ挽製材	16
8.2	形状、寸法等の計測	16
8.3	たいこ挽材の E_d の測定	16
8.4	欠点調査	16
8.5	たいこ挽材 flatwise の曲げ剛性試験	16
8.6	たいこ挽材 edgewise の曲げ試験	17
8.7	たいこ挽材 flatwise 試験体 及び 正角試験体の採取	17
8.8	たいこ挽材 flatwise の曲げ破壊試験	17
8.9	正角材の曲げ破壊試験	17
9.	たいこ挽材の試験結果と考察	17
9.1	たいこ挽材の試験結果	17
9.2	たいこ挽材についての考察	18
9.3	正角材の試験結果	21
10.	強度性能に関する丸太、たいこ挽材、正角材の関係	22
10.1	気乾比重、平均年輪幅、含水率	22
10.2	MORと他の因子との相関	22
10.3	丸太、たいこ挽材、正角材間の強度性能の関係	22
10.4	丸太の強度性能に対する含水率の影響	23
11.	要約	23

第3章 33年生1～2番玉スギ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

1.	はじめに	38
2.	供試丸太	38
2.1	採取林分の概要	38
2.2	供試丸太の形状	38
3.	試験方法	39
4.	供試丸太のグループ分け	41
4.1	丸太形状寸法の計測	41
4.2	基本振動周波数と密度測定による動的ヤング係数の測定及びグループ仕分け	41
5.	生材丸太の実大曲げ試験	43

5.1 供試丸太の形状計測と欠点調査	43
5.2 生材丸太の実大曲げ試験	43
5.3 生材丸太の試験結果と考察	43
6. 気乾丸太の実大曲げ試験	46
6.1 丸太の乾燥	46
6.2 供試丸太の性状	46
6.3 丸太形状寸法の計測	46
6.4 動的ヤング係数(E_d)の測定	46
6.5 気乾丸太の実大曲げ試験	46
6.6 気乾丸太の試験結果と考察	46
6.7 試験時の含水率の影響	49
7. たいこ挽材・製材の実大曲げ試験	49
7.1 丸太の乾燥	49
7.2 試験の流れ	49
7.3 乾燥丸太の曲げ剛性試験	49
7.4 たいこ挽材の実大曲げ試験	49
7.4.1 たいこ挽材の曲げ剛性試験 (flatwise)	49
7.4.2 たいこ挽材の曲げ破壊試験 (edgewise)	50
7.4.3 たいこ挽材の曲げ破壊試験 (flatwise)	50
7.4.4 製材の曲げ破壊試験	50
7.5 たいこ挽材・製材の試験結果と考察	51
8. 三か年の試験結果について	55

第4章 50～60年生2～4番玉スギ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

1. はじめに	69
2. 供試丸太	69
3. 試験方法	69
4. 供試丸太のグループ分け	70
4.1 基本振動周波数による動的ヤング係数の測定	70
4.2 動的ヤング係数による丸太のグループ分け	70
5. 生材丸太の実大曲げ試験	70
5.1 形状寸法の計測	70
5.2 欠点調査	70
5.3 実大曲げ試験	70
5.4 生材丸太の試験結果と考察	71
6. 乾燥丸太の実大曲げ試験	76
6.1 供試丸太の乾燥	76
6.2 供試丸太の形状寸法の計測	76
6.3 欠点調査	76

6.4	実大曲げ試験	76
6.5	乾燥丸太の試験結果と考察	77
6.5.1	実大曲げ試験	77
7.	たいこ挽材・製材の実大曲げ試験	84
7.1	丸太の乾燥	84
7.2	試験の手順	84
7.3	供試丸太・たいこ挽材の形状寸法の計測と欠点調査	84
7.4	実大曲げ試験方法	85
7.5	試験結果	86
8.	三か年の試験結果の考察	86
9.	まとめ	93

第5章 カラマツ・スギの丸太・たいこ挽材実大曲げ試験の総括

1.	はじめに	95
2.	研究体制及び分担樹種	95
3.	試験方法	95
4.	試験結果及び考察	95
4.1	含水率が丸太の曲げ強度性能に及ぼす影響	95
4.2	断面形状が曲げ強度性能に及ぼす影響	97
4.3	非破壊試験による丸太の曲げ破壊係数の評価	98
5.	今後の検討課題	100

要 約

木造建築の多様化に伴って丸太を構造体に用いた建築物が増えつつある現状に鑑み、丸太・たいこ挽材の実大曲げ強度性能を明らかにし、製材との強度性能の比較、含水率の変化に伴う強度変化等を得るために実施した平成2年度～平成4年度の事業報告書を基に、次の事項について再整理と考察を行った。

- ①一連の試験に先立ち、試験方法を統一するため定めた、丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験実施要領の整理
- ②北海道産カラマツ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験結果の整理
- ③宮城県産33年生1～2番玉スギ丸太・たいこ挽き材の実大曲げ試験結果の整理
- ④徳島県産スギ50～60年生、2～4番丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験結果の整理
- ⑤②から④のカラマツ・スギの丸太・たいこ挽材実大曲げ試験の考察

キーワード

丸太、たいこ挽材、実大曲げ試験、動的ヤング係数、曲げ剛性試験、曲げ破壊試験、丸太形状、気乾丸太、含水率、曲げヤング係数、正角材、気乾比重、平均年輪巾、基本振動周波数、曲げ破壊係数、集中節径比、乾燥丸太試験、末口年輪数

第1章 丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験 実施要領

1. はじめに

本書の一連の試験は、木造建築の多様化に伴って丸太を構造体に用いた建物が増えつつあるのに鑑み、丸太・たいこ挽材の実大曲げ強度性能を明らかにし、強度等級区分法確立のための基礎資料とすることを目的としている。また、丸太とたいこ挽材、あるいは製材の曲げ強度性能の間に、一定の関係を認め得るか否かについても実験的に検討し、更に丸太については、生材時と気乾時における曲げ強度性能に関する知見を得ることを試みた。

具体的な試験目標は次の3点である。

- 1) 丸太の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響を明らかにする。
- 2) 丸太・たいこ材・製材品の曲げ強度性能の比較を行う。
- 3) 非破壊試験による丸太の曲げ強度性能評価の可能性をさぐる。

一連の試験に先立ち、試験方法を統一するために、この試験実施要領を定めた。

2. 試験の概要

所期の目的を達成するため、次の試験を行う。

- 1) 生材時における丸太の実大曲げ試験
- 2) 気乾時における丸太の実大曲げ試験
- 3) 気乾時におけるたいこ挽材の実大曲げ試験

3. 試験用丸太の選定

1) 試験用丸太は、同一ロットの原木丸太を入手する必要がある。同一ロットとは、土場段階で、同一産地あるいは同一林分等から搬出されたことが確認できるものとする。また、可能な限り、林齢、枝打ち、間伐、あるいは番玉等に関する情報を集めておくこと。

2) 一部は、たいこ挽製材するものもあり、また、強度試験を行う際の都合等を考慮して、なるべく通直な丸太を選ぶこと。

試験体数は、変動係数によって定められるが、試験実施の実務的な面を考慮して、同一ロットより102本を選ぶものとする。

4. 試験方法別試験木のグループ仕分け

1) 基本振動周波数と密度測定による非破壊試験により、動的縦ヤング係数 (E_d) を測定する。(この具体的方法は別記する)

2) E_d の平均値及び変動係数がほぼ同等になるように3グループを編成する。

このため E_d の値を小さいものから昇位順にならべて3本を1単位とし、そのなかでA、B、Cにわりふっていく方法を採用する。

グループ	形状	含水率	本数	曲げ試験実施年度
A	丸太	生材	34体	初年度
B	丸太	気乾材	34体	第2年度
C	たいこ	気乾材	34体	第3年度

5. 丸太の実大曲げ試験方法

5.1 形状寸法の計測

丸太の末口、元口及び中央部における直径を測定する。このとき円周を巻尺で計測し直径を算出する。また、材長も測定しておく。

5.2 試験方法

①節などの欠点調査は、試験機に丸太を載せる前に行う。特に中央部分の長さ約60cm程度に対し、欠点調査図を描くことを原則とする。破断が支点と荷重点との間で生じるおそれがある場合は、その部分についても節等の計測を行い図示すること。

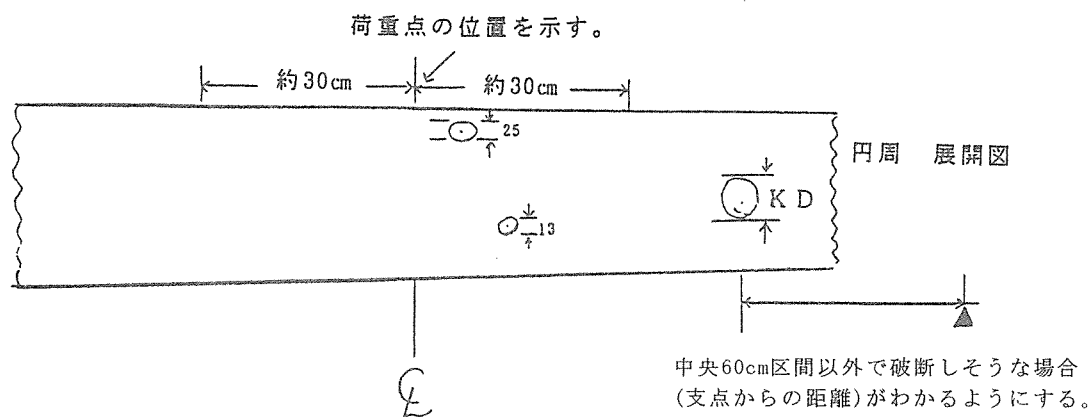


図1 欠点調査図

②図2に実大曲げ試験方法の概要を示した。支点上は負荷時に丸太が回転しないように、三角形の断面を持つ木材で両側からおさえておくこと。

③荷重点は、面をとったアカガシ（約5cm×10cm×20cm程度）等を利用する。

④たわみの計測は図2に示したようにヨークを使って、中立軸のたわみを計測する。ヨークは、アルミのL型アングル又は、木材と合板等で自作したものでよい。

参考のために床からのたわみを計測してもよいが、このとき支点上での局部的めりこみの影響をさけることはできない。

⑤破壊までの最大たわみを計測するには、竹尺（1mm目盛）を丸太の中央部中立軸に木ネジ1本でとりつけ、望遠鏡を通して、目視で読みとる。

⑥ヨークは比例限を越えたら、ダイヤルゲージ等を破損させないために、取りはずして

もよい。

⑦大変形を示す場合は、長さの定まったコマ（木製・硬木 例へば15mm×15mm×45mm、又は長さ90mm など、ダイヤルゲージのストロークに合わせて調整する）を用いて測定を続ける。（クロスヘッドの動きを曲げたわみと読まないこと。）

⑧スパンLは、丸太の直径の14倍以上とするが、実用される時のモジュールから、材長4m材にあつては3600mmとする。

⑨試験開始後、丸太が回転したり、ねじれが生じたりした場合は、負荷を中止して荷重を0に戻し、安定のよい位置に丸太を置きかえて、破壊まで負荷するようにする。

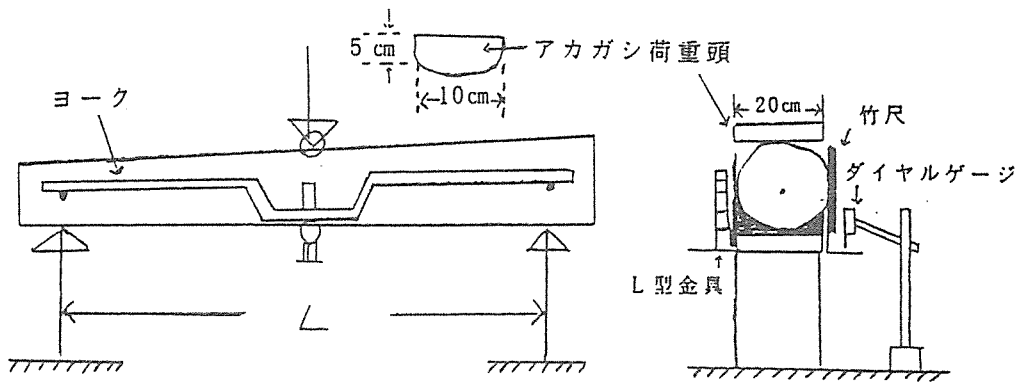


図2 中央集中荷重方式による丸太の実大曲げ試験方法

5.3 破断後の作業

①赤鉛筆で破壊した線を欠点調査図に記入する。このとき支配的要因となった節等の欠点が明らかであれば、青鉛筆で矢印を示しておく。

②破断面近くより2枚の円盤を採取し、そのうちの1枚で含水率を測定する。含水率測定は高周波型含水率計及び全乾法により、辺材と心材とを区別して測定する。このとき平均的な辺材の幅を記録にとどめておく。

残りの1枚は、気乾状態にした後、気乾比重を計測する試験体を木取り、樹心部・心材部・辺材部に分け、それぞれの部位の気乾比重と気乾含水率を測定する。これらの部分には大きな節が含まれないことが望ましい。

また、平均年輪幅を測定する。

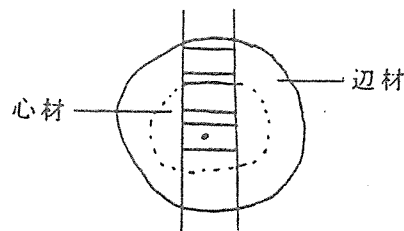


図3 比重用試験体木取図

6. たいこ挽材の実大曲げ試験方法

6.1 たいこ挽製材

たいこ挽は、幅12cm に製材することを基準とする。

製材して乾燥したときにねじれ等が予想される場合は、2度挽きを考えるか、丸太のまま乾燥した後、たいこ挽材に製材することとする。

6.2 形状寸法の計測

たいこ挽材の末口、元口及び中央部における各面の幅及びせいを測定する。(幅及びせいの呼び名は、曲げ破壊試験時の状況から定めている)

6.3 試験方法

試験の流れを図4に示す。

①生材時、又は気乾時における丸太での中央集中荷重方式による曲げヤング係数を測定しておく。

②幅12cmのたいこ挽材に製材し、flatwise で曲げヤング係数を測定する。スパンLは丸太の時と同様とする。

③次に、edgewise で曲げ破壊試験を行い、ヨークを用いて曲げヤング係数をも測定する。この時、横座屈防止装置を必要とする。また、破壊は大規模にならないように留意する。

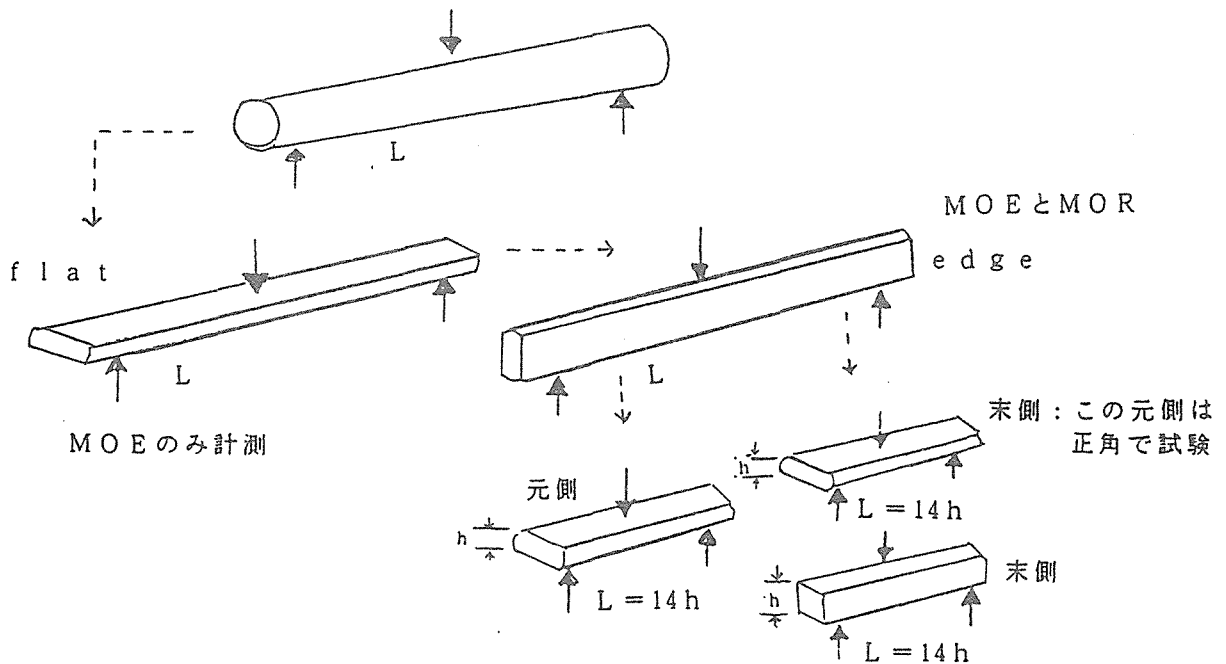


図4 たいこ挽材の実大曲げ試験の流れ図

6.4 破断後の作業

①edgewise で破壊したたいこの非破壊部分より、flatwise で破壊する試験体を元口側と末口側から、それぞれ1体ずつ採取する。このとき、元口側から採取したものと、末口側から採取したものを明らかにしておく。

②採取した試験体は flatwise の曲げ試験に供するものと、12cm×12cm の正角による製材の曲げ試験に供するものとの分割する。

③分割するにあたっては、元口側から採取したものと末口側から採取したものが同数となるよう無作為に分別する。したがって、それぞれ34体ずつ供試体が準備できることになる。

④破壊の支配的要因となった節等の欠点が明らかな場合は、節径比を算出しておく。節径比の算出方法は図5の $[(d/D) \times 100]$ (%) とする。

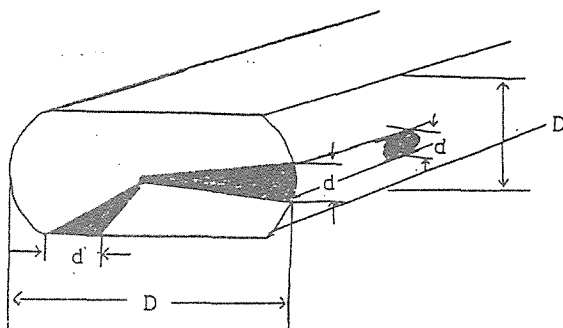


図5 たいこ挽材の節径比測定方法

⑤破断面近くから厚さ2cm程度の板を2枚採取し、そのうちの1枚で含水率を測定する。測定に際しては全乾法によって、辺材と心材とを区別して測定する。この測定値をたいこ挽材の含水率として代表させる。残りの1枚は平均年輪幅を測定した上で気乾比重を計測する試験体を木取り（図3参照）、樹心部・心材部・辺材部に分け、それぞれの部位の気乾比重と気乾含水率を測定する。

7. 試験結果のとりまとめ

7.1 断面の算定

断面の算定は、以下の式を用いる。

(1) 丸太 $A = \pi \times d^2 / 4$

$$I = \pi d^4 / 64$$

$$Z = \pi d^3 / 32$$

(2) たいこ挽材 $A = d^2 (\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha) / 4$

edgewise $I = d^4 (6\pi - 12\alpha + 8\sin 2\alpha - \sin 4\alpha) / 384$

$$Z = 2 I / d$$

flatwise $I = d^4 (2\pi - 4\alpha + \sin 4\alpha) / 128$

$$Z = 2 I / b$$

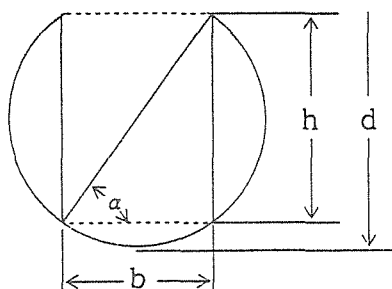
(3) 製材品

$$A = b h$$

$$I = b h^3 / 12$$

$$Z = b h^2 / 6$$

ただし、



$$\alpha = \tan^{-1} [(d^2 - b^2)^{1/2} / b]$$

A : 断面積

I : 断面二次モーメント

Z : 断面係数

7.2 得られる主なデータ

以上の一連の試験手順と求められる主な成果は次のようなものである。

手順1 : 同一ロットとみなせる丸太102本入手。

手順2 : E_d の測定と曲げ試験

試験	得られる主なデータ
① 生材時丸太の曲げ試験 (n = 34)	E_d 、MOE、MOR、 σ_p (PL) (比例限度)、ARW(平均年輪幅)、S. G. (比重)、M. C. (含水率)、C. A. (カンビアルエイジ [®] 、形成層齢)、KD(節径比)
② 気乾時丸太の曲げ試験 (n = 34) 試験体は試験機により生材でのMOEを乾燥前に求めておく(寸法とMOEの変化)	E_d 、MOE、MOR、 σ_p (PL) (比例限度)、ARW(平均年輪幅)、S. G. (比重)、M. C. (含水率)、C. A. (カンビアルエイジ [®] 、形成層齢)、KD(節径比)
③ 気乾時たいこ挽材の曲げ試験 (n = 34)	flatwise : MOE、 E_d ↳ edgewise : MOE、MOR、 E_d ↳ flatwise (n=34) : MOE、MOR、 E_d ↳ 製材 (n=34) : MOE、MOR、 E_d (flatwise試験体と製材試験体は対応する丸太から) flatwise試験体の17は元口側から、17は末口側から 製材試験体の17は末口側から、17は元口側から採取

手順3 : データの解析と得られる成果

(1) 丸太/たいこ挽材/製材のMOE、MORの比が明らかになる。

例えば次表のような比が求まる。(この表の数値は仮定)

	丸太	たいこedge	たいこflat	製材
MOE	1.20	1.15	1.05	1.00
MOR	1.15	1.05	1.00	1.00

(2) 丸太の生材時のMOE、寸法が、気乾時にどう変化したかが明らかになる。

$E I_{生}$ と $E I_{気乾}$ の比。

(3) 丸太の曲げ強度推定のために、 E_d 、MOE、ARW、C.A.等がパラメーターとして使えるか否かが明らかになる。

参考資料

(財)日本住宅・木材技術センター：

建築用木材性能評価事業報告書 平成3年3月 p.29～37 (1991)

参 考

1. 測定項目を示す記号

直径：D 年輪数：RN 年輪幅：ARW 比重：SG

最大単独節径比：KD 最大集中節径比：SKD

動的ヤング係数： E_d 曲げヤング係数：MOE

曲げ破壊係数：MOR 比例限曲げ応力度： σ_p 又は PL

2. 丸太・試験体の性状、部位等を示す記号 (測定項目記号とハイフンでつなぐ)

生材状態：-D 乾燥(気乾)状態：-G

元口：-b.e. 末口：-t.e. 中央部：-c

辺材部分：-s 心材部分：-h 全体：-w(辺材、心材混み)

3. 基本振動周波数と密度測定による動的ヤング係数(E_d)の測定

試験体の木口面を打撃して発生させた振動音(弾性波)を、他の木口面からマイクロホンでとらえ、その基本振動周波数(固有振動周波数)をFFTアナライザーで測定する。一方、試験体の密度を材積及び重量から求める。これらから次式により動的ヤング係数(E_d)を算出する。

$$E_d = 4L^2 \times \rho \times f^2 / g$$

ここで E_d ：動的ヤング係数(gf/cm²)

L：材長(cm)

ρ ：試験体の密度(g/cm³)

f：基本振動周波数(Hz=1/s)

g：重力の加速度(980.7cm/s²)

打撃時に試験体を自由振動させるために、試験体をクッション材上に載せるなどの工夫をする。密度算出に必要な質量を測定するために、ロードセルを介したクレーンで吊り下げる等の方法をとる場合もある。

第2章 カラマツ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

1. はじめに

構造体に丸太が利用されている樹種の一つにカラマツがある。この章では北海道産カラマツ丸太及びたいこ挽材、正角材の試験結果を示す。一連の試験は北海道立林産試験場において実施した。

2. 供試丸太

供試丸太は、北海道浦幌町仁生池田経営区82林班65小班産カラマツの人工林から伐採したもので、伐採後ただちに林産試験場に搬入した110本である。

供試丸太の植栽後及び番玉の概要は次のとおりである。

植栽 昭和29年5月、3,000本/ha

補植 昭和31年

枝打ち 昭和38年及び39年

伐採 昭和43年 除間伐

昭和53年 間伐

昭和58年 間伐

林班の現状 458本/ha、平均胸高径 28cm、平均樹高 21m

供試丸太はすべて地際から50cmを残して伐採し、4.6mに採材した1番玉である。

供試丸太の末口径は22~30cmであった。

110本の丸太のうち、曲がりが大きかったもの8本を除いて、102本を試験に供した。

3. 試験方法

試験方法及び手順は、(財)日本住宅・木材技術センターが定めた「丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験実施要領」(本書の第1章)に基づいて行った。

なお、試験項目ごとの実施時期は、次のとおりである。

- (1)基本振動周波数による動的ヤング係数(E_d)の測定：平成2年12月下旬
- (2)丸太形状と欠点調査：平成3年1月下旬
- (3)実大材の曲げ試験：平成3年1月下旬

4. 基本振動周波数による丸太の動的ヤング係数(E_d)測定及びグループ仕分け

1) 先ず、基本振動周波数と密度測定による非破壊試験により、皮付き生材丸太の動的ヤング係数(E_d)を測定した。

2) 次いで、1)の試験結果を基に、 E_d の平均値及び変動係数がほぼ同等になるよう、生材丸太での試験、気乾丸太での試験、たいこ挽材での試験に供するA、B、Cの3グループに仕分けした。仕分け方法は E_d の小さいものから昇位順に並べて3本を1単位とし、その中でA、B、Cに割り付けた。これら3グループごとの試験体の形状と試験時の含水

率は表1のとおりである。

各グループ（Aグループ：生材丸太試験用、Bグループ：乾燥丸太試験用、Cグループ：たいこ挽材試験用）の生材時皮付き丸太の動的ヤング係数 E_{a-G} を表2に示す。これを見ると、丸太はほぼ均等にグループ分けされたことがわかる。

表1 丸太のグループと試験体の形状・含水率

グループ	形状	含水率	本数	曲げ試験実施年度
A	丸太	生材	34体	初年度
B	丸太	気乾材	34体	第2年度
C	たいこ	気乾材	34体	第3年度

表2 丸太グループごとの動的ヤング係数

測定項目		丸太のグループ		
		A (n=34)	B (n=34)	C (n=34)
生材時皮付き丸太 の動的ヤング係数 E_{a-G} (tf/cm ²)	Ave.	113.9	113.6	113.8
	Min.	87.3	91.7	92.6
	Max.	138.6	138.1	139.1
	C. V. (%)	9.6	9.3	9.5

5. 生材丸太の実大曲げ試験

5.1 丸太形状と欠点調査

動的ヤング係数でグループ分けした生材試験用のAグループ34体の丸太について、バーカーで剥皮後、形状寸法の計測を行い、その後節などの欠点調査を行った。

1) 形状寸法の計測

丸太の末口、元口及び中央部の円周を巻尺で計測し、直径（①元口、②中央部、③末口）を算出した。また、末口年輪数、平均年輪幅（①元口、②末口）を測定するとともに、細り度を算出した。

2) 欠点調査

節などの欠点調査は、試験機に丸太を載せる前に行った。中央部分の長さ約60cm程度に対し、欠点調査図を描いた。欠点調査図は荷重点位置を中心にして元口側約30cm、末口側約30cm間に存在する節の位置及び大きさを、時計周りを基準にして、荷重点を座標の中心（ $x=0$ 、 $y=0$ ）として計測し（元口側 $x=-$ 側、末口側 $x=+$ 側、円周方向 $y=+$ 側）、時計周りの展開図内に記録した。また、各試験体内の節の位置などを別の表に記載し、あわせて最大節径比及び最大集中節径比を求めた。

5.2 実大材の曲げ試験

欠点調査済みの試験体34体について、以下の手順で曲げ破壊試験を行った。

材長4.6mに対してスパン4.2m（中央部直径30cmの場合には $l/h=14$ となる）、図1に示すような中央集中荷重方式で行った。

試験は、東京衡機(株)製、容量20tfの油圧式強度試験機を用い、荷重100kgfごとに(容量20tfロードセルにより荷重を検出)たわみを計測し、破壊形態を観察しながら行った。スパン全体のたわみはヨークに取り付けた1/100mm精度の電気式変位計で計測し、比例限度を越えた時点でヨークを取り外し、破壊までの最大たわみは1/10mm精度の伸び計(ストローク1000mm)を用いて計測した。得られた荷重-たわみ曲線及び中央部直径から全体たわみによる曲げヤング係数(MOE)、曲げ比例限度応力(PL)、曲げ破壊係数(MOR)を算出した。なお、曲げ比例限度応力、曲げ破壊係数は破壊位置とその位置に対応する曲げモーメントの値から算出した。

破壊した試験体の破壊状況を赤鉛筆で欠点調査図にスケッチした後、非破壊部分から円盤を3枚採取し、2枚から曲げ破壊時の含水率(辺材、心材及び全体)を計測し、残りの1枚は気乾状態にした後、気乾比重を計測する試験片を木取り、辺材部及び心材部の気乾比重を求めた。

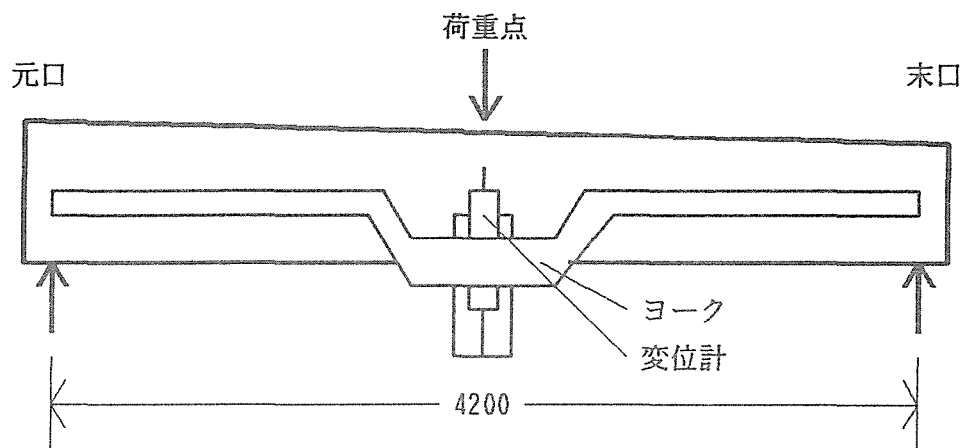


図1 曲げ試験の方法

5.3 生材丸太の試験結果と考察

各測定項目の平均値、最小・最大値をまとめて表3に示した。なお、丸太ごとの個別データについては丸太の概要を付表1に、曲げ強度試験結果を付表2に示す。

平均年輪幅は元口と末口とはほとんど差がなかった。

中央部直径は平均値29.4cmで、今回の曲げ試験のスパンは420cmなので、[スパン/直径]は13.2~15.3の範囲で、平均値は14.3となった。

試験体の気乾比重は辺材の平均値0.51、心材の平均値0.47で、辺材の方が若干大きな値であった。

試験時の含水率は全体の平均値76%、辺材の平均値136%、心材の平均値41%で、辺材の方が心材の約3倍の値を示した。

節については、節が存在する円周上に占める節径比の割合で表現したものである。その結果、最大単独節径比は平均値1.6、最大集中筋径比は平均値2.9で、非常に小さな値であった。

動的ヤング係数 E_d と曲げたわみより求めた静的ヤング係数MOEとを比較すると、 E_d の

方がMOEより平均値で約7%大きな値を示した。これは従来の結果と比べるとやや小さな値となっている。

比例限度が曲げ破壊係数(強度)に占める割合は、平均値0.46、最小値0.32、最大値0.63で、通常言われている2/3よりは小さな値であった。

曲げ破壊係数は平均値521.8kgf/cm²で、変動係数も8.0%と比較的安定した値であった。

動的ヤング係数(E_d)と曲げヤング係数(MOE)の関係、曲げヤング係数(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)の関係をそれぞれ図2、図3に示した。これらの相関係数を求めた結果、E_dとMOEは0.619、E_dとMORは0.473、MOEとMORは0.590が得られた。これらは1%危険率で有意な値であることから、E_d又はMOEからMORを推定できる可能性は大きいと言える。

表3 生材丸太の試験結果

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値
丸太 (Aグループ) -7° (生材丸太) n=34	末口年輪数(RN-t. e.)	29	25	31
	平均年輪幅 元口 (ARW-b. e.) (mm)	4.7	3.8	5.3
	末口 (ARW-t. e.) (mm)	4.7	3.8	5.5
	中央部直径(D-c) (cm)	29.4	27.5	31.7
	細り度(taper) (cm/m)	1.0	0.5	1.5
	気乾比重 辺材(SG-s)	0.51	0.42	0.58
	心材(SG-h)	0.47	0.41	0.55
	試験時の含水率 辺材 (MC-s) (%)	136	102	175
	心材 (MC-h) (%)	41	37	48
	全体 (MC-w) (%)	76	60	91
	最大単独節径比(KD) (%)	1.6	0.0	3.2
	最大集中節径比(SKD) (%)	2.9	0.0	8.6
	皮付生材丸太の動的ヤング係数(E _d -G) (tf/cm ²)	113.9	87.3	138.6
	剥皮生材丸太の曲げヤング係数(MOE-G) (tf/cm ²)	107.5	69.0	130.7

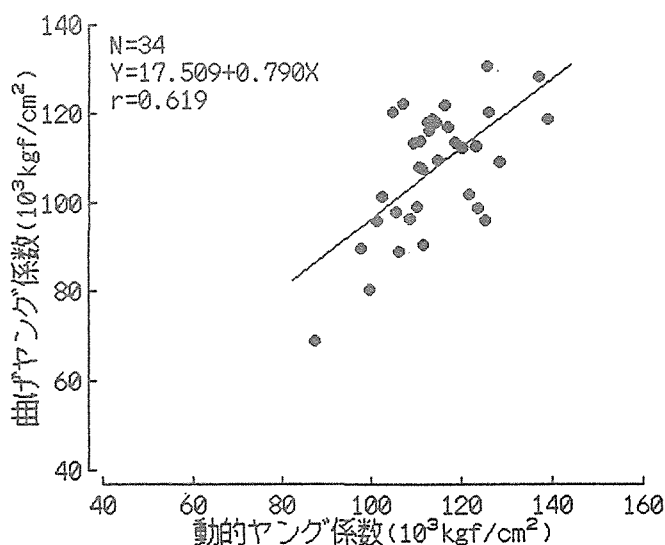


図2 生材丸太の動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係

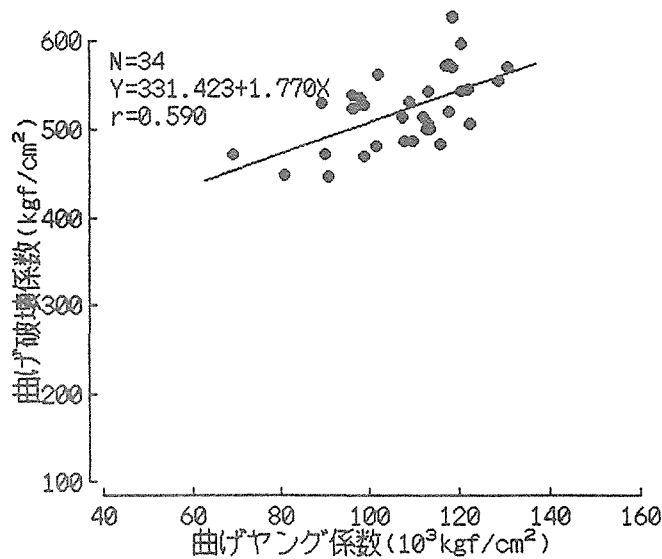


図3 生材丸太の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

6. 気乾丸太の実大曲げ試験

6.1 生材時丸太の曲げ剛性試験

Bグループ34本の丸太について、バーカーによる剥皮後、重量・寸法を測定した。

寸法は丸太の末口、元口、中央部に直径測定用位置マークを付け、布製巻尺を用いて各位置の円周を測定し、直径を算出した。

重量・寸法測定後、中央集中荷重により曲げ剛性試験を行い、曲げヤング係数を算出した。

6.2 丸太の天然乾燥

曲げ剛性試験終了後、丸太を屋外に栈積みし、約8か月間天然乾燥した。

6.3 重量・寸法の測定

天然乾燥した丸太の重量を測定するとともに、生材時にマークした位置で①元口、②中央部、③末口の円周を巻尺で測定し、直径を算出した。

又、元口、末口の平均年輪幅（①元口、②末口）と末口年輪数を測定した。

6.4 動的ヤング係数の測定

F F Tアナライザーにより丸太の振動周波数を測定し、動的ヤング係数を算出した。

6.5 丸太形状と欠点調査

節などの欠点調査は、中央部分の長さ約60cm程度に対し、欠点調査図を描いた。欠点調査図は荷重点位置を中心にして元口側約30cm、末口側約30cm間に存在する節の位置及び大きさを、時計周りを基準にして、荷重点を座標の中心（ $x=0$ 、 $y=0$ ）として計測し（元口側 $x=-$ 側、末口側 $x=+$ 側、円周方向 $y=+$ 側）、時計周りの展開図に図示した。又、乾燥による割れを青鉛筆で図中に示した。

6.6 気乾丸太の実大曲げ試験

欠点調査がすんだ試験体34体について、材長4.6mに対してスパン4.2m（中央部直径30cmの場合には $l/h=14$ となる）、図1に示すような中央集中荷重方式で行った。試験方法は生材丸太と同様である。

6.7 気乾丸太の試験結果と考察

各測定項目の平均値、最小・最大値をまとめて表4に示した。なお、丸太ごとの個別データは気乾丸太の概要を付表3に、曲げ強度試験結果を付表4に示す。

表4 気乾丸太の試験結果

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値
丸太	末口年輪数 (RN-t. e.)	29	25	32
(B γ ル - γ)	平均年輪幅 元口 (ARW-b. e.) (mm)	4.7	4.0	5.1
	末口 (ARW-t. e.) (mm)	4.5	3.8	5.5
(気乾 丸太)	中央部直径 (D-c) (cm)	27.8	25.3	30.4
n=34	細り度 (taper) (cm/m)	0.8	0.4	2.0
	気乾比重 辺材 (SG-s)	0.52	0.44	0.61
	心材 (SG-h)	0.51	0.45	0.61
	試験時の含水率 辺材 (MC-s) (%)	18.5	16.7	20.4
	心材 (MC-h) (%)	22.9	20.4	25.9
	全体 (MC-w) (%)	21.4	19.4	24.0
	最大単独節径比 (KD) (%)	2.4	0.0	5.0
	最大集中節径比 (SKD) (%)	5.3	0.0	11.4
	皮付生材時丸太の動的ヤング係数 (E_d-G) (tf/cm ²)	113.6	91.7	138.1
	剥皮生材丸太の曲げヤング係数 (MOE-G) (tf/cm ²)	106.7	70.9	129.5
剥皮気乾丸太の動的ヤング係数 (E_d-D) (tf/cm ²)	111.9	97.0	129.0	
剥皮気乾丸太の曲げヤング係数 (MOE-D) (tf/cm ²)	99.7	82.7	120.1	
比例限曲げ応力度 (PL-D) (kgf/cm ²)	310.1	212.3	371.6	
剥皮気乾丸太の曲げ破壊係数 (MOR-D) (kgf/cm ²)	533.0	420.2	609.6	

平均年輪幅は元口と末口とはほとんど差がなかった。

丸太の中央部直径は、平均値27.8cmで、今回の曲げ試験のスパンは420cmなので、[スパン/直径]は13.8~16.6の範囲で、平均値は15.1となった。

試験体の気乾比重は辺材の平均値0.52、心材の平均値0.51で、辺材、心材ほぼ同等であった。

試験時の含水率は全体の平均値 21.4%、辺材の平均値 18.5%、心材の平均値 22.9%で、心材の方が若干高い値を示している。

節については、節が存在する円周上に占める節径比の割合で表現した。その結果、最大単独節径比は平均値2.4、最大集中筋径比は平均値5.3で、小さな値であった。

動的ヤング係数 E_d と曲げたわみより求めた静的ヤング係数MOEとを比較すると、 E_d の方がMOEより平均値で約12%大きな値を示した。

比例限度が曲げ強度(曲げ破壊係数)に占める割合を算出すると、平均値は0.58、最小値

0.48、最大値0.68となり、通常言われている2/3よりはやや小さな値であった。

曲げ破壊係数は平均値533.0kgf/cm²で、変動係数も8.1%と比較的安定した値であった。しかし、前項の生材の曲げ破壊係数に比較してほとんど差がなかった。これは乾燥による割れの影響と、乾燥が十分でなかったことによるものと考えられる。

動的ヤング係数(E_d)と曲げヤング係数(MOE)の関係、動的ヤング係数(E_d)と曲げ破壊係数(MOR)、及び曲げヤング係数(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)の関係をそれぞれ図4、図5及び図6に示した。これらの相関係数を求めた結果、E_dとMOEは0.772、E_dとMORは0.482、MOEとMORは0.566が得られた。これらは1%危険率で有意な値であることから、E_d又はMOEからMORを推定できる可能性はあると考える。

6.8 試験時の含水率の影響

Bグループの丸太を剥皮した後、天然乾燥する前に行った生材時剥皮丸太の曲げ剛性の結果と、乾燥後の結果を対照して、曲げ剛性に及ぼす含水率の影響を表5に示す(丸太ごとの個別対照データは付表5参照)。

中央部直径について[気乾時/生材時]の比を算出してみると、平均値0.99、最小値0.98、最大値1.00であり、気乾時が若干小さくなっている。

丸太の曲げ剛性について、[気乾時/生材時]の比を算出してみると、平均値0.91、最小値0.77、最大値1.32となった。全体的に気乾時の方が小さくなっているが、これも乾燥による割れの影響と、乾燥が十分でなかったことによるものと考えられる。

表5 カラマツ丸太の曲げ剛性に及ぼす含水率の影響

測定時の含水状態及び測定項目	生 材 時					気 乾 時					比(乾/生)	
	平均含水率 MC-G (%)	中央部直径 Dc-G (cm)	断面二次モーメント I-G (10 ³ cm ⁴)	曲げヤング係数 MOE-G (tf/cm ²)	曲げ剛性 EI-G (10 ³ tf·cm ²)	平均含水率 MC-D (%)	中央部直径 Dc-D (cm)	断面二次モーメント I-D (10 ³ cm ⁴)	曲げヤング係数 MOE-D (tf/cm ²)	曲げ剛性 EI-D (10 ³ tf·cm ²)	中央部直径 Dc-D / Dc-G	曲げ剛性 EI-D / EI-G
Ave.	76.8	28.0	30.4	106.7	3243.0	21.4	27.8	29.4	99.7	2924.0	0.99	0.91
Min.	64.8	25.6	21.1	70.9	1935.6	19.4	25.3	20.0	82.7	2215.5	0.98	0.77
Max.	93.5	30.6	43.0	129.5	4927.8	24.0	30.4	41.7	120.1	4288.6	1.00	1.32
C. V. (%)	9.3	4.1	16.6	11.2	19.9	5.0	4.0	16.3	9.3	17.3	0.56	10.8

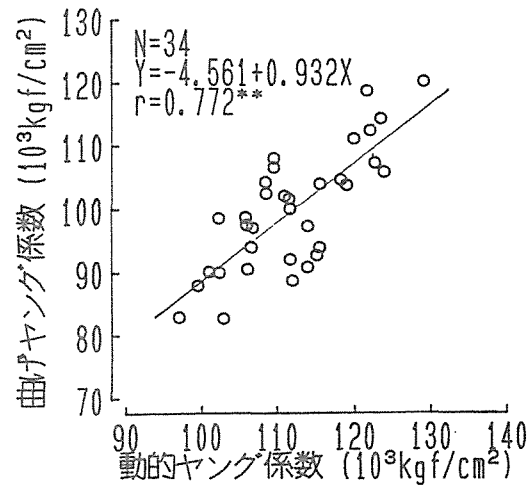


図4 気乾丸太の動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係

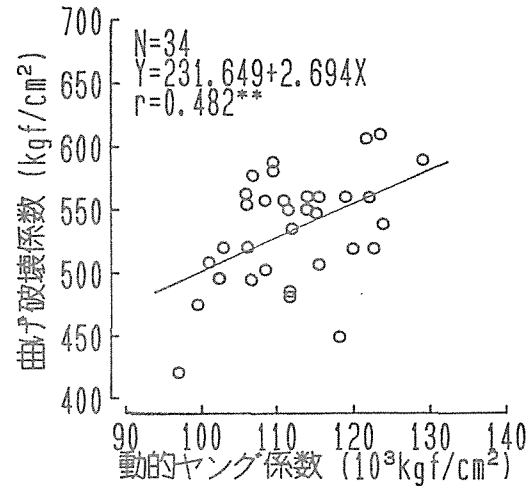


図5 気乾丸太の動的ヤング係数と曲げ破壊係数の関係

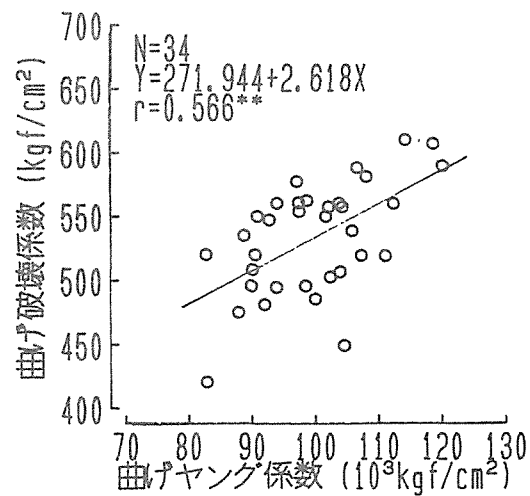


図6 気乾丸太の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

7. たいこ挽材用丸太の曲げ試験

7.1 丸太の天然乾燥

Cグループ34本の丸太について、バーカーによる剥皮後、重量・寸法を測定した。

寸法は丸太の末口、元口、中央部に直径測定用位置マークを付け、布製巻尺を用いて各位置の円周を測定し、直径を算出した。

重量、寸法測定後、丸太を屋外に積積みし、約18か月間天然乾燥した。

7.2 重量・寸法の測定

気乾丸太の重量を測定するとともに、生材時にマークした位置で①元口、②中央部、③末口の円周を巻尺で測定し、直径を算出した。

又、元口、末口の平均年輪幅（①元口、②末口）と末口年輪数を測定した。

7.3 動的ヤング係数の測定

F F Tアナライザーにより丸太の振動周波数を測定し、動的ヤング係数を算出した。

7.4 丸太の曲げ剛性試験

スパン420cm、中央集中荷重(小荷重)で曲げ剛性試験を行い、曲げヤング係数を求めた。

8. たいこ挽材の実大曲げ試験

8.1 たいこ挽製材

曲げ剛性試験終了後、丸太を幅12cmにたいこ挽き製材した。

8.2 形状、寸法等の計測

たいこ挽材の末口、元口及び中央部における各面の幅及びせいを測定した。併せて重量、材長も測定した。

8.3 たいこ挽材の E_d の測定

F F Tアナライザーにより、たいこ挽材の振動周波数を測定し、動的ヤング係数を算出した。

8.4 欠点調査

節の調査は、中央部分60cm区間について大きさを測定し、欠点調査図を描いた。欠点調査図は、たいこ挽材の元口が左になるように描いた。測定数値は上側稜線を0とし、節の上下接線までの数値を測定し、図に記入した。ただし、円弧面はその投影平面を対象とした。乾燥による割れについては青線で記入した。

8.5 たいこ挽材 flatwise の曲げ剛性試験

たいこ挽材の flatwise、スパン420cm、中央集中荷重で曲げ剛性試験を行い、曲げヤング係数を測定した。

8.6 たいこ挽材 edgewise の曲げ試験

次に、edgewise、スパン420cm、中央集中荷重で曲げ破壊試験を行い、たわみと荷重を測定し、曲げヤング係数、比例限曲げ応力度を算出した。又、最大荷重から曲げ破壊係数を算出した。この時、横倒れを生じないように、横座屈防止装置を設定した。

破壊した試験体の破壊状況を赤鉛筆で欠点調査図に記入した。

8.7 たいこ挽材 flatwise 試験体 及び 正角試験体の採取

edgewise、スパン420cmで破壊したたいこ挽材から、材長およそ180cmのたいこ挽材を2体ずつ採取した。このとき、元口側(B)から採取したものと、末口側(T)から採取したものが分かるようにした。採取した試験体は flatwise で曲げ破壊試験を行うものと、12×12cm正角で試験するものとの振り分けをした。振り分け方法は、生材時 E_d の順番で交互に、末口側から flatwise 試験体を採取した場合は元口側から正角材を、元口側から flatwise 試験体を採取した場合は末口側から正角材を採取し、それぞれ元口側、末口側が同数となるようにした。

その後、正角材用たいこ挽材については、スパン168cm、中央集中荷重で曲げ剛性試験を行い、曲げヤング係数を求めた後、12×12cm正角材に製材した。

8.8 たいこ挽材 flatwise の曲げ破壊試験

edgewise たいこ挽材と同様に、重量、寸法、 E_d を測定し、欠点調査図を描いた。

曲げ試験は、スパン168cm、中央集中荷重条件で行い、曲げヤング係数、比例限曲げ応力度、曲げ破壊係数を測定した。

破壊状況を赤鉛筆で欠点調査図に記入し、節径比も算出した。

破壊試験後、破断面近くから3枚の試験体(厚さ2cm程度)を採取し、そのうちの1枚で全体含水率を、もう1枚で辺材、心材別の含水率を測定した。含水率の測定は全乾法で行った。

残りの1枚は、恒温恒湿室に入れて気乾状態にした後、気乾比重を計測する試験体を辺材部、心材部に分けて木取り、それぞれの気乾比重、気乾含水率を測定した。

8.9 正角材の曲げ破壊試験

正角材についても、重量、寸法、 E_d を測定し、欠点調査図を描いた。節については、各材面の左上を座標の原点とし、x座標は右方向に、y座標は下方向に測定した。

曲げ試験は、スパン168cm、中央集中荷重条件で行い、曲げヤング係数、比例限曲げ応力度、曲げ破壊係数を測定した。

破壊試験後、破断面近くから2枚の試験体(厚さ2cm程度)を採取し、そのうちの1枚で全体含水率を測定した。含水率の測定は全乾法で行った。

残りの1枚は、恒温恒湿室に入れて気乾状態にした後、気乾比重、気乾含水率を測定した。

9. たいこ挽材の試験結果と考察

9.1 たいこ挽材の試験結果

たいこ挽材試験用丸太の概要を付表6に、その丸太から製材したたいこ挽材の材質を付表7に、たいこ挽材 flatwiseの曲げ剛性試験及び edgewise の曲げ試験（いずれもスパン420cm）の結果を付表8に、たいこ挽材 flatwise 曲げ試験（スパン168cm）の結果を付表9に示す。

これらの結果から測定項目の平均値、最小値、最大値を取りまとめて表6に示した。

9.2 たいこ挽材についての考察

皮付き生材丸太の動的ヤング係数 E_d-G 、剥皮乾燥丸太の動的ヤング係数 E_d-D 、剥皮乾燥丸太の曲げたわみより求めた曲げヤング係数 MOE-D の値は生材丸太、乾燥丸太の値と大差はないが、曲げヤング係数が若干大きな値となっている。

材長4.6mたいこ挽材の $(MOE-flat)/(E_d)$ は0.86~0.99(平均0.92)で比較的安定しており、一般的に動的ヤング係数が曲げヤング係数より10%程度高く評価されるという過去の結果とも一致している。又、相関係数も0.844で高い相関を示している。 $(MOE-edge)/(E_d)$ は0.83~1.18(平均1.00)とややばらつきが大きい。これについては負荷時の試験体のねじれによる測定値のばらつきなどが考えられるが定かではない。ただし、相関係数は0.555で、危険率1%で有意な値である。 $(PL-edge)/(MOR-edge)$ は0.52~0.88(平均0.70)で、木材について通常いわれている2/3にほぼ近い値であった。MOE-edgeとMOR-edgeとの相関を図7に示す。相関係数は0.558で、危険率1%で有意な値である。また、MOR-edgeと高い相関関係にある要因としては平均年輪幅(元口、末口)、 E_d 、MOE-flat、MOE-edgeが危険率1%で、辺材比重、含水率が危険率5%で有意となっている。

材長およそ1.8mのたいこ挽材の $(MOE-flat)/(E_d)$ は0.78~1.04(平均0.88)でばらつきがやや大きい。 $(PL-flat)/(MOR-flat)$ は0.41~0.90(平均0.67)で、多少のばらつきはあるが、木材の曲げ比例限度である2/3にほぼ近い値となっている。また、相関係数も0.410で危険率5%で有意な値である。MOE-flatとMOR-flatの相関を図8に示す。相関係数は0.322で有意な相関は認められなかった。その他、MOR-flatと高い相関にある要因としては、断面全体の比重が1%危険率で、辺材含水率が5%危険率で有意であった。

たいこ挽材の曲げヤング係数(平均値)の比較を表7に示す。スパン420cmの edgewise の値が他のものより約1割大であった。

表6 測定項目の平均値、最小・最大値(原木丸太：Cグループ)

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値
丸太 (Cグループ -7°) (n=34)	末口年輪数(RN-t. e.)	29	27	36
	平均年輪幅 元口 (ARW-b. e.) (mm)	4.9	4.4	5.7
	末口 (ARW-t. e.) (mm)	4.7	3.5	5.5
	中央部直径(D-c) (cm)	30.5	27.0	33.6
	細り度(taper) (cm/m)	1.0	0.3	1.7
	皮付生材時の動的ヤング係数(E _d -G) (tf/cm ²)	113.8	92.6	139.1
	剥皮気乾丸太の動的ヤング係数(E _d -D) (tf/cm ²)	118.0	100.6	143.7
	剥皮気乾丸太のヤング係数(MOE-D) (tf/cm ²)	112.0	84.2	143.3
たいこ 挽材 (材長 4.6m) (n=34)	気乾比重 辺材(SG-s)	0.52	0.45	0.59
	心材(SG-h)	0.44	0.37	0.55
	試験時の含水率 辺材 (MC-s) (%)	14.1	13.0	15.5
	心材 (MC-h) (%)	17.1	16.0	18.7
	全体 (MC-w) (%)	16.6	15.2	18.5
	最大単独節径比(KD) (%)	10.3	4.3	18.7
	最大集中節径比(SKD) (%)	20.1	4.3	40.3
	動的ヤング係数(E _d) (tf/cm ²)	107.2	94.1	126.5
	flatwise曲げヤング係数(MOE-flat) (tf/cm ²) (スパン420cm、重錘を用いた小荷重で測定)	99.1	86.7	116.3
	edgewise曲げヤング係数(MOE-edge) (tf/cm ²) (スパン420cm)	107.6	85.4	130.3
	比例限曲げ応力度(PL-edge) (kgf/cm ²)	320.8	240.8	426.8
	曲げ破壊係数(MOR-edge) (kgf/cm ²)	462.5	385.1	534.0
	(MOE-flat) / (E _d)	0.92	0.86	0.99
	(MOE-edge) / (E _d)	1.10	0.83	1.18
(PL-edge) / (MOR-edge)	0.70	0.52	0.88	
たいこ 挽材 (材長 1.8m) (n=17)	最大単独節径比(KD) (%)	9.9	4.5	22.3
	最大集中節径比(SKD) (%)	19.2	4.8	33.0
	動的ヤング係数(E _d) (tf/cm ²)	109.4	89.4	132.1
	flatwise曲げヤング係数(MOE-flat) (tf/cm ²) (スパン168cm)	96.5	78.2	122.0
	比例限曲げ応力度(PL-flat) (kgf/cm ²)	324.5	174.1	460.0
	曲げ破壊係数(MOR-flat) (kgf/cm ²)	491.5	348.4	640.7
	(MOE-flat) / (E _d)	0.88	0.78	1.04
(PL-flat) / (MOR-flat)	0.67	0.41	0.90	
正角材 (材長 1.8m) (n=17)	気乾比重(SG)	0.44	0.37	0.50
	試験時の含水率(MC) (%)	16.8	15.8	18.0
	最大単独節径比(KD) (%)	18.2	9.2	28.3
	最大集中節径比(SKD) (%)	35.4	15.0	78.8
	動的ヤング係数(E _d) (tf/cm ²)	85.6	67.1	110.6
	曲げヤング係数(MOE) (スパン168cm) (tf/cm ²)	76.5	57.6	97.7
	比例限曲げ応力度(PL) (kgf/cm ²)	315.4	219.7	402.5
	曲げ破壊係数(MOR-flat) (kgf/cm ²)	406.9	274.0	542.6
	(MOE) / (E _d)	0.90	0.78	1.10
(PL) / (MOR)	0.79	0.50	0.99	

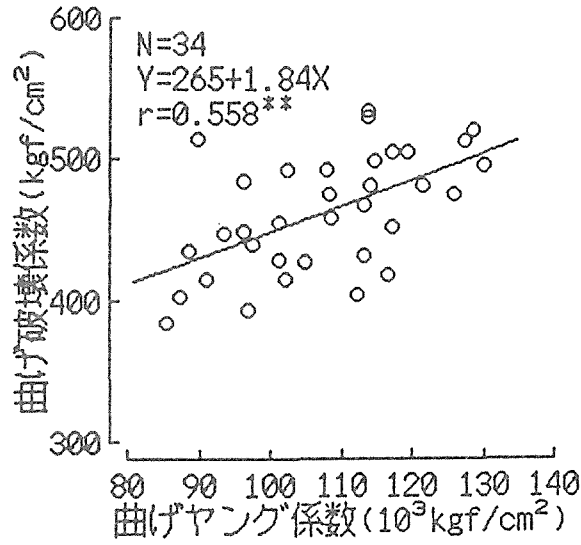


図7 たいこ挽材 edgewise の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

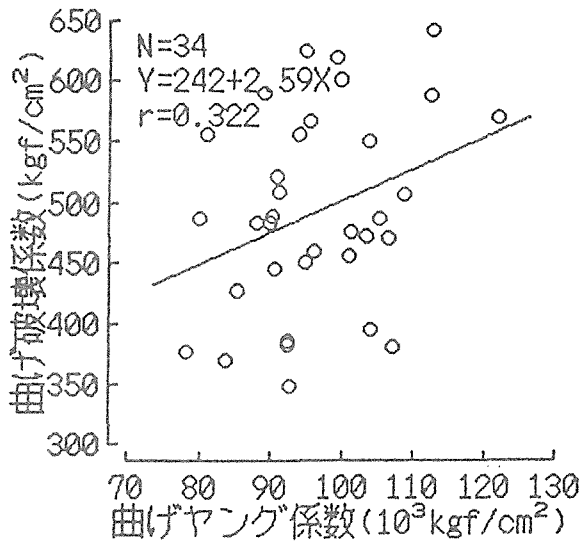


図8 たいこ挽材 flatwise の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

表7 たいこ挽材の曲げヤング係数の比較

スパン	420cm		168cm	
	MOE-edge	MOE-flat	MOE-flat末	MOE-flat元
試験体数	34	34	17	17
平均値 (tf/cm ²)	107.6	99.1	95.2	97.8
C. V. (%)	11.5	7.4	9.0	11.1
ヤング係数の比	1.10	1.01	0.97	1.00
	1.09	1.00	0.96	0.99

9.3 正角材の試験結果

12cm正角材の材質を表8に（試験体ごとの材質のデータは付表10）、曲げ試験（スパン168cm）の結果を付表11に示す。これらの結果から測定項目の平均値、最小値、最大値を取りまとめ、元のたいこ挽材に併せて表6に示した。

[MOE/E_a] は 0.78~1.10(平均0.90)でややばらつきが大きい。[PL/MOR] は0.50~0.99(平均0.79)で、比例限度が若干高めになっている。MORに対して高い相関を示したものはE_a-G、比重、MOEで、いずれも5%危険率で有意となった。MOEとMORの相関を図9に示す。

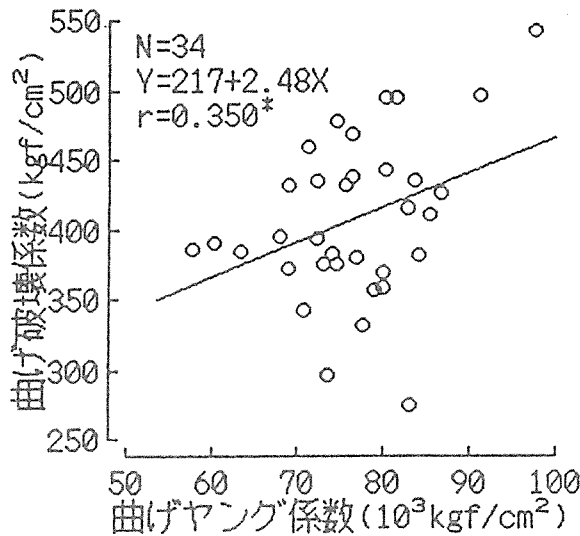


図9 正角材の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

表8 カラマツ正角材の材質

試験項目	生材時丸太の動的ヤング係数 E _a -G (tf/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	気乾比重	試験時含水率 (%)
Ave.	113.8	6.3	0.44	16.8
Min.	92.6	4.5	0.37	15.8
Max.	139.1	8.1	0.50	18.0
C. V. (%)	9.5	13.4	6.0	3.0

10. 強度性能に関する丸太、たいこ挽材、正角材の関係

前項までに丸太、たいこ挽材、正角材の強度性能を検討してきた。これらの試験結果の概要をまとめて表9に示す。

4項で述べたように、試験の初年度に、102本の丸太を3グループ（Aグループ：生材丸太試験用、Bグループ：乾燥丸太試験用、Cグループ：たいこ挽材試験用）に区分した。そのグループ分けにおける生材時皮付き丸太の動的ヤング係数 E_d-G をみると、丸太はほぼ均等にグループ分けされたことがわかる（表9参照）。

10.1 気乾比重、平均年輪幅、含水率

丸太、たいこ挽材及び正角材の気乾比重を比較すると、丸太、たいこ挽材はほぼ同等であるが、正角材は小さな値を示している。平均年輪幅については、丸太、たいこ挽材はほぼ同等、正角材は大きな値となっている。これらは正角材が心持材で未成熟材部が多いことによる。

試験時含水率を全断面についてみると、生材丸太では59.9(最小)~76.3(平均)~91.0(最大)%、乾燥丸太では19.4~21.4~24.0%、たいこ挽材では15.2~16.6~18.5%、正角材では15.8~16.8~18.0%となっており、乾燥丸太については必ずしも十分な乾燥状態ではなかった。

10.2 MORと他の因子との相関

曲げ破壊係数MORの推定に利用可能な因子を知るために、MORと他の因子の相関係数を表10に示す。

生材丸太においてMORとの相関が危険率1%で有意であったのは、生材時動的ヤング係数 E_d-G 、曲げヤング係数MOE、辺材比重SG-sであり、危険率5%で有意であったのは、心材比重SG-h、辺材含水率MC-sである。

同様に、乾燥丸太については、危険率1%で有意であったのは、試験時動的ヤング係数 E_d 、曲げヤング係数MOEであり、危険率5%で有意であったのは、生材時動的ヤング係数 E_d-G 、辺材比重SG-sである。

たいこ挽材 edgewise については、危険率1%で有意であったのは、 E_d 、MOE、元口平均年輪幅ARW-b.e.、末口平均年輪幅ARW-t.e.であり、危険率5%で有意であったのは、辺材比重SG-s、辺材含水率MC-s、心材含水率MC-h、全体含水率MC-wである。

たいこ挽材 flatwise については、危険率1%で有意であったものはなく、危険率5%で有意であったのは、 E_d 、SG-s、MC-h、最大単独節径比KDである。

正角材についても、危険率1%で有意であったものはなく、危険率5%で有意であったのは E_d-G 、MOE、比重SGである。

以上の結果から、曲げ破壊係数MORの推定に生材時動的ヤング係数 E_d-G 、動的ヤング係数 E_d 、曲げヤング係数MOEを利用することは可能と考えられる。ただし、たいこ挽材については、生材時動的ヤング係数 E_d-G は利用できない。さらに辺材比重SG-sも利用の可能性が高いといえよう。

10.3 丸太、たいこ挽材、正角材間の強度性能の関係

丸太、たいこ挽材及び正角材のMOE、MORを表11に示す。

MOE、MORとも丸太、たいこ挽材、正角材の順に小さくなる傾向が認められる。とくに正角材での低下が著しい。この理由としては、正角材は心持材で未成熟材部を多く含むこと、節径比が大きかったことなどがあげられる。平均値から単純に計算すると実施要領(第1章)によるMOE、MORの比は表12のようになるが、おおまかな比較としては次の程度と考えてよい。

MOEについて 丸太：たいこ挽材：正角材＝100：100：80

MORについて 丸太：たいこ挽材：正角材＝100：95：75

10.4 丸太の強度性能に対する含水率の影響

生材丸太の直径、曲げヤング係数及び乾燥丸太の直径、曲げヤング係数からそれぞれ曲げ剛性を算出し、比較した。乾燥により直径は若干減少している。これを〔乾燥後直径／生材直径〕でみると、0.98(最小)～0.99(平均)～1.00(最大)となっている。曲げ剛性を比較すると、〔乾燥後曲げ剛性／生材曲げ剛性〕は0.77～0.91～1.32となっており、1.00を超えたものはわずかに1体であった。この理由としては乾燥割れの影響なども考えられるが定かではない。今後、更に確認試験を必要とする。

曲げ破壊係数についてみると、生材丸太では445.2～521.8～624.7 kgf/cm²、乾燥丸太では420.2～533.0～609.6 kgf/cm²であり、ほとんど差が認められない。これは乾燥が必ずしも十分ではなく、20%程度までしか乾燥していないことと、乾燥による割れの影響によるものと考えられる。

11. 要 約

これまでの結果を簡単にまとめると以下のとおりである。

(1) 丸太の曲げ破壊係数MOR推定のために、丸太の縦振動(打撃音法)による動的ヤング係数、曲げたわみによる曲げヤング係数を用いることは可能である。

(2) 生材丸太と乾燥丸太の曲げ剛性EIについては、乾燥丸太のほうが小さな値となった。これについては、乾燥が不十分であったこと、乾燥による割れが発生したことなどが考えられるが、今後、さらに確認試験が必要である。

(3) 丸太、たいこ挽材、製材間の強度性能の関係をおおまかにみると、曲げヤング係数、曲げ破壊係数とも、順に小さくなる傾向が認められた。

表9 丸太・たいこ挽材・正角材の試験結果概要

試験体の形態 (n=34) 測定項目		生材丸太		乾燥丸太		たいこ挽材 edgewise ($l=420\text{cm}$)		たいこ挽材 flatwise ($l=168\text{cm}$)		正角材 ($l=168\text{cm}$)	
		(丸太:Aグループ)		(丸太:Bグループ)		(丸太:Cグループ)					
生材時丸太の 動的ヤング係数 E_a-G (tf/cm ²)	Ave.	113.9		113.6		113.8		同左		同左	
	Min.	87.3		91.7		92.6					
	Max.	138.6		138.1		139.1					
	C. V. (%)	9.6		9.3		9.5					
気乾比重	Ave.	辺材	心材	辺材	心材	辺材	心材	同左		0.44	
	Min.	0.51	0.47	0.52	0.51	0.52	0.44			0.37	
	Max.	0.42	0.41	0.44	0.45	0.45	0.37			0.50	
	C. V. (%)	0.58	0.55	0.61	0.61	0.59	0.55			6.0	
平均年輪幅 (mm)	Ave.	元口	末口	元口	末口	元口	末口			6.3	
	Min.	4.7	4.7	4.7	4.5	—	—			4.5	
	Max.	3.8	3.8	4.0	3.8	—	—			8.1	
	C. V. (%)	5.3	5.5	5.1	5.1	—	—			13.4	
試験時含水率 (%) (全体) (辺材、心材別の含 水率は付表参照)	Ave.	76.3		21.4		16.6		同左		16.8	
	Min.	59.9		19.4		15.2				15.8	
	Max.	91.0		24.0		18.5				18.0	
	C. V. (%)	10.1		5.0		5.3				3.0	
最大単独節径比 KD (%)	Ave.	1.6		2.4		10.3		9.9		18.2	
	Min.	0.0		0.0		4.3		4.5		9.2	
	Max.	3.2		5.0		18.7		22.3		28.3	
	C. V. (%)	64.5		49.5		36.2		47.3		24.7	
最大集中節径比 SKD (%)	Ave.	2.9		5.3		20.1		19.2		35.4	
	Min.	0.0		0.0		4.3		4.8		15.0	
	Max.	8.6		11.4		40.3		33.0		78.8	
	C. V. (%)	80.3		56.3		42.6		34.2		42.8	
動的ヤング係数 E_a (tf/cm ²)	Ave.	—		111.9		107.2		109.4		85.6	
	Min.	—		97.0		94.1		89.4		67.1	
	Max.	—		129.0		126.5		132.1		110.6	
	C. V. (%)	—		6.9		7.5		8.0		12.3	
曲げヤング係数 MOE (tf/cm ²)	Ave.	107.5		99.7		107.6		96.5		76.5	
	Min.	69.0		82.7		85.4		78.2		57.6	
	Max.	130.7		120.1		130.3		122.0		97.7	
	C. V. (%)	12.9		9.3		11.5		10.3		10.6	
比例限曲げ応力度 PL (kgf/cm ²)	Ave.	241.4		310.0		320.8		324.5		315.4	
	Min.	171.4		212.3		240.8		174.1		219.7	
	Max.	330.3		371.6		426.8		460.0		402.5	
	C. V. (%)	16.5		11.7		11.5		21.1		13.2	
曲げ破壊係数 MOR (kgf/cm ²)	Ave.	521.8		533.0		462.5		491.5		406.9	
	Min.	445.2		420.2		385.1		348.4		274.0	
	Max.	624.7		609.6		534.0		640.7		542.6	
	C. V. (%)	8.0		8.1		8.8		16.2		14.1	

表10 MORと他の因子との相関

比較因子	試験体の形態	MOR と の 相 関 係 数				
		生材丸太	乾燥丸太	たいこ挽材 edgewise	たいこ挽材 flatwise	正角材
生材時動的ヤング係数	E_{d-G}	0.473**	0.433*	0.196	0.134	0.398
動的ヤング係数	E_d		0.482**	0.439**	0.405*	0.287
曲げヤング係数	MOE	0.590**	0.566**	0.558**	0.322	0.350
末口年輪数	RN-t. e.	0.004	-0.156	0.152		
平均年輪幅	元口 ARW-b. e.	-0.189	-0.277	-0.448**		
	末口 ARW-t. e.	-0.181	-0.160	-0.516**		
平均年輪幅	ARW					-0.052
比重	辺材 SG-s	0.561**	0.435*	0.400*	0.380*	
	心材 SG-h	0.421*	0.226	0.049	-0.038	
	全体 SG					-0.022
含水率	辺材 MC-s	-0.373*	-0.134	0.410*	0.252	
	心材 MC-h	-0.072	-0.247	0.409*	0.349*	
	全体 MC-w	-0.172	-0.140	0.389*	0.229	-0.022
最大単独節径比	KD	-0.308	0.058	-0.076	-0.367*	-0.338
最大集中節径比	SKD	-0.135	-0.064	-0.307	-0.098	-0.219

** : MORとの相関が1%危険率で有意な因子
 * : MORとの相関が5%危険率で有意な因子

表11 丸太・たいこ挽材・正角材のMOE、MORの比較

試験体の形態		生材丸太	乾燥丸太	たいこ挽材		たいこ挽材		正角材	
スパン		420cm	420cm	420cm		168cm		168cm	
試験方向				edge- wise	flat- wise	flat- wise	flat- wise		
末口、元口の別						末	元	末	元
M	供試体数(本)	34	34	34	34	17	17	17	17
O	平均値(tf/cm ²)	107.5	99.7	107.6	99.1	95.2	97.9	78.3	74.8
E	最小値(tf/cm ²)	69.0	82.7	85.4	86.7	78.2	81.1	68.0	57.6
	最大値(tf/cm ²)	130.7	120.1	130.3	116.3	107.1	122.0	97.7	91.3
	C. V. (%)	12.9	9.3	11.5	7.4	9.0	11.1	9.0	11.6
M	供試体数(本)	34	34	34		17	17	17	17
O	平均値(kgf/cm ²)	521.8	533.0	462.5	—	479.1	503.9	387.4	426.3
R	最小値(kgf/cm ²)	445.2	420.2	385.1	—	348.4	369.9	274.0	342.3
	最大値(kgf/cm ²)	624.7	609.6	534.0	—	622.9	640.7	542.6	496.0
	C. V. (%)	8.0	8.1	8.8		18.8	14.0	16.0	11.4

表12 平均値から算出したMOE、MORの丸太・たいこ挽材・正角材の比

試験体の形態	生材丸太	乾燥丸太	たいこ挽材		たいこ挽材	正角材
スパン	420cm	420cm	420cm		168cm	168cm
試験方向			edgewise	flatwise	flatwise 末・元平均	末・元平均
MOE	1.40	1.30	1.41	1.29	1.26	1.00
MOR	1.28	1.31	1.14	—	1.21	1.00

本章は下記の参考資料を基に、カラマツ生材丸太、気乾丸太、たいこ挽材・正角材の試験結果を整理したものである。

なお、試験担当者は次のとおりである(肩書きは事業実施当時)。

北海道立林産試験場 性能部構造性能科 科 長 森泉 周 (生材丸太の試験)
 研究職員 宮野 博 (同上)
 研究職員 前田典昭 (同上)
 研究職員 山本雅樹 (同上)
 性能部材料性能科 科 長 工藤 修 (気乾丸太及びたいこ
 挽材・正角材の試験)
 研究職員 千葉宗昭 (同上)
 研究職員 藤原拓哉 (同上)
 研究職員 細谷俊人 (同上)

参考資料

(財)日本住宅・木材技術センター：

- 建築用木材性能評価事業報告書 平成3年3月 p.2~9(1991)
- 同：建築用木材性能評価事業報告書 平成4年3月 p.2~10(1992)
- 同：建築用木材性能評価事業報告書 平成5年3月 p.1~19(1993)

付表1 カラマツ生材丸太の概要 (丸太：Aグループ)

丸太 No.	末口 年輪数	平均年輪幅		直 径			細り度 (cm/m)	気乾比重		含水率		
		元 口 (mm)	末 口 (mm)	元口 (cm)	中央 (cm)	末口 (cm)		辺材	心材	辺材 (%)	心材 (%)	全体 (%)
A-1	28	4.8	4.6	30.1	27.9	25.8	1.0	0.54	0.47	139.1	40.6	79.3
A-2	29	4.5	4.4	29.5	27.7	28.6	0.8	0.55	0.50	102.0	39.3	70.0
A-3	30	4.7	4.7	31.0	28.1	26.2	1.1	0.54	0.47	129.1	38.9	72.3
A-4	27	4.0	4.7	32.8	28.3	26.3	1.5	0.57	0.47	128.2	40.5	70.8
A-5	30	4.1	4.8	28.7	27.5	26.3	0.5	0.49	0.43	130.3	36.9	74.4
A-6	28	4.4	4.5	30.3	28.6	26.5	0.9	0.51	0.52	135.9	47.4	75.0
A-7	30	4.0	4.2	30.9	28.1	26.6	1.0	0.56	0.49	106.3	48.0	64.9
A-8	29	4.5	4.7	29.5	28.8	26.6	0.7	0.53	0.45	139.3	37.9	82.0
A-9	30	4.9	3.8	33.0	28.2	26.7	1.4	0.54	0.48	129.7	46.2	81.6
A-10	29	4.6	4.6	30.3	28.3	26.7	0.8	0.45	0.45	139.8	42.3	86.5
A-11	30	4.4	4.6	31.5	28.5	26.8	1.1	0.51	0.50	139.7	37.2	69.4
A-12	30	4.4	4.6	29.9	28.1	26.8	0.7	0.55	0.48	145.0	40.0	84.0
A-13	30	4.4	4.2	30.6	28.2	27.0	0.8	0.51	0.55	152.8	41.4	79.5
A-14	29	4.0	4.1	34.0	31.0	27.3	1.5	0.42	0.44	174.9	41.2	91.0
A-15	27	4.9	5.3	31.8	28.8	27.3	1.0	0.50	0.49	151.1	38.8	89.2
A-16	30	3.8	4.0	32.2	28.8	27.5	1.1	0.57	0.49	124.8	38.9	75.3
A-17	31	5.0	4.6	29.8	28.0	27.5	0.5	0.49	0.46	165.4	39.4	83.0
A-18	29	5.2	4.5	33.0	29.5	27.7	1.2	0.47	0.48	143.0	39.3	69.9
A-19	30	5.0	4.7	32.1	29.6	27.9	1.0	0.58	0.48	104.2	38.7	59.9
A-20	29	4.9	4.8	32.2	29.6	28.2	0.9	0.54	0.49	137.9	41.8	66.5
A-21	29	5.0	5.3	32.5	29.8	28.2	1.0	0.51	0.47	145.3	38.6	76.6
A-22	31	5.1	4.9	32.9	30.5	28.2	1.1	0.45	0.41	158.4	44.2	76.9
A-23	31	5.0	4.6	31.8	29.8	28.3	0.8	0.53	0.47	110.2	46.0	73.9
A-24	30	4.7	4.7	33.1	29.7	28.3	1.1	0.51	0.47	127.8	38.3	76.0
A-25	30	4.8	4.5	31.7	29.6	28.4	0.8	0.58	0.52	130.7	38.4	73.4
A-26	25	4.6	5.4	32.3	30.4	28.5	0.9	0.44	0.42	150.9	42.1	88.2
A-27	30	5.0	5.0	33.5	30.4	28.6	1.1	0.53	0.51	125.6	42.6	72.9
A-28	31	4.9	4.6	32.0	30.4	28.9	0.7	0.49	0.42	143.0	47.4	91.0
A-29	28	4.7	5.2	33.9	30.7	29.0	1.1	0.51	0.48	145.2	39.2	77.3
A-30	30	4.6	4.7	34.1	30.9	29.6	1.0	0.55	0.48	136.5	37.0	69.5
A-31	31	5.1	4.6	32.9	30.4	29.6	0.8	0.48	0.44	137.5	43.5	78.5
A-32	29	5.2	5.1	35.2	31.4	29.8	1.2	0.50	0.48	129.0	40.2	76.5
A-33	28	5.3	5.5	33.3	31.7	29.9	0.8	0.50	0.45	139.1	38.5	62.6
A-34	29	4.6	4.8	33.5	31.1	30.2	0.8	0.47	0.47	137.8	39.1	77.2
Ave.	29	4.7	4.7	31.9	29.4	27.8	1.0	0.51	0.47	136.3	40.9	76.3
Min.	25	3.8	3.8	28.7	27.5	25.8	0.5	0.42	0.41	102.0	36.9	59.9
Max.	31	5.3	5.5	35.2	31.7	30.2	1.5	0.58	0.55	174.9	48.0	91.0
C. V. (%)	4.4	8.2	8.1	4.9	4.1	4.4	24.9	7.9	5.9	11.6	7.7	10.1

付表2 カラマツ生材丸太の曲げ強度試験結果 (スパン420cm)

丸太 No.	最大 節径比 KD (%)	最大集中 節径比 SKD (%)	動的 ヤング係数 E_d (tf/cm ²)	曲げ ヤング係数 MOE (tf/cm ²)	比例限 曲げ応力度 PL (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR (kgf/cm ²)
A-1	1.3	1.3	111.0	113.7	258.5	500.5
A-2	1.5	2.9	113.4	118.7	198.7	624.7
A-3	1.5	1.5	104.6	120.4	231.3	541.2
A-4	0.0	0.0	125.7	130.7	266.6	569.6
A-5	3.0	5.7	121.5	101.8	272.5	562.3
A-6	0.0	0.0	128.1	109.0	171.4	530.6
A-7	2.7	4.6	125.1	96.1	209.6	522.6
A-8	2.8	4.7	123.6	98.8	179.0	467.9
A-9	0.0	0.0	125.8	120.5	305.2	596.9
A-10	2.1	3.8	110.1	99.0	188.7	527.3
A-11	0.0	0.0	108.5	96.5	330.3	522.0
A-12	0.0	0.0	138.6	118.7	260.2	570.0
A-13	2.3	2.3	106.9	122.4	228.4	505.8
A-14	1.6	3.2	87.3	69.0	247.7	469.8
A-15	1.7	1.7	114.3	117.9	252.9	572.2
A-16	0.0	0.0	116.4	121.9	252.9	543.3
A-17	1.7	1.7	120.2	112.1	248.4	513.0
A-18	0.9	1.7	97.5	89.8	237.4	469.8
A-19	2.3	8.6	111.4	107.4	294.8	513.3
A-20	1.9	6.6	136.9	128.5	263.9	553.8
A-21	2.1	5.1	105.5	98.1	224.3	533.8
A-22	2.4	2.4	99.8	80.7	201.6	447.7
A-23	2.6	7.5	112.6	116.0	244.5	481.8
A-24	3.2	3.2	114.9	109.6	247.8	486.9
A-25	2.2	3.4	117.2	117.0	313.4	570.5
A-26	2.6	2.6	111.8	90.6	201.7	445.2
A-27	2.1	3.8	118.4	113.3	260.7	541.4
A-28	2.4	4.4	112.2	117.8	215.0	518.3
A-29	1.8	6.0	101.2	96.0	184.8	537.9
A-30	0.0	0.0	123.4	112.6	261.0	499.9
A-31	0.0	0.0	109.2	113.3	213.1	505.6
A-32	1.9	3.8	110.5	107.8	240.0	485.5
A-33	2.7	4.0	106.0	89.0	303.8	528.3
A-34	1.8	3.3	102.5	101.5	199.1	480.6
Ave.	1.6	2.9	113.9	107.5	241.4	521.8
Min.	0.0	0.0	87.3	69.0	171.4	445.2
Max.	3.2	8.6	138.6	130.7	330.3	624.7
C. V. (%)	64.5	80.3	9.5	12.9	16.5	8.0

付表3 気乾カラマツ丸太の概要 (丸太: Bグループ)

丸太 No.	末口 年輪数	平均年輪幅		直 径			細り度 (cm/m)	気乾比重		含水率		
		元 口 (mm)	末 口 (mm)	元口 (cm)	中央 (cm)	末口 (cm)		辺材	心材	辺材 (%)	心材 (%)	全体 (%)
B-1	28	4.6	4.8	30.7	28.1	26.2	1.0	0.50	0.53	20.1	25.0	23.0
B-2	30	4.8	4.3	28.7	28.2	26.1	0.6	0.52	0.48	18.7	22.6	20.9
B-3	31	4.7	4.1	28.8	27.1	25.2	0.8	0.53	0.54	18.6	22.3	20.8
B-4	28	4.0	4.4	27.7	26.4	24.8	0.6	0.54	0.55	19.4	24.7	22.9
B-5	31	4.5	4.2	29.2	27.9	26.4	0.6	0.56	0.51	18.0	22.4	20.8
B-6	30	4.5	4.3	27.5	27.2	25.4	0.5	0.44	0.47	17.6	21.2	19.8
B-7	30	4.5	4.3	29.5	27.3	25.3	0.9	0.52	0.52	18.7	23.2	21.7
B-8	25	4.3	4.8	26.2	25.3	23.6	0.6	0.56	0.51	16.7	20.9	19.7
B-9	30	4.6	4.3	30.1	27.4	26.0	0.9	0.55	0.51	17.6	22.3	20.8
B-10	32	4.4	4.3	29.6	28.5	27.4	0.5	0.53	0.47	19.0	23.9	22.0
B-11	28	4.6	4.5	28.7	26.4	24.8	0.9	0.51	0.49	16.9	20.4	19.4
B-12	32	4.3	3.8	28.7	27.1	23.8	1.1	0.61	0.50	19.0	23.0	21.5
B-13	29	4.4	4.6	31.1	27.8	26.1	1.1	0.51	0.51	18.1	23.0	21.6
B-14	29	5.0	4.5	31.8	29.2	26.2	1.2	0.55	0.52	18.9	23.7	21.9
B-15	30	4.7	4.7	31.3	28.7	27.3	0.9	0.51	0.54	18.1	22.6	20.6
B-16	25	4.5	5.1	28.4	26.9	25.0	0.7	0.52	0.53	18.5	24.3	23.1
B-17	27	4.7	4.6	27.8	26.0	25.2	0.6	0.53	0.51	18.5	21.7	20.8
B-18	25	5.0	5.0	28.1	26.7	25.1	0.7	0.49	0.49	18.4	22.5	20.9
B-19	29	4.6	4.3	30.9	28.0	25.5	1.2	0.51	0.52	18.3	21.6	20.5
B-20	25	4.8	5.1	29.0	27.9	25.5	0.8	0.46	0.48	18.5	22.1	20.7
B-21	31	4.7	4.2	35.0	28.9	25.9	2.0	0.56	0.53	17.3	21.2	20.1
B-22	30	5.0	4.5	33.0	27.9	26.5	1.4	0.55	0.60	18.9	25.3	23.2
B-23	30	5.0	4.9	33.8	30.2	28.9	1.1	0.52	0.51	18.0	24.5	21.3
B-24	28	4.4	4.9	28.9	28.1	26.4	0.5	0.44	0.51	17.8	23.5	22.0
B-25	26	5.0	4.9	28.3	27.9	25.8	0.5	0.49	0.45	18.7	21.5	20.2
B-26	29	4.9	4.5	29.2	27.2	25.2	0.9	0.55	0.52	18.6	21.9	20.5
B-27	29	4.7	4.8	30.4	28.9	27.2	0.7	0.49	0.48	18.7	23.7	21.6
B-28	25	4.6	4.9	28.2	26.8	25.1	0.7	0.48	0.48	18.4	22.5	21.2
B-29	28	4.8	4.3	30.3	27.7	24.0	1.4	0.48	0.50	17.9	23.0	21.7
B-30	28	5.1	4.8	32.2	30.4	27.6	1.0	0.48	0.52	20.4	25.9	24.0
B-31	32	4.4	4.4	30.9	29.2	27.4	0.8	0.53	0.61	19.8	24.2	22.7
B-32	25	4.8	5.0	26.5	26.1	24.8	0.4	0.52	0.52	19.3	23.6	21.9
B-33	28	4.8	4.5	29.0	28.2	25.8	0.7	0.55	0.51	19.0	22.2	20.9
B-34	31	4.6	4.3	31.4	28.3	26.9	1.0	0.51	0.55	19.1	23.5	21.9
Ave.	29	4.7	4.5	29.7	27.8	25.8	0.8	0.52	0.51	18.5	22.9	21.4
Min.	25	4.0	3.8	26.2	25.3	23.6	0.4	0.44	0.45	16.7	20.4	19.4
Max.	32	5.1	5.1	35.0	30.4	28.9	2.0	0.61	0.61	20.4	25.9	24.0
C. V. (%)	7.6	5.3	7.0	6.5	4.0	4.4	38.0	6.8	6.5	4.3	5.6	5.0

付表4 気乾カラマツ丸太の曲げ強度試験結果

丸太 No.	最大単独 節径比 KD (%)	最大集中 節径比 SKD (%)	動的 ヤング係数 E_{a-D} (tf/cm ²)	曲げ ヤング係数 MOE (tf/cm ²)	比例限 曲げ応力度 PL (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR (kgf/cm ²)
B-1	1.8	6.3	101.0	90.1	245.0	508.0
B-2	3.2	4.4	122.6	107.2	280.7	519.0
B-3	3.5	10.9	106.0	97.4	332.3	553.2
B-4	0.0	0.0	123.4	114.2	336.2	609.6
B-5	1.6	2.4	102.3	98.5	275.4	495.4
B-6	2.8	6.4	99.5	87.9	318.8	474.5
B-7	0.8	1.4	109.5	106.5	357.5	587.8
B-8	5.0	5.0	121.6	118.6	362.9	606.2
B-9	2.3	6.8	109.5	108.0	310.1	580.6
B-10	3.0	6.0	108.5	102.4	318.8	502.2
B-11	4.3	7.7	115.1	92.7	371.6	546.6
B-12	2.2	7.4	113.9	90.8	294.5	549.6
B-13	2.2	6.2	115.5	103.9	323.5	506.1
B-14	2.0	8.4	122.0	112.3	338.7	559.4
B-15	2.0	6.4	111.7	100.0	317.1	485.1
B-16	2.7	7.0	115.5	93.9	340.1	559.7
B-17	3.4	5.9	129.0	120.1	371.1	589.2
B-18	3.3	6.6	110.9	102.0	353.8	556.9
B-19	1.7	4.0	111.5	101.6	267.1	549.1
B-20	3.4	7.7	106.1	90.4	305.9	519.4
B-21	0.0	0.0	112.0	88.7	269.0	534.3
B-22	2.5	2.5	105.9	98.6	319.8	561.9
B-23	0.0	0.0	118.2	104.6	295.4	499.0
B-24	1.2	2.4	106.6	93.9	328.0	494.1
B-25	2.1	4.0	108.4	104.2	319.1	556.8
B-26	2.9	11.4	106.8	97.0	318.0	576.7
B-27	1.3	1.3	119.9	111.0	260.8	518.5
B-28	3.6	9.0	102.4	89.9	333.5	495.2
B-29	3.2	3.2	102.9	82.7	265.9	519.5
B-30	4.0	10.2	97.0	82.9	212.3	420.2
B-31	1.7	3.5	123.8	105.7	309.1	538.1
B-32	3.8	7.3	118.9	103.7	323.9	559.9
B-33	2.1	6.2	111.7	92.0	282.2	480.7
B-34	1.8	3.0	114.0	97.3	283.2	560.3
Ave.	2.4	5.3	111.9	99.7	310.0	533.0
Min.	0.0	0.0	97.0	82.7	212.3	420.2
Max.	5.0	11.4	129.0	120.1	371.6	609.6
C. V. (%)	49.5	56.3	6.9	9.3	11.7	8.1

付表5 カラマツ丸太の曲げ剛性に及ぼす含水率の影響

丸太 No.	生 材 時					気 乾 時					比(乾/生)	
	平均 含水 率 MC-g (%)	中央 部 直径 Dc-g (cm)	断面二 次モー メント I-g (10 ³ cm ⁴)	曲げ ヤング 係数 MOE-g (tf/ cm ²)	曲げ 剛性 EI-g (10 ⁶ kg f·cm ²)	平均 含水 率 MC-d (%)	中央 部 直径 Dc-d (cm)	断面二 次モー メント I-d (10 ³ cm ⁴)	曲げ ヤング 係数 MOE-d (tf/ cm ²)	曲げ 剛性 EI-d (10 ⁶ kg f·cm ²)	中央 部 直径 Dc-d Dc-g	曲げ 剛性 EI-d EI-g
B-1	91.0	28.4	31.9	100.2	3196.4	23.0	28.1	30.5	90.1	2748.0	0.99	0.86
B-2	82.6	28.6	32.8	105.2	3450.6	20.9	28.2	31.2	107.2	3344.6	0.99	0.97
B-3	78.4	27.3	27.3	70.9	1935.6	20.8	27.1	26.3	97.4	2561.6	0.99	1.32
B-4	66.5	26.7	24.9	112.2	2793.8	22.9	26.4	23.7	114.2	2706.5	0.99	0.97
B-5	71.0	28.0	30.2	96.1	2902.2	20.8	27.9	29.5	98.5	2905.8	1.00	1.00
B-6	79.7	27.4	27.7	88.2	2443.1	19.8	27.2	26.8	87.9	2355.7	0.99	0.96
B-7	71.2	27.5	28.1	107.9	3032.0	21.7	27.3	27.2	106.5	2896.8	0.99	0.96
B-8	79.2	25.6	21.1	119.6	2523.6	19.7	25.3	20.0	118.6	2372.0	0.99	0.94
B-9	68.1	27.7	28.9	111.3	3216.6	20.8	27.4	27.8	108.0	3002.4	0.99	0.93
B-10	87.2	28.7	33.3	116.7	3886.1	22.0	28.5	32.3	102.4	3307.5	0.99	0.85
B-11	75.2	26.7	24.9	96.2	2395.4	19.4	26.4	23.9	92.7	2215.5	0.99	0.92
B-12	74.9	27.0	26.1	118.5	3092.8	21.5	27.1	26.3	90.8	2388.0	1.00	0.77
B-13	73.4	28.0	30.2	110.9	3349.2	21.6	27.8	29.1	103.9	3023.5	0.99	0.90
B-14	70.2	29.4	36.7	117.9	4326.9	21.9	29.2	35.8	112.3	4020.3	0.99	0.93
B-15	74.6	29.0	34.7	125.8	4365.3	20.6	28.7	33.5	100.0	3350.0	0.99	0.77
B-16	75.5	26.8	25.3	115.0	2909.5	23.1	26.9	25.8	93.9	2422.6	1.00	0.83
B-17	65.5	26.3	23.5	120.9	2841.2	20.8	26.0	22.5	120.1	2702.2	0.99	0.95
B-18	80.8	26.8	25.3	105.1	2659.0	20.9	26.7	24.9	102.0	2539.8	1.00	0.96
B-19	76.8	28.2	31.0	129.5	4014.5	20.5	28.0	30.4	101.6	3088.6	0.99	0.77
B-20	81.5	28.2	31.0	95.4	2957.4	20.7	27.9	29.9	90.4	2703.0	0.99	0.91
B-21	64.8	29.0	34.7	112.3	3896.8	20.1	28.9	34.1	88.7	3024.7	1.00	0.78
B-22	67.7	27.9	29.7	108.2	3213.5	23.2	27.9	29.5	98.6	2908.7	1.00	0.90
B-23	70.6	30.6	43.0	114.6	4927.8	21.3	30.2	41.0	104.6	4288.6	0.99	0.87
B-24	75.8	28.3	31.5	93.0	2929.5	22.0	28.1	30.8	93.9	2892.1	0.99	0.99
B-25	78.9	28.3	31.5	106.0	3339.0	20.2	27.9	29.7	104.2	3094.7	0.98	0.93
B-26	66.5	27.4	27.7	109.5	3033.2	20.5	27.2	26.8	97.0	2599.6	0.99	0.86
B-27	93.5	29.0	34.7	111.9	3882.9	21.6	28.9	34.3	111.0	3807.3	1.00	0.98
B-28	81.8	26.9	25.7	95.8	2462.1	21.2	26.8	25.3	89.9	2274.5	1.00	0.92
B-29	83.5	28.0	30.2	96.0	2899.2	21.7	27.7	28.9	82.7	2390.0	0.99	0.82
B-30	86.4	30.6	43.0	88.7	3814.1	24.0	30.4	41.7	82.9	3456.9	0.99	0.91
B-31	73.6	29.5	37.2	110.0	4092.0	22.7	29.2	35.6	105.7	3762.9	0.99	0.92
B-32	81.4	26.3	23.5	116.4	2735.4	21.9	26.1	22.7	103.7	2354.0	0.99	0.86
B-33	80.0	28.4	31.9	96.8	3087.9	20.9	28.2	31.1	92.0	2861.2	0.99	0.93
B-34	82.4	29.0	34.7	105.4	3657.4	21.9	28.3	31.3	97.3	3045.5	0.98	0.83
Ave.	76.8	28.0	30.4	106.7	3243.0	21.4	27.8	29.4	99.7	2924.0	0.99	0.91
Min.	64.8	25.6	21.1	70.9	1935.6	19.4	25.3	20.0	82.7	2215.5	0.98	0.77
Max.	93.5	30.6	43.0	129.5	4927.8	24.0	30.4	41.7	120.1	4288.6	1.00	1.32
C. V. (%)	9.3	4.1	16.6	11.2	19.9	5.0	4.0	16.3	9.3	17.3	0.56	10.8

付表6 カラマツたいこ挽材用丸太の概要 (丸太：Cグループ)

丸太 No.	末口 * ₁ 年輪数	平均年輪幅* ₁		直 径 * ₂			* ₂ 細り度 taper (cm/m)	動的ヤング係数 皮付生材 丸太 E _a -G (tf/cm ²)	剥皮乾燥 丸太 E _a -D (tf/cm ²)	剥皮乾燥 丸太曲げ ヤング係数 MOE-D (tf/cm ²)
		元 口 (mm)	末 口 (mm)	元口 (cm)	中央 (cm)	末口 (cm)				
C-1	29	4.7	4.7	31.9	30.4	27.4	1.0	108.0	100.6	84.2
C-2	27	4.5	4.8	32.7	30.7	27.4	1.2	111.6	104.1	105.8
C-3	30	5.1	4.2	33.4	27.0	26.3	1.5	110.2	128.9	135.7
C-4	29	4.6	4.6	33.0	30.4	28.6	1.0	125.2	122.1	109.9
C-5	30	4.5	4.4	31.8	29.3	28.0	0.8	119.7	122.8	131.9
C-6	28	4.5	4.9	31.6	29.8	28.6	0.7	124.9	124.4	125.5
C-7	30	4.8	4.5	32.5	30.2	28.6	0.8	112.4	117.2	108.0
C-8	28	4.7	4.5	30.7	29.6	27.1	0.8	131.5	117.2	111.7
C-9	31	5.4	4.5	31.1	29.6	29.4	0.4	107.6	113.4	103.7
C-10	30	4.9	4.3	34.5	31.5	26.7	1.7	124.9	126.8	122.9
C-11	27	5.2	5.5	37.3	33.3	31.0	1.4	111.4	110.9	101.9
C-12	30	5.7	4.7	36.3	32.0	29.6	1.5	105.8	107.2	100.8
C-13	28	4.7	5.0	33.0	31.5	28.9	0.9	127.2	124.3	108.5
C-14	29	4.5	4.4	31.9	30.4	28.7	0.7	114.7	109.1	105.9
C-15	30	4.9	4.6	31.0	31.3	29.5	0.3	121.1	113.0	102.5
C-16	29	5.6	5.1	35.8	33.6	31.8	0.9	122.3	130.4	112.7
C-17	29	4.7	4.5	30.1	28.4	27.1	0.7	139.1	118.8	133.0
C-18	36	4.7	3.5	31.8	29.7	27.1	1.0	113.5	113.8	93.1
C-19	28	5.0	5.3	32.8	31.8	30.2	0.6	98.2	102.0	93.7
C-20	31	5.0	4.8	34.6	30.2	30.2	1.0	133.2	143.7	143.3
C-21	28	5.0	4.8	33.2	30.3	28.4	1.0	101.6	110.2	98.0
C-22	28	5.1	5.0	32.9	30.5	28.8	0.9	108.6	112.6	120.0
C-23	29	4.7	4.5	30.1	30.1	27.7	0.5	112.3	114.3	114.9
C-24	31	4.9	4.7	33.9	31.5	30.3	0.8	110.8	120.5	108.4
C-25	29	5.3	5.1	33.7	33.1	31.4	0.5	114.6	122.8	125.2
C-26	30	4.4	4.4	31.4	28.0	26.9	1.0	103.2	121.2	125.7
C-27	27	4.9	4.9	34.9	29.1	28.0	1.5	92.6	111.0	102.2
C-28	31	5.1	4.3	33.8	30.2	27.2	1.4	115.9	121.2	108.8
C-29	28	4.6	4.7	32.8	28.7	28.6	0.9	105.6	126.6	112.6
C-30	27	4.9	5.2	35.2	32.1	29.8	1.2	117.9	127.2	129.1
C-31	28	4.9	5.0	35.3	31.9	30.2	1.1	117.4	124.0	96.2
C-32	29	5.3	5.0	35.1	31.6	30.2	1.1	100.1	117.3	107.3
C-33	30	4.4	4.3	31.8	28.5	27.4	1.0	110.9	119.8	123.6
C-34	29	5.2	4.4	33.8	31.8	27.0	1.5	95.5	112.8	102.4
Ave.	29	4.9	4.7	33.1	30.5	28.6	1.0	113.8	118.0	112.0
Min.	27	4.4	3.5	30.1	27.0	26.3	0.3	92.6	100.6	84.2
Max.	36	5.7	5.5	37.3	33.6	31.4	1.7	139.1	143.7	143.3
C. V. (%)	5.7	6.6	8.0	5.35	4.98	5.10	34.0	9.5	7.4	12.0

*₁ 剥皮乾燥丸太*₂ 剥皮生材丸太

付表7 カラマツたいこ挽材の材質

試験体 No. (丸太No. と同じ)	生材時丸太 での動的ヤ ング係数 E _a -G (tf/cm ²)	末口 年輪数	平均年輪幅		気乾比重		試験時含水率		
			元口 (mm)	末口 (mm)	辺材	心材	辺材 (%)	心材 (%)	全体 (%)
C-1	108.0	29	4.7	4.7	0.50	0.50	14.4	17.6	16.6
C-2	111.6	27	4.5	4.8	0.49	0.42	14.8	17.8	16.7
C-3	110.2	30	5.1	4.2	0.51	0.43	15.1	18.4	18.4
C-4	125.2	29	4.6	4.6	0.51	0.46	13.9	16.1	15.7
C-5	119.7	30	4.5	4.4	0.54	0.49	13.2	16.7	16.2
C-6	124.9	28	4.5	4.9	0.55	0.45	15.3	18.3	17.5
C-7	112.4	30	4.8	4.5	0.47	0.43	13.5	16.0	15.2
C-8	131.5	28	4.7	4.5	0.51	0.45	13.7	16.1	15.2
C-9	107.6	31	5.4	4.5	0.48	0.47	13.5	16.5	15.9
C-10	124.9	30	4.9	4.3	0.56	0.49	14.4	18.6	17.8
C-11	111.4	27	5.2	5.5	0.47	0.44	14.0	17.7	16.9
C-12	105.8	30	5.7	4.7	0.50	0.39	13.7	16.8	15.9
C-13	127.2	28	4.7	5.0	0.59	0.45	14.4	16.9	16.1
C-14	114.7	29	4.5	4.4	0.49	0.47	14.4	17.1	16.6
C-15	121.1	30	4.9	4.6	0.50	0.43	13.2	16.0	15.3
C-16	122.3	29	5.6	5.1	0.51	0.48	13.8	16.6	16.3
C-17	139.1	29	4.7	4.5	0.57	0.48	13.9	18.4	17.3
C-18	113.5	36	4.7	3.5	0.49	0.51	13.2	17.0	16.3
C-19	98.2	28	5.0	5.3	0.45	0.47	13.3	16.1	15.8
C-20	133.2	31	5.0	4.8	0.53	0.55	13.7	17.7	17.2
C-21	101.6	28	5.0	4.8	0.50	0.42	14.1	16.7	16.5
C-22	108.6	28	5.1	5.0	0.53	0.48	14.2	16.9	16.9
C-23	112.3	29	4.7	4.5	0.52	0.50	14.4	16.4	18.5
C-24	110.8	31	4.9	4.7	0.53	0.40	14.5	17.4	17.0
C-25	114.6	29	5.3	5.1	0.50	0.42	14.2	17.2	16.4
C-26	103.2	30	4.4	4.4	0.53	0.38	15.5	18.7	18.5
C-27	92.6	27	4.9	4.9	0.53	0.41	14.8	17.2	16.6
C-28	115.9	31	5.1	4.3	0.54	0.41	15.4	17.9	17.7
C-29	105.6	28	4.6	4.7	0.59	0.43	13.6	17.9	17.0
C-30	117.9	27	4.9	5.2	0.50	0.40	14.0	16.6	15.9
C-31	117.4	28	4.9	5.0	0.57	0.39	14.3	17.6	16.9
C-32	100.1	29	5.3	5.0	0.55	0.40	14.3	17.5	17.4
C-33	110.9	30	4.4	4.3	0.54	0.39	14.4	16.0	15.9
C-34	95.5	29	5.2	4.4	0.48	0.37	13.0	16.4	15.8
Ave.	113.8	29	4.9	4.7	0.52	0.44	14.1	17.1	16.6
Min.	92.6	27	4.4	3.5	0.45	0.37	13.0	16.0	15.2
Max.	139.1	36	5.7	5.5	0.59	0.55	15.5	18.7	18.5
C. V. (%)	9.5	5.7	6.6	8.0	6.7	9.4	4.5	4.7	5.3

付表8 カラマツたいこ挽材の曲げ強度試験結果 (1) (曲げスパン420cm)

試験体 No. (丸太No. と同じ)	最大単独 節径比 KD-edge (%)	最大集中 節径比 SKD-edge (%)	動的 ヤング係数 E _a (tf/cm ²)	曲げヤング係数		比例限 曲げ応力度 PL-edge (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR-edge (kgf/cm ²)
				MOE-flat (tf/cm ²)	MOE-edge (tf/cm ²)		
C-1	16.1	26.2	100.0	95.7	96.2	300.2	484.3
C-2	18.7	19.9	94.1	87.7	101.2	297.2	429.5
C-3	4.3	4.3	118.2	101.7	128.7	268.7	519.9
C-4	6.7	17.2	108.7	105.9	101.3	327.4	455.1
C-5	14.2	28.1	103.3	102.6	119.4	261.6	504.5
C-6	10.5	16.6	114.5	103.9	114.9	308.8	498.8
C-7	13.5	37.1	106.8	97.0	96.3	304.2	449.5
C-8	5.3	9.5	108.7	105.3	102.6	364.2	492.0
C-9	7.1	23.0	100.6	98.2	113.1	332.1	431.8
C-10	10.5	11.6	114.2	109.3	113.7	322.4	534.0
C-11	5.4	15.3	103.8	92.9	96.9	283.5	393.3
C-12	11.4	22.5	97.2	87.6	102.3	337.9	415.3
C-13	9.4	16.8	108.0	94.6	93.6	350.7	447.4
C-14	11.9	11.9	103.1	95.5	89.8	328.6	514.0
C-15	9.1	19.6	102.4	95.0	85.4	320.6	385.1
C-16	4.9	10.1	120.4	112.1	104.9	284.1	428.0
C-17	6.8	16.5	126.1	116.3	130.3	317.8	495.1
C-18	9.3	31.4	100.1	88.4	88.7	357.9	434.7
C-19	13.5	19.8	99.0	89.1	91.2	240.8	415.7
C-20	5.0	8.5	126.5	106.3	114.2	426.8	482.0
C-21	10.1	22.6	106.4	102.9	125.7	336.4	476.1
C-22	14.9	24.8	104.0	94.2	117.2	355.1	451.8
C-23	7.7	17.8	102.1	95.7	97.5	314.8	440.3
C-24	16.3	40.3	110.4	98.6	121.4	311.4	481.7
C-25	13.7	20.0	108.1	94.8	112.2	301.2	405.2
C-26	5.8	6.9	109.2	100.8	117.3	366.8	504.6
C-27	12.0	29.8	94.4	92.6	108.5	346.2	457.8
C-28	10.3	11.8	113.0	111.4	113.8	358.6	528.6
C-29	12.2	33.5	105.2	96.5	113.3	351.5	467.0
C-30	12.0	34.4	114.5	104.3	116.7	243.9	418.8
C-31	9.3	17.7	113.9	105.6	108.3	309.1	475.6
C-32	9.9	21.2	95.6	86.7	87.3	323.2	403.0
C-33	6.8	18.7	108.5	97.5	127.4	335.3	512.7
C-34	15.9	19.6	105.2	102.2	108.1	321.2	491.6
Ave.	10.3	20.1	107.2	99.1	107.6	320.8	462.5
Min.	4.3	4.3	94.1	86.7	85.4	240.8	385.1
Max.	18.7	40.3	126.5	116.3	130.3	426.8	534.0
C. V. (%)	36.2	42.6	7.5	7.4	11.5	11.5	8.8

付表9 カラマツたいこ挽材の曲げ強度試験結果(2)(曲げスパン168cm)

試験体 No. (丸太No. と同じ)	採材位置	最大単独 節径比 KD-flat (%)	最大集中 節径比 SKD-flat (%)	動的 ヤング係数 E_d (tf/cm ²)	曲げヤ ング係数 MOE-flat (tf/cm ²)	比例限 曲げ応力度 PL-flat (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR-flat (kgf/cm ²)
C-1	末口側	17.4	33.0	103.7	96.2	277.3	460.4
C-2	末口側	16.3	17.3	99.0	90.4	419.8	488.2
C-3	末口側	14.3	24.3	122.5	106.7	294.2	470.7
C-4	末口側	9.4	22.2	109.2	85.4	275.1	427.6
C-5	元口側	8.3	23.3	108.1	95.6	364.4	565.0
C-6	末口側	13.7	30.6	117.0	99.7	403.0	600.5
C-7	末口側	10.0	26.4	106.0	107.1	334.9	380.3
C-8	末口側	22.2	22.2	110.9	92.5	312.7	383.0
C-9	元口側	8.8	15.1	100.3	101.0	378.3	456.1
C-10	元口側	6.5	8.8	108.2	90.0	382.1	482.4
C-11	元口側	6.1	10.3	100.8	88.0	260.7	483.5
C-12	末口側	12.9	22.1	101.5	80.2	389.5	485.8
C-13	元口側	7.7	18.1	110.1	101.5	252.5	475.4
C-14	元口側	4.8	4.8	106.3	90.9	311.0	521.4
C-15	末口側	6.0	11.9	103.2	92.9	214.4	348.4
C-16	元口側	4.5	18.9	122.9	112.6	460.0	588.0
C-17	末口側	6.0	14.5	124.4	103.9	301.8	549.5
C-18	元口側	6.8	19.3	99.4	90.7	308.4	445.5
C-19	元口側	10.0	16.5	102.0	104.3	174.1	394.3
C-20	元口側	6.6	10.6	132.1	112.7	328.4	640.7
C-21	元口側	7.2	14.0	107.7	95.0	292.5	450.3
C-22	元口側	6.5	12.7	106.4	108.9	240.3	506.2
C-23	元口側	12.2	17.8	108.0	83.8	277.0	369.9
C-24	元口側	8.2	20.7	115.8	94.0	394.5	554.5
C-25	末口側	15.3	27.2	117.0	92.6	347.0	385.6
C-26	末口側	4.5	11.6	113.6	105.5	424.8	487.5
C-27	元口側	9.0	18.7	89.4	81.1	312.7	555.4
C-28	末口側	9.2	21.2	114.6	95.0	443.4	622.9
C-29	元口側	5.0	24.4	105.8	91.3	387.7	508.4
C-30	末口側	9.5	19.5	119.8	103.4	249.1	472.1
C-31	元口側	14.5	25.8	117.0	122.0	236.0	569.7
C-32	末口側	22.3	31.9	98.4	78.2	340.0	377.0
C-33	末口側	9.6	22.5	109.4	99.1	371.4	616.8
C-34	末口側	4.8	15.1	108.4	89.1	275.1	589.1
Ave.		9.9	19.2	109.4	96.5	324.5	491.5
Min.		4.5	4.8	89.4	78.2	174.1	348.4
Max.		22.3	33.0	132.1	122.0	460.0	640.7
C. V. (%)		47.3	34.2	8.0	10.3	21.1	16.2

付表10 カラマツ正角材の材質

試験体 No. (丸太No. と同じ)	生材時丸太の 動的ヤング係数 E_d-G (tf/cm^3)	平均 年輪幅 (mm)	気乾比重	試験時 含水率 (%)
C-1	108.0	5.9	0.45	16.9
C-2	111.6	5.8	0.41	16.4
C-3	110.2	5.9	0.47	16.6
C-4	125.2	5.3	0.45	17.5
C-5	119.7	8.1	0.46	16.9
C-6	124.9	5.6	0.50	17.4
C-7	112.4	6.4	0.41	16.8
C-8	131.5	7.1	0.42	16.0
C-9	107.6	5.6	0.40	15.8
C-10	124.9	6.1	0.42	16.9
C-11	111.4	5.6	0.44	16.8
C-12	105.8	7.3	0.37	16.8
C-13	127.2	7.3	0.42	16.5
C-14	114.7	5.8	0.43	16.9
C-15	121.1	6.0	0.41	16.6
C-16	122.3	6.5	0.42	16.1
C-17	139.1	5.8	0.48	17.4
C-18	113.5	5.7	0.45	17.2
C-19	98.2	4.5	0.44	17.0
C-20	133.2	5.9	0.48	17.0
C-21	101.6	6.0	0.41	17.6
C-22	108.6	6.0	0.45	16.6
C-23	112.3	7.1	0.43	16.5
C-24	110.8	7.1	0.45	18.0
C-25	114.6	6.3	0.44	16.5
C-26	103.2	5.0	0.48	15.9
C-27	92.6	6.7	0.40	16.1
C-28	115.9	7.7	0.45	16.6
C-29	105.6	7.5	0.43	16.6
C-30	117.9	6.7	0.43	16.4
C-31	117.4	7.9	0.42	17.2
C-32	100.1	7.3	0.44	17.8
C-33	110.9	5.4	0.43	17.1
C-34	95.5	6.1	0.41	16.7
Ave.	113.8	6.3	0.44	16.8
Min.	92.6	4.5	0.37	15.8
Max.	139.1	8.1	0.50	18.0
C. V. (%)	9.5	13.4	6.0	3.0

付表11 カラマツ正角材の曲げ強度試験結果 (曲げスパン168cm)

試験体 No. (丸太No. と同じ)	採材位置	最大単独 節径比 KD (%)	最大集中 節径比 SKD (%)	動的 ヤング係数 E _d (tf/cm ²)	曲げヤ ング係数 MOE (tf/cm ²)	比例限 曲げ応力度 PL (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR (kgf/cm ²)
C-1	元口側	11.6	27.4	85.6	72.2	300.9	392.9
C-2	元口側	25.4	37.2	67.1	57.6	352.7	385.1
C-3	元口側	21.3	21.3	84.2	71.3	296.9	460.0
C-4	元口側	14.7	25.0	90.2	85.3	304.9	409.4
C-5	末口側	28.3	56.7	84.1	77.6	322.1	331.4
C-6	元口側	16.0	35.4	87.7	76.4	292.9	437.7
C-7	元口側	16.8	26.8	90.1	70.7	339.2	342.3
C-8	元口側	24.2	53.2	88.8	77.0	374.9	378.6
C-9	末口側	20.7	35.3	84.0	73.7	285.9	296.2
C-10	末口側	18.3	31.9	92.9	83.6	320.9	435.2
C-11	末口側	9.2	15.0	90.3	80.2	402.5	442.9
C-12	元口側	15.3	15.3	71.6	60.2	337.3	390.0
C-13	末口側	24.5	58.2	88.0	75.6	349.8	431.8
C-14	末口側	11.1	18.8	86.2	80.0	325.9	358.0
C-15	元口側	19.4	49.8	92.5	80.2	349.9	494.9
C-16	末口側	20.5	21.7	95.2	82.7	343.9	415.3
C-17	元口側	10.8	17.5	97.2	91.3	330.0	496.0
C-18	末口側	16.6	43.1	85.7	79.1	349.2	356.2
C-19	末口側	20.1	40.2	96.0	83.2	266.7	274.0
C-20	末口側	15.6	28.4	110.6	97.7	327.5	542.6
C-21	末口側	15.4	25.7	83.9	80.0	245.5	367.8
C-22	末口側	17.4	39.0	81.8	68.9	330.1	371.0
C-23	末口側	21.5	76.6	79.2	73.1	312.1	374.9
C-24	末口側	23.5	38.1	86.0	74.0	341.0	382.1
C-25	元口側	16.6	31.6	90.8	76.4	279.4	468.1
C-26	元口側	14.1	29.9	90.6	81.6	256.5	494.1
C-27	末口側	17.1	27.4	70.4	68.0	302.7	394.5
C-28	元口側	15.4	30.0	79.9	74.6	391.1	478.3
C-29	末口側	23.0	47.6	78.6	69.0	303.4	431.8
C-30	元口側	20.6	26.7	91.6	74.5	353.5	375.0
C-31	末口側	20.7	32.3	91.4	84.1	288.8	381.0
C-32	元口側	24.0	78.8	67.3	63.3	237.8	383.8
C-33	元口側	13.4	26.9	72.0	72.3	219.7	434.5
C-34	元口側	16.6	35.7	78.9	86.6	286.5	426.1
Ave.		18.2	35.4	85.6	76.5	315.4	406.9
Min.		9.2	15.0	67.1	57.6	219.7	274.0
Max.		28.3	78.8	110.6	97.7	402.5	542.6
C. V. (%)		24.7	42.8	12.3	10.6	13.2	14.1

第3章 33年生1～2番玉スギ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

1. はじめに

構造体に丸太が利用されている樹種の一つはスギである。この章では宮城県産の33年生スギの丸太・たいこ挽材の試験結果を示す。一連の試験は宮城県林業試験場において実施した。

2. 供試丸太

供試丸太は、宮城県岩出山町のスギ人工林から伐採(間伐)したもので、伐倒・玉切り後、1～2番玉を宮城県林業試験場に搬入したものである。

2.1 採取林分の概要

供試丸太を採取した林分の概要は次のとおりである。

- 1) 所在地 宮城県玉造郡岩出山町池月字もず目絵図沢23-2
- 2) 林小班番号 59林班 ロ-19
- 3) 森林所有者 沢口新太郎
- 4) 植栽年月 昭和33年4月
- 5) 植栽面積 3.26ha
- 6) 植栽本数 14,500本 4,450本/ha
- 7) 苗木 秋田県雄勝町産 実生苗
- 8) 保育歴
 - 補植 昭和34年4月 200本
 - 下刈り 2回刈り：1～3年生、1回刈り：4～7年生
 - 除伐 9年生
 - 間伐 1回目：15年生、2回目：23年生、3回目：29年生
 - 枝打ち 1回目：15年生 枝打ち高3～4m
 - 2回目：23年生 枝打ち高4～6m
 - 3回目：29年生 枝打ち高7～8m

9) 伐倒時の林分構成

林令：33年生、成立本数：3,060本/ha

上記の林分から1,714本を間伐した。間伐木の胸高直径分布は森林所有者の調査によれば図1のとおりであった。胸高直径18～22cmの間伐木が82%を占めており、胸高直径12～32cm(平均20.9cm)、樹高8～18m(平均13.5m)である。

2.2 供試丸太の形状

供試丸太は伐倒後できるだけ「根張り」を外して4mに玉切った。1番玉75本、2番玉35本の計110本である。また、枝打ちされているので丸太材面に節は無かった。丸太の元口

より1m付近での径級別本数を図2に示す。丸太の径級は22cm以上となっており、間伐木のうち径級の大きい材を試験体としたことが分かる。110本の丸太の概要は次のとおり。

- 1) 丸太の年輪数 元口：25～34年、末口：19～29年
- 2) 丸太の径 元口：23～39cm、末口：20～26cm
- 3) 丸太の細り度(根張りを含む) 0.45～3.45cm/m
- 4) 生材時の密度 0.66～0.87g/cm³

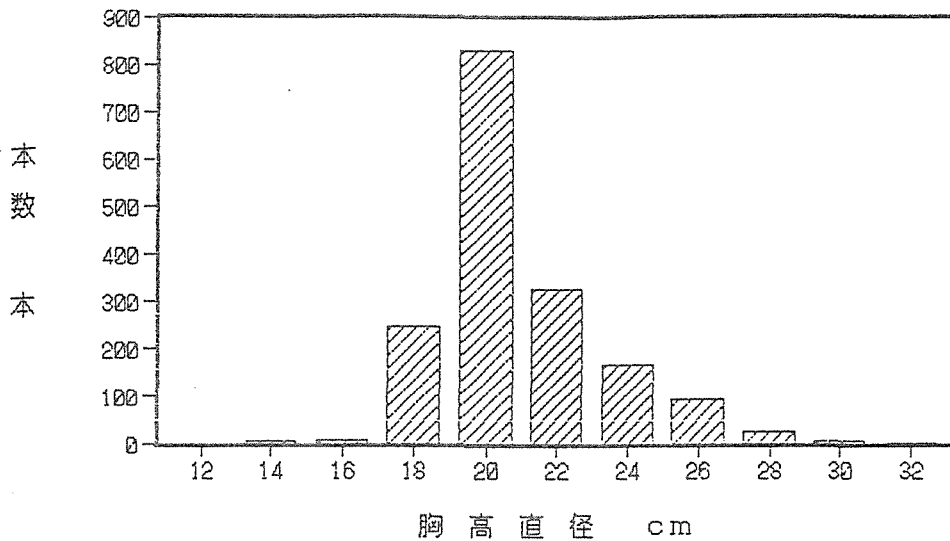


図1 間伐木の胸高直径別本数分布

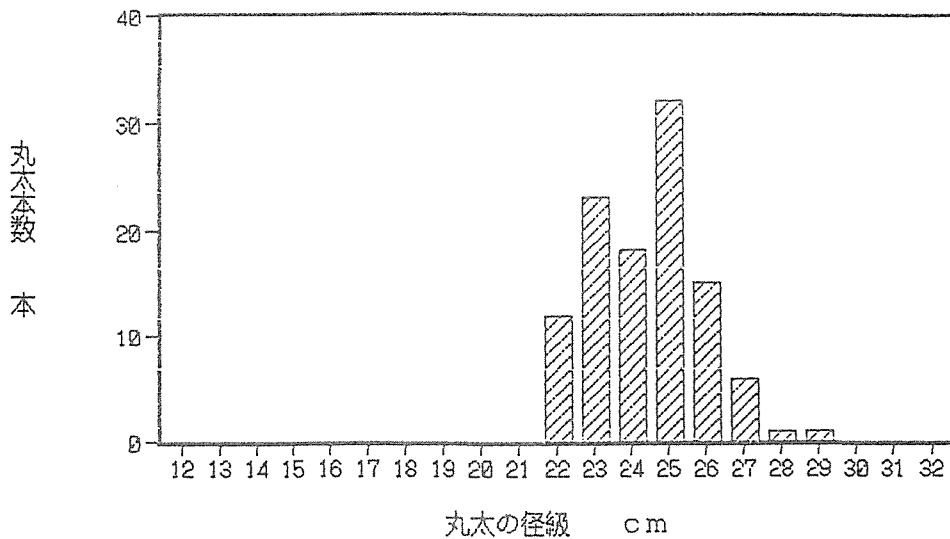
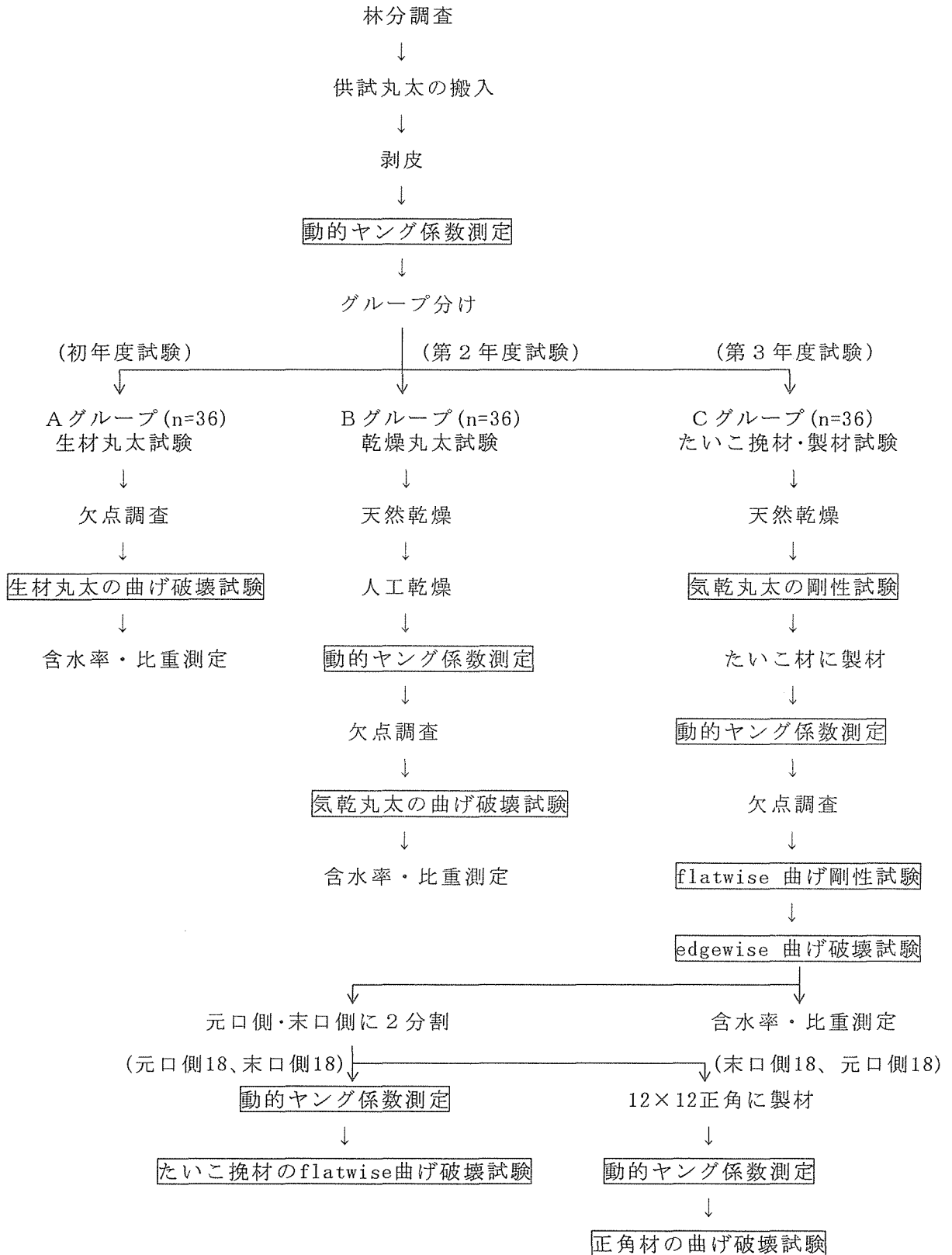


図2 試験丸太の径級別本数

3. 試験方法

試験方法及び手順は、(財)日本住宅・木材技術センターが定めた「丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験実施要領」(本書の第1章)に準じた。

本章における試験の流れは図3のようになる。



(内は強度性能の試験を示す。)

図3 試験の流れ

4. 供試丸太のグループ分け

4.1 丸太形状寸法の計測

110本の丸太の材長、末口・元口及び末口から1m毎の直径を計測し、スマリアン式による区分求積法で材積を求めた。また、末口径と元口径から細り度を算出した。

4.2 基本振動周波数と密度測定による動的ヤング係数(E_d)の測定及びグループ仕分け

丸太の木口面を打撃したとき材内を伝播する弾性波を、他の木口面からマイクロホンでとらえ、その基本振動周波数を測定した。密度は丸太材積及び重量から算出し、次式により動的ヤング係数(E_d)を求めた。

$$E_d = 4L^2 \times \rho \times f^2 / g$$

ここで E_d : 動的ヤング係数 (gf/cm²) L : 材長 (cm)
 ρ : 密度 (g/cm³) f : 基本振動周波数 (Hz)
 g : 重力の加速度 (980.7cm/s²)

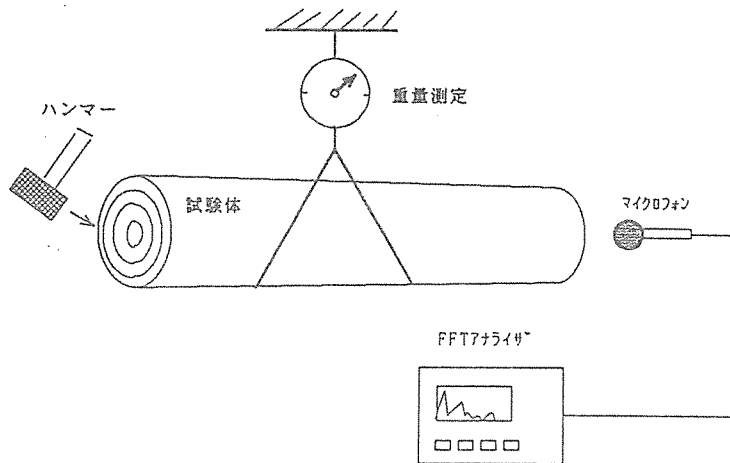


図4 動的ヤング係数の測定法 (打撃法)

この試験結果を基に、 E_d の平均値及び変動係数がほぼ同等になるよう、 E_d の小さいものから昇位順に3本を1単位とし、その中でA、B、Cに振り分けて3グループを編成し、試験区分を決めた。グループと試験区分を表1に、グループごとの動的ヤング係数等を表2に示す。1番玉75本、2番玉33本の計108本である。各グループごとの動的ヤング係数を正規化した分布を図5に示す。

表1 グループごとの試験時の形状と含水率、試験時期

グループ	形状	含水率	本数	曲げ試験実施年度
A	丸太	生材	36体	初年度
B	丸太	気乾材	36体	第2年度
C	たいこ挽材	気乾材	36体	第3年度

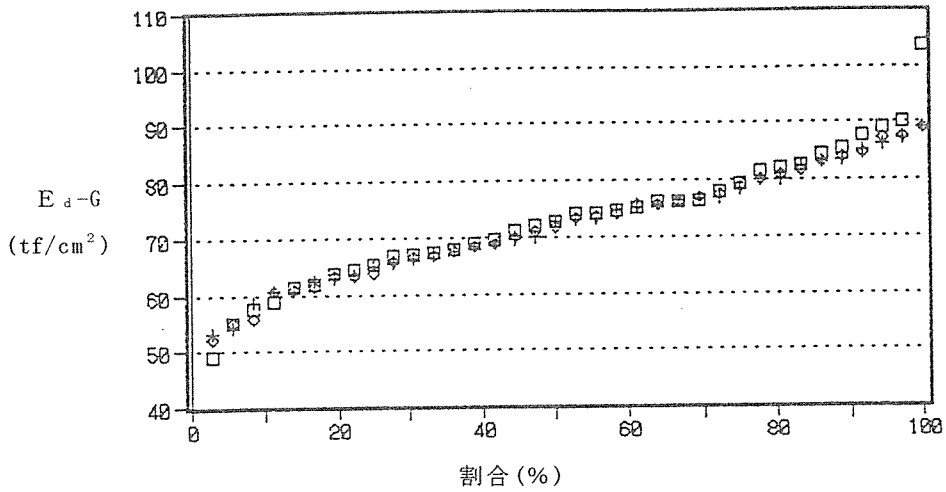


図5 グループごとの生材時丸太の動的ヤング係数を正規化した分布
 □ : Aグループ + : Bグループ ◇ : Cグループ

表2 丸太グループごとの動的ヤング係数・等級など

丸太のグループ		A (n=36)	B (n=36)	C (n=36)
測定項目 生材時剥皮丸太の 動的ヤング係数 E_{a-G} (tf/cm^2)	Ave.	73.1	72.1	72.0
	Min.	49.0	53.1	52.3
	Max.	103.9	89.2	89.0
	S. D.	10.97	9.28	9.49
	C. V. (%)	15.0	12.9	13.2
番 玉 (本)	1 番玉	21	28	26
	2 番玉	15	8	10
長 さ (cm)	Ave.	407.2	407.1	407.0
	Min.	403.0	401.8	401.0
	Max.	412.5	411.0	411.0
	S. D.	1.68	1.98	1.91
	C. V. (%)	0.41	0.49	0.47
末口直径 (cm) (生材時)	Ave.	22.1	22.3	22.4
	Min.	20.3	20.4	20.4
	Max.	24.8	24.7	26.3
	S. D.	1.23	1.15	1.44
	C. V. (%)	5.5	5.2	6.4
曲がり率 (%)	Ave.	5.4	6.4	6.6
	Min.	0.0	0.0	0.0
	Max.	14.2	13.3	15.0
	S. D.	4.08	3.66	3.64
	C. V. (%)	75.0	57.7	54.9
J A S 等級 (本) (節・曲がり 総合等級)	1 等	31	29	30
	2 等	5	7	6
	3 等	0	0	0

5. 生材丸太の実大曲げ試験

5.1 供試丸太の形状計測と欠点調査

生材状態での曲げ強度試験の対象となるAグループ丸太36体について、年輪数、平均年輪幅、直径、細り度、気乾比重及び含水率などを計測した。また、欠点調査を行った。

試験丸太には節が無く、ホークリフトによる掻き傷等について中央部分の長さ約60cm程度に対し、欠点調査図を描いた。

5.2 生材丸太の実大曲げ試験

材長4mに対してスパン360cmで中央集中荷重方式で行った。試験方法を図6に示す。

試験機は油圧式強度試験機（東京衡機㈱製）、荷重30kgf毎にヨークに取り付けたリニアゲージセンサー（精度1/100mm、小野測器製）でたわみを計測し、比例限を越えてからはヨークを外し、破壊時の最大たわみは丸太の中央部に取り付けた竹尺（1mm目盛）をレベルにより目視で読み取った。

試験機からの荷重値とリニアゲージセンサーのたわみ量から「荷重－たわみ曲線」を描き、曲げヤング係数（MOE）、比例限曲げ応力度（PL）、曲げ破壊係数（MOR）を算出した。

破断後に試験体の破壊状況を赤鉛筆で欠点調査図に記入した。その後、破断面近くの非破壊部分から円盤を2枚採取し、1枚から試験時の全体含水率を全乾法で測定した。他の1枚から辺材、心材別の含水率及び気乾比重を測定した。

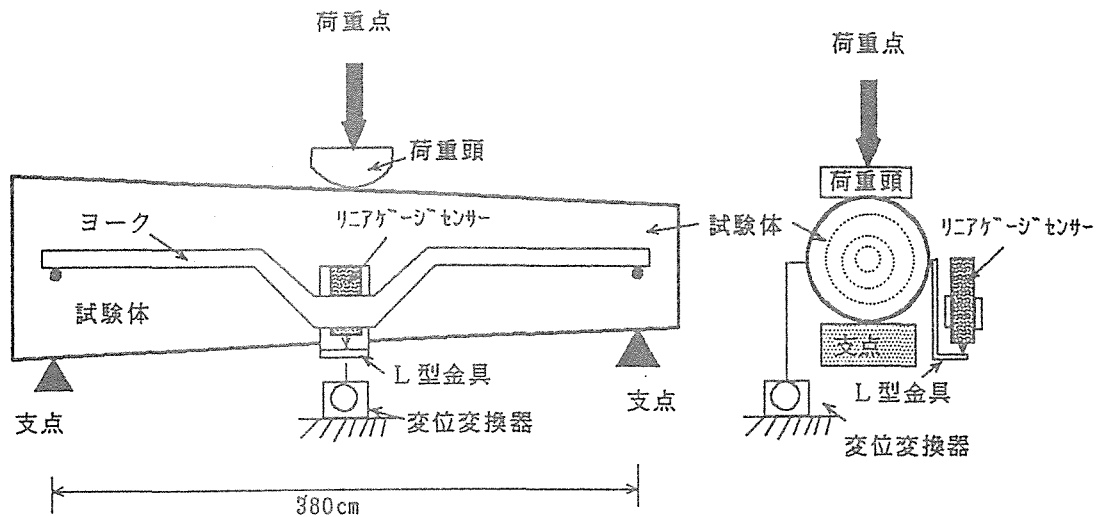


図6 中央集中荷重方式による実大曲げ試験方法(1)
(丸太、4mたいこ挽材、ヨーク使用)

5.3 生材丸太の試験結果と考察

各測定項目の平均値、最小・最大値をまとめて表3に示した。なお、丸太毎の個別データについては丸太の概要を付表1に、曲げ強度試験結果を付表2に示す。

表3 生材丸太の試験結果

試験体	測定項目	単位	平均値	最小値	最大値
丸太 (Aゲル -7°) (生材 丸太) n=36	年輪数 元口 (RN-b. e.)		30.6	26	34
	末口 (RN-t. e.)		24.9	19	28
	平均年輪幅 元口 (ARW-b. e.)	(mm)	4.5	3.8	5.0
	末口 (ARW-t. e.)	(mm)	4.5	3.7	5.6
	中央部直径 (D-c)	(cm)	23.8	21.6	26.0
	細り度 (taper)	(cm/m)	1.25	0.47	2.75
	気乾比重 辺材 (SG-s)		0.32	0.25	0.42
	心材 (SG-h)		0.34	0.27	0.39
	試験時の含水率 辺材 (MC-s)	(%)	241	117	345
	心材 (MC-h)	(%)	75	40	219
	全体 (MC-w)	(%)	143	96	204
	最大単独節径比 (KD)	(%)	0	0	0
	最大集中節径比 (SKD)	(%)	0	0	0
	剥皮生材丸太の動的ヤング係数 (E _d -G)	(tf/cm ²)	73.1	49.0	103.9
	剥皮生材丸太の曲げヤング係数 (MOE-G)	(tf/cm ²)	68.2	49.1	97.0
	比例限曲げ応力度 (PL-G)	(kgf/cm ²)	194.7	134.7	273.8
	剥皮生材丸太の曲げ破壊係数 (MOR-G)	(kgf/cm ²)	349.5	257.6	489.6

(1) 試験体の形状・材質について

特徴的なことは次のとおり。

本県の一般的な植栽密度は3,000本/haであるが、当試験に用いた丸太は密植(4,450本)で、枝打ち等の集約的な施業を行った林分から採取されたものである。そのため供試丸太には節が無かった。

丸太の年輪数は、末口で19～28(平均値24.9)となっており1番玉と2番玉で違っていた。平均年輪幅は、元口、末口ともに4.5mmとなっているが、2番玉は元口より末口が大きい(付表1参照)。また、2番玉は1番玉より細り度が小さく、枝打ちにより完満性が増したと考えられる。気乾比重は辺材0.25～0.42(平均値0.32)、心材0.27～0.39(平均値0.34)とやや小さかった。含水率は辺材117～345%(平均値241%)、心材40～219%(平均値75%)、全体96～204%(平均値143%)と試験体間の差が大きかった。

曲げ試験による破断後に丸太中央部付近の心材色を観察すると、心材の晩材部の一部が黒い材や心材全体が黒色を呈する材があった。

今後、一般的施業体系により生産された材を対象とした調査も必要と考えらる。

(2) 実大曲げ試験

曲げヤング係数(MOE)と動的ヤング係数(E_d)の関係及び曲げヤング係数(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)の関係をそれぞれ図7および図8に示した。

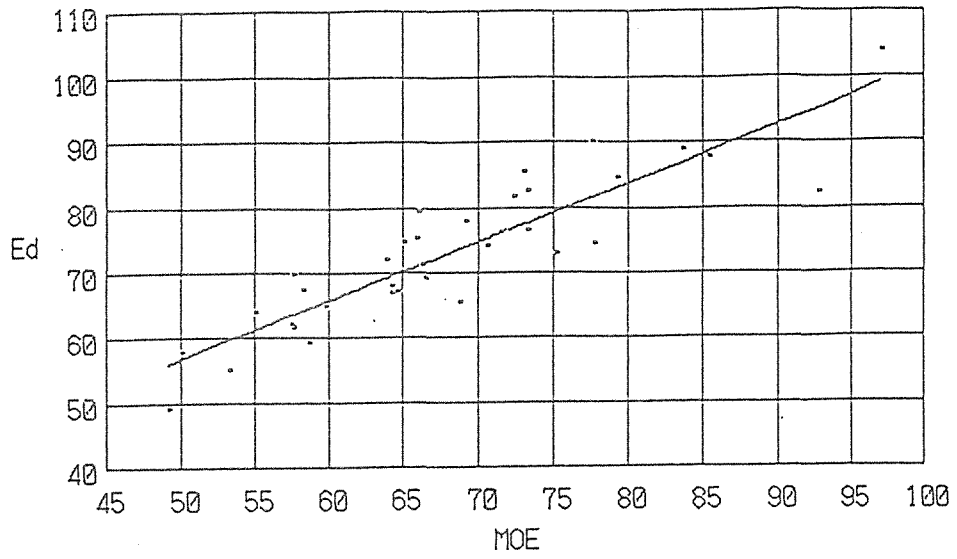


図7 曲げヤング係数(MOE)と動的ヤング係数(E_d)の関係

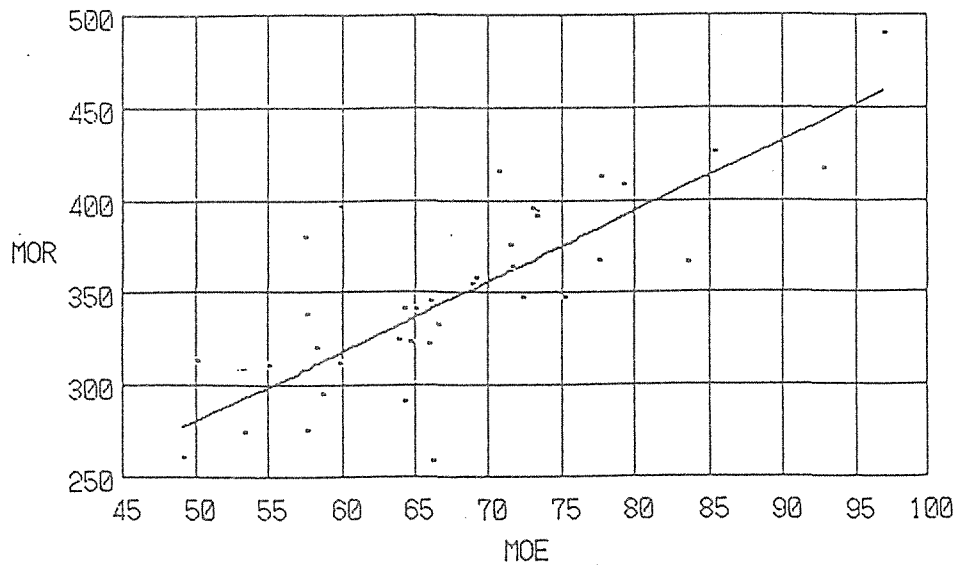


図8 曲げヤング係数(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)の関係

6. 気乾丸太の実大曲げ試験

6.1 丸太の乾燥

Bグループの供試丸太をビニルシートにより日除けし、できるだけ自然乾燥を促進させた。更に、含水率15%を目標に人工乾燥を行った。

6.2 供試丸太の性状

気乾時の丸太形状の概要を付表3に示した。比重は生材時の0.69～0.87(平均値0.77)から曲げ試験時には0.28～0.38(平均値0.33)となった。また、含水率は生材時145～236%(付表5参照)に対し、曲げ試験時には14～21%となり、ほぼ気乾状態と考えられる。

6.3 丸太形状寸法の計測

36本の丸太の材長、末口・元口及び末口から1m毎の直径を計測し、スマリアン式による区分求積法で材積を求めた。また、末口径と元口径から細り度を算出した。

乾燥割れに関しては、両木口の最長のものの割れ長さ、幅及び深さを、材面割れについては最長のものの長さ、幅を測定し、「欠点調査図」に記載した。

6.4 動的ヤング係数(E_d)の測定

4.2項と同様にして、気乾丸太の動的ヤング係数(E_d)を求めた。

6.5 気乾丸太の実大曲げ試験

材長4mに対してスパン3.6mで中央集中荷重方式で行った。試験法は5.2項と同じである。

試験機からの荷重値とリニアゲージセンサーのたわみ量から「荷重-たわみ曲線」を描き、曲げヤング係数(MOE)、比例限曲げ応力度(PL)、曲げ破壊係数(MOR)を算出した。

破断後に試験体の破壊状況を赤鉛筆で欠点調査図に記入した。その後、生材丸太の場合と同様に、破断面近くの非破壊部分から円盤を2枚採取し、1枚から試験時の全体含水率を全乾法で測定した。他の1枚から辺材、心材別の含水率及び気乾比重を測定した。

6.6 気乾丸太の試験結果と考察

各測定項目の平均値、最小・最大値をまとめて表4に示した。なお、丸太毎の個別データについては丸太の概要を付表3に、曲げ強度試験結果を付表4に示す。

(1)試験体の形状・材質について

- ①年輪数は、元口の平均値31.4、末口の平均値25.6で、1番玉と2番玉には差があった。
- ②平均年輪幅は、元口と末口とはほとんど差がなかった。
- ③丸太の中央部直径は、平均値23.5cm、最小値21.4cm、最大値26.1cmであり、曲げスパン360cmと直径の比(スパン/直径)は13.8～16.8、平均15.3となった。
- ④細り度は0.5～2.8cm/mの範囲で、2番玉は1番玉より細り度が小さく、枝打ちにより完満度が増したためと考えられる。
- ⑤試験時の気乾比重は全体的にやや小さいが、比較的成長のよい林分から採取された丸太であるためと考えられる。
- ⑥試験時の含水率は全体の平均値16.6%、辺材の平均値14.1%、心材の平均値18.9%

となっており、ほぼ気乾状態と考えられる。

(2)実大曲げ試験について

⑦動的ヤング係数 E_d と曲げたわみより求めた静的曲げヤング係数MOEの平均値はほとんど差のない値を示した。

MOEは平均値 75.3tf/cm^2 ($53.0\sim 90.2\text{tf/cm}^2$)となり、生材丸太のMOE(前章のMOE-G参照)と比較すると、平均値で約 7tf/cm^2 (生材比で約10%)、気乾丸太の方が大きな値を示した。

⑧曲げ破壊係数MORは平均値 444.3kgf/cm^2 ($270.9\sim 564.5\text{kgf/cm}^2$)となり、生材丸太のMOR(前章のMOR-G参照)と比較すると、平均値で約 95kgf/cm^2 (生材比で約27%)、気乾丸太の方が大きな値を示した。

動的ヤング係数(E_d)と曲げヤング係数(MOE)の関係、動的ヤング係数(E_d)と曲げ破壊係数(MOR)の関係、及び曲げヤング係数(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)の関係をそれぞれ図9、図10及び図11に示した。

これらの相関係数を求めた結果、 E_d とMOEは0.832、 E_d とMORは0.601、MOEとMORは0.775が得られ、高い相関が認められた。

付表4において、丸太No.71は丸太下部の干割れが荷重の増加と共に連続化し、MOE、MORとも小さい値になったと考えられる。No.79は E_d とMOEの間に大きな差(18tf/cm^2)があった。その原因は検討中である。No.94の丸太は荷重点付近の下部に「カケギズ」(幅50mm、長さ120mm、深さ10mm)があつて破壊の原因となり、MOE、MORが小さい値になったと考えられる。

表4 気乾丸太の試験結果 (丸太：Bグループ)

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値
丸太 (Bグループ) (気乾丸太) n=36	年輪数 元口 (RN-b. e.)	31.4	25	34
	末口 (RN-t. e.)	25.6	20	29
	平均年輪幅 元口 (ARW-b. e.) (mm)	4.5	3.9	5.2
	末口 (ARW-t. e.) (mm)	4.3	3.7	5.8
	中央部直径(D-c) (cm)	23.5	21.4	26.1
	細り度(taper) (cm/m)	1.5	0.5	2.8
	気乾比重 辺材 (SG-s)	0.32	0.26	0.37
	心材 (SG-h)	0.35	0.29	0.41
	試験時の含水率 辺材 (MC-s) (%)	14.1	11.0	17.7
	心材 (MC-h) (%)	18.9	14.8	26.6
	全体 (MC-w) (%)	16.6	14.4	20.5
	最大単独節径比(KD) (%)	0	0	0
	最大集中節径比(SKD) (%)	0	0	0
	剥皮生材丸太の動的ヤング係数(E_d -G) (tf/cm^2)	72.1	53.1	89.2
	剥皮気乾丸太の動的ヤング係数(E_d -D) (tf/cm^2)	76.5	56.9	93.3
剥皮気乾丸太の曲げヤング係数(MOE-D) (tf/cm^2)	75.3	53.0	90.2	
比例限曲げ応力度(PL-D) (kgf/cm^2)	275.8	201.8	331.8	
剥皮気乾丸太の曲げ破壊係数(MOR-D) (kgf/cm^2)	444.3	279.0	564.5	

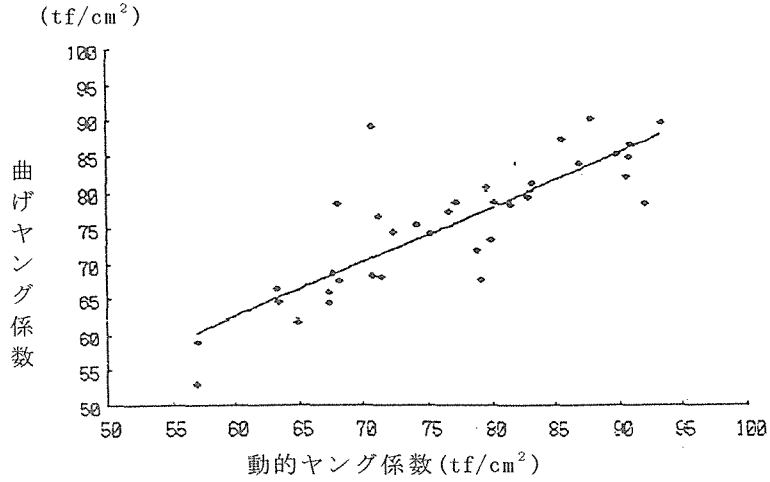


図9 気乾丸太の動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係 (Bグループ丸太)

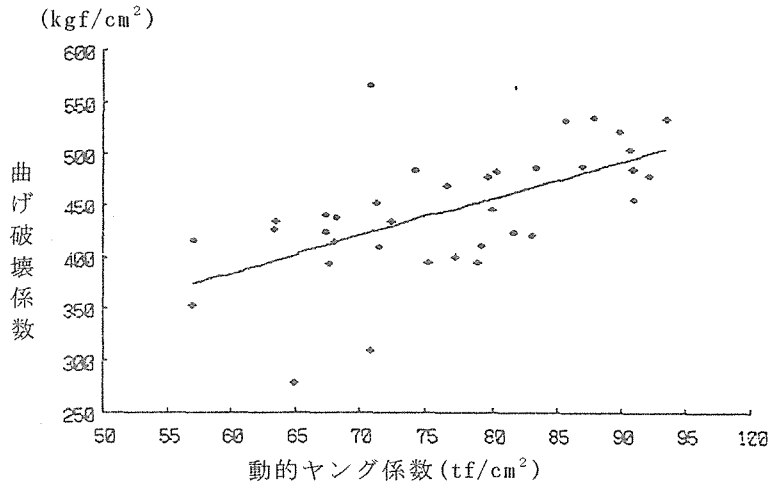


図10 気乾丸太の動的ヤング係数と曲げ破壊係数の関係 (Bグループ丸太)

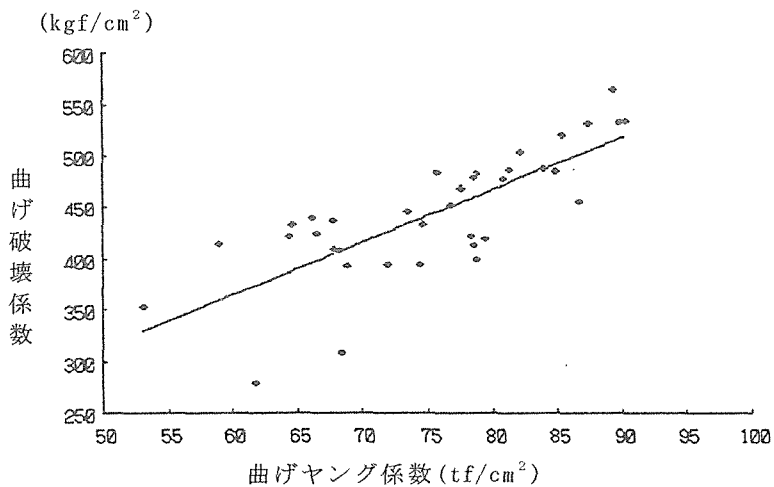


図11 気乾丸太の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係 (Bグループ丸太)

6.7 試験時の含水率の影響

丸太の曲げ剛性に及ぼす含水率の影響を表5に示す。

中央部直径について[気乾時/生材時]の比を算出してみると、平均値0.98(最小値0.96～最大値1.00)であり、気乾時が若干小さくなっている。

曲げ剛性について[気乾時/生材時]の比を算出してみると、平均値0.97(最小値0.90～最大値1.08)となった。全体的に気乾時の方が小さくなっている。

表5 宮城県産スギ丸太の曲げ剛性に及ぼす含水率の影響 (丸太：Bグループ)

測定時の含水状態及び測定項目 (n=36)	生 材 時					気 乾 時					比(乾/生)	
	平均含水率 MC-G (%)	中央部直径 Dc-G (cm)	断面二次モーメント I-G (10 ³ cm ⁴)	動的曲げヤング係数 E _a -G (tf/cm ²)	曲げ剛性 EI-G (10 ³ tf・cm ²)	平均含水率 MC-D (%)	中央部直径 Dc-D (cm)	断面二次モーメント I-D (10 ³ cm ⁴)	動的曲げヤング係数 E _a -D (tf/cm ²)	曲げ剛性 EI-D (10 ³ tf・cm ²)	中央部直径 Dc-D / Dc-G	曲げ剛性 EI-D / EI-G
	Ave.	178	23.9	16.19	72.1	1155.6	16.6	23.3	14.81	76.5	1122.3	0.98
Min.	145	21.9	11.36	53.1	853.3	14.4	21.3	10.10	56.9	772.0	0.96	0.90
Max.	236	26.1	22.79	89.2	1788.4	20.5	25.7	21.27	93.3	1872.7	1.00	1.08
S.D.	22.2	1.18	3.18	9.28	225.3	1.32	1.17	2.97	9.95	227.8	0.01	0.04
C.V.(%)	12.5	5.0	19.7	12.9	19.5	7.9	5.0	20.1	13.0	20.3	0.75	3.7

7. たいこ挽材・製材の実大曲げ試験

7.1 丸太の乾燥

初年度にグループ分けした丸太 (Cグループ) を作業小屋に入れ、できるだけ自然乾燥を促進させた。初年度に丸太の材長、年輪数、細り度等を測定したが、乾燥による変化をみるため直径、重量等を再度測定した。乾燥割れについては、両木口の割れは最長のものの長さと同幅及び深さを、材面割れは最長のものの割れ長さと同幅を測定し、「欠点調査図」に記載した。

7.2 試験の流れ

試験の流れは図3のCグループ丸太のとおりである。

7.3 乾燥丸太の曲げ剛性試験

乾燥丸太の基本振動周波数を測定し、動的ヤング係数を求めた後、乾燥丸太の曲げ剛性試験(材長4mに対してスパン380cmの中央集中荷重方式)を行った(図6参照)。

なお、丸太の材長、末口、元口及び中央部の材背、材幅を計測し、試験実施要領(本書の第1章)により断面積、材積及び荷重点の断面二次モーメント、断面係数を算出した。

7.4 たいこ挽材の実大曲げ試験

7.4.1 たいこ挽材の曲げ剛性試験 (flatwise)

乾燥丸太の曲げ剛性試験の後、丸太を幅12cmのたいこ挽材に製材した。丸太の最大の干割れ部を残すように木取りした。たいこ挽材の材積及び荷重点の断面二次モーメント、断面係数は試験実施要領（本書の第1章）により求めた。たいこ挽材をスパン360cm、flatwise、中央集中荷重方式で曲げ剛性試験を行い、曲げヤング係数を求めた。

7.4.2 たいこ挽材の曲げ破壊試験 (edgewise)

次にスパン360cm、edgewise、中央集中荷重方式で曲げ破壊試験を行った。試験法は5.2項と同じである。破壊時の最大たわみは変位変換器(精度1/100mm)のワイヤーを試験体の中央中立軸部に取り付けて計測した。

試験機からの荷重値とリアゲージセンサーのたわみ量から「荷重-たわみ曲線」を描き、比例限域を求めた。比例限域の応力、たわみ量並びに荷重点断面から、曲げヤング係数(MOE)、比例限曲げ応力度(PL)、曲げ破壊係数(MOR)を算出した。

破断後に試験体の破壊状況を赤鉛筆で欠点調査図に記入した。

7.4.3 たいこ挽材の曲げ破壊試験 (flatwise)

edgewise試験の破断後に試験体を材長方向に2分割し、材長約190cmのたいこ挽材を2体ずつ採取した。これらをflatwiseの曲げ破壊試験に供するものと、12cm正角に製材して曲げ破壊試験に供するものとに振り分けた。振り分けは元口側と末口側が同数になるようにした。また、2分割時に2枚の試験片を採取し、1枚で全体の含水率を、他の1枚で辺材、心材別の含水率及び気乾比重を測定した。

たいこ挽材のflatwise曲げ破壊試験は動的ヤング係数を測定後、スパン168cm、中央集中荷重方式で行い、曲げヤング係数、曲げ破壊係数を求めた(図12参照)。

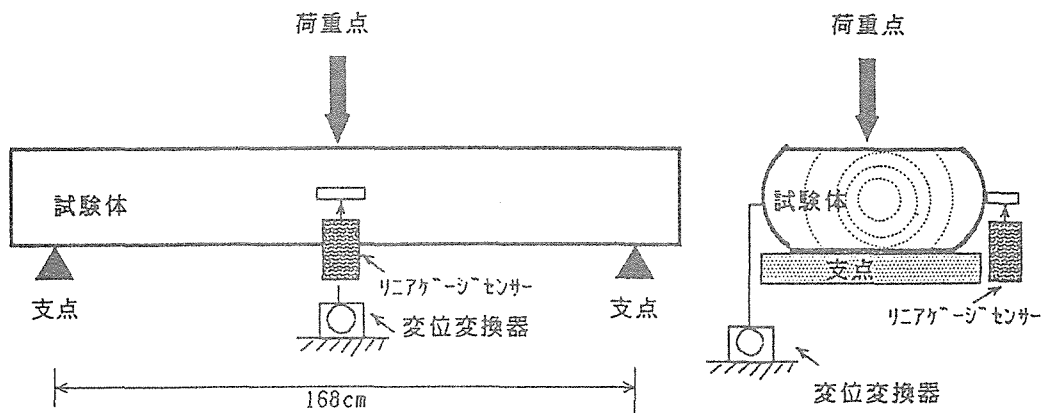


図12 中央集中荷重方式による実大曲げ試験方法(2)
(2mたいこ挽材、製材)

7.4.4 製材の曲げ破壊試験

製材についても動的ヤング係数を測定後、スパン168cm、中央集中荷重方式で曲げ破壊試験を行い、曲げヤング係数、比例限曲げ応力度、曲げ破壊係数を求めた(図12参照)。

7.5 たいこ挽材・製材の試験結果と考察

各測定項目の平均値、最小・最大値をまとめて表6に示した。なお、原木丸太毎の個別データについては丸太・たいこ挽材の概要を付表6、7に、曲げ強度試験結果を付表8～10に示す。

(1) 気乾丸太の形状、曲げ剛性試験

気乾時に測定した丸太の径は生材時と大きな差はない(末口径平均 生材時：22.4cm、気乾時：22.0cm)。丸太の年輪数は、末口で20～28(平均25.4)、元口で26～34(平均31.3)で、1番玉と2番玉により約3年輪の差がみられた。平均年輪幅は末口と元口でほとんど差がなかった。丸太の見かけの密度は生材時の平均 $0.77\text{g}/\text{cm}^3$ から気乾時の平均 $0.34\text{g}/\text{cm}^3$ に減少した。動的ヤング係数は生材時には平均 $72.0\text{tf}/\text{cm}^2$ 、気乾時には平均 $75.7\text{tf}/\text{cm}^2$ で、乾燥による大きな変化はなかった。また、曲げ剛性試験による曲げヤング係数は平均 $75.7\text{tf}/\text{cm}^2$ であった。

(2) たいこ挽材の実大曲げ試験

たいこ挽材(4m)破断後の材中央部から採取した円盤の気乾比重は、辺材平均0.33、心材平均0.35で、A、Bグループとほぼ同じ値となっていた。含水率は円盤全体で15.3～18.1%(平均16.9%)となっておりほぼ気乾状態と考えられる。

材長4mのたいこ挽材の荷重点の材せいは21.0～28.8cm(平均23.1cm)、最大単独節径比は0～10.9%(平均5.6%)、見かけの密度は平均 $0.36\text{g}/\text{cm}^3$ 、動的ヤング係数は平均 $73.5\text{tf}/\text{cm}^2$ 、曲げ剛性試験より求めたflatwiseでの曲げヤング係数は平均 $79.4\text{tf}/\text{cm}^2$ 、曲げ破壊試験より求めたedgewiseでの曲げヤング係数は平均 $78.7\text{tf}/\text{cm}^2$ 、曲げ破壊係数は平均 $418.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ となった。

動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係、動的ヤング係数と曲げ破壊係数との関係及び曲げヤング係数と曲げ破壊係数との関係を図13～図15に示す。

材長2mのたいこ挽材の荷重点の材せいは20.6～29.0cm(平均23.5cm)、最大単独節径比は0～10.9%(平均4.9%)、見かけの密度は平均 $0.37\text{g}/\text{cm}^3$ 、動的ヤング係数は平均 $73.3\text{tf}/\text{cm}^2$ 、曲げ破壊試験より求めたflatwiseでの曲げヤング係数は平均 $57.1\text{tf}/\text{cm}^2$ 、曲げ破壊係数は平均 $364.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ であった。曲げヤング係数と曲げ破壊係数との関係を図16に示す。

(3) 製材の曲げ破壊試験

最大単独節径比は0～19.2%(平均10.8%)、見かけの密度は平均 $0.37\text{g}/\text{cm}^3$ 、動的ヤング係数は平均 $70.0\text{tf}/\text{cm}^2$ 、曲げ破壊試験より求めた曲げヤング係数は平均 $58.8\text{tf}/\text{cm}^2$ 、曲げ破壊係数は平均 $375.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ であった。製材についての曲げヤング係数と曲げ破壊係数との関係を図17に示す。

(4) 丸太、たいこ挽材、製材の間の強度性能の関係

各断面形状による強度性能の変化を表6に示した。曲げヤング係数の平均を見ると、気乾丸太は $75.7\text{tf}/\text{cm}^2$ 、4mたいこ挽材edgewiseは $78.7\text{tf}/\text{cm}^2$ 、製材は $58.8\text{tf}/\text{cm}^2$ で、それらを比較すると[丸太：たいこ挽材：製材=1.29：1.34：1.00]となり丸太よりたいこ挽材が大きい値を示した。また、曲げ破壊係数では[丸太：たいこ挽材：製材=1.18：1.11：1.00]となっていた。

各断面形状及び測定因子間の相関係数を付表11(1)～(3)に示した。

表6 たいこ挽材・正角材の測定項目の平均値、最小・最大値

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値
丸太 (Cゲル -7°) (気乾 丸太) (n=36)	年輪数 元口(RN-b.e.)	31.3	26	34
	末口(RN-t.e.)	25.4	20	28
	平均年輪幅 元口 (ARW-b.e.) (mm)	4.5	3.7	5.7
	末口 (ARW-t.e.) (mm)	4.3	3.8	5.2
	直径 元口(D-b.e.) (cm)	28.5	23.4	38.9
	末口(D-t.e.) (cm)	22.0	20.1	25.8
	細り度(taper) (cm/m)	1.6	0.6	3.2
	見かけの密度 (g/cm ³)	0.34	0.30	0.42
	最大単独節径比(KD) (%)	0	0	0
	最大集中節径比(SKD) (%)	0	0	0
	剥皮生材時の動的ヤング係数(E _d -G) (tf/cm ²)	72.0	52.3	89.0
剥皮気乾丸太の動的ヤング係数(E _d -D) (tf/cm ²)	75.7	58.5	91.7	
剥皮気乾丸太のヤング係数(MOE-D) (tf/cm ²)	75.7	58.5	90.9	
たいこ 挽材 (材長 4m) (n=36)	気乾比重 辺材(SG-s)	0.34	0.29	0.41
	心材(SG-h)	0.35	0.30	0.42
	試験時の含水率 全体 (MC-w) (%)	16.9	15.3	18.1
	見かけの密度 (g/cm ³)	0.36	0.32	0.43
	最大単独節径比(KD) (%)	5.6	0.0	10.9
	材せい (cm)	23.1	21.0	28.8
	動的ヤング係数(E _d) (tf/cm ²)	73.5	56.8	90.5
	flatwise曲げヤング係数(MOE-flat) (tf/cm ²) (スパン380cm、重錘を用いた小荷重で測定)	79.4	62.2	96.5
	edgewise曲げヤング係数(MOE-edge) (tf/cm ²) (スパン380cm)	78.7	56.6	92.6
	比例限曲げ応力度(PL-edge) (kgf/cm ²)	230.1	163.2	395.1
	曲げ破壊係数(MOR-edge) (kgf/cm ²) (MOE-edge) / (E _d)	418.0	310.8	562.9
(PL-edge) / (MOR-edge)	1.07	0.96	1.28	
	0.55	0.43	0.70	
たいこ 挽材 (材長 2m) (n=18)	見かけの密度 (g/cm ³)	0.37	0.32	0.45
	最大単独節径比(KD) (%)	4.9	0.0	10.9
	材せい (cm)	23.5	20.6	29.0
	動的ヤング係数(E _d) (tf/cm ²)	73.3	46.9	101.3
	flatwise曲げヤング係数(MOE-flat) (tf/cm ²) (スパン168cm)	57.1	35.8	76.8
	比例限曲げ応力度(PL-flat) (kgf/cm ²)	166.8	105.7	249.8
	曲げ破壊係数(MOR-flat) (kgf/cm ²) (MOE-flat) / (E _d)	364.6	302.3	493.3
	(PL-flat) / (MOR-flat)	0.79	0.63	0.93
	0.46	0.32	0.72	
正角材 (材長 2m) (n=18)	見かけの密度 (g/cm ³)	0.37	0.32	0.45
	最大単独節径比(KD) (%)	10.8	0.0	19.2
	たいこ挽材時の動的ヤング係数(E _d) (tf/cm ²)	77.8	48.3	97.9
	動的ヤング係数(E _d) (tf/cm ²)	70.0	38.4	86.2
	曲げヤング係数(MOE) (スパン168cm) (tf/cm ²)	58.8	37.5	74.2
	比例限曲げ応力度(PL) (kgf/cm ²)	195.6	138.0	244.4
	曲げ破壊係数(MOR-flat) (kgf/cm ²) (MOE) / (E _d)	375.8	295.4	471.1
	(PL) / (MOR)	0.85	0.67	0.99
	0.52	0.37	0.63	

表6の形を変え、含水率、試験体形状の変化による材質、強度性能の変化を表7、表8に示す。

表7 Cグループ丸太の乾燥による材質の変化

測定項目		生材時 (剥皮) (n=36)			気乾時 (剥皮) (n=36)		
		元口	中央	末口	元口	中央	末口
直径 (cm)	Ave.	29.0	24.1	22.4	28.5		22.0
	S. D.	3.45	1.51	1.44	3.37		1.38
年輪数	Ave.	31.3		25.4	31.3		25.4
	S. D.	2.59		2.17	2.59		2.17
平均年輪幅 (mm)	Ave.	4.6		4.4	4.5		4.3
	S. D.	0.42		0.43	0.41		0.43
比重	Ave.	(見かけの密度) 0.77			辺材	心材	
	S. D.	0.05			0.34	0.35	
含水率 (全体) (%)	Ave.	(Aグループ) 14.3			16.9		
	S. D.	24.6			0.68		
最大単独節径比 KD (%)	Ave.	0.0			0.0		
	S. D.	0			0		
最大集中節径比 SKD (%)	Ave.	0.0			0.0		
	S. D.	0			0		

表8 Cグループ丸太の形態変化に伴う強度性能の変化

測定項目	試験体の形態 (n=36)	生材時 丸太 (剥皮)	気乾時 丸太 (剥皮)	たいこ挽材 4m長 (n=36)		たいこ挽材 2m長 (n=36)		12cm正角材 2m長 (n=36)	
				flat-wise	edge-wise	元口側 (n=18)	末口側 (n=18)	元口側 (n=18)	末口側 (n=18)
動的ヤング係数 E _a (tf/cm ²)	Ave.	72.0	75.7	73.5	64.9	81.8	65.4	74.6	
	S. D.	9.49	9.24	8.74	9.28	11.2	13.6	6.14	
元・末Ave.					73.3		70.0		
曲げヤング係数 MOE (tf/cm ²)	Ave.		75.7	79.4	78.7	53.1	61.6	55.6	62.1
	S. D.		7.73	8.16	8.49	6.98	7.06	9.42	6.03
元・末Ave.					57.1		58.8		
比例限曲げ応力度 PL (kgf/cm ²)	Ave.			230.1	166.8		195.6		
	S. D.			45.40	28.68		22.87		
曲げ破壊係数 MOR (kgf/cm ²)	Ave.			418.0	360.4	368.8	373.4	378.2	
	S. D.			54.9	43.1	42.2	34.9	40.2	
元・末Ave.					364.6		375.8		
PL/MOR	Ave.			0.55	0.46		0.52		
	S. D.			0.059	0.074		0.058		
MOE/E _a	Ave.			1.07	0.79		0.85		
	S. D.			0.08	0.08		0.06		

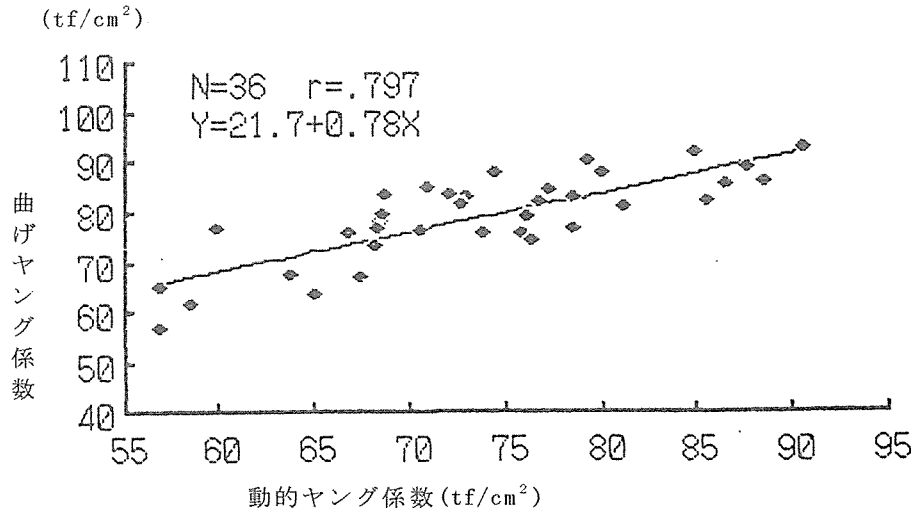


図13 動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係(4mたいこ挽材)

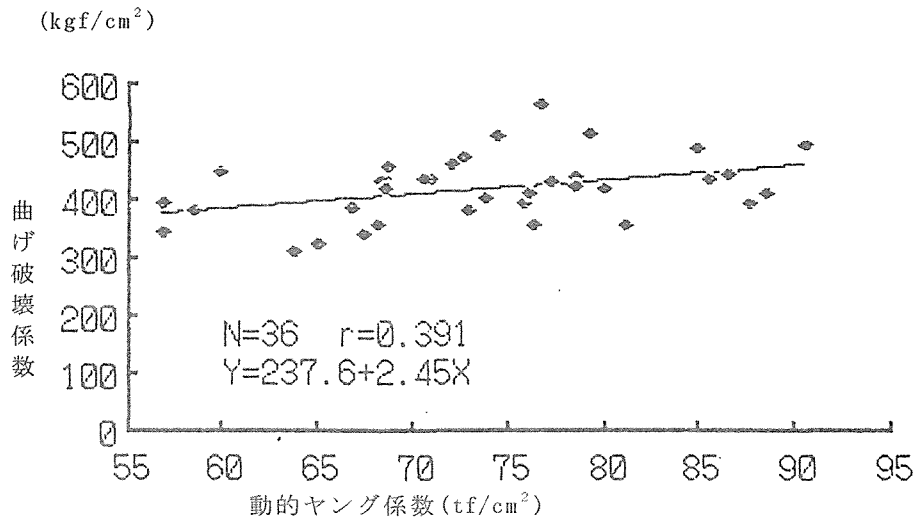


図14 動的ヤング係数と曲げ破壊係数の関係(4mたいこ挽材)

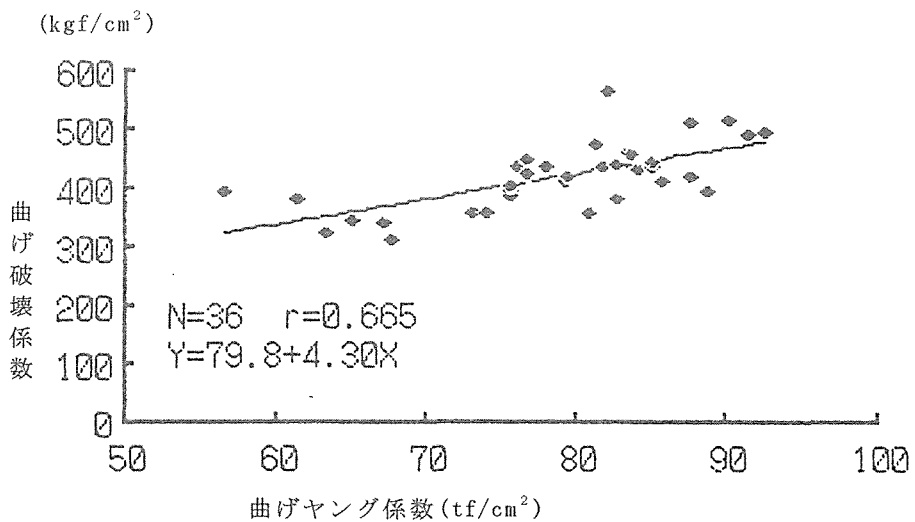


図15 曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係(4mたいこ挽材)

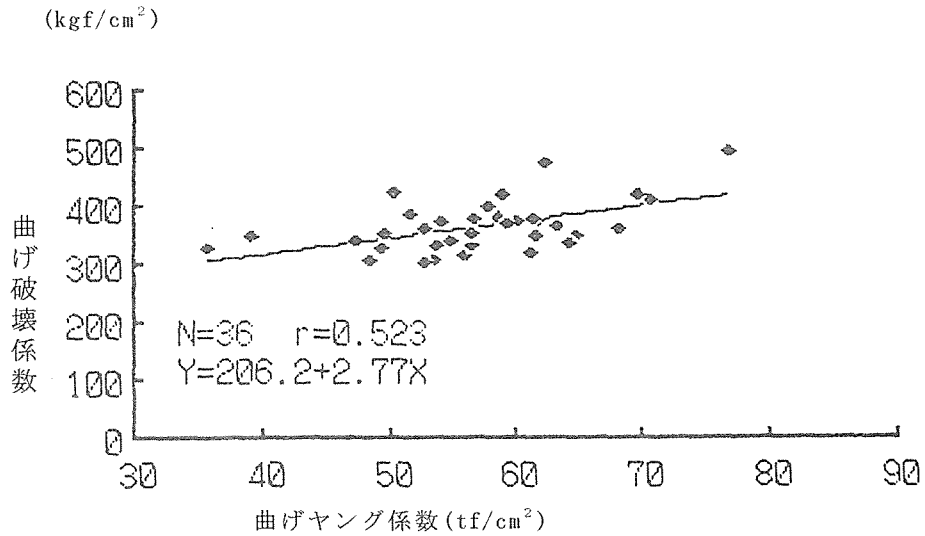


図16 曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係(2mたいこ挽材)

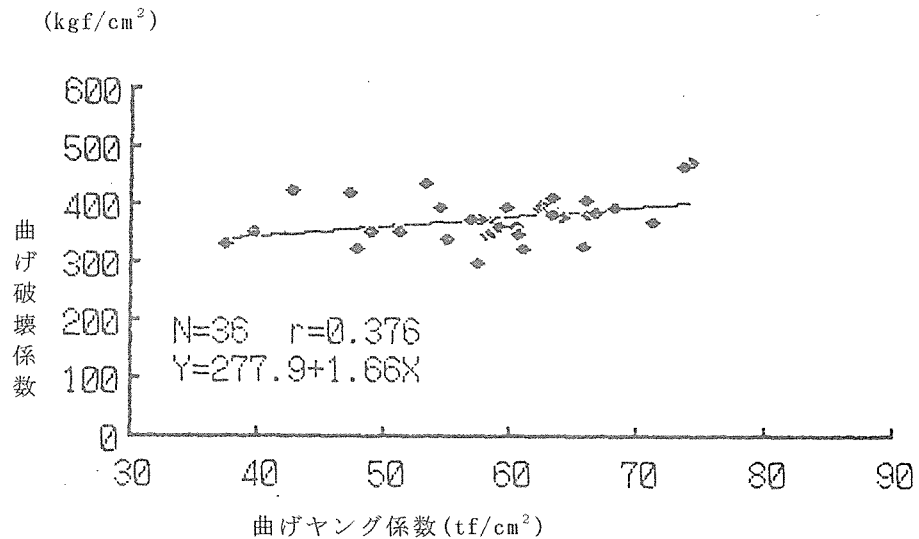


図17 曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係(2m正角材)

8. 三か年の試験結果について

表9は丸太グループAによる生材丸太での試験、丸太グループBによる気乾丸太での試験、丸太グループCによるたいこ挽材・製材での各試験結果を整理したものである。また、表10は表9のMOEとMORの平均値から強度比を求めたものである。

これらの3年間にわたる試験結果を概括的にまとめると次のとおりである。

- 1) 丸太の曲げ破壊試験と動的ヤング係数、曲げヤング係数の関係は強く、動的ヤング係数、曲げヤング係数により曲げ破壊係数を推定できると考えられる。
- 2) 生材丸太と気乾丸太の強度性能は、気乾丸太が生材丸太より曲げヤング係数の平均で約10%、曲げ破壊係数で約27%大きい値となった。
- 3) 丸太、たいこ挽材、製材の関係は、曲げヤング係数は丸太よりたいこ挽材が大きくなったが、曲げ破壊係数は概略 1.2 : 1.1 : 1.0 の比率となった(表10参照)。

表9 生材丸太、気乾丸太、たいこ挽材・正角材のMOE、MORの比較

丸太グループ 試験体の形態 (n=36)		A		B		C	
		生材丸太 (剥皮) 4m長	気乾丸太 (剥皮) 4m長	たいこ挽材 4m長 (気乾) flat- edge- wise wise		たいこ挽材 2m長 flat- wise(元口・末 口側 各18体)	12×12正角材 2m長 (元口・末口側 各18体)
測定項目	Ave.	73.1	76.5	73.5		73.3	70.0
	動的ヤング係数 E _a (tf/cm ²)	S.D.	10.97	9.95	8.74		13.33
曲げヤング係数 MOE (tf/cm ²)	Ave.	68.2	75.3	79.4	78.7	57.1	58.8
	S.D.	10.83	9.08	8.16	8.49	8.09	8.53
比例限曲げ応力度 PL (kgf/cm ²)	Ave.	194.7	275.8	230.1		166.8	195.6
	S.D.	34.73	35.76	45.40		28.68	22.87
曲げ破壊係数 MOR (kgf/cm ²)	Ave.	349.5	444.3	418.0		364.6	375.8
	S.D.	50.51	59.76	54.87		42.87	37.74

表10 平均値から算出したMOE、MORの丸太・たいこ挽材・正角材の比

試験体の形態	生材丸太	乾燥丸太	たいこ挽材		たいこ挽材	正角材
スパン	380cm	380cm	380cm		168cm	168cm
試験方向			edgewise	flatwise	flatwise 末・元平均	末・元平均
MOE	1.16	1.28	1.34	1.35	0.97	1.00
MOR	0.93	1.18	1.11	—	0.97	1.00

本章の試験担当者：

宮城県林業試験場 林産経営部 木材利用科 科長 鈴木 登
技師 伊藤彦紀
技師 小関孝美

本章は下記参考資料の内容を整理したものである。

参考資料

(財)日本住宅・木材技術センター：

- 建築用木材性能評価事業報告書 平成3年3月 p.10～17 (1991)
- 同：建築用木材性能評価事業報告書 平成4年3月 p.11～17 (1992)
- 同：建築用木材性能評価事業報告書 平成5年3月 p.20～44 (1993)

付表1 宮城県産スギ生材丸太の概要（丸太：Aグループ）

丸太No. (Aグループ) (n=36)	年輪数		平均年輪幅		直径			細り 度 (cm/ m)	気乾比重		含水率		
	元口	末口	元口 (mm)	末口 (mm)	元口 (cm)	中央 (cm)	末口 (cm)		辺材	心材	辺材 (%)	心材 (%)	全体 (%)
1	33	27	4.6	4.4	30.5	25.7	23.6	1.68	0.25	0.32	229.5	52.1	136.5
2	32	27	4.7	4.4	30.3	25.5	23.8	1.57	0.34	0.38	201.2	43.2	107.8
3*	28	23	4.7	5.0	26.3	24.7	23.2	0.75	0.30	0.30	281.0	116.9	178.4
4	33	27	4.3	4.2	28.4	24.4	22.6	1.42	0.28	0.32	261.6	102.9	154.6
5	30	25	4.4	4.6	26.6	24.8	22.8	0.95	0.29	0.34	227.6	66.0	132.6
6*	27	19	4.4	5.5	23.8	22.3	20.8	0.75	0.28	0.35	240.0	68.0	132.9
12*	28	23	4.8	5.0	26.7	25.0	23.0	0.92	0.31	0.31	219.8	66.9	139.7
18*	28	22	4.8	5.6	26.9	25.5	24.8	0.51	0.29	0.34	257.8	56.9	133.6
19*	29	23	4.6	5.0	26.6	24.7	23.1	0.85	0.29	0.32	289.1	73.4	142.0
25*	26	21	4.6	5.2	23.9	23.0	22.0	0.47	0.26	0.30	328.8	52.4	180.1
27*	29	24	4.5	4.7	26.0	24.2	22.4	0.89	0.31	0.36	195.0	53.9	109.5
29	33	28	5.0	4.3	32.8	26.0	24.2	2.14	0.31	0.36	226.8	54.4	123.2
30	34	28	4.1	3.8	27.7	22.6	21.0	1.64	0.32	0.38	288.3	45.9	166.6
32*	28	22	4.7	5.1	26.3	24.2	22.4	0.95	0.32	0.35	288.9	63.0	204.2
37*	26	20	4.6	5.2	23.7	22.2	20.9	0.69	0.27	0.32	317.7	44.2	154.9
38	32	26	4.5	3.9	28.5	21.6	20.3	2.01	0.32	0.36	291.9	58.4	135.1
43*	29	25	4.6	4.5	26.6	24.9	22.7	0.97	0.34	0.34	239.8	95.1	138.6
45*	28	24	4.7	4.8	26.4	24.8	22.9	0.86	0.33	0.33	242.3	69.4	130.1
48*	29	23	4.2	4.7	24.4	23.3	21.8	0.63	0.35	0.31	225.2	175.6	156.3
50*	27	21	4.4	5.0	23.9	22.6	21.2	0.68	0.36	0.34	117.4	47.6	95.6
51	33	26	4.5	4.3	29.6	24.2	22.4	1.76	0.26	0.30	283.0	129.0	174.4
53	32	27	4.1	3.9	26.3	22.6	21.0	1.29	0.36	0.35	139.7	53.7	122.1
56	33	26	4.6	4.6	30.4	26.0	23.9	1.61	0.26	0.36	211.8	53.6	119.9
58*	28	23	4.1	4.4	22.9	21.8	20.3	0.64	0.38	0.36	233.1	128.4	130.1
61	33	28	4.9	3.8	32.6	22.9	21.5	2.75	0.41	0.36	140.6	58.7	117.9
64	32	25	4.2	4.2	26.6	23.1	20.8	1.42	0.25	0.27	345.1	219.0	201.0
69	30	26	4.4	4.3	26.4	24.4	22.6	0.94	0.33	0.39	273.7	52.5	147.4
73	33	27	4.1	4.0	27.2	23.5	21.4	1.42	0.32	0.36	293.1	47.5	142.8
74	33	28	4.5	4.1	29.5	25.1	23.0	1.61	0.33	0.36	271.3	65.5	141.9
78	33	28	4.1	3.7	27.1	22.3	20.9	1.51	0.30	0.35	202.6	54.3	131.1
82	33	28	4.2	3.9	27.4	24.0	21.6	1.44	0.30	0.38	228.5	63.2	153.6
83	33	28	4.9	4.3	32.7	25.2	24.2	2.08	0.33	0.34	226.2	65.9	140.3
90	32	24	4.8	4.4	30.6	22.9	21.2	2.30	0.32	0.35	205.0	71.3	137.7
93	32	26	3.8	4.1	24.5	22.9	21.3	0.78	0.34	0.35	265.9	131.7	178.7
99*	29	23	4.0	4.4	23.3	21.7	20.4	0.72	0.42	0.37	155.4	40.1	109.9
110	33	27	4.1	3.8	26.8	21.7	20.6	1.53	0.37	0.36	228.2	62.0	144.9
Ave.	30.6	24.9	4.5	4.5	27.2	23.8	22.1	1.25	0.32	0.34	240.9	75.1	142.9
Min.	26	19	3.8	3.7	22.9	21.6	20.3	0.47	0.25	0.27	117.4	40.1	95.6
Max.	34	28	5.0	5.6	32.8	26.0	24.8	2.75	0.42	0.39	345.1	219.0	204.2
S.D.	2.44	2.53	0.29	0.50	2.63	1.31	1.23	0.56	0.04	0.03	51.5	38.7	24.6
C.V. (%)	8.0	10.1	6.6	11.2	9.6	5.5	5.5	44.3	12.8	7.7	21.4	51.5	17.2

*印：2番玉を示す。他は1番玉。 1番玉21本、2番玉15本

付表2 宮城県産スギ剥皮生材丸太の曲げ強度試験結果 (スパン360cm)

丸太No. (Aグループ) (n=36)	最大 節径比 KD (%)	最大集中 節径比 SKD (%)	動的 ヤング係数 E _d -G (tf/cm ²)	曲げ ヤング係数 MOE-G (tf/cm ²)	比例限 曲げ応力度 PL-G (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR-G (kgf/cm ²)
1	0	0	55.0	53.2	135.0	273.7
2	0	0	74.1	70.6	235.3	415.8
3 *	0	0	68.0	64.2	168.9	340.6
4	0	0	71.2	66.2	178.5	257.6
5	0	0	79.3	66.0	217.1	345.2
6 *	0	0	67.3	58.2	180.5	320.4
12 *	0	0	75.0	65.8	191.5	322.0
18 *	0	0	64.7	59.7	193.2	312.0
19 *	0	0	61.4	57.6	160.0	338.3
25 *	0	0	57.5	50.0	163.9	313.1
27 *	0	0	81.6	72.4	214.3	347.0
29	0	0	62.1	57.4	192.3	380.3
30	0	0	76.2	71.6	206.2	363.8
32 *	0	0	74.6	65.0	192.2	340.5
37 *	0	0	63.6	55.0	188.1	311.1
38	0	0	65.2	68.8	236.4	354.8
43 *	0	0	82.6	73.2	226.1	393.2
45 *	0	0	72.0	63.8	134.7	324.7
48 *	0	0	85.5	73.0	273.8	395.5
50 *	0	0	84.5	79.2	253.5	408.2
51	0	0	58.9	58.6	149.1	295.1
53	0	0	90.0	77.6	247.4	367.4
56	0	0	49.0	49.1	155.9	260.5
58 *	0	0	87.7	85.3	246.3	425.4
61	0	0	82.1	92.7	196.4	416.8
64	0	0	69.7	57.6	155.9	274.4
69	0	0	76.1	71.5	170.3	375.2
73	0	0	69.1	66.5	172.5	332.3
74	0	0	76.4	73.3	185.9	390.9
78	0	0	66.8	64.1	139.2	290.4
82	0	0	77.9	69.1	185.6	358.0
83	0	0	72.9	75.1	212.6	347.5
90	0	0	67.0	64.5	208.6	322.9
93	0	0	89.1	83.5	192.7	366.3
99 *	0	0	103.9	97.0	242.4	489.6
110	0	0	74.2	77.7	206.2	412.1
Ave.	0.0	0.0	73.1	68.2	194.7	349.5
Min.	0	0	49.0	49.1	134.7	257.6
Max.	0	0	103.9	97.0	273.8	489.6
S. D.	0.0	0.0	10.97	10.83	34.73	50.51
C. V. (%)			15.0	15.9	17.8	14.4

*印：2番玉を示す。他は1番玉。 1番玉21本、2番玉15本

付表3 宮城県産スギ気乾丸太の概要 (丸太：Bグループ)

丸太No. (Bグループ) (n=36)	年輪数		平均年輪幅		直径			細り度 (cm/m)	気乾比重		含水率		
	元口	末口	元口 (mm)	末口 (mm)	元口 (cm)	中央 (cm)	末口 (cm)		辺材	心材	辺材 (%)	心材 (%)	全体 (%)
7	33	27	4.3	4.2	28.6	24.7	22.4	1.5	0.34	0.34	13.6	18.1	16.2
11	31	25	4.2	4.7	25.9	24.9	23.4	0.6	0.30	0.35	11.0	19.3	16.6
13	33	27	4.8	4.1	31.8	24.0	22.2	2.4	0.35	0.34	16.6	19.1	16.5
15	32	26	4.4	4.2	28.3	24.0	21.9	1.6	0.31	0.33	13.6	19.0	16.9
16*	29	24	4.3	4.5	24.9	23.3	21.6	0.8	0.34	0.37	14.8	19.7	17.1
21	32	26	5.0	4.6	32.2	24.8	23.7	2.0	0.26	0.31	11.5	17.7	16.7
23	34	27	4.4	3.8	29.8	22.4	20.7	2.2	0.35	0.40	13.5	19.4	16.0
26	32	26	4.7	4.0	30.3	22.4	20.9	2.3	0.31	0.34	13.1	18.6	15.6
31*	29	21	4.1	4.9	23.6	22.4	20.8	0.7	0.30	0.39	14.8	14.8	16.5
39	32	26	4.0	4.3	25.5	23.7	22.3	0.8	0.33	0.29	14.6	18.7	15.6
41	33	25	4.1	4.1	26.8	22.3	20.6	1.5	0.32	0.36	13.7	19.0	15.0
42	33	26	4.2	4.1	27.8	22.5	21.5	1.5	0.32	0.37	13.3	17.0	15.3
46	33	27	4.7	4.1	30.7	24.0	22.4	2.1	0.30	0.32	13.8	18.5	17.1
52	32	28	3.9	3.7	24.8	22.3	20.9	1.0	0.32	0.41	15.6	21.2	17.6
59*	25	20	5.2	5.8	26.2	24.4	23.3	0.7	0.34	0.32	13.1	18.6	15.6
60*	28	24	4.2	4.3	23.5	22.0	20.5	0.7	0.37	0.36	13.6	17.4	15.5
63	32	25	4.1	4.2	26.3	22.4	21.1	1.3	0.36	0.37	12.3	17.6	14.6
65*	27	22	4.3	4.7	23.4	21.9	20.7	0.7	0.33	0.33	12.9	18.1	16.9
66	31	25	3.9	4.0	24.0	21.4	20.2	0.9	0.36	0.35	14.6	17.0	15.1
68	32	26	4.4	4.3	28.4	24.1	22.5	1.5	0.33	0.36	14.7	17.0	16.0
71	32	26	4.8	4.2	30.8	24.3	21.8	2.2	0.27	0.31	15.9	26.6	20.5
75	33	29	4.4	3.7	29.3	23.7	21.7	1.9	0.30	0.38	13.1	17.6	15.2
79	32	27	5.2	4.1	33.4	23.7	22.1	2.8	0.35	0.38	12.8	19.6	16.4
81	33	28	4.1	3.8	26.8	22.7	21.1	1.4	0.30	0.32	15.5	21.2	18.8
84	33	28	5.0	4.1	33.2	24.4	22.9	2.5	0.31	0.35	12.4	18.8	15.4
85*	28	25	4.6	4.5	25.8	24.1	22.5	0.8	0.33	0.33	14.0	18.8	16.9
89	32	25	4.5	4.7	28.7	24.5	23.5	1.3	0.29	0.35	14.9	19.0	17.1
94	33	27	4.8	4.3	31.6	25.5	23.3	2.9	0.33	0.32	14.9	18.9	17.6
95	33	27	3.9	4.4	25.5	25.5	23.5	0.5	0.34	0.38	14.3	21.5	18.0
98*	28	22	4.1	4.7	23.0	21.8	20.7	0.6	0.32	0.35	15.7	16.4	14.4
100*	28	23	4.9	5.3	27.3	26.1	24.5	0.7	0.32	0.31	13.4	20.0	18.0
101	33	26	4.6	4.3	30.6	23.9	22.4	2.0	0.31	0.35	17.7	20.2	18.0
103	33	26	4.1	3.9	27.1	21.9	20.5	1.6	0.34	0.40	14.5	16.6	16.2
105	33	28	4.9	3.9	32.5	23.3	21.6	2.7	0.30	0.37	14.8	20.7	17.6
106	32	25	5.0	4.4	31.8	23.6	22.0	2.4	0.28	0.31	13.6	16.8	15.2
107	33	26	4.8	4.3	31.7	23.9	22.5	2.3	0.36	0.35	14.3	23.3	18.9
Ave.	31.4	25.6	4.5	4.3	28.1	23.5	21.9	1.5	0.32	0.35	14.1	18.9	16.6
Min.	25	20	3.9	3.7	23.0	21.4	20.2	0.5	0.26	0.29	11.0	14.8	14.4
Max.	34	29	5.2	5.8	33.4	26.1	24.5	2.8	0.37	0.41	17.7	26.6	20.5
S.D.	2.14	1.99	0.39	0.42	3.06	1.17	1.09	0.69	0.03	0.03	1.34	2.08	1.32
C.V.(%)	6.8	7.8	8.8	9.8	10.9	5.0	5.0	45.8	8.1	8.3	9.6	11.0	7.9

*印：2番玉を示す。他は1番玉。 1番玉28本、2番玉8本

付表4 宮城県産スギ気乾丸太の曲げ強度試験結果(スパン360cm)

丸太No. (Bグループ 7°) (n=36)	最大 節径比 KD (%)	最大集中 節径比 SKD (%)	動的 ヤング係数 E _a (tf/cm ²)	曲げ ヤング係数 MOE-D (tf/cm ²)	比例限 曲げ応力度 PL-D (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR-D (kgf/cm ²)
7	0	0	67.2	66.0	254.3	439.5
11	0	0	76.5	77.4	307.2	468.3
13	0	0	77.1	78.7	267.1	400.2
15	0	0	63.3	64.6	254.7	432.9
16 *	0	0	90.7	84.8	326.4	484.9
21	0	0	56.9	53.0	201.8	353.4
23	0	0	74.1	75.6	300.8	483.9
26	0	0	68.0	78.4	292.3	413.6
31 *	0	0	79.1	67.7	264.0	410.0
39	0	0	82.9	79.4	302.7	420.1
41	0	0	79.6	80.7	281.2	476.7
42	0	0	81.4	78.3	315.5	423.0
46	0	0	67.6	68.7	246.7	394.1
52	0	0	86.8	83.9	317.3	486.9
59 *	0	0	75.1	74.3	255.6	395.1
60 *	0	0	90.9	86.6	305.4	456.2
63	0	0	93.3	89.7	322.3	532.6
65 *	0	0	78.7	71.9	267.2	395.4
66	0	0	90.5	82.1	319.6	504.1
68	0	0	80.1	78.6	303.8	482.0
71	0	0	70.7	68.3	232.1	308.7
75	0	0	83.2	81.2	287.3	486.2
79	0	0	70.7	89.2	331.8	564.5
81	0	0	63.3	66.5	235.2	424.7
84	0	0	71.2	76.6	311.4	452.1
85 *	0	0	89.7	85.3	316.2	520.7
89	0	0	68.0	67.6	260.0	436.3
94	0	0	64.9	61.7	218.2	279.0
95	0	0	92.1	78.4	280.4	478.3
98 *	0	0	79.8	73.4	224.6	446.0
100 *	0	0	71.4	68.2	240.6	408.7
101	0	0	67.2	64.3	232.7	422.1
103	0	0	85.5	87.3	306.8	532.2
105	0	0	72.3	74.5	258.3	433.3
106	0	0	57.0	58.8	216.1	414.5
107	0	0	87.7	90.2	270.6	534.9
Ave.	0.0	0.0	76.5	75.3	275.8	444.3
Min.	0	0	56.9	53.0	201.8	279.0
Max.	0	0	93.3	90.2	331.8	564.5
S. D.	0.0	0.0	9.95	9.08	35.76	59.76
C. V. (%)			13.0	12.1	13.0	13.4

*印：2番玉を示す。他は1番玉。

1番玉21本、2番玉15本

付表5 宮城県産スギ丸太の曲げ剛性に及ぼす含水率の影響

丸太No. (B ^グ ル - ^フ) (n=36)	生 材 時					気 乾 時					比(乾/生)	
	平均 含水 率 MC-G (%)	中央 部 直径 Dc-G (cm)	断面二 次モー メント I-G (10 ³ cm ⁴)	動的曲 げヤング 係数 E _a -G (tf/ cm ²)	曲げ 剛性 EI-G (10 ³ tf ・cm ²)	平均 含水 率 MC-D (%)	中央 部 直径 Dc-D (cm)	断面二 次モー メント I-D (10 ³ cm ⁴)	動的曲 げヤング 係数 E _a -D (tf/ cm ²)	曲げ 剛性 EI-D (10 ³ tf ・cm ²)	中央 部 直径 Dc-D Dc-G	曲げ 剛性 EI-D EI-G
7	152	24.8	18.66	65.1	1213.6	16.2	24.5	17.72	67.2	1191.4	0.99	0.98
11	164	25.3	20.23	73.4	1485.4	16.6	24.7	18.18	76.5	1390.4	0.97	0.94
13	172	24.4	17.35	72.7	1262.2	16.5	23.9	15.94	77.1	1229.9	0.98	0.97
15	166	24.5	17.72	58.6	1038.9	16.9	23.8	15.86	63.3	1004.0	0.97	0.97
16 *	165	23.6	15.28	86.3	1318.1	17.1	23.2	14.23	90.7	1290.9	0.98	0.98
21	206	25.1	19.53	53.1	1036.4	16.7	24.7	18.28	56.9	1039.9	0.98	1.00
23	187	22.7	12.95	69.8	904.4	16.0	22.2	11.83	74.1	875.9	0.98	0.97
26	195	22.7	12.95	66.3	858.6	15.6	21.9	11.36	68.0	772.0	0.97	0.90
31 *	161	22.4	12.31	73.0	898.7	16.5	22.3	12.24	79.1	967.9	1.00	1.08
39	172	24.1	16.55	78.4	1298.0	15.6	23.6	15.11	82.9	1253.0	0.98	0.97
41	196	22.6	12.88	75.2	968.0	15.0	22.1	11.76	79.6	935.8	0.98	0.97
42	178	22.8	13.17	77.0	1014.3	15.3	22.4	12.31	81.4	1002.2	0.98	0.99
46	226	24.4	17.26	63.1	1089.2	17.1	23.8	15.69	67.6	1060.2	0.98	0.97
52	148	22.6	12.88	80.0	1030.9	17.6	22.2	11.89	86.8	1032.4	0.98	1.00
59 *	173	24.8	18.66	69.1	1289.6	15.6	24.3	16.99	75.1	1275.5	0.98	0.99
60 *	175	22.3	12.10	85.2	1030.4	15.5	21.9	11.36	90.9	1032.0	0.98	1.00
63	149	22.7	13.10	89.2	1167.9	14.6	22.3	12.03	93.3	1122.6	0.98	0.96
65 *	155	22.4	12.31	74.8	921.2	16.9	21.9	11.36	78.7	894.2	0.98	0.97
66	166	22.0	11.42	87.3	997.4	15.1	21.3	10.10	90.5	913.9	0.97	0.92
68	172	24.5	17.72	76.7	1359.7	16.0	24.0	16.20	80.1	1298.1	0.98	0.95
71	206	24.3	17.08	67.6	1155.2	20.5	23.9	16.03	70.7	1133.0	0.98	0.98
75	183	24.2	16.72	76.4	1278.1	15.2	23.3	14.47	83.2	1204.1	0.96	0.94
79	156	24.2	16.72	65.5	1095.4	16.4	23.5	14.87	70.7	1051.2	0.97	0.96
81	205	23.3	14.39	60.6	871.9	18.8	22.5	12.59	63.3	796.6	0.97	0.91
84	162	24.8	18.66	67.3	1255.0	15.4	23.9	15.94	71.2	1134.8	0.96	0.90
85 *	175	24.5	17.62	83.2	1465.9	16.9	23.9	16.12	89.7	1445.3	0.98	0.99
89	175	25.5	20.64	63.4	1308.5	17.1	24.7	18.37	68.0	1249.9	0.97	0.96
94	167	25.9	22.24	60.6	1347.5	17.6	25.7	21.27	64.9	1379.3	0.99	1.02
95	145	25.8	21.69	82.4	1788.4	18.0	25.4	20.34	92.1	1872.7	0.98	1.05
98 *	236	21.9	11.36	75.6	859.0	14.4	21.6	10.65	79.8	850.3	0.98	0.99
100 *	169	26.1	22.79	70.1	1596.3	18.0	25.7	21.27	71.4	1518.9	0.98	0.95
101	208	24.3	16.99	62.4	1060.0	18.0	23.8	15.69	67.2	1054.5	0.98	0.99
103	155	22.3	12.10	80.1	969.0	16.2	21.7	10.90	85.5	932.3	0.97	0.96
105	191	23.7	15.52	68.4	1061.1	17.6	23.1	13.92	72.3	1006.0	0.97	0.95
106	215	23.8	15.78	54.1	853.3	15.2	23.4	14.71	57.0	838.1	0.98	0.98
107	167	24.4	17.44	83.4	1454.1	18.9	23.7	15.44	87.7	1354.1	0.97	0.93
Ave.	178	23.9	16.19	72.1	1155.6	16.6	23.3	14.81	76.5	1122.3	0.98	0.97
Min.	145	21.9	11.36	53.1	853.3	14.4	21.3	10.10	56.9	772.0	0.96	0.90
Max.	236	26.1	22.79	89.2	1788.4	20.5	25.7	21.27	93.3	1872.7	1.00	1.08
S. D.	22.2	1.18	3.18	9.28	225.3	1.32	1.17	2.97	9.95	227.8	0.01	0.04
C. V. (%)	12.5	5.0	19.7	12.9	19.5	7.9	5.0	20.1	13.0	20.3	0.75	3.7

付表6 スギたいこ挽材用気乾丸太の概要 (丸太：Cグループ)

丸太No. (Cグループ) (n=36)	年輪数		平均年輪幅		直 径		細り度 taper (cm/m)	動的ヤング係数 剥皮生材丸太 剥皮乾燥丸太		剥皮乾燥丸太曲げ ヤング係数 MOE-D (tf/cm ²)
	元口	末口	元口 (mm)	末口 (mm)	元口 (cm)	末口 (cm)		E _a -G (tf/cm ²)	E _a -D (tf/cm ²)	
8	32	26	4.7	4.5	30.0	23.4	1.6	52.3	58.2	58.5
10	32	27	4.9	4.0	31.3	21.4	2.4	61.6	67.0	70.4
14 *	26	22	4.8	4.9	25.0	21.4	0.9	80.9	86.0	80.2
17	32	26	4.9	4.2	31.2	21.9	2.3	74.2	75.8	77.5
22	34	28	5.7	4.6	38.9	25.8	3.2	66.7	69.6	72.7
24	33	26	4.6	3.9	30.2	20.1	2.5	55.7	59.0	65.5
28 *	27	23	4.7	4.8	25.2	22.1	0.8	81.6	83.0	84.3
33 *	29	23	4.6	4.9	26.7	22.8	1.0	71.1	75.4	68.1
34 *	28	24	4.6	4.5	25.7	21.8	0.9	89.0	91.7	85.8
35	32	26	5.0	4.5	32.1	23.6	2.1	73.4	77.9	76.2
36	33	24	4.5	4.4	29.7	21.3	2.1	60.6	64.4	69.1
40	33	28	5.0	4.3	32.8	24.0	2.1	76.8	78.8	82.4
44	33	28	4.4	4.0	28.9	22.3	1.6	78.7	81.5	74.7
47	33	28	4.9	4.2	32.5	23.5	2.2	70.1	73.6	78.5
49	33	27	4.2	3.9	27.9	21.3	1.6	71.8	74.0	73.5
54 *	28	23	4.8	5.2	27.1	24.1	0.7	69.0	71.3	66.9
55	33	26	4.5	4.0	29.8	20.7	2.2	63.7	66.8	69.1
57	33	25	3.8	4.1	24.9	20.7	1.0	63.2	67.4	64.3
62	32	27	4.5	3.8	28.6	20.5	2.0	68.4	75.6	82.3
67 *	27	22	4.7	5.2	25.4	22.9	0.6	76.2	81.4	76.8
70	32	26	5.1	4.7	32.8	24.4	2.0	65.9	67.7	69.1
72 *	28	24	4.3	4.4	24.3	21.2	0.7	83.8	89.1	85.6
76	33	25	5.0	4.6	32.8	22.8	2.4	67.7	73.3	75.3
77	33	27	4.5	4.0	29.8	21.5	2.0	63.2	69.4	67.6
80	33	26	4.3	4.0	28.3	20.6	1.9	73.7	77.5	78.5
86	33	27	3.7	3.8	24.4	20.5	1.0	75.7	78.4	76.2
87	33	26	4.6	4.1	30.5	21.4	2.2	54.9	58.9	61.9
88	33	26	3.8	3.9	24.9	20.1	1.2	77.4	77.5	80.6
91	34	28	4.4	4.1	30.2	22.9	1.8	80.1	85.1	89.9
92	34	28	4.4	4.2	30.1	23.3	1.7	67.0	71.7	74.6
96 *	27	21	4.5	4.9	24.4	20.7	0.9	75.6	79.1	74.1
97 *	27	23	4.7	4.7	25.5	21.7	0.9	83.2	85.9	83.6
102	33	24	3.7	4.2	24.2	20.3	1.0	87.4	89.6	90.9
104	33	27	4.0	3.8	26.5	20.3	1.5	84.6	90.9	84.6
108	33	28	4.4	4.0	29.3	22.3	1.8	60.9	62.9	73.2
109 *	26	20	4.5	5.2	23.4	20.8	0.6	87.2	89.4	82.1
Ave.	31.3	25.4	4.5	4.3	28.5	22.0	1.6	72.0	75.7	75.7
Min.	26	20	3.7	3.8	23.4	20.1	0.6	52.3	58.2	58.5
Max.	34	28	5.7	5.2	38.9	25.8	3.2	89.0	91.7	90.9
S.D.	2.59	2.17	0.41	0.43	3.37	1.38	0.65	9.49	9.24	7.73
C.V. (%)	8.3	8.5	9.1	9.8	11.8	6.3	40.8	13.2	12.2	10.2

*印：2番玉を示す。他は1番玉。 1番玉26本、2番玉10本

最大単独節径比、最大集中節径比はすべて0%。気乾比重は付表7に記載。

付表7 スギたいこ挽材(4m)の材質

試験体No. (Cグループ丸太No.と同じ) (n=36)	生材時丸太での動的ヤング係数 E _d -G (tf/cm ³)	末口年輪数	平均年輪幅		材背 (cm)	見かけの密度 (g/cm ³)	気乾比重		曲げ試験時の含水率 (全体) (%)
			元口 (mm)	末口 (mm)			辺材	心材	
8	52.3	26	4.7	4.7	25.3	0.34	0.31	0.34	17.0
10	61.6	27	4.5	4.8	23.4	0.32	0.31	0.31	15.6
14 *	80.9	22	5.1	4.2	22.5	0.37	0.34	0.39	17.1
17	74.2	26	4.6	4.6	22.7	0.37	0.35	0.35	17.4
22	66.7	28	4.5	4.4	28.8	0.32	0.31	0.34	18.1
24	55.7	26	4.5	4.9	21.6	0.32	0.31	0.32	16.8
28 *	81.6	23	4.8	4.5	23.5	0.34	0.32	0.31	17.4
33 *	71.1	23	4.7	4.5	24.2	0.35	0.32	0.32	16.4
34 *	89.0	24	5.4	4.5	23.5	0.35	0.35	0.35	16.1
35	73.4	26	4.9	4.3	24.5	0.37	0.35	0.39	15.4
36	60.6	24	5.2	5.5	21.6	0.33	0.29	0.34	16.6
40	76.8	28	5.7	4.7	24.2	0.38	0.39	0.35	17.3
44	78.7	28	4.7	5.0	23.8	0.41	0.38	0.42	17.7
47	70.1	28	4.5	4.4	24.2	0.37	0.33	0.38	16.5
49	71.8	27	4.9	4.6	21.8	0.36	0.33	0.37	16.2
54 *	69.0	23	5.6	5.1	23.4	0.34	0.30	0.35	17.3
55	63.7	26	4.7	4.5	21.9	0.36	0.32	0.38	17.2
57	63.2	25	4.7	3.5	21.5	0.33	0.30	0.32	17.1
62	68.4	27	5.0	5.3	21.8	0.39	0.36	0.41	16.9
67 *	76.2	22	5.0	4.8	24.1	0.34	0.33	0.33	17.7
70	65.9	26	5.0	4.8	26.0	0.33	0.31	0.33	17.2
72 *	83.8	24	5.1	5.0	22.4	0.36	0.35	0.34	16.8
76	67.7	25	4.7	4.5	23.7	0.36	0.35	0.38	16.0
77	63.2	27	4.9	4.7	21.9	0.35	0.29	0.35	16.5
80	73.7	26	5.3	5.1	21.7	0.32	0.31	0.33	17.6
86	75.7	27	4.4	4.4	21.0	0.35	0.37	0.32	17.3
87	54.9	26	4.9	4.9	23.6	0.36	0.32	0.37	15.3
88	77.4	26	5.1	4.3	22.0	0.36	0.36	0.31	16.8
91	80.1	28	4.6	4.7	24.1	0.43	0.41	0.42	17.0
92	67.0	28	4.9	5.2	24.4	0.37	0.38	0.36	17.5
96 *	75.6	21	4.9	5.0	22.2	0.34	0.31	0.35	17.3
97 *	83.2	23	5.3	5.0	23.0	0.33	0.32	0.30	16.5
102	87.4	24	5.3	5.0	21.3	0.41	0.41	0.37	17.9
104	84.6	27	4.4	4.3	21.7	0.37	0.36	0.37	17.3
108	60.9	28	4.4	4.3	22.9	0.36	0.33	0.34	15.7
109 *	87.2	20	5.2	4.4	21.4	0.38	0.36	0.38	16.6
Ave.	72.0	25.4	4.9	4.7	23.1	0.36	0.34	0.35	16.9
Min.	52.3	20	4.4	3.5	21.0	0.32	0.29	0.30	15.3
Min.	89.0	28	4.4	3.5	28.8	0.43	0.41	0.42	18.1
S.D.	9.4	2.17	5.7	5.5	1.56	0.03	0.03	0.03	0.68
C.V. (%)	13.2	8.5	6.6	8.0	6.8	7.3	9.2	8.6	4.1

*印：2番玉を示す。他は1番玉。 1番玉26本、2番玉10本

付表8 スギたいこ挽材(4m)の曲げ強度試験結果(曲げスパン380cm)

試験体 No. (丸太No. と同じ)	最大単独 節径比 KD-edge (%)	動的 ヤング係数 E _d (tf/cm ²)	曲げヤング係数		比例限 曲げ応力度 PL-edge (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR-edge (kgf/cm ²)	比	
			MOE-flat (tf/cm ²)	MOE-edge (tf/cm ²)			PL MOR	MOE-edge E _d
8	2.0	58.4	63.7	61.4	190.9	382.1	0.50	1.05
10	7.3	63.8	76.6	67.6	194.2	310.8	0.62	1.06
14*	2.9	85.4	85.5	81.8	206.0	434.2	0.47	0.96
17	6.0	72.1	79.7	83.5	253.5	458.1	0.55	1.16
22	4.3	65.0	70.3	63.3	163.2	319.9	0.51	0.97
24	7.0	56.8	62.8	65.0	169.8	344.6	0.49	1.14
28*	8.1	81.0	78.1	80.7	222.3	353.9	0.63	1.00
33*	5.2	75.8	78.1	75.5	196.2	391.5	0.50	1.00
34*	8.4	87.6	88.2	88.7	237.6	393.5	0.60	1.01
35	5.7	78.5	82.9	82.7	263.0	436.3	0.60	1.05
36	1.8	66.7	75.4	75.6	209.4	385.1	0.54	1.13
40	7.2	77.1	81.3	84.1	223.2	430.5	0.52	1.09
44	4.3	79.2	93.5	90.2	288.5	513.1	0.56	1.14
47	10.9	70.9	79.6	85.0	269.9	433.5	0.62	1.20
49	6.5	76.0	81.1	79.1	211.7	407.8	0.52	1.04
54*	6.8	68.4	76.3	77.9	219.0	433.4	0.50	1.14
55	0.0	68.2	76.0	76.4	231.7	429.8	0.54	1.12
57	6.5	68.1	71.4	73.0	172.3	355.2	0.48	1.07
62	6.3	74.4	85.7	87.6	306.0	507.4	0.60	1.18
67*	0.0	76.3	79.7	74.0	207.6	356.3	0.58	0.97
70	5.3	67.4	74.6	67.1	190.1	336.9	0.56	1.00
72*	5.7	86.4	86.8	85.1	238.7	443.8	0.54	0.98
76	5.0	68.6	79.3	83.6	215.7	456.3	0.47	1.22
77	3.2	70.5	77.6	75.9	266.1	433.6	0.61	1.08
80	3.3	72.9	86.0	82.7	220.4	380.2	0.58	1.13
86	7.5	72.6	78.4	81.3	236.4	472.7	0.50	1.12
87	8.2	56.8	62.2	56.6	169.9	394.2	0.43	1.00
88	7.3	73.8	75.2	75.5	216.5	401.3	0.54	1.02
91	5.3	76.7	91.4	82.0	395.1	562.9	0.70	1.07
92	5.0	68.5	76.9	79.3	232.0	419.2	0.55	1.16
96*	7.1	78.5	77.9	76.7	212.5	422.5	0.50	0.98
97*	4.8	79.9	80.9	87.6	189.5	415.8	0.46	1.10
102	7.6	84.8	91.7	91.5	271.3	487.4	0.56	1.08
104	7.1	88.5	90.2	85.8	257.9	407.1	0.63	0.97
108	8.0	59.8	67.1	76.6	232.6	444.9	0.52	1.28
109*	4.0	90.5	96.5	92.6	303.7	490.9	0.62	1.02
Ave.	5.6	73.5	79.4	78.7	230.1	418.0	0.55	1.07
Min.	0.0	56.8	62.2	56.6	163.2	310.8	0.43	0.96
Max.	10.9	90.5	96.5	92.6	395.1	562.9	0.70	1.28
S. D.	2.34	8.74	8.16	8.49	45.40	54.87	0.059	0.08
C. V. (%)	41.7	11.9	10.3	10.8	19.7	13.1	10.7	7.4

*印：2番玉を示す。他は1番玉。

1番玉26本、2番玉10本

付表9 スギたいこ挽材(2m)の曲げ強度試験結果(曲げスパン168cm)

試験体 No. (丸太No. と同じ)	4mたい こ材か らの採 材位置	最大単独 節径比 KD-flat (%)	材背 (cm)	動的ヤング 係数 E_s (2m材) (tf/cm ²)	曲げ ヤング係数 MOE-flat (tf/cm ²)	比例限曲 げ応力度 PL-flat (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR-flat (kgf/cm ²)	比	
								PL MOR	MOE-flat E_s
8	元口側	2.0	27.1	49.2	35.8	128.6	327.5	0.39	0.73
10	末口側	5.4	22.4	74.6	53.6	158.3	331.0	0.48	0.72
14 *	末口側	0.0	21.9	91.2	58.5	181.0	379.8	0.48	0.64
17	元口側	9.2	23.8	68.6	58.8	163.7	418.9	0.39	0.86
22	元口側	4.3	29.0	52.6	47.2	130.1	340.2	0.38	0.90
24	末口側	7.0	20.9	68.4	54.7	170.3	338.3	0.50	0.80
28 *	元口側	8.1	24.7	81.0	53.4	152.1	304.7	0.50	0.66
33 *	末口側	5.2	23.5	74.3	61.6	205.5	373.7	0.55	0.83
34 *	元口側	6.8	24.7	83.2	64.7	179.0	348.6	0.51	0.78
35	元口側	5.7	26.2	75.9	56.7	145.8	374.0	0.39	0.75
36	末口側	1.8	21.4	74.0	61.4	124.2	375.3	0.33	0.83
40	末口側	7.2	24.9	79.9	64.2	182.5	335.0	0.54	0.80
44	元口側	0.0	25.3	67.6	62.4	205.6	470.7	0.44	0.92
47	元口側	10.9	26.3	62.0	57.9	169.1	392.9	0.43	0.93
49	末口側	6.0	21.8	89.4	60.0	184.0	373.0	0.49	0.67
54 *	元口側	6.8	25.1	64.3	54.1	157.1	371.5	0.42	0.84
55	末口側	0.0	20.9	54.0	48.3	126.6	304.5	0.42	0.89
57	元口側	6.5	22.2	61.0	55.9	174.7	314.3	0.56	0.92
62	元口側	6.3	23.9	62.3	50.2	169.8	420.5	0.40	0.81
67 *	末口側	0.0	23.9	77.3	61.6	249.8	346.3	0.72	0.80
70	元口側	5.3	27.2	61.3	49.2	105.7	327.5	0.32	0.80
72 *	末口側	5.7	21.9	90.3	63.2	201.5	363.0	0.56	0.70
76	末口側	3.0	23.6	87.4	70.6	183.1	411.0	0.45	0.81
77	元口側	3.2	23.2	63.2	52.7	166.0	360.7	0.46	0.83
80	元口側	2.2	22.8	71.3	52.7	162.2	302.3	0.54	0.74
86	元口側	7.5	22.2	67.1	56.5	160.7	331.9	0.48	0.84
87	元口側	8.2	24.1	46.9	39.1	134.9	347.3	0.39	0.83
88	元口側	7.3	22.1	65.4	56.5	152.2	351.9	0.43	0.86
91	末口側	5.3	23.9	101.3	76.8	202.3	493.3	0.41	0.76
92	元口側	0.0	22.8	65.1	51.5	161.8	382.9	0.42	0.79
96 *	末口側	7.1	21.5	83.0	59.4	177.5	367.8	0.48	0.71
97 *	末口側	0.0	22.9	83.0	61.3	122.9	316.0	0.39	0.74
102	末口側	7.6	20.6	90.2	69.7	208.9	418.6	0.50	0.77
104	末口側	7.1	20.9	93.0	68.2	172.4	360.7	0.48	0.73
108	末口側	8.0	23.0	68.0	49.4	163.6	352.6	0.46	0.73
109 *	末口側	0.0	21.7	92.5	57.8	171.2	398.0	0.43	0.63
Ave.		4.9	23.5	73.3	57.1	166.8	364.6	0.46	0.79
Min.		0.0	20.6	46.9	35.8	105.7	302.3	0.32	0.63
Max.		10.9	29.0	101.3	76.8	249.8	493.3	0.72	0.93
S. D.		3.07	2.02	13.33	8.09	28.68	42.87	0.074	0.08
C. V. (%)		62.5	8.6	18.2	14.2	17.2	11.8	16.2	9.9

*印：2番玉を示す。他は1番玉。 1番玉26本、2番玉10本

付表10 スギ正角材の曲げ強度試験結果 (曲げスパン168cm)

試験体 No. (丸太No. と同じ)	4mたい こ材か らの採 材位置	最大単独 節径比 KD-flat (%)	材背 (cm)	動的ヤング 係数 E_d (tf/cm^2)		曲げ ヤング係数 MOE (tf/cm^2)	比例限曲 げ応力度 PL (kgf/cm^2)	曲げ 破壊係数 MOR (kgf/cm^2)	比	
				たいこ	正角				PL MOR	MOE E_d -正
8	末口側	8.3	12.2	71.5	65.6	54.4	178.1	391.7	0.46	0.83
10	元口側	10.0	12.2	55.8	54.8	47.9	158.8	321.0	0.50	0.87
14 *	元口側	10.8	12.1	85.9	82.7	62.4	224.7	392.0	0.57	0.75
17	末口側	10.8	12.1	82.1	70.8	62.6	177.3	397.8	0.45	0.88
22	末口側	5.0	12.2	88.8	69.0	58.2	197.1	345.4	0.57	0.84
24	元口側	7.5	12.2	48.3	41.2	39.6	182.5	349.2	0.52	0.96
28 *	末口側	12.5	12.2	90.9	76.3	55.0	188.8	339.9	0.56	0.72
33 *	元口側	13.3	12.2	77.1	71.4	59.7	205.5	390.7	0.53	0.84
34 *	末口側	15.0	12.2	89.6	81.4	65.8	201.8	326.4	0.62	0.81
35	末口側	9.2	12.2	87.6	80.3	66.1	238.3	380.9	0.63	0.82
36	元口側	0.0	12.2	66.2	68.8	58.9	220.5	369.4	0.60	0.86
40	元口側	12.5	12.1	75.2	61.7	51.1	188.0	350.7	0.54	0.83
44	末口側	12.2	12.0	97.9	86.1	74.2	244.4	471.1	0.52	0.86
47	末口側	19.2	12.2	81.4	70.1	65.9	204.3	406.9	0.50	0.94
49	元口側	12.5	12.2	68.5	63.3	57.7	216.7	371.3	0.58	0.91
54 *	末口側	10.8	12.1	76.7	69.9	63.1	181.4	394.2	0.46	0.90
55	元口側	10.0	12.1	58.5	54.0	53.2	189.7	433.5	0.44	0.99
57	末口側	8.3	12.2	77.7	70.3	58.5	188.7	353.0	0.54	0.83
62	末口側	10.8	12.2	97.7	86.2	73.6	236.0	464.2	0.51	0.85
67 *	元口側	12.5	12.1	84.3	74.7	60.5	188.8	360.1	0.52	0.81
70	末口側	11.7	12.1	78.8	72.2	59.0	208.2	360.4	0.58	0.82
72 *	元口側	11.7	12.1	88.8	81.8	68.1	215.6	391.2	0.55	0.83
76	元口側	10.8	12.1	56.7	52.3	47.1	170.6	415.8	0.41	0.90
77	末口側	10.0	12.1	84.0	75.6	63.0	209.5	400.8	0.52	0.83
80	末口側	4.2	12.1	84.9	83.6	64.0	214.9	375.2	0.57	0.77
86	末口側	5.8	12.1	79.4	74.7	63.2	195.6	379.2	0.52	0.85
87	末口側	11.7	12.2	80.6	72.7	48.9	198.3	350.5	0.57	0.67
88	末口側	11.7	12.1	72.5	68.7	61.0	191.0	323.1	0.59	0.89
91	元口側	12.5	12.1	64.0	52.2	42.7	153.8	420.1	0.37	0.82
92	末口側	11.7	12.1	81.1	70.1	60.6	195.7	347.7	0.56	0.87
96 *	元口側	12.5	12.2	79.9	74.8	56.8	207.5	373.0	0.56	0.76
97 *	元口側	10.0	12.1	81.9	68.0	57.4	138.0	295.4	0.47	0.84
102	元口側	16.7	12.1	81.5	74.3	66.6	193.8	382.6	0.51	0.90
104	元口側	8.3	12.2	81.2	77.8	63.2	189.8	408.0	0.46	0.81
108	元口側	14.2	12.1	52.7	38.4	37.5	161.5	328.7	0.49	0.98
109 *	元口側	12.5	12.2	90.9	85.3	71.3	186.6	368.5	0.51	0.84
Ave.		10.8	12.1	77.8	70.0	58.8	195.6	375.8	0.52	0.85
Min.		0.0	12.0	48.3	38.4	37.5	138.0	295.4	0.37	0.67
Max.		19.2	12.2	97.9	86.2	74.2	244.4	471.1	0.63	0.99
S. D.		3.42	0.06	12.0	11.5	8.53	22.87	37.74	0.057	0.06
C. V. (%)		31.7	0.5	15.5	16.5	14.5	11.7	10.0	11.0	7.7

*印：2番玉を示す。他は1番玉。 1番玉26本、2番玉10本

付表11 丸太Cグループの測定項目相関係数表

測定項目と略号		1	2	3	4	5	6	7	8	
		E _a -L-G	E _a -L-D	E _a -T4	E _a -T2	E _a -S2	SG-s	SG-h	ARW-s	
1	丸太E _a (生材時)	E _a -L-G	—							
2	丸太E _a (気乾時)	E _a -L-D	0.985	—						
3	タイ E _a (4m-気乾時)	E _a -T4	0.947	0.963	—					
4	タイ E _a (2m)	E _a -T2	0.707	0.730	0.735	—				
5	製材E _a (2m)	E _a -S2	0.512	0.544	0.618	0.016	—			
6	気乾比重(辺材)	SG-s	0.602	0.600	0.509	0.455	0.119	—		
7	気乾比重(心材)	SG-h	0.164	0.222	0.249	0.243	0.196	0.495	—	
8	平均年輪幅(辺材)	ARW-s	-0.243	-0.238	-0.244	-0.205	-0.125	-0.331	0.048	—
9	平均年輪幅(心材)	ARW-h	0.251	0.239	0.278	0.171	0.254	-0.213	-0.108	0.456
10	平均年輪幅(平均)	ARW-Ave.	0.010	0.005	0.025	-0.016	0.080	-0.318	-0.036	0.848
11	年輪数(元口)	RN-b. e.	-0.486	-0.488	-0.534	-0.368	-0.396	0.165	0.169	-0.144
12	年輪数(末口)	RN-t. e.	-0.377	-0.371	-0.443	-0.373	-0.344	0.219	0.191	0.027
13	丸太MOE(気乾時)	MOE-L4-D	0.878	0.879	0.789	0.695	0.293	0.719	0.239	-0.204
14	4mタイMOE(flatwise)	MOE-T4fl.	0.842	0.874	0.876	0.702	0.542	0.628	0.484	-0.227
15	4mタイMOE(edgewise)	MOE-T4ed.	0.796	0.802	0.798	0.632	0.403	0.607	0.381	-0.291
16	2mタイMOE(flatwise)	MOE-T2fl.	0.679	0.698	0.637	0.792	0.026	0.559	0.250	-0.234
17	2m製材MOE	MOE-S2	0.502	0.522	0.600	0.015	0.900	0.194	0.252	-0.181
18	4mタイMOR(edgewise)	MOR-T4ed.	0.401	0.424	0.391	0.380	0.147	0.684	0.724	-0.300
19	2mタイMOR(flatwise)	MOR-T2fl.	0.271	0.306	0.267	0.295	0.103	0.567	0.758	-0.051
20	2m製材MOR	MOR-S2	0.017	0.090	0.141	0.084	0.247	0.224	0.743	-0.069
21	4mタイ節径比(edge)	KD-T4ed.	0.152	0.103	0.040	-0.053	-0.084	0.230	-0.062	-0.152
22	2mタイ節径比(flat)	KD-T2fl.	-0.015	-0.064	-0.109	-0.152	-0.157	0.051	-0.119	-0.119
23	製材節径比	KD-S2	0.354	0.331	0.309	0.218	0.004	0.385	0.279	-0.021
測定項目と略号		E _a -L-G	E _a -L-D	E _a -T4	E _a -T2	E _a -S2	SG-s	SG-h	ARW-s	
		1	2	3	4	5	6	7	8	

付表11-2 丸太Cグループの測定項目相関係数表(つづき)

測定項目と略号		9	10	11	12	13	14	15	16	
		ARW-h	ARW-Ave	RN-b. e.	RN-t. e.	MOE-L4D	MOE-T4f	MOE-T4e	MOE-T2f	
9	平均年輪幅(心材)	ARW-h	—							
10	平均年輪幅(平均)	ARW-Ave.	0.858	—						
11	年輪数(元口)	RN-b. e.	-0.781	-0.548	—					
12	年輪数(末口)	RN-t. e.	-0.782	-0.451	0.871	—				
13	丸太MOE(気乾時)	MOE-L4-D	0.003	-0.116	-0.234	-0.110	—			
14	4mタイMOE(flatwise)	MOE-T4fl.	0.088	-0.078	-0.265	-0.199	0.780	—		
15	4mタイMOE(edgewise)	MOE-T4ed.	0.030	-0.149	-0.251	-0.173	0.782	0.869	—	
16	2mタイMOE(flatwise)	MOE-T2fl.	0.065	-0.096	-0.114	-0.159	0.681	0.690	0.665	—
17	2m製材MOE	MOE-S2	0.148	-0.016	-0.261	-0.223	0.306	0.605	0.546	0.100
18	4mタイMOR(edgewise)	MOR-T4ed.	-0.150	-0.263	0.051	0.077	0.478	0.596	0.665	0.440
19	2mタイMOR(flatwise)	MOR-T2fl.	-0.051	-0.060	0.132	0.121	0.354	0.529	0.450	0.524
20	2m製材MOR	MOR-S2	-0.181	-0.148	0.196	0.179	0.034	0.388	0.313	0.165
21	4mタイ節径比(edge)	KD-T4ed.	-0.248	-0.236	0.109	0.224	0.240	-0.033	0.128	0.128
22	2mタイ節径比(flat)	KD-T2fl.	-0.275	-0.232	0.215	0.254	0.102	-0.200	-0.067	0.045
23	製材節径比	KD-S2	0.150	0.077	-0.235	-0.068	0.353	0.267	0.333	0.232
測定項目と略号		ARW-h	ARW-Ave	RN-b. e.	RN-t. e.	MOE-L4D	MOE-T4f	MOE-T4e	MOE-T2f	
		9	10	11	12	13	14	15	16	

付表11-3 丸太Cグループの測定項目相関係数表(つづき)

測定項目と略号			17	18	19	20	21	22	23
			MOE-S2	MOR-T4e	MOR-T2f	MOR-S2.	KD-T4ed	KD-T2f1	KD-S2
17	2m製材MOE	MOE-S2	—						
18	4mタイMOR(edgewise)	MOR-T4ed.	0.267	—					
19	2mタイMOR(flatwise)	MOR-T2f1.	0.223	0.765	—				
20	2m製材MOR	MOR-S2	0.376	0.610	0.599	—			
21	4mタイ節径比(edge)	KD-T4ed.	-0.085	0.052	0.071	-0.243	—		
22	2mタイ節径比(flat)	KD-T2f1.	-0.157	-0.028	-0.002	-0.119	0.852	—	
23	製材節径比	KD-S2	0.073	0.321	0.330	0.056	0.459	0.310	—
測定項目と略号			MOE-S2	MOR-T4e	MOR-T2f	MOR-S2.	KD-T4ed	KD-T2f1	KD-S2
			17	18	19	20	21	22	23

自由度34(=n-2)における 相関係数の5%有意水準 0.330

1%有意水準 0.425

第4章 50～60年生2～4番玉スギ丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験

1. はじめに

中目材の丸太、たいこ挽材の実大曲げ強度性能を把握し、建築、非建築分野での有効な需要拡大に資するため、以下の3点を目的とした実大材の曲げ強度試験を行った。

- 1) 丸太の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響を明らかにする。
- 2) 丸太・たいこ材・製材品の曲げ強度性能の比較を行う。
- 3) 非破壊試験による丸太の曲げ強度性能評価の可能性をさぐる。

この章では徳島県産の2～4番玉スギ丸太及びたいこ挽材、正角材の試験結果を示す。一連の試験は森林総合研究所において実施した。

2. 供試丸太

供試丸太は徳島県木沢村産の約50～60年生スギで、1990年8月に伐採し、材長4mに玉切りした2番玉、3番玉、4番玉より選木した。このとき、末口径18cm～22cmを目途に、かつ試験の実施に困難な要因となる著しい曲がりをもつ丸太を避けるように留意した。その結果、2番玉より39体、3番玉より44体、4番玉より19体、合計102体を得た。

3. 試験方法

試験方法及び手順は、(財)日本住宅・木材技術センターが定めた「丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験実施要領」(本書の第1章)に準じた。

本章における試験の流れを図1に示す。

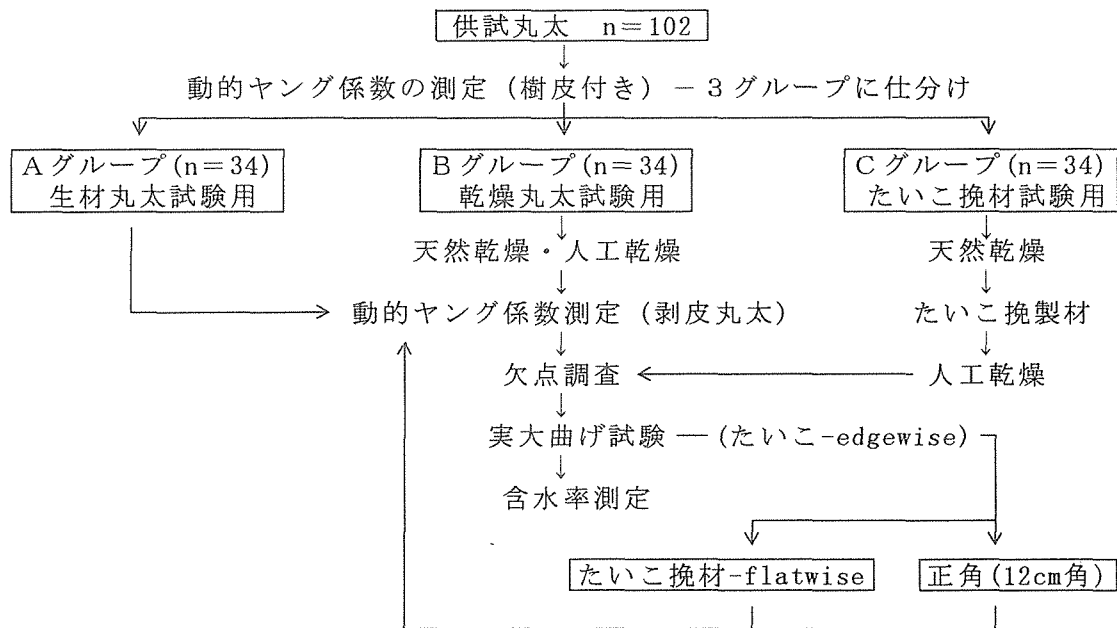


図1 試験の流れ

4. 供試丸太のグループ分け

4.1 基本振動周波数による動的ヤング係数 (E_d) の測定

1990年9月初旬に入手した樹皮付き丸太102体について、皮付きのまま生材時の動的ヤング係数 (E_d) を基本振動周波数と密度測定による方法で計測した。丸太の質量測定はホイストクレーンと丸太を吊り上げるワイヤロープとの間に設置したロードセルで行い、吊り上げた状態で基本振動周波数を測定した。

4.2 動的ヤング係数による丸太のグループ分け

E_d の値を用いて、丸太をA、B、Cの3グループに仕分けた。A、B、Cグループの E_d 平均値と変動係数を表1に示す。 E_d の平均値、変動係数とも、ほとんど同じ値になっていることが分かる。

表1 丸太グループごとの試験時の形状と含水率、皮付き丸太の動的ヤング係数

グループ	形状	含水率	本数	E_d	
				平均値 (tf/cm ²)	変動係数 (%)
A	丸太	生材	34体	92.2	12.4
B	丸太	気乾材	34体	92.0	12.0
C	たいこ挽材	気乾材	34体	92.1	12.2

5. 生材丸太の実大曲げ試験

5.1 形状寸法の計測

丸太の形状寸法として、末口、元口、及び中央部における直径を、巻尺で測定した円周から算出し、末口径 (D-t.e.)、元口径 (D-b.e.)、中央径 (D-c) を得た。同時に、材長 (L) を計測し、個々の丸太の細り度を taper として $[(D-b.e.) - (D-t.e.)] / L$ で表現した。

また、末口、元口における平均年輪幅を測定し、ARW-t.e.、ARW-b.e. とした。更に、末口における年輪数を RN-t.e. として記録した。

5.2 欠点調査

節などの欠点調査は、試験機に丸太をセットした状態で行った。これは、微妙な丸太の形状のために安定して負荷することが可能な位置を選択した後、はじめて荷重面、引張り面が特定されるためである。中央集中荷重条件で負荷するため、支点間距離中央から材軸方向に30cmずつ、計60cmの範囲で節の位置、節径比等を展開図として記録した。単節径比をKD、長さ15cm区間における集中節径比をSKDとした。

5.3 実大曲げ試験

丸太中央部の直径で最大のものは約27cmであったので、支点間距離 (スパン) をこの14倍以上にとることを考え、スパンを390cmとした。これは、次年度に同一荷重条件で行う予定の乾燥材の実大曲げ試験で乾燥割れが支配的となり、水平せん断で破壊する恐れがあ

ると予想されたため、できるだけ長いスパンをとることが望ましいと判断した結果である。

荷重点には、幅20cm、厚さ12cm、長さ35cmの形状で面をとったアカガシのブロックを使った。

用いた試験機は、東京衡機製造所製のアムスラー式材料試験機（容量20tf）であった。たわみの計測は、支点の構造上の制約のためヨークをセットすることができず、床からセットした1/100mm精度、ストローク100mmの小野測器社製デジタルダイヤルゲージで、丸太の中立軸におけるたわみを測定した。支点における丸太のめりこみがたわみの計測に与える誤差を補正する目的で、両支点において1/100mm精度、ストローク50mmのダイヤルゲージを用いて丸太の中央部と支点鋼板面上との間の変位を測定した。

荷重は単調増加方式で負荷し、荷重-たわみ曲線を求めた。丸太の断面係数、断面二次モーメントの値としてはスパン中央における直径を用い、等断面の丸棒として、曲げヤング係数（MOE）、曲げ比例限度（PL）、曲げ強度（曲げ破壊係数 MOR）を求めた。

破壊後に、破壊状況を欠点調査図にスケッチし、非破壊部分から厚さ約2cmの円盤を3枚採取し、その2枚を用いて曲げ破壊時の含水率を全乾法で測定した。このとき、辺材部、心材部、全断面について含水率を得て、それぞれMC-s、MC-h、及びMC-wと表した。残った円盤1枚は気乾状態にした後、気乾比重を測定した。

5.4 生材丸太の試験結果と考察

表2に、生材丸太の材質計測及び曲げ強度試験の各測定項目ごとの平均値、最小値、最大値、及び変動係数を示した。

表2 生材丸太の試験結果

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値	C. V. (%)
丸太 (A ^ク ル - ^ブ) (生材 丸太) n=34	年輪数 末口 (RN-t. e.)	41	26	60	14.1
	平均年輪幅 元口 (ARW-b. e.) (mm)	2.8	2.1	4.1	14.9
	末口 (ARW-t. e.) (mm)	2.7	1.9	4.6	17.4
	元口 直径 (D-b. e.) (cm)	25.8	22.6	29.3	6.9
	中央部直径 (D-c) (cm)	23.6	20.7	27.1	7.2
	末口 直径 (D-t. e.) (cm)	21.5	18.7	24.8	7.2
	細り度 (taper) (cm/m)	1.1	0.6	1.6	21.5
	試験時の含水率 辺材 (MC-s) (%)	185	83	261	24.2
	心材 (MC-h) (%)	112	47	205	40.5
	全体 (MC-w) (%)	135	68	192	18.6
	最大単独節径比 (KD) (%)	4.5	0	11.7	72.4
	最大集中節径比 (SKD) (%)	9.2	0	26.5	79.5
	剥皮生材丸太の動的ヤング係数 (E _d -G) (tf/cm ²)	100.6	82.7	130.6	11.8
	剥皮生材丸太の曲げヤング係数 (MOE-G) (tf/cm ²)	84.4	64.4	113.7	15.2
比例限曲げ応力度 (PL-G) (kgf/cm ²)	287	156	385	18.5	
剥皮生材丸太の曲げ破壊係数 (MOR-G) (kgf/cm ²)	497	361	623	12.3	

末口における年輪数 (RN-t. e.)は、平均値41、最小値26、最大値60であった。この広い分布は、2番玉から4番玉までの範囲で採取したためである。平均年輪幅は元口、末口とも大差なく、それぞれ2.7mm、2.8mmであった。丸太の直径を中央部で見ると、平均値は約

24cm、最小値約21cm、最大値約27cmとなっており、細り度も0.6～1.6cm/mの範囲で、平均値は1.1cm/mであった。このため、等断面の丸棒として考えても大きな誤差を生じることはないと思われる。また、スパンを390cmとしているので、スパンを直径で除した値は18.6～14.4の範囲で、平均値は16.3であった。

試験時の含水率は8月末に伐採し、曲げ試験を翌年の1月末に実施したのであるが、全体についての平均値は135%、範囲は68～192%であった。辺材と心材の間には若干差が認められ、平均値で比較すると、辺材185%、心材112%で、辺材の方が心材の1.65倍の値を示していた。なお最大値は辺材261%、心材205%であった。

丸太における節の評価には定まったものがないので、ここでは、節が存在する円周上に占める節径比の割合で表現した。最大単独節径比、最大集中節径比ともこの表現方法では、平均値でそれぞれ4.5%、9.2%となり、値としては低い結果となった。

動的ヤング係数 E_d は、丸太の断面における平均的な縦ヤング係数であるため、曲げたわみより測定した静的ヤング係数MOEと直接比較するには問題があるが、実測値としては E_d の方が平均値で19%、MOEより高い値を示していた。MOE算出の基になった曲げたわみは、L/Dの値が前述のように約14～19の範囲にあったため、正確にはそれぞれのせん断たわみの項を考慮して比較する必要がある。しかし、ここでは実測の値をとっている。

更に、装置の関係で中立軸にセットするヨークを使えなかったため、測定された曲げたわみには支点上の局部的なめり込み変形の影響を考えなければならない。このめり込み変形を1/100mm精度のダイヤルゲージで計測したが、一定の傾向を認めることができず、その修正を断念していることも付言しておく。

比例限度が曲げ強度に占める割合は、平均値で0.58を示し、通常言われている2/3の値よりはやや低かった。

曲げ強度(曲げ破壊係数 MOR)は361～623kgf/cm²の比較的狭い範囲を示し、平均値は497kgf/cm²であった。変動係数は12.3%で、この値を代入してASTM D 2915による必要試験体数を求めると24体となり、今回用いた34体の試験体数は曲げ強度の平均値を95%の信頼水準で推定するには十分であったと考えられる。ただし、乾燥材になると変動係数が仮定している15%を越える恐れもある。

次に、各測定因子間の単相関係数(r)を求めて表3に示した。5%危険率で有意な r の値は0.339、1%危険率で有意な r の値は0.437(自由度 $f=n-2=32$)であることを考え、曲げ強度に注目して各因子との相関をみると、1%危険率で有意な測定因子として、MC-s、MC-w、 E_d 、MOE、PLの4項目があげられ、その他のRN-t.e.、ARW、KD、SKD等は有意な関係が認められないことが分かる。

これらの結果のうち相関が認められないものの例として、RN-t.e.とMOR、ARW-t.e.とMOR、KDとMOR、SKDとMORとの関係をそれぞれ図2、3、4、5に示した。間伐等小径材の丸太ではRN-t.e.とMORとの間に有意な関係が認められた例があるが、本研究の対象のように中目材ではその関係が認められなかったことは興味深い。

また、強い相関が認められた例として、 E_d とMOR、MOEとMORとの関係を図6、7に示した。 r の値として、それぞれ0.618、0.585が得られている。これらの結果から、 E_d 、又はMOEを用いて丸太のMORを推定することは実用的にも可能であると言える。

次に、 E_d とMOEとの関係を図8に示した。 r として0.779が得られている。

表3 生材丸太試験における各測定因子間の単相関係数

測定項目と略号		1	2	3	4	5	6	7
		RN-t. e.	ARW-b. e.	ARW-t. e.	D-b. e.	D-c	D-t. e.	taper
1	年輪数-末口 (RN-t. e.)	—						
2	平均年輪幅-元口 (ARW-b. e.)	-0.781	—					
3	-末口 (ARW-t. e.)	-0.782	0.789	—				
4	直径-元口 (D-b. e.)	0.088	0.403	0.347	—			
5	-中央部 (D-c.)	0.158	0.359	0.254	0.941	—		
6	-末口 (D-t. e.)	0.268	0.169	0.148	0.846	0.923	—	
7	細り度 (taper)	-0.248	0.472	0.417	0.520	0.292	-0.009	—
8	含水率-辺材 (MC-s)	-0.193	0.158	0.212	0.107	0.025	0.036	0.127
9	-心材 (MC-h)	-0.017	0.060	0.006	0.040	0.055	0.038	0.012
10	-全体 (MC-w)	-0.329	0.411	0.478	0.297	0.226	0.188	0.266
11	最大単独節径比 (KD)	-0.279	0.216	0.153	-0.270	-0.323	-0.402	0.088
12	最大集中節径比 (SKD)	-0.523	0.548	0.424	-0.054	-0.163	-0.347	0.400
13	動的ヤング係数 (E _a -G)	0.294	-0.413	-0.319	-0.285	-0.238	-0.174	-0.245
14	曲げヤング係数 (MOE-G)	0.403	-0.472	-0.371	-0.289	-0.143	0.002	-0.516
15	比例応力度 (PL-G)	-0.147	-0.005	0.075	-0.130	-0.208	-0.223	0.087
16	曲げ破壊係数 (MOR-G)	0.252	-0.275	-0.294	-0.219	-0.128	-0.004	-0.415

表3-2 生材丸太試験における各測定因子間の単相関係数 (つづき)

測定項目と略号		8	9	10	11	12	13	14	15
		MC-s	MC-h	MC-w	KD	SKD	E _a	MOE-G	PL-G
8	含水率-辺材 (MC-s)	—							
9	-心材 (MC-h)	-0.032	—						
10	-全体 (MC-w)	0.685	0.374	—					
11	最大単独節径比 (KD)	0.073	-0.192	-0.027	—				
12	最大集中節径比 (SKD)	0.017	-0.104	0.124	0.813	—			
13	動的ヤング係数 (E _a -G)	-0.432	-0.096	-0.584	-0.017	-0.216	—		
14	曲げヤング係数 (MOE-G)	-0.384	-0.062	-0.438	-0.110	-0.381	0.779	—	
15	比例応力度 (PL-G)	-0.218	0.035	-0.319	0.111	0.138	0.374	0.106	—
16	曲げ破壊係数 (MOR-G)	-0.559	0.028	-0.676	0.078	-0.136	0.618	0.585	0.491

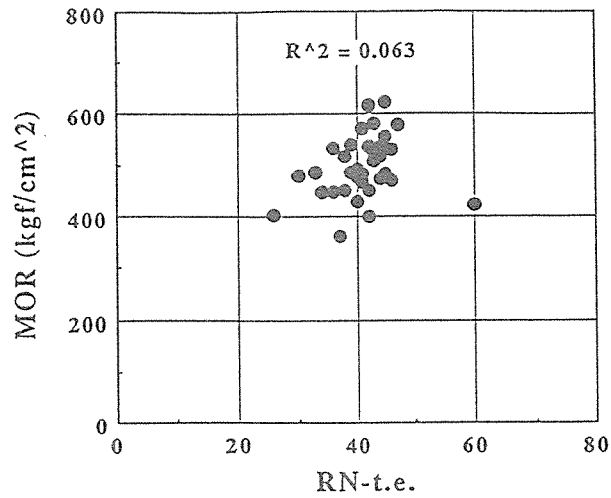


図2 末口年輪数(RN-t.e.)と曲げ強度(MOR)との関係

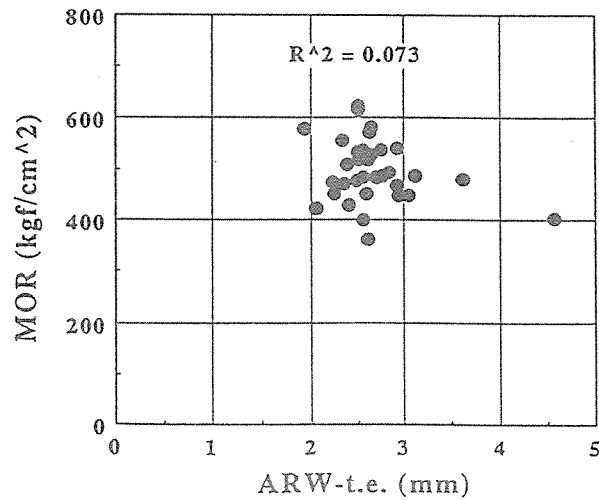


図3 末口年輪幅(ARW-t.e.)と曲げ強度(MOR)との関係

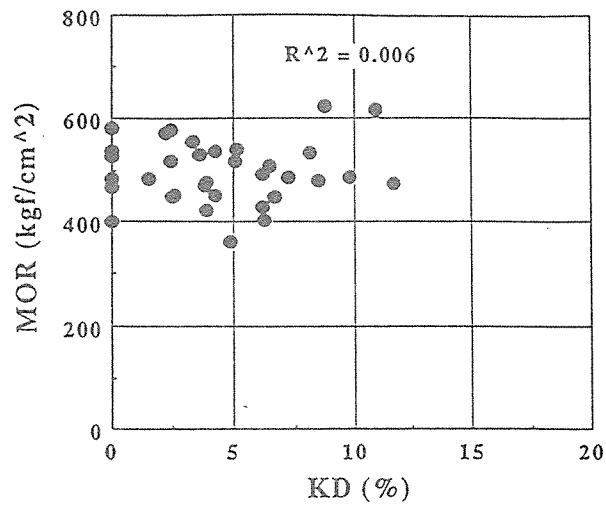


図4 最大単独節径比(KD)と曲げ強度(MOR)との関係

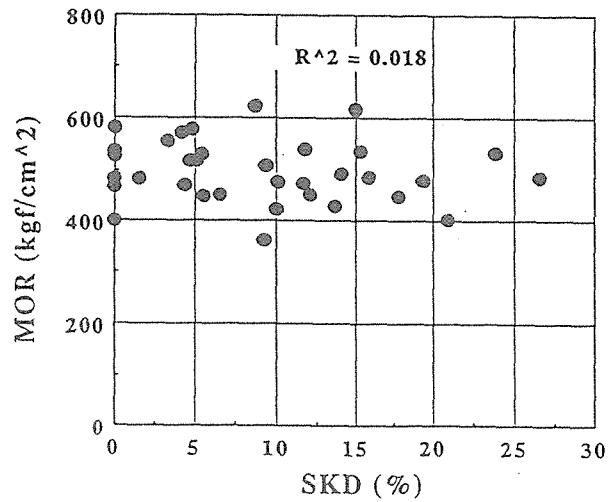


図5 最大集中節径比 (SKD) と曲げ強度 (MOR) との関係

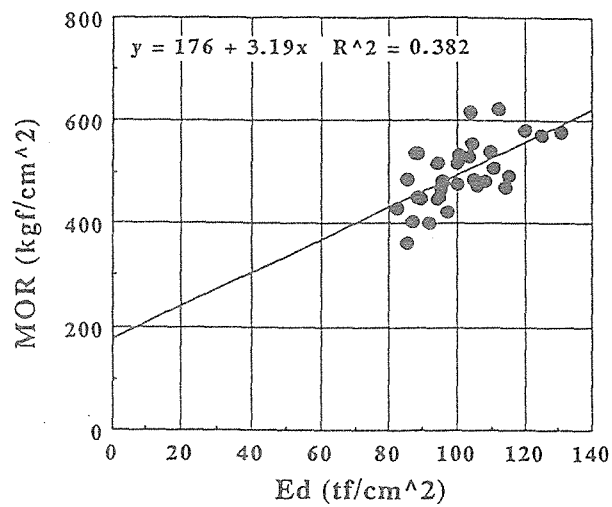


図6 動的ヤング係数 (E_d) と曲げ強度 (MOR) との関係

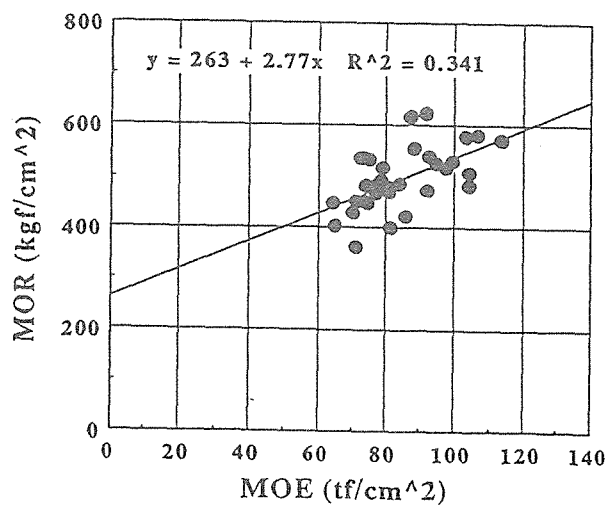


図7 静的ヤング係数 (MOE) と曲げ強度 (MOR) との関係

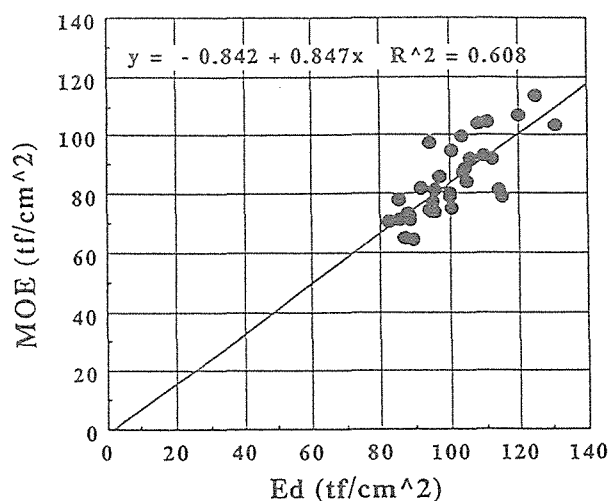


図8 動的ヤング係数 (E_d) と静的ヤング係数 (MOE) との関係

6. 乾燥丸太の実大曲げ試験

6.1 供試丸太の乾燥

乾燥材で実大曲げ試験を行うBグループ丸太34体は、森林総合研究所の土場に風通しが良いように栈木を介して積み上げ、著しい干割れ等が生じないようにトタン屋根をかけ、約1年間天然乾燥した。しかし、一部の供試体について、実大曲げ試験後に得た円盤によって全断面の含水率を全乾法で測定した結果、まだ繊維飽和点を上回っていたため、乾燥研究室で残りの丸太を人工乾燥した。

6.2 供試丸太の形状寸法の計測

生材丸太の時と同様に丸太の形状寸法を測定した。

6.3 欠点調査

節などの欠点調査は、試験機に丸太をセットした状態で行った。これは、丸太の形状が真円でないために安定して負荷することが可能な位置を選択した後、はじめて荷重面、引張り面が特定されるからである。生材丸太の場合と同様、中央集中荷重条件で負荷するため、支点間距離中央から材軸方向に30cmずつ、計60cmの範囲で節の位置、節径比等を展開図として記録した。単独節径比をKD、長さ15cm区間における集中節径比をSKDとした。

6.4 実大曲げ試験

丸太中央部の直径で最大のものは約26cmであったので、支点間距離(スパン)をこの14倍以上にとることを考え、スパンを390cmとした。このスパンは生材丸太の場合と同様であり、用いた試験機、試験方法も、たわみ計測法を除き生材丸太の場合と同様である。

たわみの計測は生材丸太の場合と異なり、丸太の中立軸におけるたわみを測定するためにヨークを採用した。これは生材丸太の場合には支点における丸太のめりこみがたわみの計測に与える誤差を補正する目的で、両支点において1/100mm、ストローク50mmのダイヤ

ルゲージで丸太の小口中央部と支点鋼板面上との間の変位を測定したが、整合性のある誤差の補正が困難であったためである。使用した変位計は1/100mm精度、ストローク100mmの小野測器社製デジタルダイヤルゲージである。また、前年度得られている曲げヤング係数と比較するため、及び支点上における丸太のめりこみによる見かけの曲げたわみの増加が結果に及ぼす影響を知るために、床から同じ仕様のデジタルダイヤルゲージで、スパン中央の曲げたわみを計測した。

ヨークによるたわみ計測によって得られた曲げヤング係数をMOE-1、床から計測したたわみによって得られた曲げヤング係数をMOE-2とした。

荷重は単調増加方式で負荷し、荷重-たわみ曲線を求めた。丸太の断面係数、断面二次モーメントの算出にはスパン中央における直径を用い、等断面の丸棒として、曲げヤング係数(MOE-1、MOE-2)、曲げ比例限度(PL)、曲げ強度(MOR)を求めた。

破壊後に破壊状況を欠点調査図にスケッチし、非破壊部分から厚さ約2cmの円盤を3枚採取し、2枚を用いて曲げ破壊時の含水率を全乾法で測定した。このとき、辺材部、心材部、全断面について含水率を得て、それぞれMC-s、MC-h、及びMC-wと表した。残った1枚は気乾状態にした後、気乾比重を測定した。

6.5 乾燥丸太の試験結果と考察

6.5.1 実大曲げ試験

表4に乾燥丸太の各測定項目ごとの平均値、最小値、最大値、及び変動係数を示した。

表4 乾燥丸太の試験結果

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値	C. V. (%)
丸太 (Bゲル -フ) (乾燥 丸太) n=34	年輪数 末口 (RN-t. e.)	40	31	48	9.9
	平均年輪幅 元口 (ARW-b. e.) (mm)	2.7	2.2	3.2	10.2
	末口 (ARW-t. e.) (mm)	2.6	2.0	3.1	11.7
	元口 直径 (D-b. e.) (cm)	25.4	21.6	29.1	7.5
	中央部直径 (D-c) (cm)	23.3	20.3	26.4	7.5
	末口 直径 (D-t. e.) (cm)	20.9	18.2	23.8	8.2
	細り度 (taper) (cm/m)	1.1	0.8	1.8	19.9
	比重 辺材 (SG-s)	0.42	0.36	0.52	8.7
	心材 (SG-h)	0.42	0.36	0.60	10.3
	試験時の含水率 辺材 (MC-s) (%)	16.7	13.0	46.5	37.1
	心材 (MC-h) (%)	28.3	14.6	61.3	44.3
	全体 (MC-w) (%)	20.8	13.5	42.9	31.3
	最大単独節径比 (KD) (%)	4.3	0	8.0	43.4
	最大集中節径比 (SKD) (%)	7.8	0	15.9	51.7
	剥皮乾燥丸太の動的ヤング係数 (E _a -D) (tf/cm ²)	99.9	75.0	131.4	13.2
	剥皮乾燥丸太の曲げヤング係数 (MOE-1) (tf/cm ²)	96.1	60.3	130.1	16.1
	剥皮乾燥丸太の曲げヤング係数 (MOE-2) (tf/cm ²)	89.6	56.8	119.1	18.6
比例限曲げ応力度 (PL-D) (kgf/cm ²)	331	185	433	19.1	
剥皮乾燥丸太の曲げ破壊係数 (MOR-D) (kgf/cm ²)	525	386	699	16.9	

末口径における年輪数 (RN-t. e.) は、平均値40、最小値31、最大値48であった。これは、2番玉から4番玉までの範囲で採取したためである。平均値は生材丸太と変わらなかったが、範囲はやや狭くなっていた。

平均年輪幅 (ARW) は元口、末口とも大差なく、それぞれ2.7mm、2.6mmであった。丸太の直径を中央部でみると、平均値は約23cm、最小値約20cm、最大値約26cmとなっており、細り度 (taper) も0.8～1.8cm/mの範囲で、平均値は1.1cm/mであった。このことから、等断面の丸棒として考えても大きな誤差を生じることはないと判断された。また、スパンを390cmとしたので、スパンを直径で除した値は19.2～14.8の範囲で、平均値は16.7であった。気乾比重 (SG) は、心材と辺材との間に著しい差が認められず、平均値は0.42であった。

試験時の含水率は、前述したように天然乾燥のみのも4体と、人工乾燥を施したもの30体の結果を一括しているために、全断面の平均含水率 (MC-w) は13.5～42.9%の範囲を示し、平均値は20.8%であった。辺材 (MC-s) と心材 (MC-h) とでは、心材の方が高い結果を示している。

節が存在する円周上に占める節径の割合で示した節の大きさは、最大単独節径比 (KD)、最大集中節径比 (SKD) の平均値がそれぞれ4.3%、7.8%となった。

動的ヤング係数 (E_d) の実測値の平均は、床からのたわみに基づいて計測した曲げヤング係数 (MOE-2) の平均値より約11%高い値を示した。

支点のめりこみを考慮する必要のないヨークによるたわみから算出した曲げヤング係数 (MOE-1) は、支点のめりこみも加えられているたわみから算出した曲げヤング係数 (MOE-2) より平均で7.25%高い値を示していた。

含水率の範囲が完全に気乾状態とみなされる $15 \pm 2\%$ の範囲に入っていないので、そのまま比較するには問題があるが、このことには後に触れることとし、とりあえず34体の結果で整理すると、比例限度 (PL) が曲げ強度 (MOR) に占める割合は、平均値で0.63を示し、生材時よりも2/3に近い値となっていた。曲げ強度は $386 \sim 699 \text{kgf/cm}^2$ の範囲にあり、平均値は 525kgf/cm^2 であった。

次に、各測定因子間の単相関係数 (r) を求めて表5に示した。曲げ強度に注目して各因子との相関をみると、1%危険率で有意な測定因子としてSG-s、 E_d 、MOE-1、MOE-2、PLの5項目があげられ、その他のRN-t. e.、ARW、MC、KD、SKD等との間には有意な関係が認められなかった。

以上の結果のうち、相関が認められないものの例として、RN-t. e. とMOR、ARW-t. e. とMOR、KDとMOR、SKDとMORの関係をそれぞれ図9、10、11、12に示した。

また、強い相関が認められた例として、 E_d とMOR、MOE-1とMORの関係を図13、14に示した。更に E_d とMOE-1、MOE-1とMOE-2の関係を参考のためにそれぞれ図15、16に示した。

表5 乾燥丸太試験における各測定因子間の単相関係数

測定項目と略号			1	2	3	4	5	6	7
			RN-t.e.	ARW-b.e.	ARW-t.e.	D-b.e.	D-c	D-t.e.	taper
1	年輪数-末口	(RN-t.e.)	—						
2	平均輪幅-元口	(ARW-b.e.)	-0.510	—					
3	-末口	(ARW-t.e.)	-0.678	0.621	—				
4	直径-元口	(D-b.e.)	0.257	0.426	0.337	—			
5	-中央部	(D-c.)	0.290	0.418	0.361	0.961	—		
6	-末口	(D-t.e.)	0.365	0.326	0.304	0.877	0.946	—	
7	細り度	(taper)	-0.142	0.255	0.149	0.444	0.239	-0.035	—
8	比重 -辺材	(SG-s)	0.385	-0.190	-0.467	-0.223	-0.130	-0.094	-0.307
9	-心材	(SG-h)	-0.146	0.173	0.113	-0.109	-0.170	-0.196	0.146
10	含水率-辺材	(MC-s)	0.205	-0.100	-0.211	0.176	0.092	0.040	0.252
11	-心材	(MC-h)	0.198	0.011	-0.089	0.162	0.201	0.213	-0.106
12	-全体	(MC-w)	0.297	-0.077	-0.190	0.215	0.206	0.159	0.121
13	最大単独節径比	(KD)	-0.240	0.121	-0.084	-0.125	-0.232	-0.352	0.384
14	最大集中節径比	(SKD)	-0.177	-0.076	-0.081	-0.020	-0.140	-0.290	0.486
15	動的ヤング係数	(E _d)	0.105	-0.044	-0.141	-0.270	-0.213	-0.075	-0.437
16	曲げヤング係数	(MOE-1)	0.255	-0.081	-0.242	-0.190	-0.141	0.040	-0.486
17	曲げヤング係数	(MOE-2)	0.146	-0.006	-0.157	-0.211	-0.151	0.015	-0.494
18	比例限度力度	(PL)	-0.253	0.019	-0.119	-0.529	-0.531	-0.408	-0.341
19	曲げ破壊係数	(MOR)	0.074	-0.112	-0.210	-0.324	-0.300	-0.145	-0.409

表5-2 乾燥丸太試験における各測定因子間の単相関係数 (つづき)

測定項目と略号			8	9	10	11	12	13	14
			SG-s	SG-h	MC-s	MC-h	MC-w	KD	SKD
8	比重 -辺材	(SG-s)	—						
9	-心材	(SG-h)	0.200	—					
10	含水率-辺材	(MC-s)	-0.015	-0.113	—				
11	-心材	(MC-h)	0.045	-0.121	0.332	—			
12	-全体	(MC-w)	0.072	-0.125	0.688	0.790	—		
13	最大単独節径比	(KD)	0.005	0.144	0.180	0.091	0.070	—	
14	最大集中節径比	(SKD)	-0.058	-0.033	0.221	0.000	0.102	0.631	—
15	動的ヤング係数	(E _d)	0.591	0.461	-0.287	0.018	-0.166	-0.191	-0.328
16	曲げヤング係数	(MOE-1)	0.506	0.356	-0.278	0.029	-0.174	-0.215	-0.360
17	曲げヤング係数	(MOE-2)	0.562	0.319	-0.273	0.015	-0.166	-0.318	-0.442
18	比例限度力度	(PL)	0.272	0.363	-0.521	-0.174	-0.396	-0.072	-0.221
19	曲げ破壊係数	(MOR)	0.559	0.398	-0.359	-0.278	-0.381	-0.252	-0.307

表5-3 乾燥丸太試験における各測定因子間の単相関係数（つづき）

測定項目と略号		15	16	17	18	19
		E _a	MOE-1	MOE-2	PL	MOR
15	動的ヤング係数 (E _a)	—				
16	曲げヤング係数 (MOE-1)	0.900	—			
17	曲げヤング係数 (MOE-2)	0.901	0.904	—		
18	比例限度力度 (PL)	0.703	0.698	0.716	—	
19	曲げ破壊係数 (MOR)	0.761	0.746	0.799	0.762	—

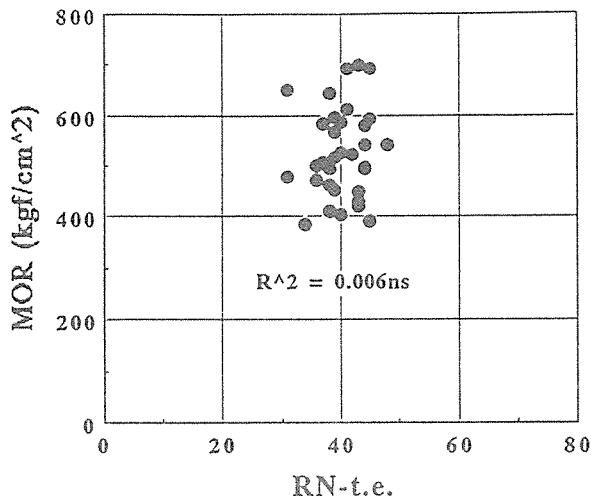


図9 乾燥丸太の末口年輪数 (RN-t. e.) と曲げ強度 (MOR) との関係

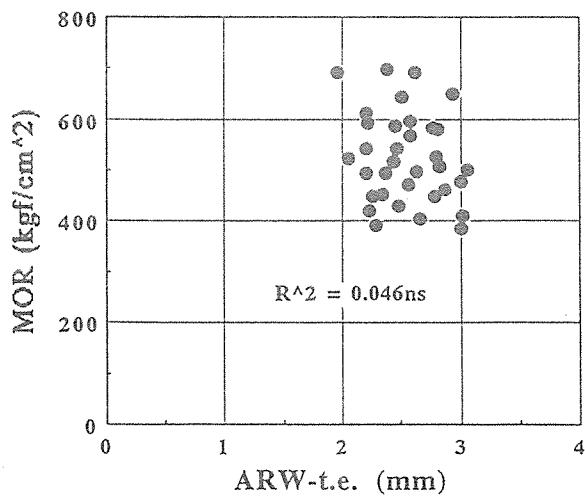


図10 乾燥丸太の末口平均年輪幅 (ARW-t. e.) と曲げ強度 (MOR) との関係

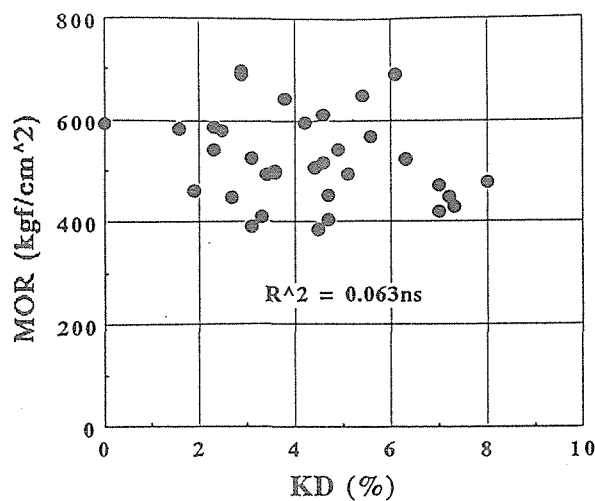


図11 乾燥丸太の最大単独節径比(KD)と曲げ強度(MOR)との関係

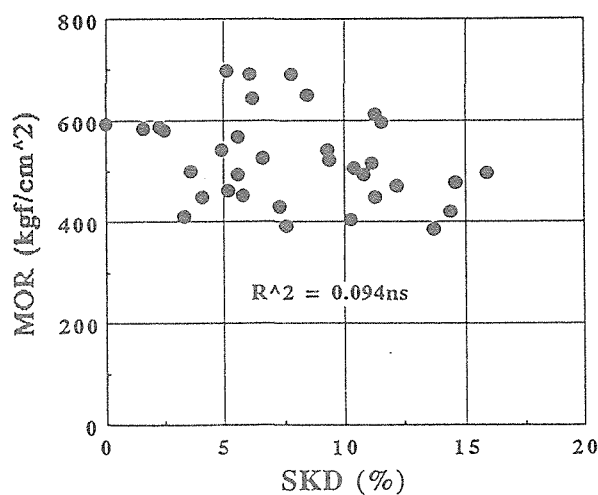


図12 乾燥丸太の最大集中節径比(SKD)と曲げ強度(MOR)との関係

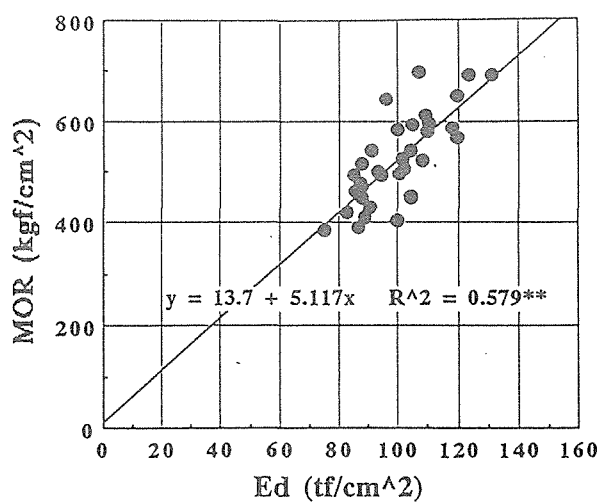


図13 乾燥丸太の動的ヤング係数(E_d)と曲げ強度(MOR)との関係

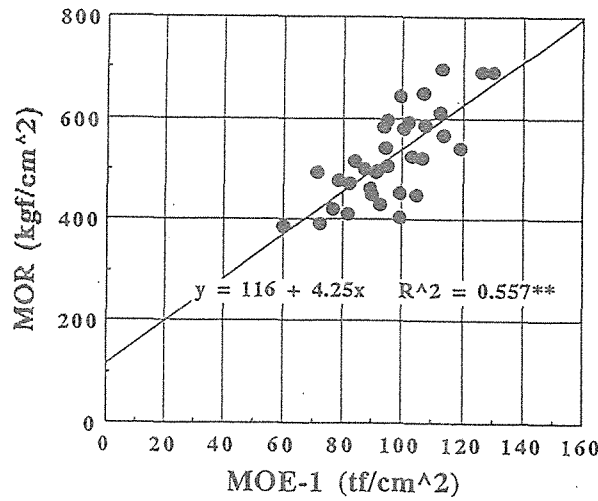


図14 乾燥丸太の静的曲げヤング係数(MOE-1)と曲げ強度(MOR)との関係

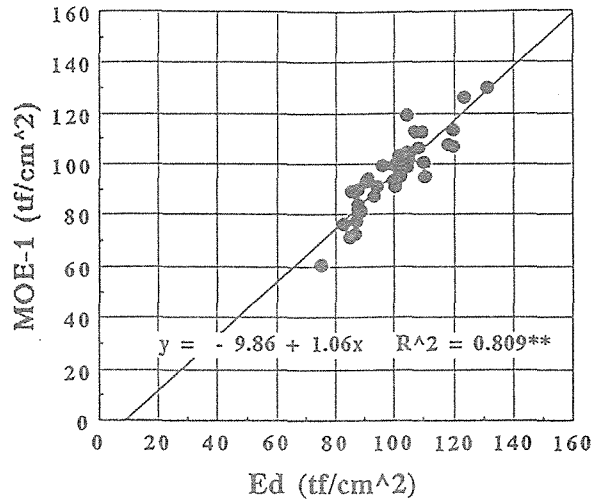


図15 乾燥丸太の動的ヤング係数(E_d)と静的曲げヤング係数(MOE-1)との関係

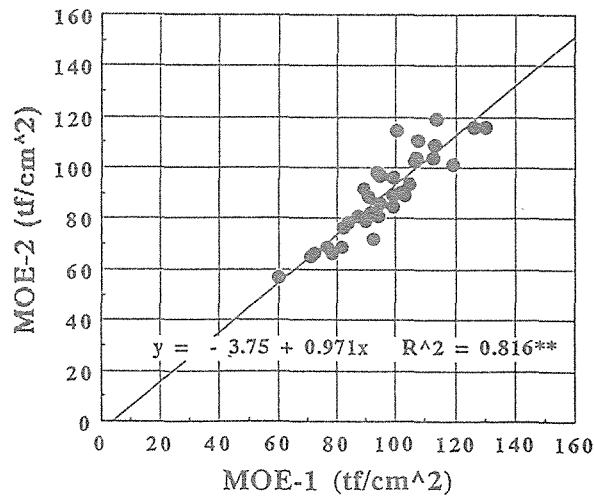


図16 乾燥丸太の静的曲げヤング係数(MOE-1)と静的曲げヤング係数(MOE-2)との関係

次に、含水率の影響を明らかにするために、天然乾燥及び人工乾燥を行った34体の試験体から全断面の平均含水率が19%未満のもの20体を乾燥材として抜き出し、それらの供試体と順位が対応する生材丸太（丸太の仕分けに利用した動的ヤング係数の大きさによって順位付けした場合、乾燥丸太の20体と同じ順位のAグループ丸太）の試験結果を直接比較する方法をとった。その結果を表6に示した。含水率は生材で133%、乾燥材で16.5%、その変動係数は生材の23%から乾燥材の7.9%へと著しく小さくなっていった。

これに対して、床から測定したたわみによる曲げヤング係数は、生材の平均値が85.7tf/cm²、乾燥材のそれが90.6tf/cm²となり、5.7%の増加を示し、変動係数は乾燥材の方がやや大きくなっていった。

曲げ強度は、生材と乾燥材との間で8.2%の増加が認められた。

20体のMOE-2、MORの結果を正規化して、それぞれ図17、18に示した。5th percentile値は、MOE-2では乾燥材で61.1tf/cm²、生材で64.6tf/cm²、MORでは乾燥材で417kgf/cm²、生材で380kgf/cm²となっており、MOEでは増加が認められない結果を示し、MORでは9.7%の増加が認められた。

表6 生材丸太と乾燥丸太の曲げ強度試験結果
(全断面の含水率19%未満の乾燥丸太とE_a順位がそれに対応する生材の比較) (n=20)

試験体	含水率(MC)		曲げヤング係数(MOE)			曲げ破壊係数(MOR)		
	平均値 (%)	変動 係数 (%)	平均値 (tf/cm ²)	変動 係数 (%)	5th per- centile値 (tf/cm ²)	平均値 (kgf/cm ²)	変動 係数 (%)	5th per- centile値 (kgf/cm ²)
生材	133	22.6	85.7	16.7	64.6	502	13.7	380
乾燥材	16.5	7.9	90.6	18.4	61.1	543	16.6	417

乾燥丸太の曲げヤング係数はMOE-2

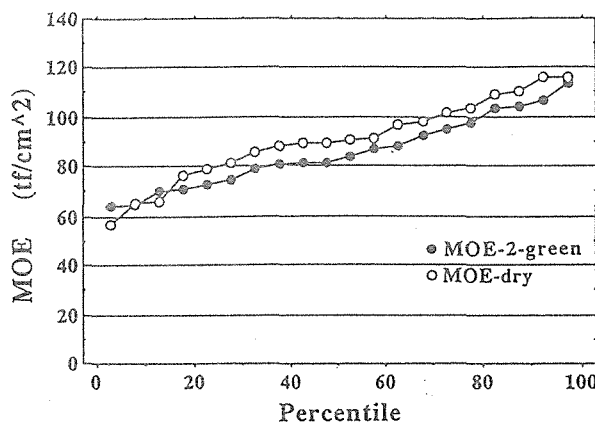


図17 生材及び乾燥材(含水率19%未満)の曲げヤング係数(MOE)を正規化した分布
(乾燥材の曲げヤング係数はMOE-2)

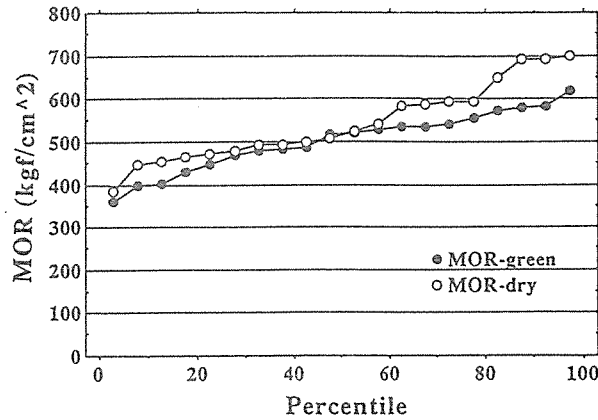


図18 生材及び乾燥材(含水率19%未満)の曲げ破壊係数(MOR)を正規化した分布

7. たいこ挽材・製材の実大曲げ試験

7.1 丸太の乾燥

たいこ材に挽くCグループ丸太34体も、乾燥状態で曲げ試験を行ったBグループ丸太34体とともに森林総合研究所の土場で、風通しが良いように栈木を介して積み上げ、著しい干割れ等が生じないようにトタン屋根をかけて、約2年間（Bグループ丸太は約1年間）天然乾燥した。このCグループ丸太は幅12cmのたいこ材に挽いた後、人工乾燥を行って含水率を調整した。

7.2 試験の手順

試験の流れは図1のとおりである。

前項までに丸太の含水率が曲げ強度性能に及ぼす影響をみるために、生材状態と乾燥状態で曲げ試験を行ったが、幅12cmに挽いたたいこ材についても、同様の曲げ試験を乾燥状態で実施した。このとき、たいこ挽材のedgewiseに負荷して曲げ破壊係数等を求めた後、二分して非破壊部分からflatwiseに負荷して試験するたいこ挽材と、12cm×12cmの断面を有する正角を木取り、更に曲げ破壊試験を行った。

結果の偏りを避けるため、長さ4mのedgewiseたいこ挽材の元口側と末口側から交互に、flatwiseのたいこ挽材と正角とを取るようにした。

すべての曲げ試験に際して、節などの欠点調査を行い、曲げ破壊試験終了直後に含水率計測のための試験片を破断面近傍から採取した。

7.3 供試丸太・たいこ挽材の形状寸法の計測と欠点調査

試験体の形状寸法の測定法、表現法は先の丸太の項と同様である。

たいこ挽材の場合は丸身が残っている狭い面と、鋸断された広い面とに分けて、丸太の場合と同様に試験体中央の60cm区間について欠点調査を行い、前者の単独節径比をn-KD、集中節径比をn-SKD、後者の単独節径比をw-KD、集中節径比をw-SKDとした。正角の場合は試験体の全長にわたって測定を行い、4材面のうち最大の単独節径比をKD、集中節径比をSKDとした。

7.4 実大曲げ試験方法

丸太、たいこ挽材-edgewise、たいこ挽材-flatwise、正角の曲げ試験方法の概要を図19に示した。いずれも中央集中荷重方式で、丸太とたいこ挽材-edgewiseでは支点間距離(スパン)を390cmとし、スパンを中央直径で除した値を14以上とした。たいこ挽材-flatwiseと正角では、[スパン/梁せい]の比を14にとつたため、スパンは168cm(12cm×14)であった。荷重頭には丸太の場合と同様、アカガシ製の幅20cm、厚さ12cm、長さ35cmのブロックで、試験体に接する側の面をとつたものを使った。

用いた試験機も丸太の場合と同じで、東京衡機製造所製のアムスラー式材料試験機(容量20tf)である。

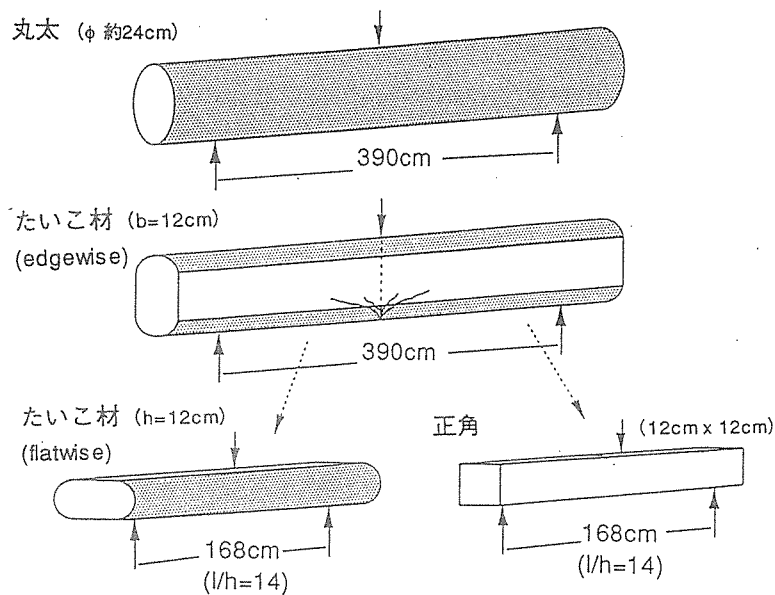


図19 丸太・たいこ挽材・正角の実大曲げ試験の概要

たわみ量の計測は図20に示したように、床からマグネットスタンドを立てて、丸太の中立軸におけるたわみを計測した場合と、ヨークを用いた場合とがあった。前者の方法は生材状態の丸太に適用したものと同じで、たいこ挽材-flatwiseと正角に対して適用した。後者の方法は乾燥丸太に適用したものと同じで、たいこ挽材-edgewiseに対して採用した。ヨークによるたわみ量の計測によって得られた曲げヤング係数をMOE-1、床から計測したたわみ量によって得られた曲げヤング係数をMOE-2とした。

荷重は単調増加方式で負荷し、荷重-たわみ曲線を求めた。

たいこ挽材の断面係数、断面二次モーメントは、たいこ挽材の幅を b 、丸身を含めた直径を d とした時、 $\alpha = \tan^{-1} [(d^2 + b^2)^{1/2} / b]$ を得て、たいこ挽材-edgewiseの断面二次モーメントを I_e とすると、

$$I_e = d^4 (6\pi - 12\alpha + 8\sin 2\alpha - \sin 4\alpha) / 384$$

このとき断面係数 Z_e は、

$$Z_e = 2 I_e / d$$

たいこ挽材flatwiseの断面二次モーメントを I_i とすると、

$$I_i = d^4 (2\pi - 4\alpha + \sin 4\alpha) / 128$$

このとき断面係数 Z_i は、

$$Z_i = 2 I_i / b \quad \text{とした。}$$

破壊後に、破壊状況を欠点調査図にスケッチし、非破壊部分から丸太の場合と同様に厚さ約2cmの試験片を3枚採取し、2枚を用いて曲げ破壊時の含水率を全乾法で測定した。このとき、辺材部、心材部、全断面について含水率を求め、それぞれMC-s、MC-h、及びMC-wとあらわした。残った1枚は気乾状態にした後、気乾比重(SG)を測定した。

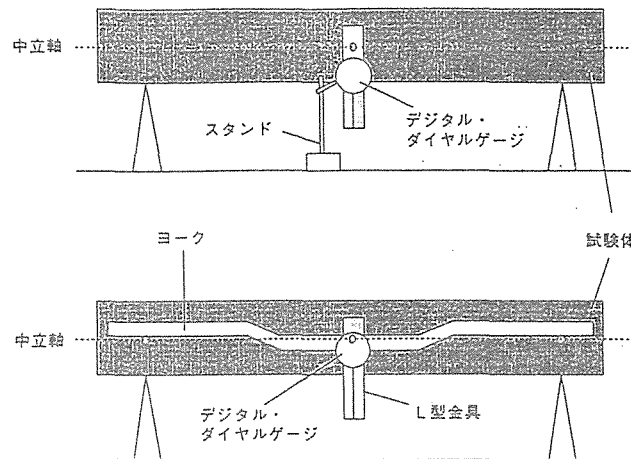


図20 実大曲げ試験におけるたわみ量の測定方法

7.5 試験結果

7.5.1 たいこ挽材-edgewiseの実大曲げ試験結果

表7に材質測定、曲げ強度試験の結果をまとめて示した。

7.5.2 たいこ挽材-flatwiseの実大曲げ試験結果

表8に材質測定、曲げ強度試験の結果をまとめて示した。

7.5.3 正角の実大曲げ試験結果

表9に材質測定、曲げ強度試験の結果をまとめて示した。

上記試験結果の考察は、丸太の試験結果と合わせて次項で行う。

8. 三か年の試験結果の考察

8.1 供試材の概要

丸太の直径についてみると、元口、中央、末口での平均値及び変動係数も含めて、3グループ間でほとんど同一と見なし得る。したがって、曲げ試験のスパンを390cmとした場合、スパンを供試体中央部の直径で除した値は14.4～19.7の範囲を示し、平均値16.9であ

った。細り度も0.6~1.8cm/mの範囲で、平均値1.1cm/mであった。このことから、丸太は等断面の丸棒と考えても大きな誤差を生じることはないと判断された。

表7 たいこ挽材-edgewiseの試験結果 (スパン390cm)

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値	C.V. (%)
たいこ挽材 (材長4m) (丸太Cグループ) n=34	年輪数 末口 (RN-t. e.)	40	25	47	12.6
	平均年輪幅 元口 (ARW-b. e.) (mm)	2.6	2.1	3.5	11.6
	末口 (ARW-t. e.) (mm)	2.5	2.0	3.8	14.8
	丸身を含めた長辺 元口 (d-b. e.) (cm)	24.3	21.6	27.0	6.1
	中央部 (d-c) (cm)	22.2	19.8	24.9	6.1
	末口 (d-t. e.) (cm)	20.2	17.6	23.9	8.1
	たいこの幅 元口 (b-b. e.) (cm)	11.8	11.6	12.0	0.7
	中央部 (b-c) (cm)	11.7	11.6	11.9	0.5
	末口 (b-t. e.) (cm)	11.8	11.6	11.9	0.8
	比重 (SG)	0.43	0.37	0.50	7.8
	試験時の含水率 辺材 (MC-s) (%)	10.8	9.7	12.8	6.0
	心材 (MC-h) (%)	12.3	10.4	19.0	13.4
	全体 (MC-w) (%)	11.8	10.7	15.3	9.0
	狭い面の最大単独節径比 (n-KD) (%)	15.2	0	53.8	84.9
	最大集中節径比 (n-SKD) (%)	18.5	0	53.8	84.2
	広い面の最大単独節径比 (w-KD) (%)	13.2	3.6	24.8	31.4
	最大集中節径比 (w-SKD) (%)	21.4	3.6	36.3	37.5
	たいこ挽材の動的ヤング係数 (E _d) (tf/cm ²)	102.7	79.8	139.0	13.3
	たいこ挽材の曲げヤング係数 (MOE-1) (tf/cm ²)	108.9	77.8	141.1	14.0
	比例限曲げ応力度 (PL) (kgf/cm ²)	367	203	532	16.1
たいこ挽材の曲げ破壊係数 (MOR) (kgf/cm ²)	575	285	785	19.3	

表8 たいこ挽材-flatwiseの試験結果 (スパン168cm)

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値	C.V. (%)
たいこ挽材 (材長2m) n=34	年輪数 末口 (RN-t. e.)	14	7	21	26.4
	平均年輪幅 末口 (ARW-t. e.) (mm)	4.6	2.9	7.9	24.3
	丸身を含めた長辺 中央部 (d-c) (cm)	22.1	19.3	26.1	8.0
	たいこの幅 中央部 (b-c) (cm)	11.7	11.6	11.9	0.7
	比重 (SG)	0.43	0.37	0.50	7.8
	試験時の含水率 全体 (MC-w) (%)	11.8	10.7	15.3	9.0
	狭い面の最大単独節径比 (n-KD) (%)	16.2	0	56.6	77.3
	最大集中節径比 (n-SKD) (%)	20.6	0	107.8	105
	広い面の最大単独節径比 (w-KD) (%)	11.6	4.4	24.9	43.1
	最大集中節径比 (w-SKD) (%)	18.9	4.4	56.0	55.3
	たいこ挽材の動的ヤング係数 (E _d) (tf/cm ²)	101.2	78.4	135.7	13.5
	たいこ挽材の曲げヤング係数 (MOE-2) (tf/cm ²)	93.1	66.4	126.4	14.7
	比例限曲げ応力度 (PL) (kgf/cm ²)	362	256	545	20.5
	たいこ挽材の曲げ破壊係数 (MOR) (kgf/cm ²)	529	365	723	18.2

表9 正角(12×12cm)の試験結果(スパン168cm)

試験体	測定項目	平均値	最小値	最大値	C. V. (%)
正角 (材長 2m) n=34	年輪数 末口(RN-t. e.)	12	7	21	28.7
	平均年輪幅 末口 (ARW-t. e.) (mm)	5.3	3.0	7.7	22.8
	正角のせい 中央部(h-c) (cm)	12.1	11.9	12.1	0.3
	正角の幅 中央部(b-c) (cm)	11.8	11.7	11.9	0.5
	比重 (SG)	0.43	0.34	0.52	9.4
	試験時の含水率 全体 (MC-w) (%)	12.1	10.3	17.5	13.3
	最大単独節径比(KD) (%)	25.0	13.3	45.8	26.8
	最大集中節径比(SKD) (%)	43.5	16.7	79.2	33.3
	動的ヤング係数(E _d) (tf/cm ²)	91.9	62.3	131.1	15.4
	曲げヤング係数(MOE-2) (tf/cm ²)	90.4	68.5	118.1	13.4
	比例限曲げ応力度(PL) (kgf/cm ²)	353	45.4	509	28.2
	曲げ破壊係数(MOR) (kgf/cm ²)	490	273	681	19.1

末口における年輪の数は、Aグループ(生材丸太試験)、Bグループ(乾燥丸太試験)、Cグループ(たいこ挽材試験)とも平均値で約40年輪あったが、変動係数はAグループの方が他の2グループに比較してやや大きい結果となっていた。これは、グループを編成する際にE_dのみに注目したためであると考えられる。全供試体102体のうち、2番玉が39体、3番玉が44体、4番玉が19体であったが、これらの番玉を同様な比率でグループに配分することを考慮しなかったからである。あくまでも曲げ破壊係数はE_dと高い相関関係にあり、グループ間のE_dを等しくすれば、曲げ破壊係数の分布もグループ間でほぼ等しくなるとの仮定に立っていた。したがって平均年輪幅も元口、末口での平均値は、3グループ間でほとんど同様とみなせるが、変動係数はやはりAグループが他の2グループよりやや大きい結果となっていた(表2、表4、表7参照)。

気乾比重(SG)を比較すると、心材(SG-h)と辺材(SG-s)との間に著しい差は認められず、平均値0.42であった。

試験時の含水率は、生材丸太の場合、8月末に伐採して5か月後の翌年1月末に実験を行ったが、全断面の平均含水率は135%、範囲は68%～192%を示していた。これを辺材部と心材部に分けてみると差が認められ、平均値で比較すると辺材部185%、心材部112%となっており、辺材部が心材部より約1.65倍高い含水率を示していた。なお最大値は辺材部261%、心材部205%、最小値は辺材部83%、心材部47%であった(表2参照)。

乾燥丸太の場合は、約1年間の天然乾燥のみのもの4体と、人工乾燥を施したものの30体の結果を一括して表4に示したのであるが、全断面の含水率平均値は21%、範囲は13.5～43%であった。辺材部と心材部との間では、生材丸太の場合と異なり心材部の含水率が辺材部のそれより高くなっていた。

乾燥たいこ挽材の場合は、全断面の含水率平均値は12%、範囲は11～15%であった。この場合も、乾燥丸太と同様に心材部の方が辺材部よりやや高い結果が得られた(表7参照)。

節が存在する円周上に占める節径の割合を節径比として示した。最大単独節径比(KD)、最大集中節径比(SKD)の平均値は生材丸太で、それぞれ4.5%と9.2%、乾燥丸太では同様

に4.3%と7.8%であり、これらの2グループ間では著しい差はなかった。

乾燥たいこ挽材のedgewiseでの曲げ破壊試験後に木取ったたいこ挽材のflatwise及び正角についても、今までと同様にまとめた結果を表8、9にそれぞれ示した。

丸太、たいこ挽材-edgewiseと異なるのは、末口における年輪の数と平均年輪幅である。年輪数は7～21の範囲で、平均値はたいこ挽材-flatwiseで14、正角で12であった。平均年輪幅も、同様に2.9～7.9mm、3.0～7.7mmの範囲であり、平均値がたいこ挽材-flatwiseで4.6mm、正角で5.3mmと、丸太及びたいこ挽材-edgewiseの約2倍近くなっていた。

気乾比重、含水率は、たいこ挽材-edgewiseと同様であった。

8.2 ヤング係数

動的ヤング係数の実測値の平均は、剥皮した生材丸太で100.6tf/cm²であった。最初に102体の供試体を3グループに分けた際の平均値92tf/cm²と比較すると、同じ生材状態にもかかわらず8.9%大きな値となった。3グループに仕分けるために測定したE_aの値は樹皮付き丸太についてのものであり、生材丸太のE_a-Gは剥皮して測定したものである。このことがどの程度結果に影響したかは、目下のところ不明であり、今後の検討課題として残される。

支点上に生じる局部的なめりこみを考慮する必要のないヨークによるたわみ測定から算出した曲げヤング係数(MOE-1)は、支点上のめりこみも加えられているたわみから算出した曲げヤング係数(MOE-2)より、平均値で7.25%高い結果が乾燥丸太で得られた。生材丸太では、ヨーク装着を行っていないので、この比較ができなかった。支点上に生じるめりこみ量は、生材丸太と乾燥丸太とは異なるものと考えられるが、以後、生材丸太と乾燥丸太の曲げヤング係数を比較する場合には、MOE-2の結果で行うこととする。

比例限度が曲げ強度に占める割合は、生材丸太、乾燥丸太、たいこ挽材-edgewise、たいこ挽材-flatwise、正角の順に、それぞれ0.58、0.63、0.64、0.68、0.72となっており、丸太とたいこ挽材-edgewiseでは一般に言われている2/3の値よりやや低く、たいこ挽材-flatwise、正角では2/3の値よりやや高い結果となっていた。

8.3 曲げ強度と各種測定因子との単相関係数

各測定因子間の単相関係数を丸太(生材、乾燥材)とたいこ挽材-edgewiseについて求めた結果の中から、曲げ強度(曲げ破壊係数 MOR)に注目して表10に示した。丸太・たいこ挽材の両者に対し1%危険率で有意な測定因子としては、E_a、MOE-1、MOE-2、PLの4因子があげられ、その他のRN-t.e.、ARW、MC、KD、SKD等との間には有意な関係が認められなかった。PLを強度推定因子として使うことは事実上不可能であるから、製材品と同様に丸太・たいこ挽材についてもヤング係数を強度推定のパラメータとして使い得ることが明らかになった。

表10 曲げ破壊係数(MOR)と他の測定因子との単相関係数(r)

測定項目と略号		MOR		
		生材丸太	乾燥丸太	たいこ挽材 edgewise
年輪数-末口	(RN-t.e.)	0.25	0.07	0.18
年輪幅-末口	(ARW-t.e.)	-0.29	-0.21	-0.30
比重 -辺材	(SG-s)	—	0.56**	—
-心材	(SG-h)	—	0.40	—
比重	(SG)	—	—	0.36*
含水率-辺材	(MC-s)	-0.56**	-0.36*	—
-心材	(MC-h)	0.03	-0.28	—
-全体	(MC-w)	-0.68**	-0.38*	-0.14
最大単独節径比	(KD)	0.08	-0.25	—
最大集中節径比	(SKD)	-0.14	-0.31	—
最大単独節径比	(n-KD)	—	—	-0.19
最大集中節径比	(n-SKD)	—	—	-0.29
動的ヤング係数	(E _a)	0.62**	0.76**	0.58**
	(E _b)	—	—	0.64**
曲げヤング係数	(MOE-1)	—	0.75**	—
曲げヤング係数	(MOE-2)	0.59**	0.80**	0.71**
比例応力度	(PL)	0.49**	0.76**	0.74**

* : 5%危険率で有意

** : 1%危険率で有意

8.4 丸太の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響

丸太の生材、乾燥材の曲げ強度試験結果を表11に示した。図21に丸太の生材及び乾燥材の曲げ破壊係数を正規化した分布を示した。平角での結果に類似して、50th percentile 値までの間は、生材と乾燥材の曲げ破壊係数には著しい差が認められなかった。

生材丸太及び乾燥丸太の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の結果から、含水率1%当たりの変化率を求めるために、乾燥丸太のうち、繊維飽和点を越えていた4試験体の平均含水率を28%と仮定して、グループ全体の含水率の平均値を求めると20.1%となった。この値を用いて得られた結果の平均値から、含水率1%の変化による曲げヤング係数の変化を求めると0.78%、同様に曲げ破壊係数の変化を求めると0.71%であった。これらの値は、無欠点小試験体について米国のウッドハンドブックに書かれていた値、すなわち曲げヤング係数、曲げ破壊係数についてそれぞれ2%、4%と比較すると、ともに小さい値となっていた。スギ平角について行った類似の試験結果からも、含水率1%の変化に対する曲げヤング係数の変化率は1.06%、曲げ破壊係数の変化率は0.77%という、ほぼ同様な結果が得られていることは興味深い。

同一の試験体に対して、生材時、乾燥時の2含水率条件で測定したE_aについて、[E_a-D/E_a-G](-D、-Gは乾燥材、生材を表す)の比と、乾燥時の含水率との関係を図22に示した。ここでは含水率が20%未満、20%以上28%未満、28%以上の3領域に分けた。図中の二つの回帰直線は、含水率が20%未満の領域と、20%以上28%未満の領域について試みに求めたものである。直線の勾配が異なる点が興味深い。たとえ乾燥処理を施しても、含水率20%以上ではE_aの値が生材時のその4%～7%程度しか高くないこと、これに

対して含水率15%では生材時の値の13.5%の上昇が認められた。

表11 生材丸太、乾燥丸太の曲げ強度性能

強度性能		断面形状	生材丸太 (Aグループ丸太)	乾燥丸太 (Bグループ丸太)	含水率1% 当たりの 変化率
含水率(MC)	平均値 (%)		135	20.1	—
	変動係数 (%)		18.6	24.5	—
曲げヤング係数 (MOE)	平均値 (tf/cm ²)		84.4	89.6	0.78
	変動係数 (%)		15.2	18.6	—
曲げ破壊係数 (MOR)	平均値 (kgf/cm ²)		497	525	0.71
	変動係数 (%)		12.3	16.9	—
	5th percenttile値		400	387	—

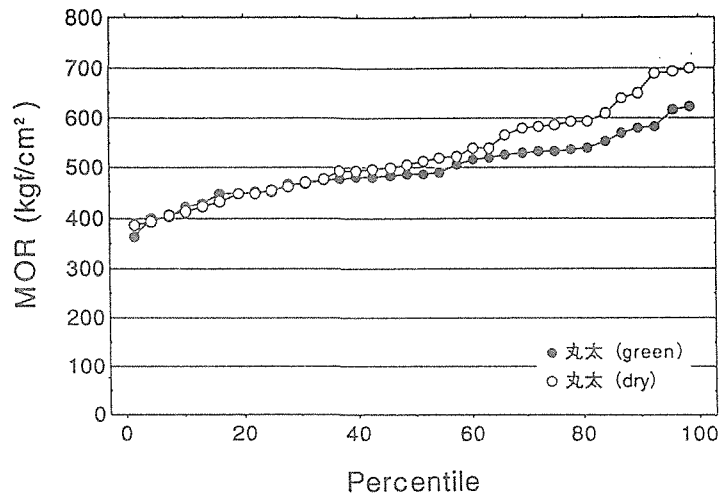


図21 生材状態及び乾燥した丸太の曲げ破壊係数(MOR)を正規化した分布

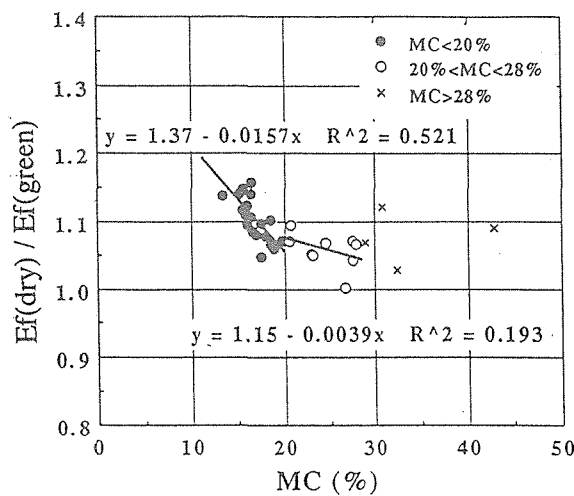


図22 生材時と乾燥時の動的ヤング係数比と含水率との関係

8.5 材長4m試験体の元口側と末口側での強度性能

材長4mのたいこ挽材-edgewiseの曲げ破壊試験後、試験体を二分して非破壊部分からたいこ挽材-flatwiseと正角の試験体を木取り、曲げ破壊試験を行った結果を、元の4m材の元口側と末口側に区分して表12に整理した。末口側から木取った試験体と元口側から木取った試験体の曲げ強度性能を平均値で比較すると、たいこ挽材、正角いずれの場合も末口側の方が元口側を上回った結果を示している。その程度は、 E_d 、MOE、MORともたいこ挽材-flatwiseよりも正角の場合の方が大きい傾向が伺えた。

表12 元口側・末口側別のたいこ挽材-flatwise、正角の強度性能

	たいこ挽材 (flatwise)						正角					
	E_d		MOE		MOR		E_d		MOE		MOR	
	元口	末口	元口	末口	元口	末口	元口	末口	元口	末口	元口	末口
平均値	100.6	101.4	91.8	93.0	522	535	89.3	94.9	88.9	91.9	469	511
C.V.(%)	13.6	13.0	12.6	13.0	17.4	19.4	16.6	14.2	15.0	12.3	23.3	14.0

試験体数：たいこ挽材の E_d 及びMOEは $n=34$ 、その他は $n=17$

E_d ：縦振動法によるヤング係数 (tf/cm^2)

MOE：曲げヤング係数 (tf/cm^2)

MOR：曲げ破壊係数 (kgf/cm^2)

C.V.：変動係数

8.6 断面形状別のMOEとMORの相対的關係

含水率15%時の値に換算したMOEとMORの、断面形状別の相対的な關係を表13及び図23に示した。この場合、MOEの比較のために、ヨークで測定したMOE-1の値について含水率の調整を行っている。MOEの平均値についてみると、丸太とたいこ挽材-edgewiseでは100～106 tf/cm^2 、たいこ挽材-flatwiseと正角では約90 tf/cm^2 で、前者は後者より11～17%高い値を示した。MORでは、5th percenttile値に注目して正角の値を基準にとった場合、丸太では32%、たいこ挽材-edgewiseでは21%、たいこ挽材-flatwiseでは13%高くなっていた。このことは丸太形状に近いもの程、最外層の繊維が鋸断によって切られていないためと考えられ、丸太に対しては製材品よりも高い設計応力を付与できる可能性のあることを意味していると思われる。

表13 含水率15%時の値に換算した断面形状別の強度性能

強度性能		断面形状			
		丸太	たいこ挽材 edgewise	たいこ挽材 flatwise	正角
曲げヤング係数 平均値 (tf/cm^2)		99.9	106.2	90.8	88.4
曲げ破壊係数 (kgf/cm^2)	平均値	543	562	517	478
	5th percenttile値	429	396	367	326
	(5th percenttile値の比)	(1.32)	(1.21)	(1.13)	(1.00)

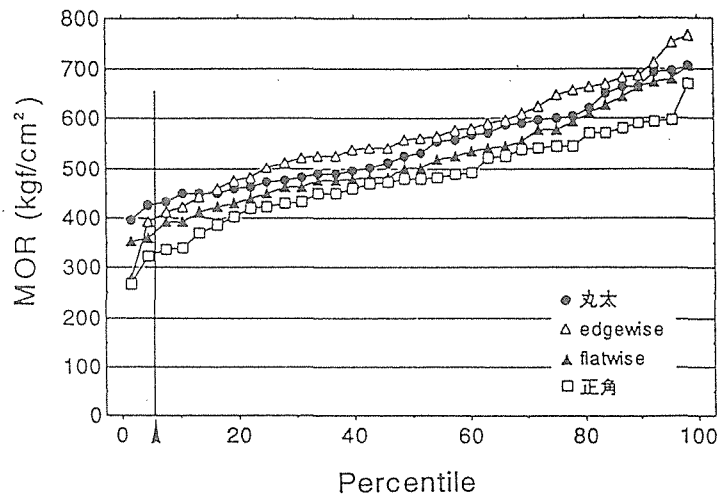


図23 含水率を15%に換算した破壊係数(MOR)を正規化した分布

9. まとめ

9.1 背景と目的

現在、問題となっているスギ中目材の丸太、たいこ挽材等の実大曲げ強度性能を把握し、建築、非建築分野での需要拡大に資するため、以下の3点を目的とした実大材の曲げ強度試験を行った。

- 1) 丸太の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響を明らかにする。
- 2) 丸太・たいこ挽材・製材品の曲げ強度性能の比較を行う。
- 3) 非破壊試験による丸太の曲げ強度性能評価の可能性をさぐる。

9.2 供試材料の概要

供試材料として、徳島県木沢村産の約50～60年生のスギの2番玉～4番玉を使った。原木丸太は、末口径が約22cmで長さ4mのものを102体入手した。

9.3 試験方法の概要

入手した102体の丸太を樹皮付きのまま、基本振動周波数と密度より求める動的縦弾性係数を測定し、この値の平均値と変動係数が同一となるように留意して、3グループに仕分けた。すなわち、生材で曲げ破壊試験を行うAグループ、乾燥材で曲げ破壊試験を行うBグループ、乾燥材でたいこ挽きした後に曲げ破壊試験を行うCグループで、それぞれ34体ずつとした。

節等の欠点調査を行った後、支点間距離を390cmにとった中央集中荷重方式で丸太及びたいこ挽材-edgewiseの曲げ破壊試験を行った。たいこ挽材-edgewiseの曲げ破壊試験後、二分してその非破壊部分からたいこ挽材-flatwiseと正角の試験体を採取し、スパン/梁せいの比を14にとった中央集中荷重方式で曲げ破壊試験を行った。

9.4 試験結果の概要

(1) 丸太の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響

含水率1%あたりの変化率として、曲げヤング係数では0.78%、曲げ破壊係数では0.71%の結果が得られた。

(2) 丸太・たいこ挽材・製材品の曲げ強度性能の比較

丸太：たいこ挽材-edgewise：たいこ挽材-flatwise：製材品の比として、表14の関係が得られた。

(3) 丸太の非破壊試験による曲げ強度性能の評価

乾燥丸太の動的縦弾性係数（ E_d 、動的ヤング係数）と曲げ破壊係数（MOR）との単相関係数は0.76の値が得られ、動的縦弾性係数を曲げ破壊係数推定のためのパラメータとすることは十分に可能であることが明らかになった。実務的には生材時の動的縦弾性係数を得て、乾燥材の曲げ破壊係数を推定することも可能である。

表14 断面形状別の強度性能の比較（含水率15%）

	丸太	たいこ挽材 -edgewise	たいこ挽材 -flatwise	正角
曲げヤング係数	1.14	1.20	1.03	1.00
曲げ破壊係数の 5th percentile値	1.32	1.21	1.13	1.00

本章の試験担当者（肩書きは試験実施当時）

森林総合研究所木材利用部材料性能研究室 室長 中井 孝
主任研究官 田中 俊成
研究官 長尾 博文

本章は下記参考資料の内容を整理したものである。

参考資料

(財)日本住宅・木材技術センター：

建築用木材性能評価事業報告書 平成3年3月 p.18～28 (1991)
同：建築用木材性能評価事業報告書 平成4年3月 p.18～34 (1992)
同：建築用木材性能評価事業報告書 平成5年3月 p.45～67 (1993)

第5章 カラマツ・スギの丸太・たいこ挽材実大曲げ試験の総括

1. はじめに

3か年の計画で実施した北海道産カラマツ1番玉、宮城県産スギ1～2番玉、及び徳島県産スギ2～4番玉の丸太・たいこ挽材の実大曲げ強度試験の結果をまとめて考察する。

試験設計の概要と試験の方法については、第1章を参照されたい。

2. 研究体制及び分担樹種

本資料の試験は北海道立林産試験場、宮城県林業試験場及び森林総合研究所の3試験研究機関で実施した。各機関の担当者はそれぞれの章に記載した。

実験に供した樹種は、北海道立林産試験場でカラマツを、他の2研究機関ではスギであった。本章のとりまとめは、各研究機関より提出された報告に基づいて、森林総合研究所木材利用部材料性能研究室で行ったものである。

3. 試験方法

(第1章参照)

4. 試験結果及び考察

ここでは、各研究機関毎に報告されている内容のうち、(1)含水率の影響、(2)形状の影響、(3)非破壊試験による曲げ強度の評価について述べることにする。

4.1 含水率が丸太の曲げ強度性能に及ぼす影響

得られた結果を表1に示した。スギに関しては、宮城県林業試験場で入手した供試材が宮城県岩出町産の33年生スギ間伐材の1番玉と2番玉であったのに対し、森林総合研究所で入手した供試材は徳島県木沢村産の約50～60年生のスギの2番玉、3番玉、4番玉であった。前者は枝打ちがよく実施されており、丸太表面には節がなかった。後者は約30年前に間伐されたことが分かっている。したがって、ここでは両者の結果を合わせてまとめることをさけ、個々にまとめた。

徳島県木沢村産のスギは、生材時の含水率が平均で135%、宮城県岩出町産のそれは143%であり、大きな差は認められなかった。しかし、動的ヤング係数、曲げヤング係数、曲げ破壊係数の絶対値は、いずれも50～60年生の2～4番玉の方が、33年生の1～2番玉よりも高い結果を示していた。

含水率1%当たりの曲げヤング係数の変化は、前者(50～60年生の2～4番玉)が0.78%、後者(33年生の1～2番玉)が0.91%と、ほぼ近似した値を示していた。これに対し、同じく含水率1%当たりの曲げ破壊係数の変化は、前者が0.71%、後者が2.36%と約3.3倍の違いが認められた。供試丸太の表面に節が認められなかった後者の結果は、より無欠点小試験体に近いためと考えることができる。しかし、その値は無欠点小試験体での値とされ

てきた4%に比較して、実大丸太で材表面に節が認められない場合、その約0.60倍に低減しており、節などの欠点がある場合には、約0.18倍に低減していた。したがって、曲げ破壊係数に及ぼす含水率の影響は、供試材の品質によって異なる値をとると考えられる。これらの間に定量的な関係を求めるには、なお一層のデータの収集が必要と思われる。

表1 丸太の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響

試験体	試験体の含水率状態		生材(Aグループ丸太)	乾燥材(Bグループ丸太)	含水率1%当たりの変化率* ¹
	測定値				
カラマツ (北海道) 36年生 1番玉	含水率 MC	平均値(%) 変動係数(%)	76.3 10.1	21.4 5.0	
	動的ヤング係数 E _d	平均値(tf/cm ²) 変動係数(%)	113.9(皮付) 9.5	111.9 6.9	
	曲げヤング係数 MOE	平均値(tf/cm ²) 変動係数(%)	107.5 12.9	99.7 9.3	—
	曲げ破壊係数 MOR	平均値(kgf/cm ²) 変動係数(%) 5th percentile値	522 8.0 452	533 8.1 454	0.32 % — —
スギ (宮城県) 33年生 1～2番玉	含水率 MC	平均値(%) 変動係数(%)	143 17.2	16.6 7.9	
	動的ヤング係数 E _d	平均値(tf/cm ²) 変動係数(%)	73.1 15.0	76.5 13.0	
	曲げヤング係数 MOE	平均値(tf/cm ²) 変動係数(%)	68.2 15.9	75.3 12.1	0.91 %
	曲げ破壊係数 MOR	平均値(kgf/cm ²) 変動係数(%) 5th percentile値	350 14.4 265	444 13.4 322	2.36 % — —
スギ (徳島県) 50～60年生 2～4番玉	含水率 MC	平均値(%) 変動係数(%)	135 18.6	20.1* ² 24.5	
	動的ヤング係数 E _d	平均値(tf/cm ²) 変動係数(%)	100.6 11.8	99.9 13.2	
	曲げヤング係数 MOE	平均値(tf/cm ²) 変動係数(%)	84.4 15.2	89.6 18.6	0.78 % —
	曲げ破壊係数 MOR	平均値(kgf/cm ²) 変動係数(%) 5th percentile値	497 12.3 400	525 16.9 387	0.71 % — —

*¹ : 繊維飽和点を含水率28%として算出

*² : 含水率28%超の4試験体の含水率を28%と仮定して算出した値

カラマツについては、曲げヤング係数の平均値が、生材グループの値よりも乾燥材グループの値の方が小さくなっており、含水率1%当たりの変化率を算出することはできなかった。カラマツのこの結果に対しては、更に検討を要する。

カラマツの含水率1%当たりの曲げ破壊係数の変化は0.32%で、スギに比較すると更に小さい値が得られた。このとき、曲げ破壊係数の変動係数が、生材でも乾燥材でも約8%と著しく小さく、かつ乾燥することによって変わらなかったことが注目される。スギの曲げ破壊係数の変動係数は、生材丸太の場合より、乾燥丸太の場合が高くなったものと、逆にごくわずかに低くなったものとが認められた。

4.2 断面形状が曲げ強度性能に及ぼす影響

前項と同様に、各研究機関毎に得られた結果をまとめて表2に示した。

50~60年生の2~4番玉のスギについての結果をMOEについてみると、丸太とたいこ挽材-edgewise、たいこ挽材-flatwiseと正角とで、それぞれ99.9~106.2(tf/cm²)、90.8~88.4(tf/cm²)と近似した値が得られており、前者は後者より約14%程高い値を示した。

同様の整理を33年生1~2番玉のスギについて行くと、丸太とたいこ挽材-edgewise、たいこ挽材-flatwiseと正角とで、それぞれ75.3~78.7(tf/cm²)、57.1~58.8(tf/cm²)であり、前者は後者より約33%高い値を示した。これに対してカラマツの場合は、丸太、たいこ挽材-edgewise、たいこ挽材-flatwiseで、96.5~107.6(tf/cm²)、正角で76.5(tf/cm²)を示し、前者は正角に対し、約32%高くなっていた。なお、これらの比較に際して、 l/h の値が14~16程度の範囲であったため、個々のデータの調整は行っていない。

以上の結果から、曲げヤング係数の値は、丸太、たいこ挽材-edgewiseの場合、たいこ挽材-flatwise、正角よりも高い値をとることが結論づけられる。

表2 試験体の断面形状が曲げ強度性能に及ぼす影響

試験体	断面形状		丸太	たいこ挽材 (edgewise)	たいこ挽材 (flatwise)	正角
	測定値					
カラマツ (北海道) 36年生 1番玉	MOE	平均値(tf/cm ²)	99.7	107.6	96.5	76.5
	MOR (kgf/cm ²)	平均値	533	463	492	407
		5th percentile値 (同上の比)	454 (1.50)	395 (1.30)	371 (1.22)	303 (1.00)
スギ (宮城県) 33年生 1~2番玉	MOE	平均値(tf/cm ²)	75.3	78.7	57.1	58.8
	MOR (kgf/cm ²)	平均値	444	418	365	376
		5th percentile値 (同上の比)	322 (1.00)	325 (1.01)	305 (0.95)	322 (1.00)
スギ (徳島県) 50~60年生 2~4番玉	MOE	平均値(tf/cm ²)	99.9	106.2	90.8	88.4
	MOR (kgf/cm ²)	平均値	543	562	517	478
		5th percentile値 (同上の比)	429 (1.32)	396 (1.21)	367 (1.13)	326 (1.00)

次に曲げ破壊係数の5th percentile値について比較すると、50~60年生の2~4番玉のスギについて、含水率15%時の値に調整した場合、丸太：たいこ挽材-edgewise：たいこ挽材-flatwise：正角=1.3：1.2：1.1：1.0の関係が得られた。これに対し、33年生1~

2番玉のスギの場合は、含水率16.5～17.0%の範囲でほとんど差が認められなかった。すなわち、曲げ破壊係数の平均値では、丸太、たいこ挽材-edgewiseの方が、正角よりもそれぞれ18%、11%大きい値となっていたが、5th percentile値では、ほとんど変らない結果を示した。この理由は更に検討を要する。

カラマツの場合、丸太の含水率は21.4%、たいこ挽材、正角では、それぞれ16.6%、16.8%であった。このとき曲げ破壊係数の5th percentile値は 丸太:たいこ挽材-edgewise:たいこ挽材-flatwise:正角で、1.5:1.3:1.2:1.0の関係が得られた。

以上の結果から、曲げヤング係数、曲げ破壊係数とも、丸太の状態に近い方が、正角の場合よりも大きい値を示す傾向が明らかになった。しかし、曲げ破壊係数では、5th percentile値で比較すると、断面形状の影響が明確でない事例も認められている。このため、どのような条件の場合に5th percentile値の差がなくなるのかを明らかにすることが、今後は重要である。

4.3 非破壊試験による丸太の曲げ破壊係数の評価

動的ヤング係数(E_d)と曲げ破壊係数(MOR)との関係を丸太について整理した。このとき、カラマツの結果を総括して図1に、スギの結果を図2に示した。図1、2とも乾燥材の E_d とMORとの関係では、単相関係数が、カラマツでは $r = 0.48$ 、スギでは $r = 0.77$ が得られた。カラマツの r の値がやや低いのは E_d 、MORとも出現範囲が狭かったためと考えられる。これらの図では、5%下限値を示す直線も図中に示した。したがって、従来得られていた製材品の場合と同様に非破壊的に E_d を求めることにより、一定の精度でMORを推定することは可能であると考えられる。

次に、より実務的な活用面を考慮して、生材時の E_d の値から、乾燥時の丸太のMORの値を推定できないかとの問いに答えるために図3、4にそれらの結果を示した。

単相関係数は、カラマツで0.43、スギで0.75が得られ、この種のデータを蓄積することによって、生材時の E_d 値から、乾燥材時のMORを推定することは十分に可能であろう。

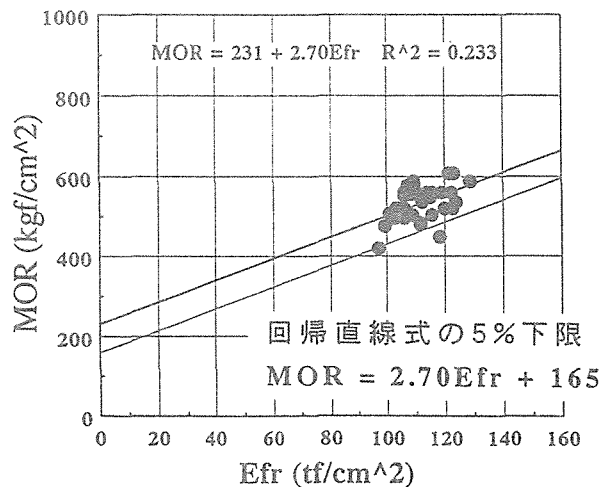


図1 カラマツ乾燥丸太の動的ヤング係数と曲げ破壊係数との関係

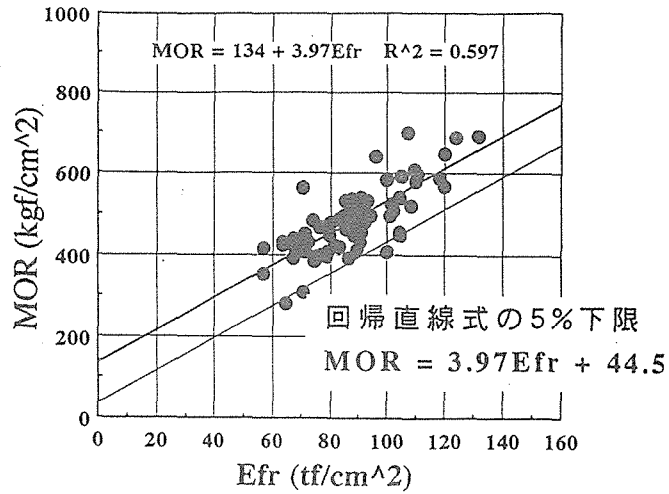


図2 スギ乾燥丸太の動的ヤング係数と曲げ破壊係数との関係

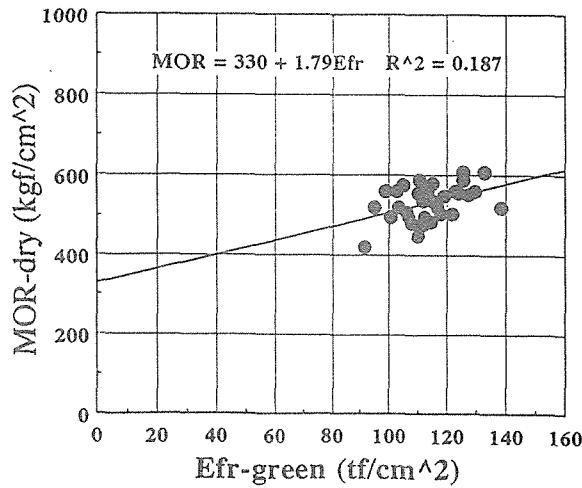


図3 カラマツ丸太の生材時動的ヤング係数と乾燥時曲げ破壊係数との関係

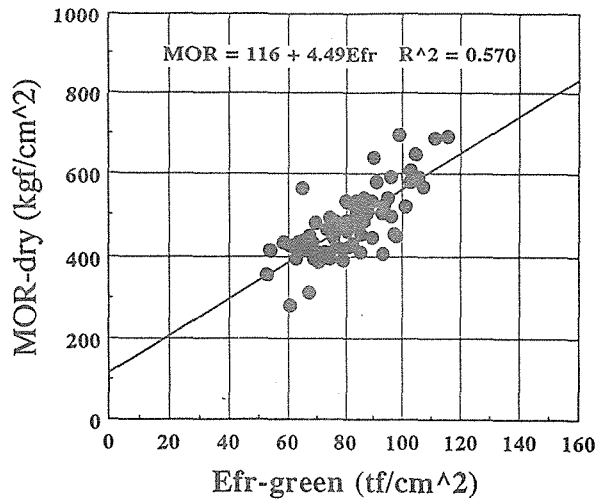


図4 スギ丸太の生材時動的ヤング係数と乾燥時曲げ破壊係数との関係

5. 今後の検討課題

(1) 含水率が丸太の曲げ強度性能に及ぼす影響について、丸太の品質等と関連づけてより多くのデータを蓄積していく必要がある。スギ、カラマツ以外の樹種についても同様である。

(2) 断面形状が、曲げ強度性能に及ぼす影響についても上記と同様にたいこ挽材等の品質と関連づけたデータの整備が求められる。

(3) 非破壊試験によって曲げ破壊係数を推定することは、今回のスギ、カラマツ丸太での試験で実用的に可能であることが明らかになった。しかし、得られた回帰直線がどのようなスギ、カラマツについても成立するかという点では、試験体数が限られていることもあり、なお一層のデータの蓄積が求められる。他の樹種についても、類似の資料蓄積が必要であろう。

参考資料

(財)日本住宅・木材技術センター：

建築用木材性能評価事業報告書 平成5年3月 p.68～77 (1993)