平成３年度農林水産省補助事業
日本住宅・木材技術センター事業

建築用木材性能評価事業報告書

平成４年３月

(財)日本住宅・木材技術センター

目　　次

1．　はじめに …… 1

2．　カラマツ丸太の実大曲げ試験 …… 2

2，1　供試丸太 …… 2

2，2　試験方法 …… 2

（1）　丸太のグループ分け …… 2

（2）　生材丸太の曲げ剛性試験 …… 3

（3）　丸太の天然乾燥 …… 3

（4）　気乾丸太材の曲げ試験 …… 3

2，3　試験結果および考察 …… 5

2，4　試験担当者 …… 6

3．　スギ丸太の実大曲げ試験（その1） …… 11

3，1　供試丸太 …… 11

（1）　供試丸太採取林分の概要 …… 11

（2）　供試丸太の形状 …… 11

3，2　試験方法 …… 11

（1）　丸太形状寸法の計測 …… 12

（2）　基本振動周波数と密度測定による動的ヤング係数（Ｅｄ）の測定 12

（3）　丸太の実大曲げ試験 …… 12

3，3　試験結果と考察 …… 12

3，4　試験担当者 …… 13

4．　スギ丸太の実大曲げ試験（その2） …… 18

4，1　供試丸太 …… 18

4，2　試験方法 …… 18

（1）　供試丸太の乾燥方法 …… 18

（2）　形状寸法の計測 …… 18

（3）　欠点調査 …… 18

（4）　実大曲げ試験 …… 19

４，３　試験結果と考察 …… １９
（１）　実大曲げ試験 …… １９
４，４　試験担当者 …… ２１
５．　含水率が丸太の曲げ強度性能に及ぼす影響について …… ３０

参考資料
丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験実施要領 …… ３５

１．はじめに

木造住宅の多様化に伴い丸太を構造体に用いた建造物が増えつつある。特に、昭和61年３月丸太組構法技術基準が制定告示されたことから、丸太の持つ素朴さと自然への回帰から全国各地で多くの建築事例を見ることができる。

しかし、丸太は、製材品に比べて、強度性能は高いといわれているが、これらを証明するデータが乏しく、製材品と同等に取り扱われているのが現状である。

このような現状に鑑み、丸太及びたいこ挽材の実大曲げ試験を行い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を得ることとする。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、実験的に明らかにする。さらに丸太については、生材時と気乾時における曲げ強度性能を調査し、乾燥による強度性能の変化についての知見を得ることを目的とする。

平成３年度は気乾時丸太の曲げ強度性能に関するデータを求め、前年度に得られた生材時丸太のデータと比較し、含水率が曲げヤング係数、曲げ破壊強度に及ぼす影響について検討した。

試験の実施にあたっては、下記１の委員会のご指導と下記２の試験研究機関のご協力をいただいた。

記

１．建築用木材性能評価委員会

委員長	中井　孝	農林水産省森林総合研究所　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　材料性能研究室
〃	長尾博文	農林水産省森林総合研究所　材料性能研究室
〃	工藤　修	北海道立林産試験場　材料性能科長
〃	鈴木　登	宮城県林業試験場　木材利用科長

２．試験実施機関及び試験樹種

北海道立林産試験場	カラマツ
宮城県林業試験場	スギ（宮城県産）
森林総合研究所	スギ（徳島県産）

2．　カラマツ丸太の実大曲げ試験

2．1　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木から伐採したもので、伐採後ただちに林産試験場に搬入された 110本である。

o 供試丸太の林班及び番玉の概要は次の通りである

昭和29年 5月植栽、　ha当たり 3,000本

昭和31年　　補植

枝うち　昭和38および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　ha当たり 458本

　　平均胸高直径　28cm、平均樹高　21m

供試丸太の番玉は全て１番玉を地際50cmを残して4.6mで伐採した。

供試丸太の末口径は22～30cmであった。

110本の丸太の内曲りが大きかったもの８本を除いて、 102本を試験に供した。

2．2　試験方法

試験方法及び手順は、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』に基づいて行った。

（1）丸太のグループ分け

102本の皮付き丸太の動的ヤング係数（Ｅｄ）を縦振動（打撃音）法により測定し、Ｅｄの平均値および変動係数がほぼ同等になるよう３グループに区分した。

その際、Ｅｄの小さいものから、昇位順にならべ３本を１単位とし、その中でＡ、Ｂ、Ｃにわりふっていく方法を採用した（平成２年度）。

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	平成２年度
B	丸　太	気乾材	３４体	平成３年度
C	たいこ	気乾材	３４体	平成４年度

（２） 生材丸太の曲げ剛性試験

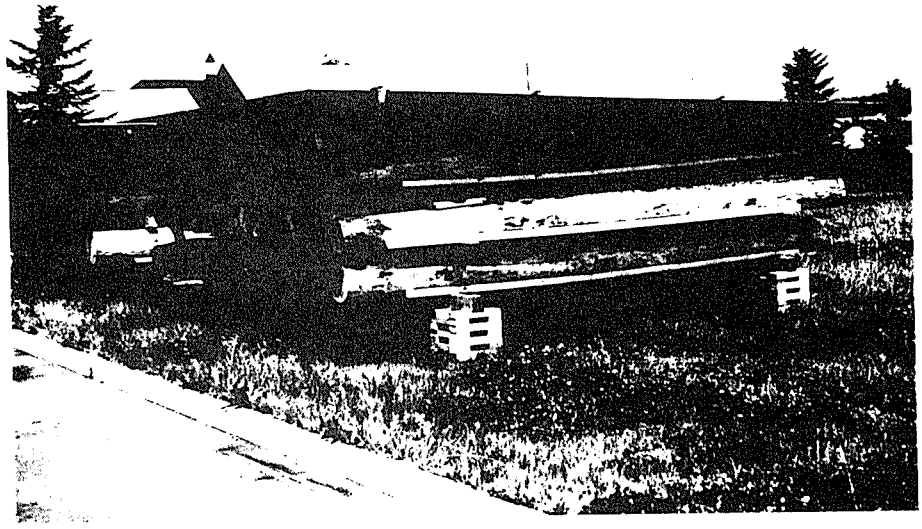
Ｂグループ34体の丸太について、バーカーで剥皮後、重量・寸法を測定した。

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つけ、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。

（３） 丸太の天然乾燥

重量・寸法の測定および曲げ剛性試験終了後、丸太を屋外に桟積みし、約８か月間天然乾燥した。丸太の乾燥状況を写真－１に示す。



写真－１　丸太の天然乾燥

（４） 気乾丸太材の曲げ試験

１）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巻尺を用い、丸太の末口、元口および中央部の円周を測定し、直径を算出した。

また、末口、元口の平均年輪幅を測定するとともに、末口年輪数を測定した。

２）動的ヤング係数の測定

ＦＦＴ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。

３）欠点調査

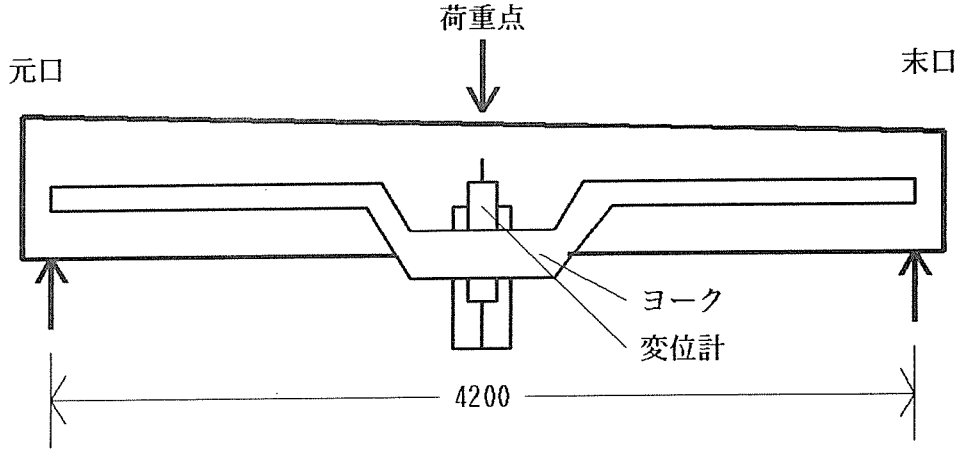
節の調査は、中央部分60cm区間について欠点調査図を描いた。欠点調査図は荷重点位置を中心して元口側約30cm、末口側約30cm間に存在する節の位置および大きさを時計周りを基準にして、荷重点を座標の中心（ｘ＝０、ｙ＝０）として計測し（元口側ｘ＝－側、末口側ｘ＝＋側、円周方向ｙ＝＋側）、時計周りの展開図に図示した（別表、別図）。また、乾燥による割れを青鉛筆で図中に示した。

４）実大材の曲げ試験

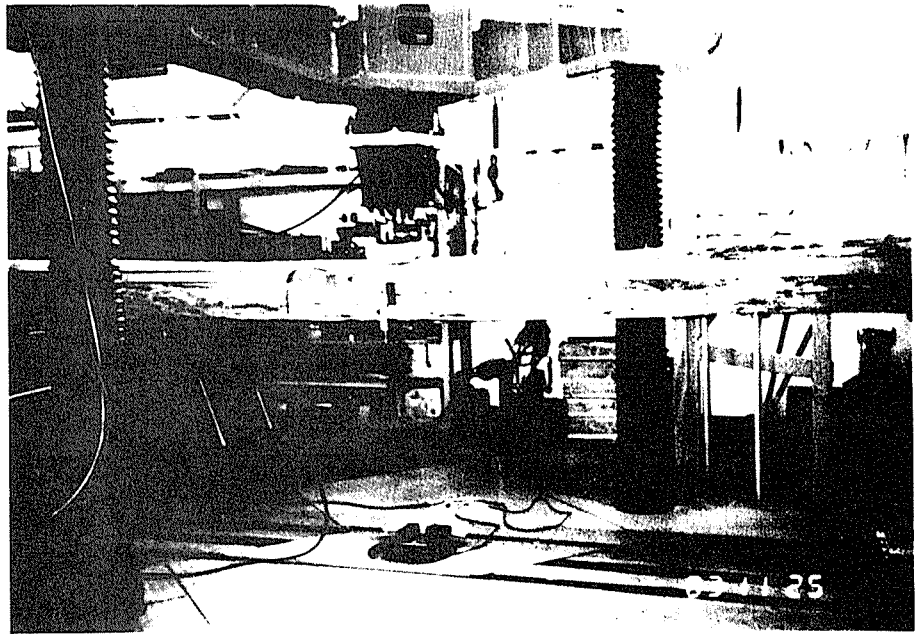
欠点調査の終了した試験体34体について、材長4.6m対してスパン4.2m（中央部径30cmで l/h=14）で図－１および写真－２に示すような中央集中荷重方式で曲げ破壊試験を行った。

試験は、東京衡機製容量20tf油圧式強度試験機を用い、荷重100kgf毎に（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－たわみ曲線およ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。

破壊した試験体の破壊状況を赤鉛筆で欠点調査図（別図）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、心材および全体）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および心材部の気乾比重を求めた。



図－１　曲げ試験の方法



写真－２　曲げ試験の状況

２．３　試験結果および考察

気乾丸太の曲げ強度試験結果をまとめて表－１に示した。

末口径における年輪の数は、平均値で29であり、最小値で25、最大値で32となった。平均年輪幅は、元口で平均値 4.7、最小値 4.0、最大値 5.1、末口で平均値 4.5、最小値 3.8、最大値 5.1で、元口と末口とはほとんど差がなかった。丸太の直径を中央部でみると、平均値で27.8cm、最小値で25.3cm、最大値で30.4cmであり、細り度は 0.4cm/mから 2.0cm/mの範囲で、平均値が 0.8cm/mであった。今回の曲げスパンは、 420cmなので、スパン／直径は13.8から16.6の範囲で、平均値は15.1となった。

気乾比重は辺材で平均値で0.52、最小値で0.44、最大値で0.61、心材で平均値で0.51、最小値で0.45、最大値で0.61となり、辺材、心材ほぼ同等であった。試験時の含水率は全体についてみると、平均値で21.4%、最小値で19.4%、最大値で24.0%、辺材についてみると、平均値で18.5%、最小値で16.7%、最大値で20.4%、心材についてみると、平均値で22.9%、最小値で20.4%、最大値で25.9%で、心材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の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で 2.4、最小値で 0.0、最大値で 5.0、最大集中節径比は平均値で 5.3、最小値で 0.0、最大値で11.4となり、小さな値であった。

動的ヤング係数Ｅｄ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、Ｅｄ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に占める割合は、平均値で0.58、最小値で0.48、最大値で0.68となり、通常言われている 2/3よりはやや小さい値であった。曲げ破壊係数は平均値で 533.0 kgf/cm² 、最小値で 420.2kgf/cm² 、最大値で 609.6kgf/cm² が得られ、変動係数も 8.1 と比較的安定した値であった。しかし、生材の破壊係数（昨年度）と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と考えられる。

動的ヤング係数（Ｅｄ）と曲げヤング係数（ＭＯＥ）の関係、動的ヤング係数と曲げ破壊係数（ＭＯＲ）の関係および曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係をそれぞれ図－２から図－４に示した。これらの相関係数を求めた結果、ＥｄとＭＯＥは 0.772、Ｅｄ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、ＥｄまたはＭＯＥからＭＯＲを推定する可能性はあると考える。

丸太の曲げ剛性におよぼす含水率の影響を表－２に示す。

中央部直径について気乾時と生材時の比をみると、平均値で0.99、最小値で0.98、最大値で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と生材時の比をみると、平均値で0.91、最小値で0.77、最大値で1.32となった。全体的に気乾時のほう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と考えられる。

２．４　試験担当者

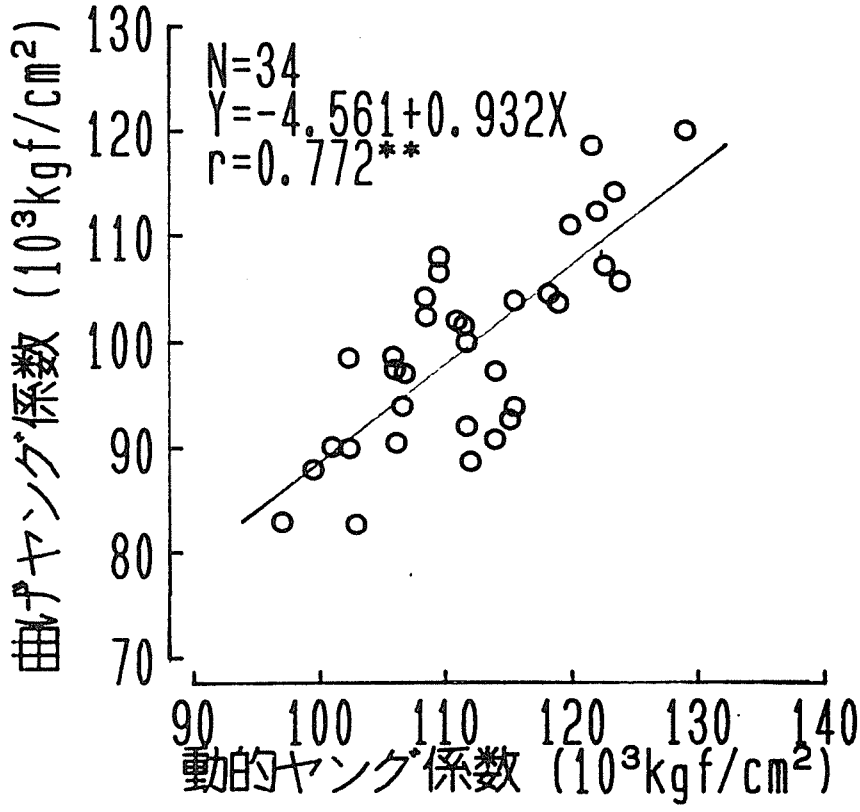
北海道立林産試験場
性能部材料性能科
科　　長　　工藤　修
研究職員　　千葉宗昭
研究職員　　藤原拓哉
研究職員　　細谷俊人

表－１　乾燥丸太材の概要と曲げ試験結果

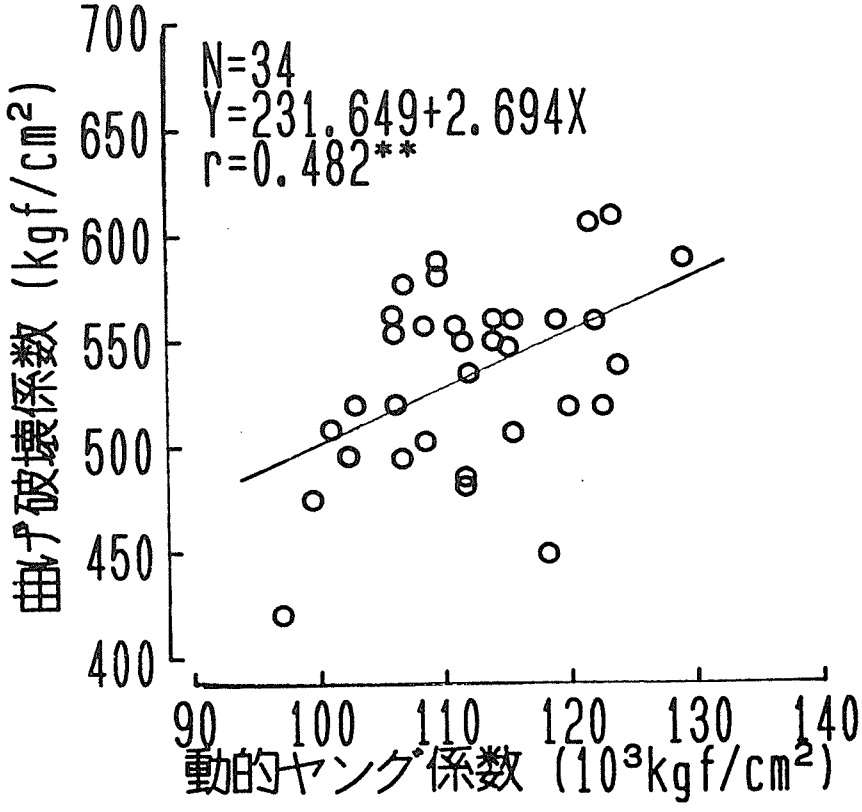
試験体	末口	平均年輪幅		直径			細り度	気乾比重		含水率			最大単独	最大集中	動的	曲げ	比例限	曲げ
番号	年輪数	元口	末口	元口	中央	末口		辺材	心材	辺材	心材	全体	節径比	節径比	ヤング係数	ヤング係数	曲げ応力度	破壊係数
TP No.	RN-t.e.	ARW-b.e. (mm)	ARW-t.e. (mm)	D-b.e. (cm)	D-c (cm)	D-t.e. (cm)	taper (cm/m)	SG-s	SG-h	MC-s (%)	MC-h (%)	MC-w (%)	KD (%)	SKD (%)	Ed (10^3kgf/cm^2)	MOE (10^3kgf/cm^2)	PL (kgf/cm^2)	MOR (kgf/cm^2)
1	28	4.6	4.8	30.7	28.1	26.2	1.0	0.50	0.53	20.1	25.0	23.0	1.8	6.3	101.0	90.1	245.0	508.0
2	30	4.8	4.3	28.7	28.2	26.1	0.6	0.52	0.48	18.7	22.6	20.9	3.2	4.4	122.6	107.2	280.7	519.0
3	31	4.7	4.1	28.8	27.1	25.2	0.8	0.53	0.54	18.6	22.3	20.8	3.5	10.9	106.0	97.4	332.3	553.2
4	28	4.0	4.4	27.7	26.4	24.8	0.6	0.54	0.55	19.4	24.7	22.9	0.0	0.0	123.4	114.2	336.2	609.6
5	31	4.5	4.2	29.2	27.9	26.4	0.6	0.56	0.51	18.0	22.4	20.8	1.6	2.4	102.3	98.5	275.4	495.4
6	30	4.5	4.3	27.5	27.2	25.4	0.5	0.44	0.47	17.6	21.2	19.8	2.8	6.4	99.5	87.9	318.8	474.5
7	30	4.5	4.3	29.5	27.3	25.3	0.9	0.52	0.52	18.7	23.2	21.7	0.8	1.4	109.5	106.5	357.5	587.8
8	25	4.3	4.8	26.2	25.3	23.6	0.6	0.56	0.51	16.7	20.9	19.7	5.0	5.0	121.6	118.6	362.9	606.2
9	30	4.6	4.3	30.1	27.4	26.0	0.9	0.55	0.51	17.6	22.3	20.8	2.3	6.8	109.5	108.0	310.1	580.6
10	32	4.4	4.3	29.6	28.5	27.4	0.5	0.53	0.47	19.0	23.9	22.0	3.0	6.0	108.5	102.4	318.8	502.2
11	28	4.6	4.5	28.7	26.4	24.8	0.9	0.51	0.49	16.9	20.4	19.4	4.3	7.7	115.1	92.7	371.6	546.6
12	32	4.3	3.8	28.7	27.1	23.8	1.1	0.61	0.50	19.0	23.0	21.5	2.2	7.4	113.9	90.8	294.5	549.6
13	29	4.4	4.6	31.1	27.8	26.1	1.1	0.51	0.51	18.1	23.0	21.6	2.2	6.2	115.5	103.9	323.5	506.1
14	29	5.0	4.5	31.8	29.2	26.2	1.2	0.55	0.52	18.9	23.7	21.9	2.0	8.4	122.0	112.3	338.7	559.4
15	30	4.7	4.7	31.3	28.7	27.3	0.9	0.51	0.54	18.1	22.6	20.6	2.0	6.4	111.7	100.0	317.1	485.1
16	25	4.5	5.1	28.4	26.9	25.0	0.7	0.52	0.53	18.5	24.3	23.1	2.7	7.0	115.5	93.9	340.1	559.7
17	27	4.7	4.6	27.8	26.0	25.2	0.6	0.53	0.51	18.5	21.7	20.8	3.4	5.9	129.0	120.1	371.1	589.2
18	25	5.0	5.0	28.1	26.7	25.1	0.7	0.49	0.49	18.4	22.5	20.9	3.3	6.6	110.9	102.0	353.8	556.9
19	29	4.6	4.3	30.9	28.0	25.5	1.2	0.51	0.52	18.3	21.6	20.5	1.7	4.0	111.5	101.6	267.1	549.1
20	25	4.8	5.1	29.0	27.9	25.5	0.8	0.46	0.48	18.5	22.1	20.7	3.4	7.7	106.1	90.4	305.9	519.4
21	31	4.7	4.2	35.0	28.9	25.9	2.0	0.56	0.53	17.3	21.2	20.1	0.0	0.0	112.0	88.7	269.0	534.3
22	30	5.0	4.5	33.0	27.9	26.5	1.4	0.55	0.60	18.9	25.3	23.2	2.5	2.5	105.9	98.6	319.8	561.9
23	30	5.0	4.9	33.8	30.2	28.9	1.1	0.52	0.51	18.0	24.5	21.3	0.0	0.0	118.2	104.6	295.4	449.0
24	28	4.4	4.9	28.9	28.1	26.4	0.5	0.44	0.51	17.8	23.5	22.0	1.2	2.4	106.6	93.9	328.0	494.1
25	26	5.0	4.9	28.3	27.9	25.8	0.5	0.49	0.45	18.7	21.5	20.2	2.1	4.0	108.4	104.2	319.1	556.8
26	29	4.9	4.5	29.2	27.2	25.2	0.9	0.55	0.52	18.6	21.9	20.5	2.9	11.4	106.8	97.0	318.0	576.7
27	29	4.7	4.8	30.4	28.9	27.2	0.7	0.49	0.48	18.7	23.7	21.6	1.3	1.3	119.9	111.0	260.8	518.5
28	25	4.6	4.9	28.2	26.8	25.1	0.7	0.48	0.48	18.4	22.5	21.2	3.6	9.0	102.4	89.9	333.5	495.2
29	28	4.8	4.3	30.3	27.7	24.0	1.4	0.48	0.50	17.9	23.0	21.7	3.2	3.2	102.9	82.7	265.9	519.5
30	28	5.1	4.8	32.2	30.4	27.6	1.0	0.48	0.52	20.4	25.9	24.0	4.0	10.2	97.0	82.9	212.3	420.2
31	32	4.4	4.4	30.9	29.2	27.4	0.8	0.53	0.61	19.8	24.2	22.7	1.7	3.5	123.8	105.7	309.1	538.1
32	25	4.8	5.0	26.5	26.1	24.8	0.4	0.52	0.52	19.3	23.6	21.9	3.8	7.3	118.9	103.7	323.9	559.9
33	28	4.8	4.5	29.0	28.2	25.8	0.7	0.55	0.51	19.0	22.2	20.9	2.1	6.2	111.7	92.0	282.2	480.7
34	31	4.6	4.3	31.4	28.3	26.9	1.0	0.51	0.55	19.1	23.5	21.9	1.8	3.0	114.0	97.3	283.2	560.3
min	25	4.0	3.8	26.2	25.3	23.6	0.4	0.44	0.45	16.7	20.4	19.4	0.0	0.0	97.0	82.7	212.3	420.2
ave	29	4.7	4.5	29.7	27.8	25.8	0.8	0.52	0.51	18.5	22.9	21.4	2.4	5.3	111.9	99.7	310.0	533.0
max	32	5.1	5.1	35.0	30.4	28.9	2.0	0.61	0.61	20.4	25.9	24.0	5.0	11.4	129.0	120.1	371.6	609.6
cv(%)	7.6	5.3	7.0	6.5	4.0	4.4	38.0	6.8	6.5	4.3	5.6	5.0	49.5	56.3	6.9	9.3	11.7	8.1

表－２　　丸太の曲げ剛性に及ぼす含水率の影響

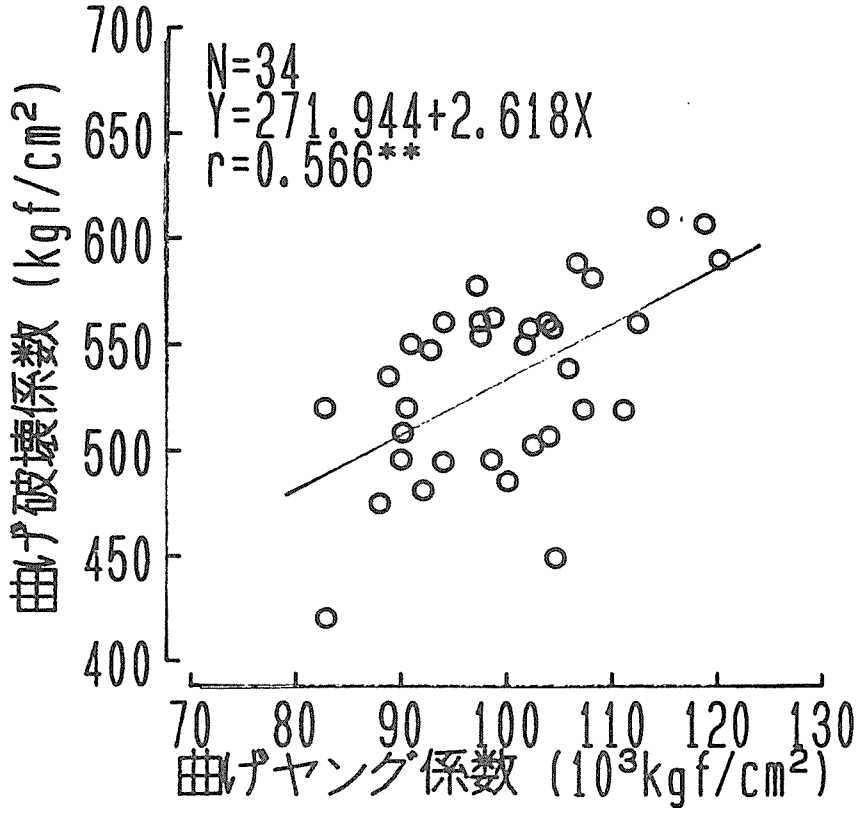
試験体	生　材　時					気　乾　時					比	
番　号	平均含水率	中央部直径	断面二次モーメント	曲げヤング係数	曲げ剛性	平均含水率	中央部直径	断面二次モーメント	曲げヤング係数	曲げ剛性	中央部直径	曲げ剛性
TP No.	MC-g (%)	D-c-g (cm)	I-g (10^3cm^4)	MOE-g ($10^3kgf/cm^2$)	EI-g ($10^6kgf \cdot cm^2$)	MC-d (%)	D-c-d (cm)	I-d (10^3cm^4)	MOE-d ($10^3kgf/cm^2$)	EI-d ($10^6kgf \cdot cm^2$)	D-c-d/D-c-g	EI-d/EI-g
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
cv(%)	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－２　動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係



図－３　動的ヤング係数と曲げ破壊係数の関係



図－４　曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

3．　スギ丸太の実大曲げ試験（その１）

3，1　供試丸太

試験丸太は、宮城県岩出山町のスギ人工林から伐採（間伐）されたもので、伐倒・玉切り後に当試験場に搬入された。平成２年度にＡ，Ｂ，Ｃの各グループに区分され、Ｂグループの丸太を試験体とした。

（1）　供試丸太採取林分の概要

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)植栽年月　　昭和３３年４月
3)伐倒時林令　　３３年生
4)植栽面積　　３．２６ｈａ
5)植栽密度　　４，４５０本／ｈａ
6)伐倒時の成立密度　３，０６０本／ｈａ
7)間伐後の成立密度　２，５３４本／ｈａ
8)保育歴

補植	昭和３４年４月　２００本		
下刈	１回刈　４～７年生	２回刈　１～３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	１回目　１５年生	２回目　２３年生	３回目　２９年生
枝打高	１回目　３～４ｍ	２回目　４～６ｍ	３回目　７～８ｍ

（2）　供試丸太の形状

気乾時（平成３年度調査）の丸太形状を表－１に示した。比重は生材時0.69～0.87（平均　0.77）から曲げ試験時0.28～0.38（同0.33）となった。また、含水率は生材時145％～236％と推定され、試験時14％～21％となりほぼ気乾状態と考えられる。

3，2　試験方法

平成２年度にグループ分けした丸太をビニールシートにより日除けし、出来るだけ自然乾燥を促進させた。また、含水率15％を目標に人工乾燥を行った。

試験方法は、日本住宅・木材技術センターより提示された「丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験実施要領」に準じて行った。

（1） 丸太形状寸法の計測

丸太の材積は材長、末口、元口及び末口から１ｍ毎の円周を計測し直径を算出後、スマリアン式により求めた。また、末口径と元口径から細り度を算出した。
乾燥割れについて、両木口の木口割れ及び材面割れのうち、その長さの最大なものについて割れ長さ、幅及び木口割れについては深さを測定し、「欠点調査図」に記載した。

（2）基本振動周波数と密度測定による動的ヤング係数（Ｅｄ）の測定

曲げ試験時に丸太の基本振動周波数と密度を測定し、次式により動的ヤング係数（Ｅｄ）を求めた。

$$Ed = \frac{4 \times f^2 \times L^2 \times SG}{g}$$

ｆ：基本振動周波数（Ｈｚ）
Ｌ：材長（ｃｍ）
ＳＧ：密度（ｇ／ｃｍ^3）
Ｅｄ：動的ヤング係数（ｋｇｆ／ｃｍ^2）
ｇ：重力加速度（980.7）

（3）丸太の実大曲げ試験

曲げ破壊試験は材長４ｍに対してスパン 3.6mで中央集中荷重方式で行った。
試験機は油圧式強度試験機（東京衡機製）を用い、たわみ量は荷重 30kgf毎にヨークに取り付けた小野測器製リニアゲージセンサ（ 1/100mm精度）で計測し、比例限を越えてからヨークを外し、破壊時の最大たわみは共和電業製変位変換機（1/10mm精度）のワイヤーを丸太の中央部中立軸に取り付けて計測した。
試験機からの荷重値とリニアゲージセンサのたわみ量からの「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、たわみ量並びに丸太中央部直径から、曲げヤング係数（ＭＯＥ）、曲げ比例限強さ（ＰＬ）および曲げ破壊係数（ＭＯＲ）を算出した。実大曲げ試験の結果は表－１の通りである。
破断後に破壊状況を赤鉛筆で欠点調査図に記入し、破断面近くの非破壊部から３枚の円盤を採取し、それぞれの円盤から試験時の全体含水率、辺材･心材別の含水率と気乾比重及び樹心からの１年輪毎の年輪幅を測定した。

３，３　試験結果と考察

丸太の年輪数は、末口で20～29（平均26）、元口で25～34（同31）となっており、一番玉と二番玉の差があった。平均年輪幅は、末口で 3.7～ 5.8mm（ 4.3mm）、元口

で 3.9～ 5.2mm（ 4.5mm）とほとんど差がなかった。また、二番玉は一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。丸太の中央部直径は最小値21.4cm、最大値26.1cm、平均値は23.5cmとなっており、曲げスパン（ 360cm）と直径の比は13.8から16.8で、平均値で15.3となった。試験時の気乾比重は辺材0.26～0.37（平均0.32）、心材0.29～0.41（平均0.35）とやや小さく、比較的成長の良い立木から採取された丸太のためと考えられる。含水率は辺材11.0～17.7%（同14.1%）、心材14.8～26.6%（同18.9%）、全体では14.4～20.5（同16.6%）となっておりほぼ気乾状態と考えられる。

動的ヤング係数（Ｅｄ）と曲げヤング係数（ＭＯＥ）との関係、曲げヤング係数と曲げ破壊係数（ＭＯＲ）との関係及び動的ヤング係数と曲げ破壊係数との関係をそれぞれ図-１から３に示した。

ＥｄとＭＯＥの平均値はほとんど差のない値を示した。ＭＯＥは最小値53.0tf/cm^2、最大値90.2tf/cm^2、平均値75.3tf/cm^{2}となり、生材のＭＯＥ（平成２年度）とべて平均値で約7tf/cm^2（生材比約10%）大きい値となった。ＭＯＲは最小値 279.0kgf/cm^2、最大値 564.5kgf/cm^2、平均値 444.3kgf/cm^{2}となり、生材のＭＯＲ（平成２年度）と較べて平均値で約 95kgf/cm^2（生材比約27%）大きい値となった。

各測定因子間の相関係数は、ＥｄとＭＯＥは 0.832、ＥｄとＭＯＲは 0.601、ＭＯＥとＭＯＲは 0.775と高い相関が認められた。

TP 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ＥｄとＭＯＥに大きな差（約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「カケキズ」（幅50mm長さ120mm深さ10mm）があり破壊の原因となり、ＭＯＥ、ＭＯＲが小さい値となったと考えられる。

丸太の曲げ剛性におよぼす含水率の影響を表－２に示した。丸太中央部直径の生材時と気乾時の比は、平均値で０，９８と若干気乾時が小さくなっている。曲げ剛性をみると、最小値で０，９０、最大値で１，０８、平均値で０，９７と全般的に気乾時のほうが小さくなっている。

３，４　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

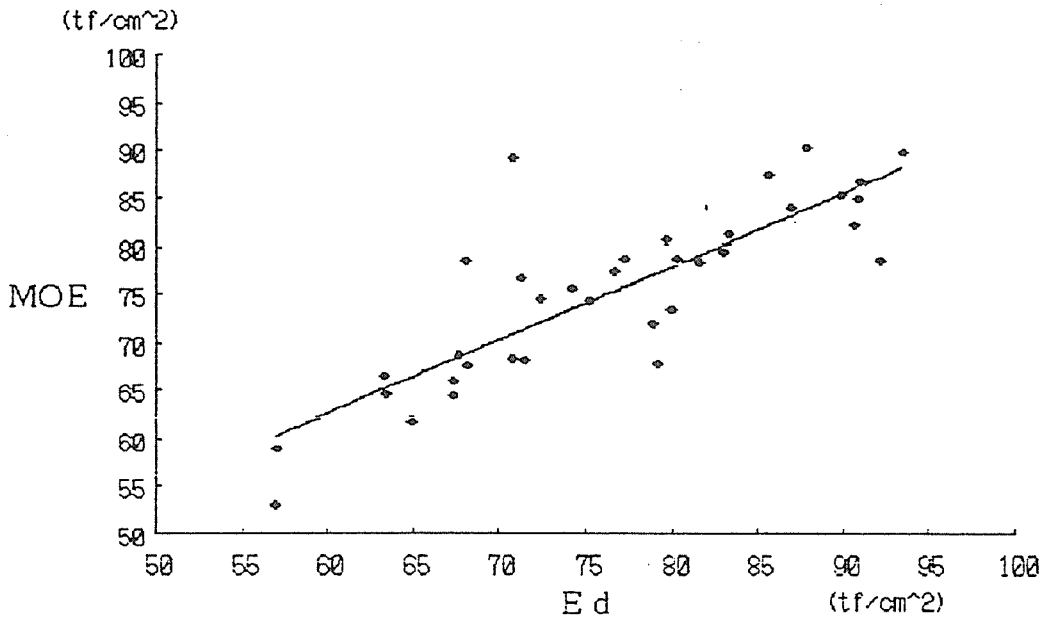


図-1. 動的ヤング係数（Ｅｄ）と曲げヤング係数（ＭＯＥ）との関係

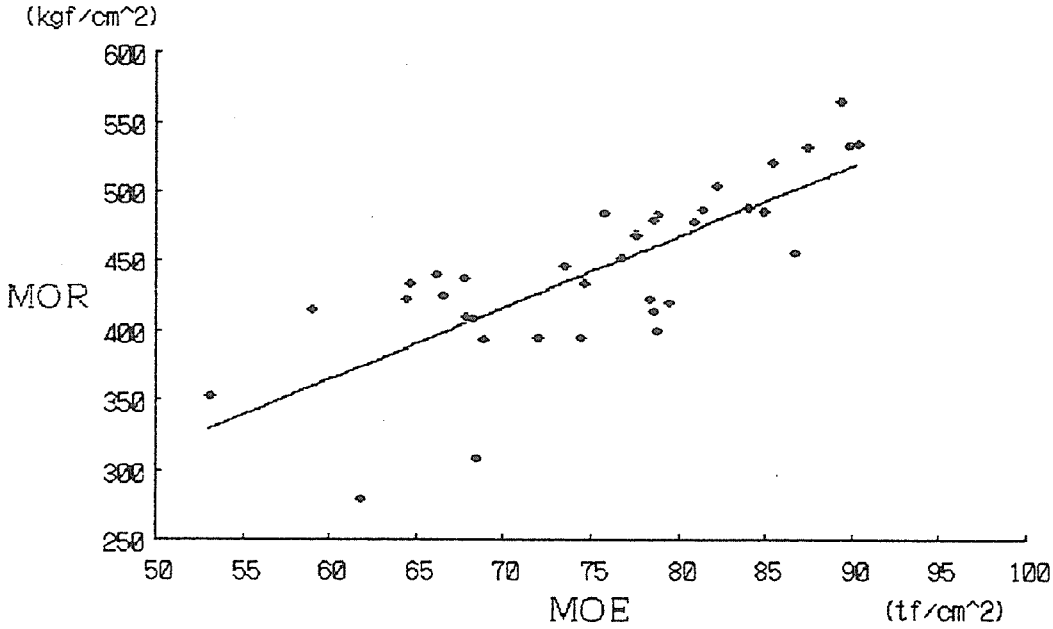


図-2　曲げヤング係数（ＭＯＥ）と曲げ破壊係数（ＭＯＲ）との関係

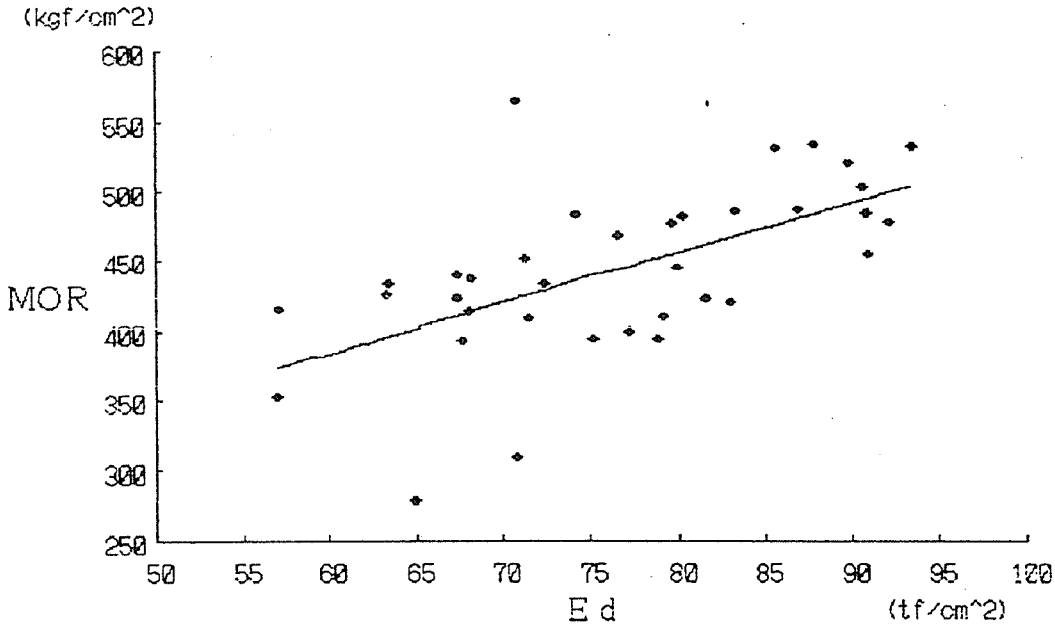


図-3　動的ヤング係数（Ｅｄ）と曲げ破壊係数（ＭＯＲ）との関係

表－１　気乾丸太の概要と曲げ強度試験結果

宮城県林業試験場

丸太番号	年輪数（年）		平均年輪幅(mm)		直径(cm)			細り度	気乾比重		含水率（%）			最大単独節径比(%)	最大集中節径比(%)	動的ﾔﾝｸﾞ係数	曲げﾔﾝｸﾞ係数	比例限強さ	曲げ破壊係数
	元口	末口	元口	末口	元口	中央部	末口	(cm/m)	辺材	心材	辺材	心材	全体			(tf/cm^2)	(tf/cm^2)	(kgf/cm^2)	(kgf/cm^2)
TP No.	RN-b.e	RN-t.e	ARW-b.e	ARW-t.e	D-b.e	D-c	D-t.e	taper	SG-s	SG-h	MC-s	MC-h	MC-w	KD	SKD	Ed	MOE	PL	MOR
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	0	0	67.2	66.0	254.3	439.5
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	0	0	76.5	77.4	307.2	468.3
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	0	0	77.1	78.7	267.1	400.2
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	0	0	63.3	64.6	254.7	432.9
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	0	0	90.7	84.8	326.4	484.9
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	0	0	56.9	53.0	201.8	353.4
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	0	0	74.1	75.6	300.8	483.9
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	0	0	68.0	78.4	292.3	413.6
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	0	0	79.1	67.7	264.0	410.0
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	0	0	82.9	79.4	302.7	420.1
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	0	0	79.6	80.7	281.2	476.7
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	0	0	81.4	78.3	315.5	423.0
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	0	0	67.6	68.7	246.7	394.1
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	0	0	86.8	83.9	317.3	486.9
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	0	0	75.1	74.3	255.6	395.1
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	0	0	90.9	86.6	305.4	456.2
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	0	0	93.3	89.7	322.3	532.6
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	0	0	78.7	71.9	267.2	395.4
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	0	0	90.5	82.1	319.6	504.1
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	0	0	80.1	78.6	303.8	482.0
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	0	0	70.7	68.3	232.1	308.7
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	0	0	83.2	81.2	287.3	486.2
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	0	0	70.7	89.2	331.8	564.5
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	0	0	63.3	66.5	235.2	424.7
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	0	0	71.2	76.6	311.4	452.1
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	0	0	89.7	85.3	316.2	520.7
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	0	0	68.0	67.6	260.0	436.3
94	33	27	4.8	4.3	31.6	25.5	23.3	2.0	0.33	0.32	14.9	18.9	17.6	0	0	64.9	61.7	218.2	279.0
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	0	0	92.1	78.4	280.4	478.3
98	28	22	4.1	4.7	23.0	21.8	20.7	0.6	0.31	0.35	15.7	16.4	14.4	0	0	79.8	73.4	224.6	446.0
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	0	0	71.4	68.2	240.6	408.7
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	0	0	67.2	64.3	232.7	422.1
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	0	0	85.5	87.3	306.8	532.2
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	0	0	72.3	74.5	258.3	433.3
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	0	0	57.0	58.8	216.1	414.5
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	0	0	87.7	90.2	270.6	534.9
試料数	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
最小値	25.0	20.0	3.9	3.7	23.0	21.4	20.2	0.5	0.26	0.29	11.0	14.8	14.4	0.0	0.0	56.9	53.0	201.8	279.0
平均値	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	0.0	0.0	76.5	75.3	275.8	444.3
最大値	34.0	29.0	5.2	5.8	33.4	26.1	24.5	2.8	0.37	0.41	17.7	26.6	20.5	0.0	0.0	93.3	90.2	331.8	564.5
標準偏差	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	0.00	0.00	9.95	9.08	35.76	59.76
変動係数	6.81	7.78	8.77	9.77	10.87	4.96	4.95	45.78	8.08	8.31	9.56	10.99	7.94			13.01	12.05	12.97	13.45

表－２　気乾丸太の曲げ剛性におよぼす含水率の影響

丸太番号	生材時					気乾時					生材時と気乾時の比	
	平均含水率(%)	中央部直径(cm)	断面二次ﾓｰﾒﾝﾄ(cm^4)	動的曲げﾔﾝｸﾞ係数(tf/cm^2)	曲げ剛性(10^3kgf･cm^2)	平均含水率(%)	中央部直径(cm)	断面二次ﾓｰﾒﾝﾄ(cm^4)	動的曲げﾔﾝｸﾞ係数(tf/cm^2)	曲げ剛性(10^3kgf･cm^2)	中央部直径	曲げ剛性
TP No.	MC-g	D-c-g	I-g	Ed-g	EI-g	MC-d	D-c-d	I-d	Ed-d	EI-d	(D-c-d)/(D-c-g)	(EI-d)/(EI-g)
7	152.3	24.8	18655	65.1	1213559	16.2	24.5	17716	67.2	1191338	0.99	0.98
11	163.9	25.3	20233	73.4	1485359	16.6	24.7	18181	76.5	1390461	0.97	0.94
13	171.5	24.4	17351	72.7	1262155	16.5	23.9	15946	77.1	1229945	0.98	0.97
15	166.5	24.5	17716	58.6	1038900	16.9	23.8	15861	63.3	1004027	0.97	0.97
16	165.3	23.6	15277	86.3	1318083	17.1	23.2	14234	90.7	1290906	0.98	0.98
21	205.5	25.1	19531	53.1	1036353	16.7	24.7	18275	56.9	1039932	0.98	1.00
23	187.4	22.7	12952	69.8	904351	16.0	22.2	11826	74.1	875907	0.98	0.97
26	194.7	22.7	12952	66.3	858631	15.6	21.9	11358	68.0	772045	0.97	0.90
31	161.1	22.4	12309	73.0	898701	16.5	22.3	12239	79.1	967917	1.00	1.08
39	172.1	24.1	16550	78.4	1298017	15.6	23.6	15112	82.9	1252993	0.98	0.97
41	196.1	22.6	12879	75.2	967971	15.0	22.1	11758	79.6	935762	0.98	0.97
42	178.4	22.8	13171	77.0	1014262	15.3	22.4	12309	81.4	1002207	0.98	0.99
46	225.7	24.4	17261	63.1	1089222	17.1	23.8	15692	67.6	1060241	0.98	0.97
52	148.0	22.6	12879	80.0	1030944	17.6	22.2	11894	86.8	1032484	0.98	1.00
59	173.4	24.8	18655	69.1	1289605	15.6	24.3	16991	75.1	1275526	0.98	0.99
60	174.7	22.3	12100	85.2	1030433	15.5	21.9	11358	90.9	1032018	0.98	1.00
63	148.6	22.7	13098	89.2	1167869	14.6	22.3	12031	93.3	1122597	0.98	0.96
65	155.4	22.4	12309	74.8	921240	16.9	21.9	11358	78.7	894192	0.98	0.97
66	165.8	22.0	11424	87.3	997357	15.1	21.3	10095	90.5	913913	0.97	0.92
68	171.9	24.5	17716	76.7	1359697	16.0	24.0	16203	80.1	1298113	0.98	0.95
71	205.6	24.3	17081	67.6	1155210	20.5	23.9	16031	70.7	1133022	0.98	0.98
75	183.4	24.2	16725	76.4	1278086	15.2	23.3	14469	83.2	1204067	0.96	0.94
79	155.5	24.2	16725	65.5	1095441	16.4	23.5	14869	70.7	1051211	0.97	0.96
81	204.9	23.3	14391	60.6	871924	18.8	22.5	12592	63.3	796584	0.97	0.91
84	161.6	24.8	18655	67.3	1255008	15.4	23.9	15946	71.2	1134784	0.96	0.90
85	174.6	24.5	17624	83.2	1465941	16.9	23.9	16117	89.7	1445273	0.98	0.99
89	174.6	25.5	20643	63.4	1308535	17.1	24.7	18369	68.0	1249883	0.97	0.96
94	167.0	25.9	22235	60.6	1347512	17.6	25.7	21269	64.9	1379329	0.99	1.02
95	144.6	25.8	21694	82.4	1788457	18.0	25.4	20335	92.1	1872733	0.98	1.05
98	235.7	21.9	11358	75.6	858994	14.4	21.6	10649	79.8	850286	0.98	0.99
100	169.1	26.1	22786	70.1	1596344	18.0	25.7	21269	71.4	1518875	0.98	0.95
101	208.0	24.3	16991	62.4	1060050	18.0	23.8	15692	67.2	1054525	0.98	0.99
103	154.6	22.3	12100	80.1	968993	16.2	21.7	10903	85.5	932312	0.97	0.96
105	190.9	23.7	15525	68.4	1061142	17.6	23.1	13924	72.3	1006047	0.97	0.95
106	214.7	23.8	15777	54.1	853257	15.2	23.4	14708	57.0	838078	0.98	0.98
107	166.9	24.4	17442	83.4	1454131	18.9	23.7	15442	87.7	1354062	0.97	0.93
試料数	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
最小値	144.6	21.9	11358	53.1	853257	14.4	21.3	10095	56.9	772045	0.96	0.90
平均値	177.5	23.9	16188	72.1	1155604	16.6	23.3	14806	76.5	1122322	0.98	0.97
最大値	235.7	26.1	22786	89.2	1788457	20.5	25.7	21269	93.3	1872733	1.00	1.08
標準偏差	22.22	1.18	3182.91	9.28	225306.23	1.32	1.17	2972.60	9.95	227838.24	0.01	0.04
変動係数	12.52	4.95	19.66	12.87	19.50	7.94	5.00	20.08	13.01	20.30	0.75	3.69

4．スギ丸太の実大曲げ試験（その２）

4.1　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月に伐採され、材長４ｍに玉切りした２番玉、３番玉、４番玉より選木した 102体のうち、前年度に生材時の基本振動周波数と密度測定による動的ヤング係数（Ｅｄ）を測定し、気乾材で実大曲げ試験を行うグループに仕分けた34体である。この試験グループの編成方法については昨年度の報告に詳しい。

4.2　試験方法

(1)　供試丸太の乾燥方法

気乾材で実大曲げ試験を行う丸太34体は森林総研の土場に風通しが良いように桟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１年間天然乾燥を行った。しかし、一部の供試体について、実大曲げ試験を行ったのちに得た全断面での全乾法による含水率測定の結果は、繊維飽和点を上廻っていたため、木材利用部乾燥研究室に依頼して、残りの丸太を人工乾燥した。

(2)　形状寸法の計測

丸太の形状寸法として、末口、元口、およ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。

最後に、末口における年輪の数をＲＮ-t.e. として記録した。

(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にはじめて、荷重面、引張り面が特定されるからである。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づつ、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。

(4) 実大曲げ試験

丸太中央部の直径が最大のもので約26cmあったので、支点間距離（スパン）としてこの14倍以上にとることを考え、スパンを 390cmとした。

荷重点としては、アカガシを用いて、幅20cm、厚さ12cm、長さ35cmの形状で面をとったブロックを使った。

用いた試験機は、東京衡機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、前年度と異なり、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。これはやはり前年度に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、1／100 精度、ストローク50mmのダイヤルゲージを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１／１００㎜精度、ストローク１００㎜の小野測器社製デジタルダイヤルゲージであった。また、前年度得られている曲げヤング係数との比較のためと、さらに支点上における丸太のめりこみによるみ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－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、およびＭＣ-wとあらわした。残った１枚は気乾状態にした後、気乾比重を測定した。

4.3 試験結果と考察

(1) 実大曲げ試験

表１に、今年度実施した丸太の曲げ強度試験の個々の結果をまとめた。表２に、各測

定項目ごとの最小値、平均値、最大値、および変動係数を示した。（表１．添付省略）

末口径における年輪の数（ＲＮ－ t.e. ）は、平均値で40あり、最小値で31、最大値で48となっていた。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、平均値で約23cm、最小値で約20cm、最大値で約26cmとなっており、細り度（Ｔａｐｅｒ）も 0.8cm／ｍから 1.8cm／ｍの範囲で、平均値が 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から14.8の範囲で、平均値で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、平均値で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の４体と、人口乾燥を施したもの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）で、13.5％から42.9％の範囲を示し、平均値が20.8％となった。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（Ｅｄ）の実測値の平均は、床からのたわみに基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±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、このことには後にふれることとして、とりあえず、34体の結果で整理することにすると、比例限度（ＳＰＬ）が曲げ強度（ＭＯＲ）に占める割合は、平均値で約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、最小値が 386kg f／cm²、最大値が 699kg f／cm²の範囲を示し、平均値として 525kg f／cm²が得られた。

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。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、Ｅｄ、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1、2、3、4に示した。

また、強い相関が認められた例として、EdとMOR、MOE－1とMOR、の関係を図5、6に示した。さらにEdとMOE－1、MOE－1とMOE－2の関係を参考のためにそれぞれ図7、8に示した。

最後に、含水率の影響を明らかにするために、天然乾燥および人工乾燥を行った34体の試験体より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だし、それぞれの供試体と対応する生材の試験結果と直接比較する方法をとってみた。この結果を表4に示した。含水率は生材で約 133%乾燥材で16.5%、その変動係数は生材の約23%から乾燥材の 7.9%へと著しく小さくなっていた。

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85.7 t f／cm²、乾燥材のそれが90.6t f／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た。

曲げ強度は、生材と乾燥材との間で約 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9、10に示した。5th%ile 値は、MOE－2では乾燥機で61.1t f／cm²、生材で64.6t f／cm²、MORでは乾燥材で 417kg f／cm²、生材で 380kg f／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。

4.4　試験担当者

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　員　長尾　博文

表２　乾燥材丸太の曲げ強度試験結果
（スギ：森林総合研究所）

	最小値	平均値	最大値	変動係数（%）
RN-t.e.	31	40	48	9.9
ARW-b.e. (mm)	2.2	2.7	3.2	10.2
ARW-t.e. (mm)	2.0	2.6	3.1	11.7
D-b.e. (cm)	21.9	25.4	29.1	7.5
D-c (cm)	20.3	23.3	26.4	7.5
D-t.e. (cm)	18.2	20.9	23.8	8.2
Taper (cm/m)	0.8	1.1	1.8	19.9
SG-s	0.36	0.42	0.52	8.7
SG-h	0.36	0.42	0.60	10.3
MC-s (%)	13.0	16.7	46.5	37.1
MC-h (%)	14.6	28.3	61.3	44.3
MC-w (%)	13.5	20.8	42.9	31.3
KD (%)	0	4.3	8.0	43.4
SKD (%)	0	7.8	15.9	51.7
Ed (tf/cm^2)	75.0	99.9	131.4	13.2
MOE-1(tf/cm^2)	60.3	96.1	130.1	16.1
MOE-2(tf/cm^2)	56.8	89.6	119.1	18.6
SPL (kgf/cm^2)	185	331	433	19.1
MOR (kgf/cm^2)	386	525	699	16.9

表３　各測定因子間の単相関係数

	RN-t.e.	ARW-b.e.	ARW-t.e.	D-b.e.	D-c	D-t.e.	Taper	SG-s
RN-t.e.	1							
ARW-b.e.	-.51	1						
ARW-t.e.	-.678	.621	1					
D-b.e.	.257	.426	.337	1				
D-c	.29	.418	.361	.961	1			
D-t.e.	.365	.326	.304	.877	.946	1		
Taper	-.142	.255	.149	.444	.239	-.035	1	
SG-s	.385	-.19	-.467	-.223	-.13	-.094	-.307	1
SG-h	-.146	.173	.113	-.109	-.17	-.196	.146	.2
MC-s	.205	-.1	-.211	.176	.092	.04	.252	-.015
MC-h	.198	.011	-.089	.162	.201	.213	-.106	.045
MC-w	.297	-.077	-.19	.215	.206	.159	.121	.072
KD	-.24	.121	-.084	-.125	-.232	-.352	.384	.005
SKD	-.177	-.076	-.081	-.02	-.14	-.29	.486	-.058
Ed	.105	-.044	-.141	-.27	-.213	-.075	-.437	.591
MOE-1	.255	-.081	-.242	-.19	-.141	.04	-.486	.506
MOE-2	.146	-.006	-.157	-.211	-.151	.015	-.494	.562
PL	-.253	.019	-.119	-.529	-.531	-.408	-.341	.272
MOR	.074	-.112	-.21	-.324	-.3	-.145	-.409	.559

	SG-h	MC-s	MC-h	MC-w	KD	SKD	Ed	MOE-1
SG-h	1							
MC-s	-.113	1						
MC-h	-.121	.332	1					
MC-w	-.125	.688	.79	1				
KD	.144	.18	.091	.07	1			
SKD	-.033	.221	-4.210E-4	.102	.631	1		
Ed	.461	-.287	.018	-.166	-.191	-.328	1	
MOE-1	.356	-.278	.029	-.174	-.215	-.36	.9	1
MOE-2	.319	-.273	.015	-.166	-.318	-.442	.901	.904
PL	.363	-.521	-.174	-.396	-.072	-.221	.703	.698
MOR	.398	-.359	-.278	-.381	-.252	-.307	.761	.746

	MOE-2	PL	MOR
MOE-2	1		
PL	.716	1	
MOR	.799	.762	1

表４．丸太の生材試験体と乾燥材試験体
の曲げ強度試験結果
（乾燥材(MC<19%)と対応する生材）(n=20)

		生材	乾燥材
含水率（％）	平均値	133.1	16.5
MC	変動係数（％）	22.6	7.9
曲げヤング係数	平均値	85.7	90.6
MOE*(tf/cm²)	変動係数（％）	16.7	18.4
	5th%ile値	64.6	61.1
曲げ破壊係数	平均値	502	543
MOR(kgf/cm²)	変動係数（％）	13.7	16.6
	5th%ile値	380	417

*: 乾燥材の曲げヤング係数はMOE-2

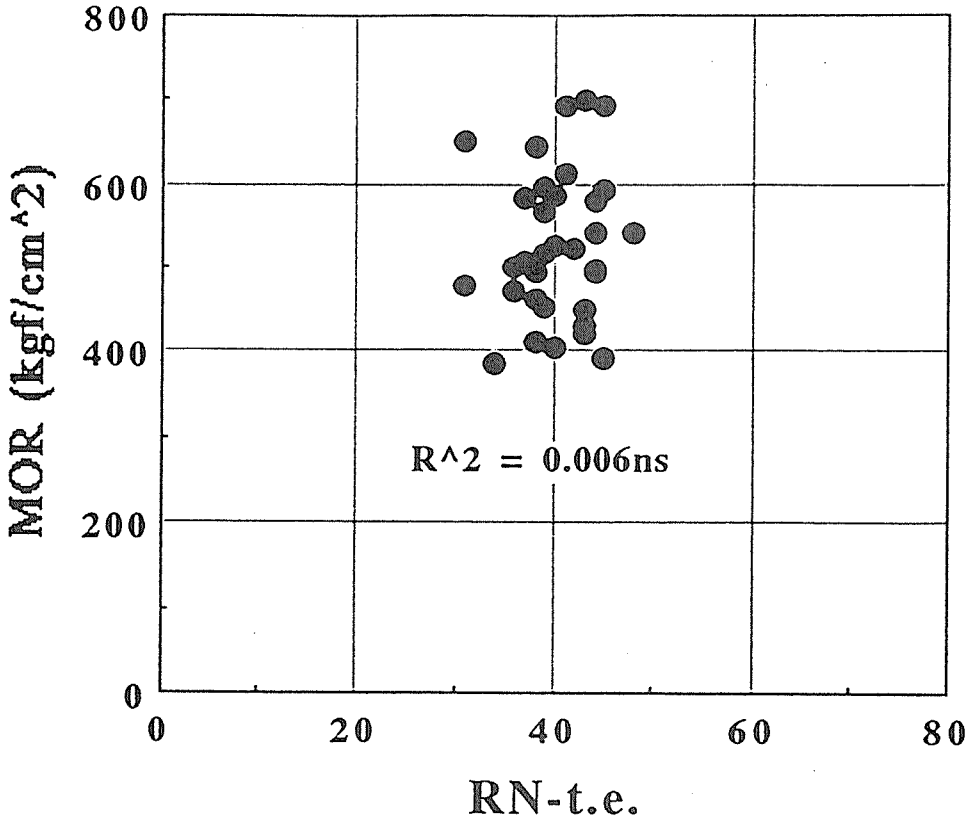


図１　末口年輪数(RN-t.e.)と曲げ強度(MOR)との関係

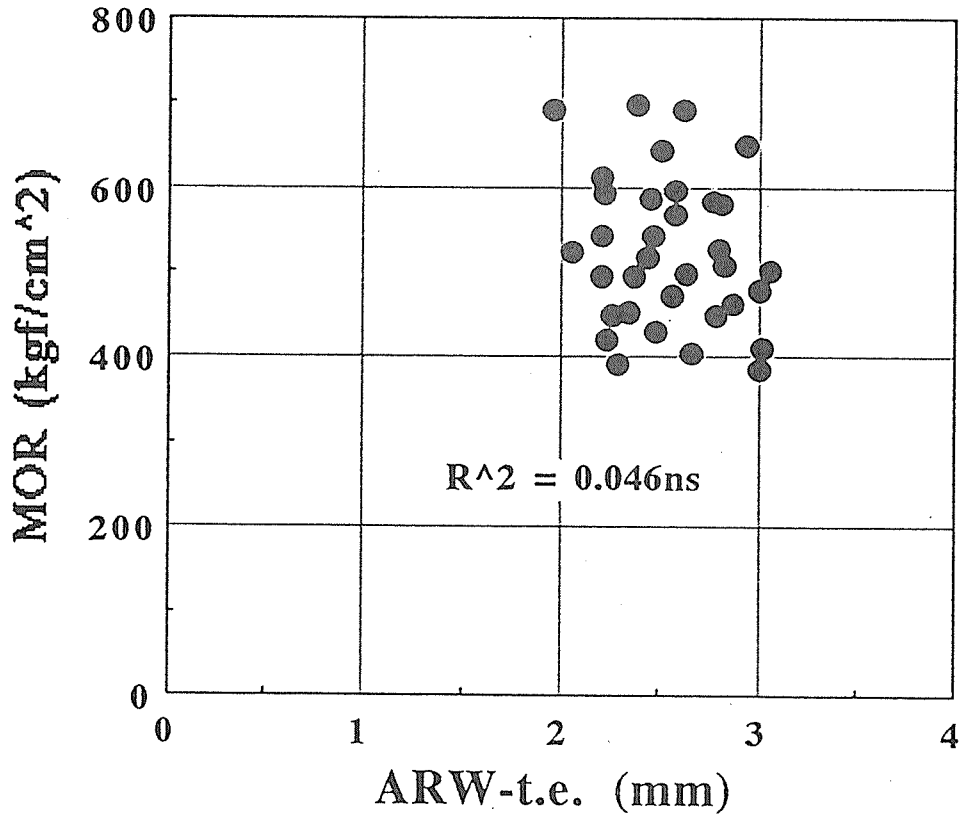


図２　末口平均年輪幅(ARW-t.e.)と曲げ強度(MOR)との関係

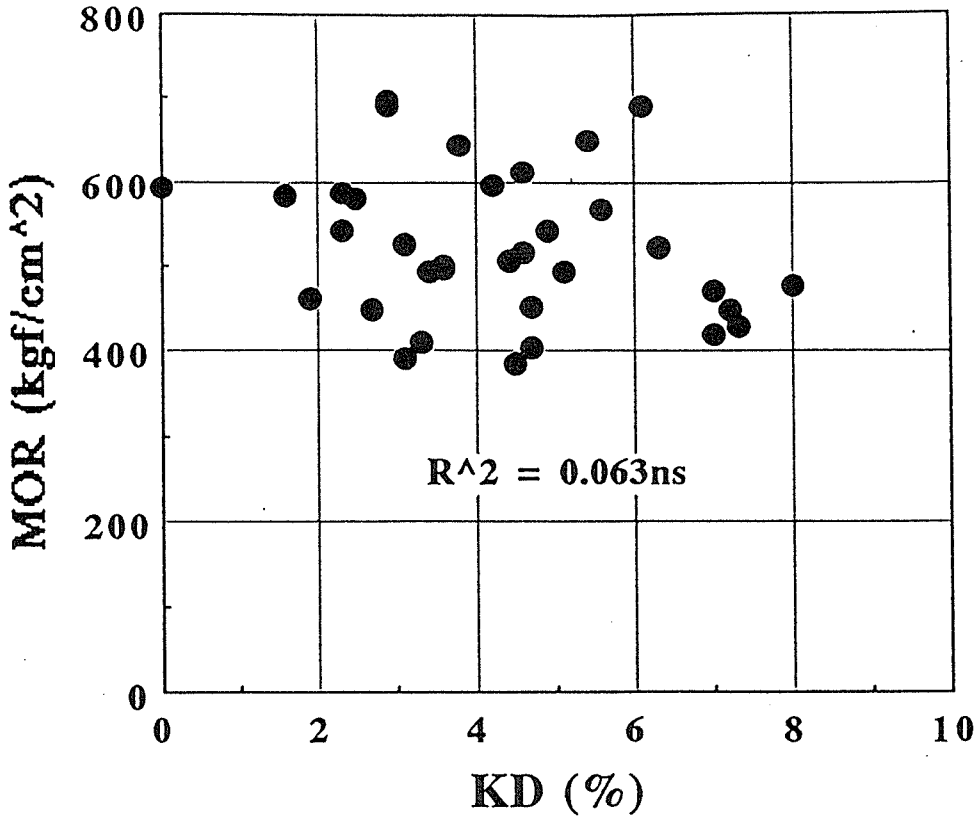


図３　最大単独節径比(KD)と曲げ強度(MOR)との関係

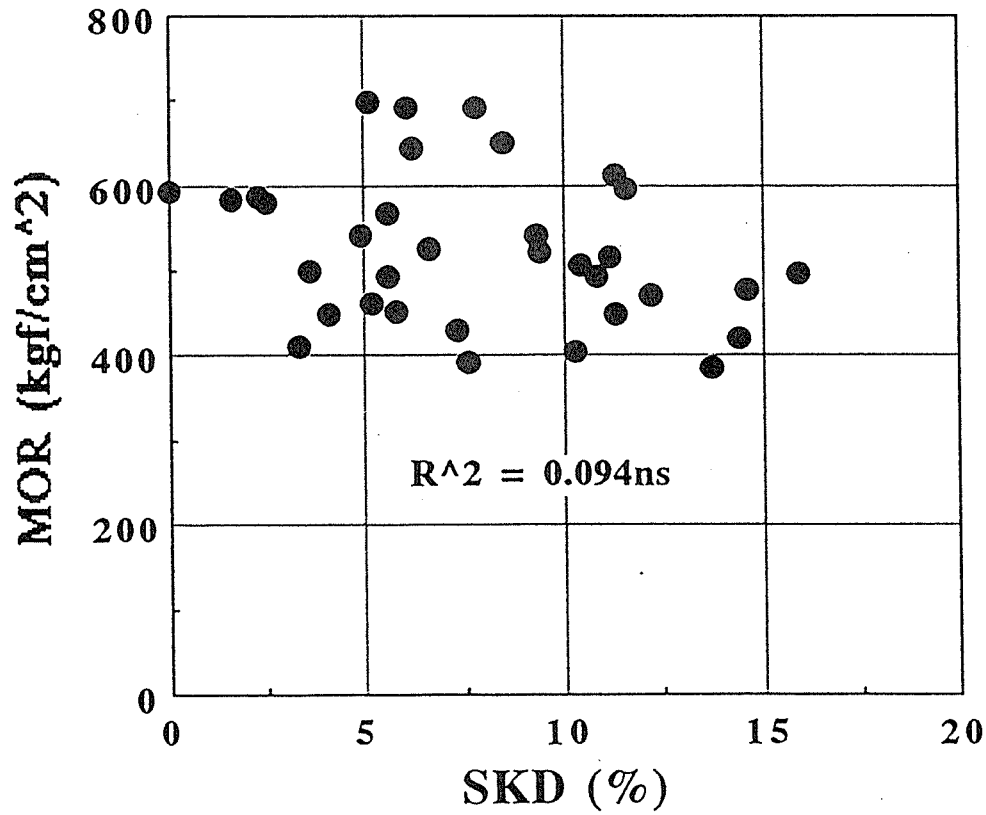


図４　最大集中節径比(SKD)と曲げ強度(MOR)との関係

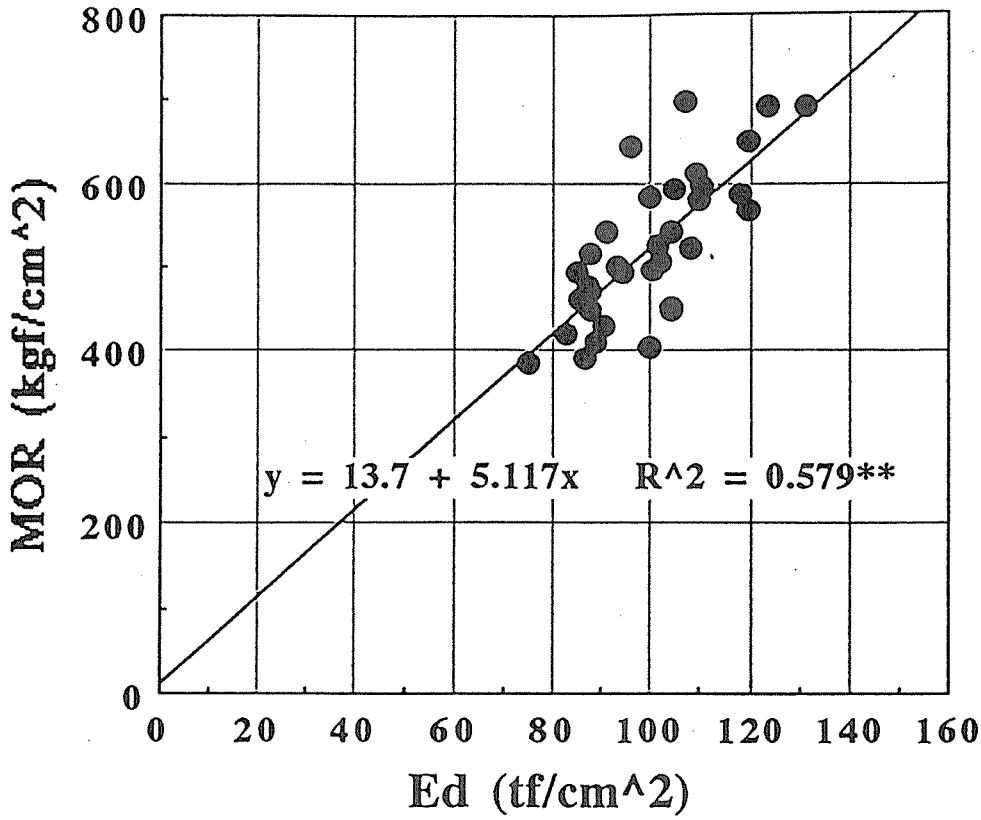


図５　動的ヤング係数(Ed)と曲げ強度(MOR)との関係

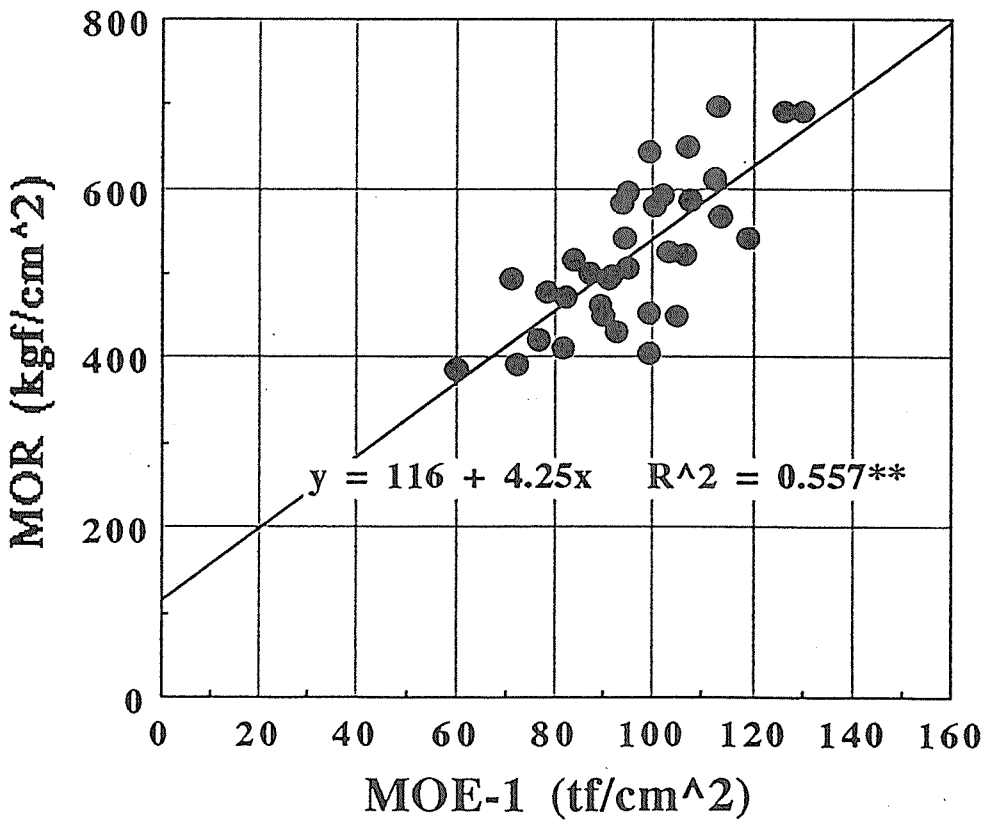


図６　静的曲げヤング係数(MOE-1)と曲げ強度(MOR)との関係

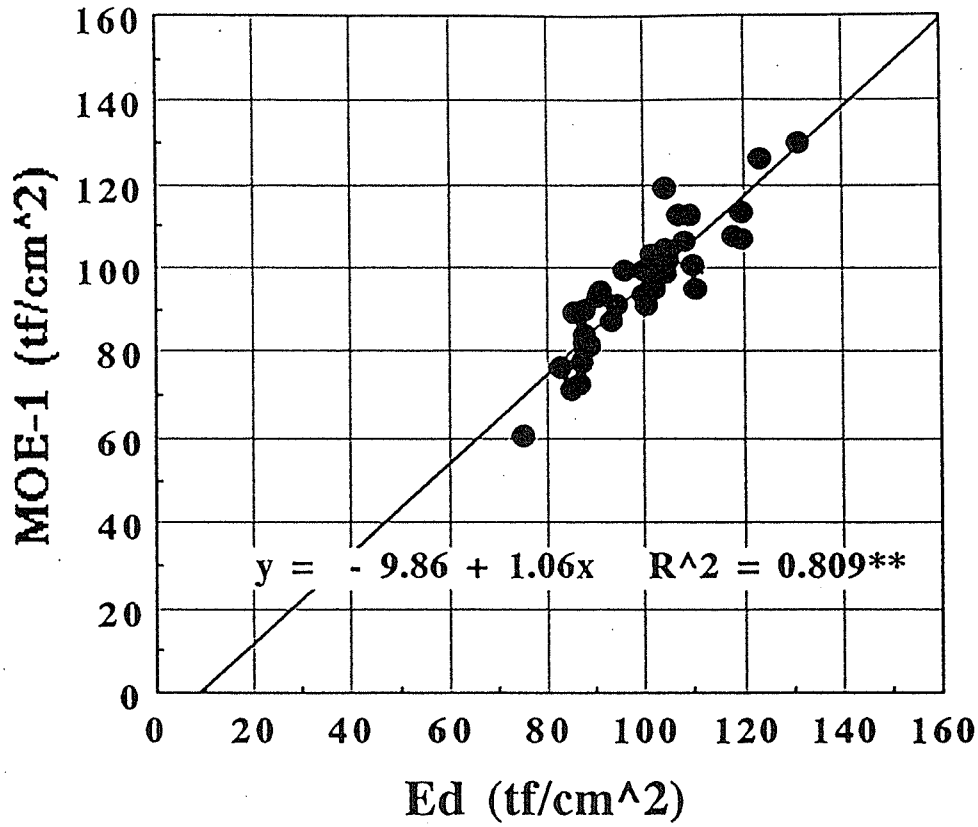


図７　動的ヤング係数(Ed)と静的曲げヤング係数(MOE-1)との関係

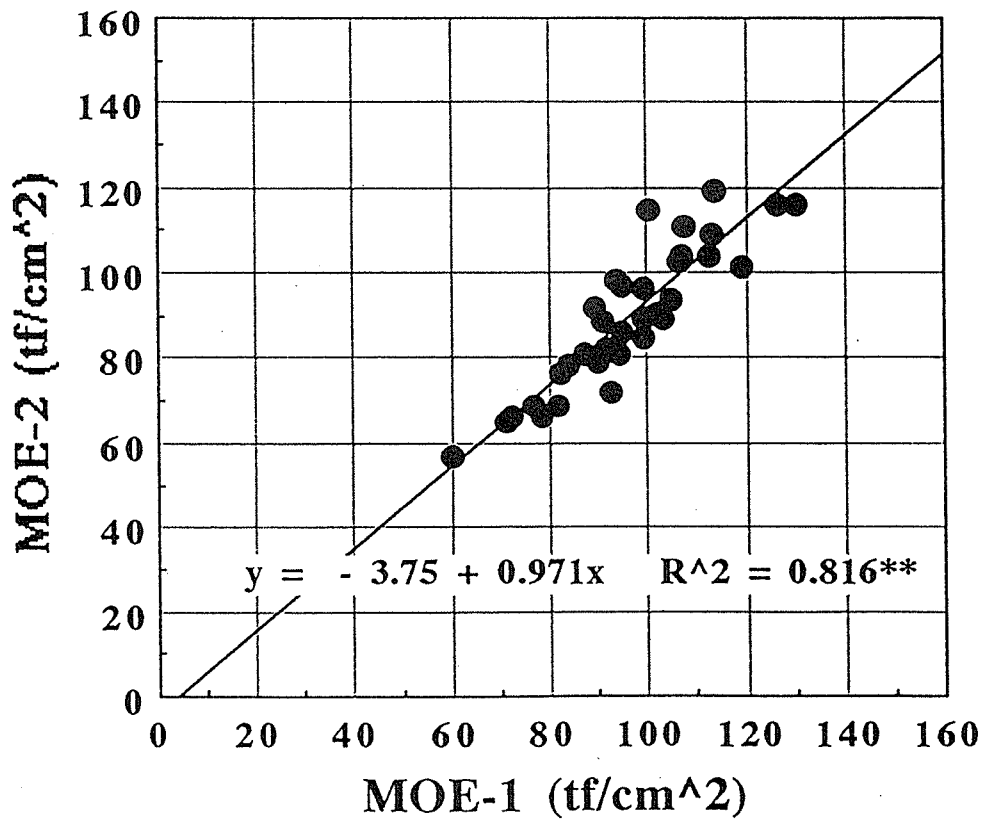


図８　静的曲げヤング係数(MOE-1)と静的曲げヤング係数(MOE-2)との関係

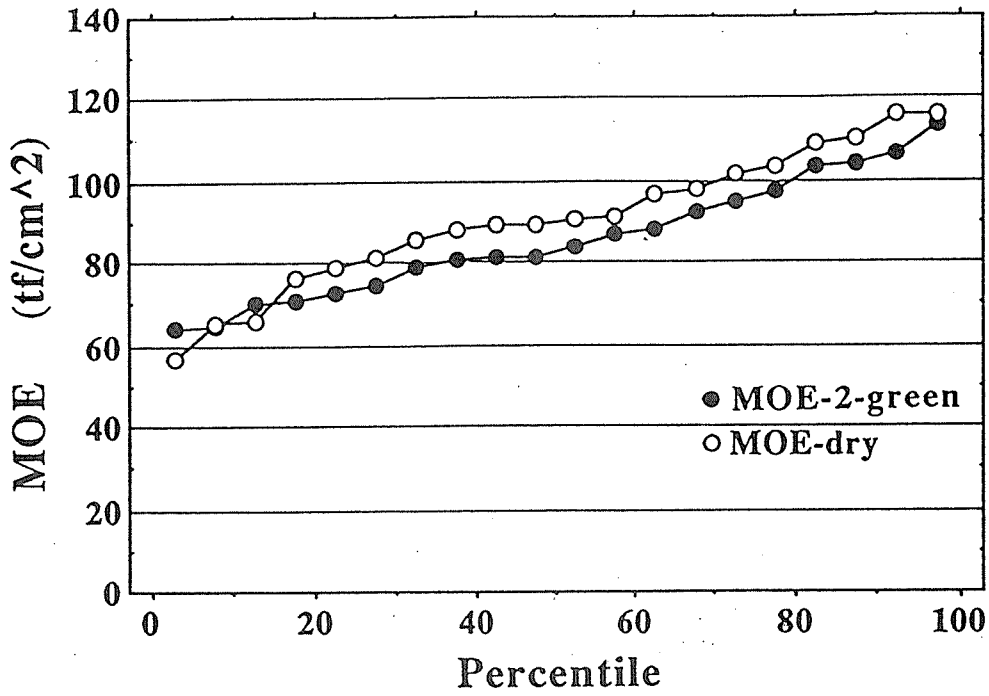


図９　生材、および乾燥材（MC＜19％）の曲げヤング係数（MOE）を正規化した分布　　（乾燥材の曲げヤング係数はMOE-2）

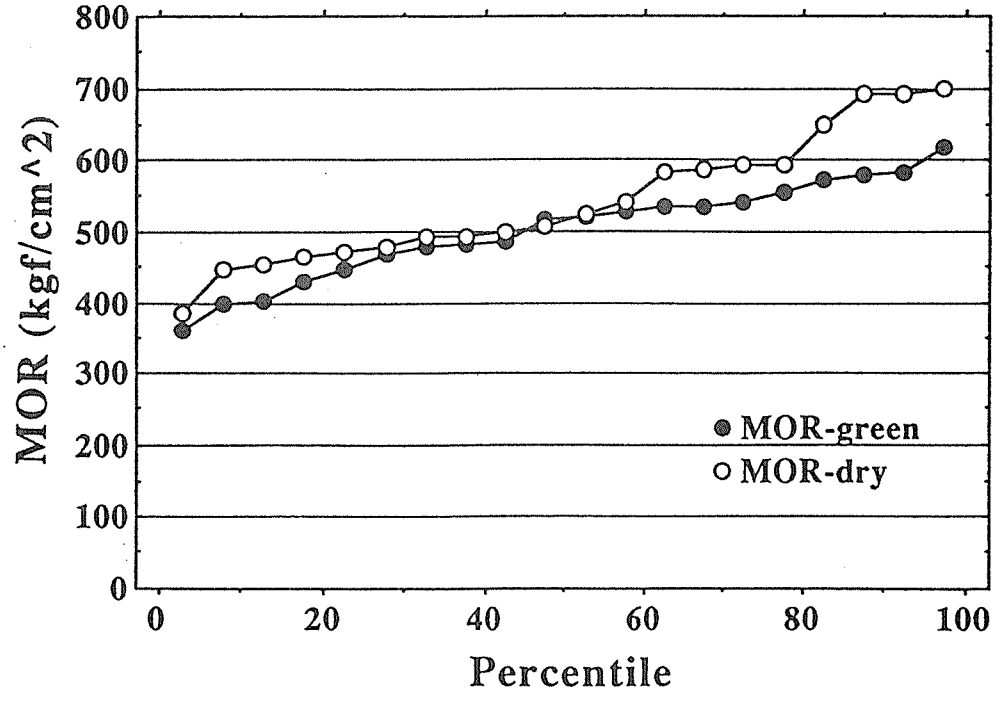


図１０　生材、および乾燥材（MC＜19％）の曲げ破壊係数（MOR）を正規化した分布

5．含水率が丸太の曲げ強度性能に及ぼす影響について

カラマツ、スギについて行なった実大丸太の曲げ強度試験結果をまとめて、表１に示した。スギについて、宮城県林試と、森林総研の結果を一括してはいない。同表には、含水率（ＭＣ）と曲げヤング係数（ＭＯＥ）、曲げ強度（ＭＯＲ）の平均値と変動係数を示した。さらに繊維飽和点を28％と仮定して、含水率１％当りのＭＯＥ、ＭＯＲの変化を示した。カラマツでは、乾燥材のＭＯＥの平均値が生材のそれよりも低い結果が得られており、断面の収縮等さらに詳細に検討する必要がある。

スギのＭＣ１％当りのＭＯＥの変化を比較すると、宮城では0.91、森林総研では0.50と著しく異なる結果が得られている。既応の正角や平角の結果では、約 1.0程度が得られているので、森林総研の結果が低いとも考えられる。

ＭＣ１％当りのＭＯＲの変化は、カラマツで0.32％、スギでは宮城県林試が2.36％、森林総研が0.71％の結果を得ており、これらを一般化することは困難と考えられる。ＭＯＲはともかく、ＭＯＥについては、同一材を用いて生材から乾燥材への変化を求める方法が望ましいと思われる。参考のために、カラマツ、スギ（宮城）、スギ（森林総研）のＭＯＥ、ＭＯＲの生材、乾燥材の結果を正規化し、図１～６に示した。

表1 丸太の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響

	カラマツ（北海道）		スギ（宮城県）		スギ（森林総研）	
	生　材	乾燥材	生　材	乾燥材	生　材	乾燥材
n	34	34	36	36	20※3	20
MC （%）	76.3 (10.1)※2	21.4 (5.0)	142.9 (17.2)	16.6 (7.9)	133.1 (22.6)	16.5 (7.9)
MOE (tf/cm²)	107.5 (12.9)	99.7 (9.3)	68.2 (15.9)	75.3 (12.1)	85.7 (16.7)	90.6 (18.4)
MOR (kgf/cm²)	522 (8.0)	533 (8.1)	350 (14.5)	444 (13.4)	502 (13.7)	543 (16.6)
MC1%当りのMOEの増加率（%）※1	----		0.91		0.50	
MC1%当りのMORの増加率（%）	0.32		2.36		0.71	

※1　繊維飽和点をMC28%として算出

※2　（　）内は変動係数（%）

※3　乾燥材の含水率が19%未満のものと、それと対応する生材を抜粋して比較

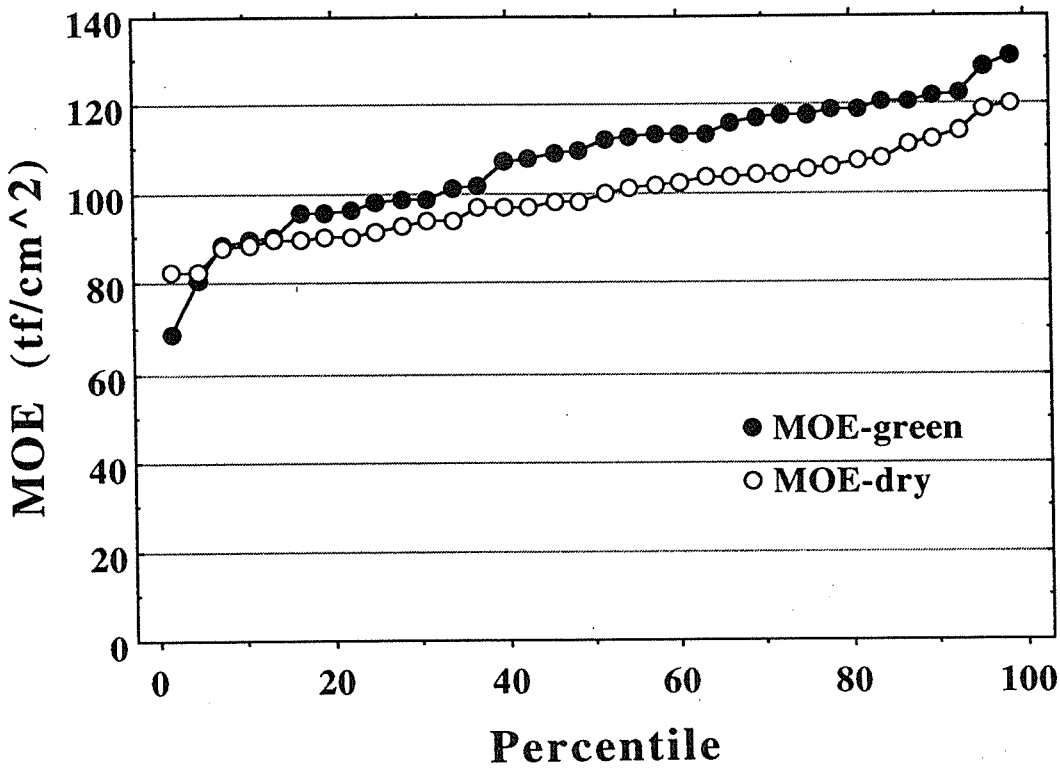


図１　カラマツ丸太の生材および乾燥材の

曲げヤング係数（ＭＯＥ）を正規化した分布

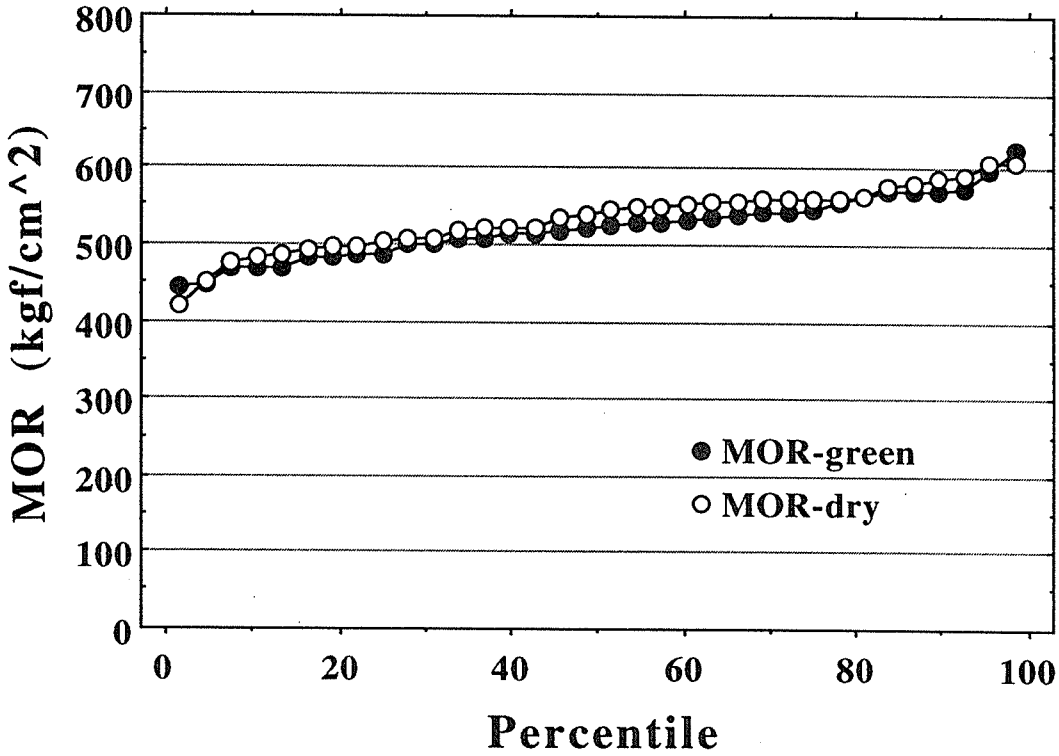


図２　カラマツ丸太の生材および乾燥材の

曲げ強度（ＭＯＲ）を正規化した分布

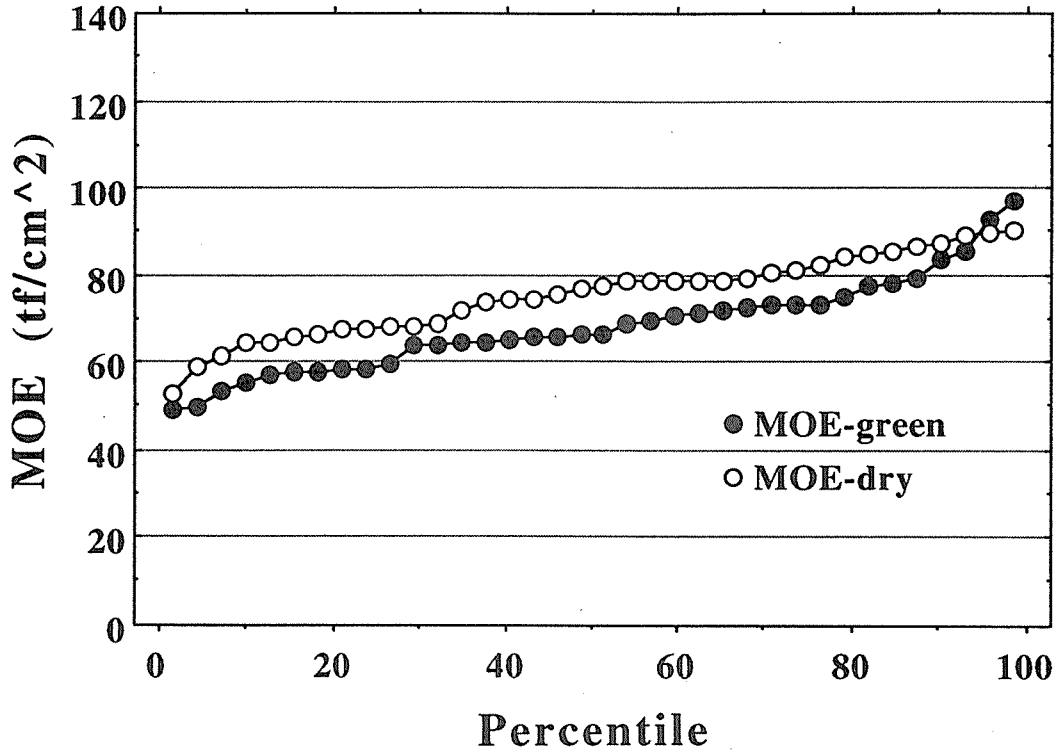


図３　スギ丸太の生材および乾燥材の

曲げヤング係数（ＭＯＥ）を正規化した分布

（宮城県林試）

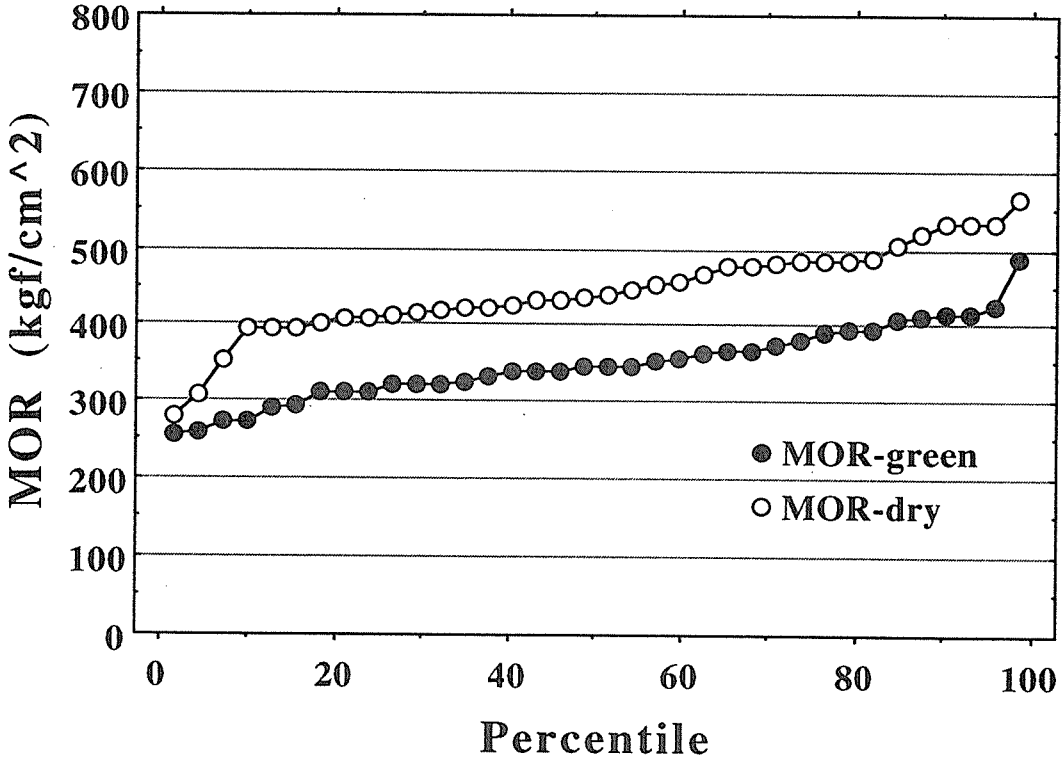


図４　スギ丸太の生材および乾燥材の

曲げ強度（ＭＯＲ）を正規化した分布

（宮城県林試）

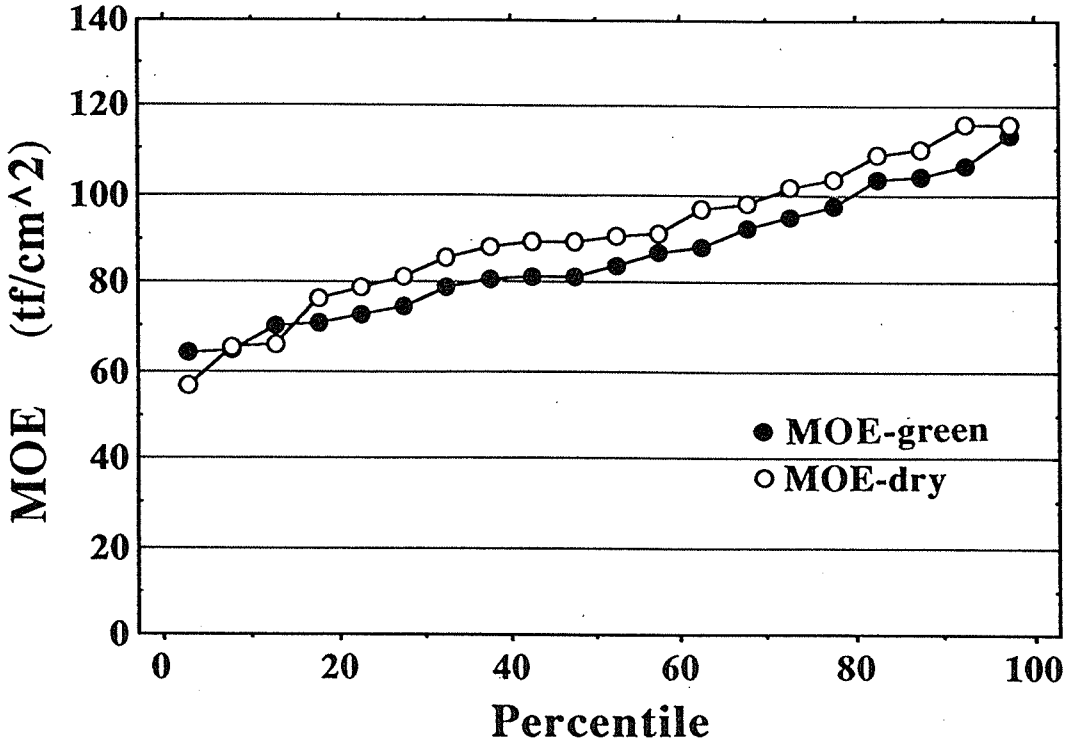


図５　スギ丸太の生材および乾燥材（ＭＣ＜19%）の

曲げヤング係数（ＭＯＥ）を正規化した分布

（森林総研）

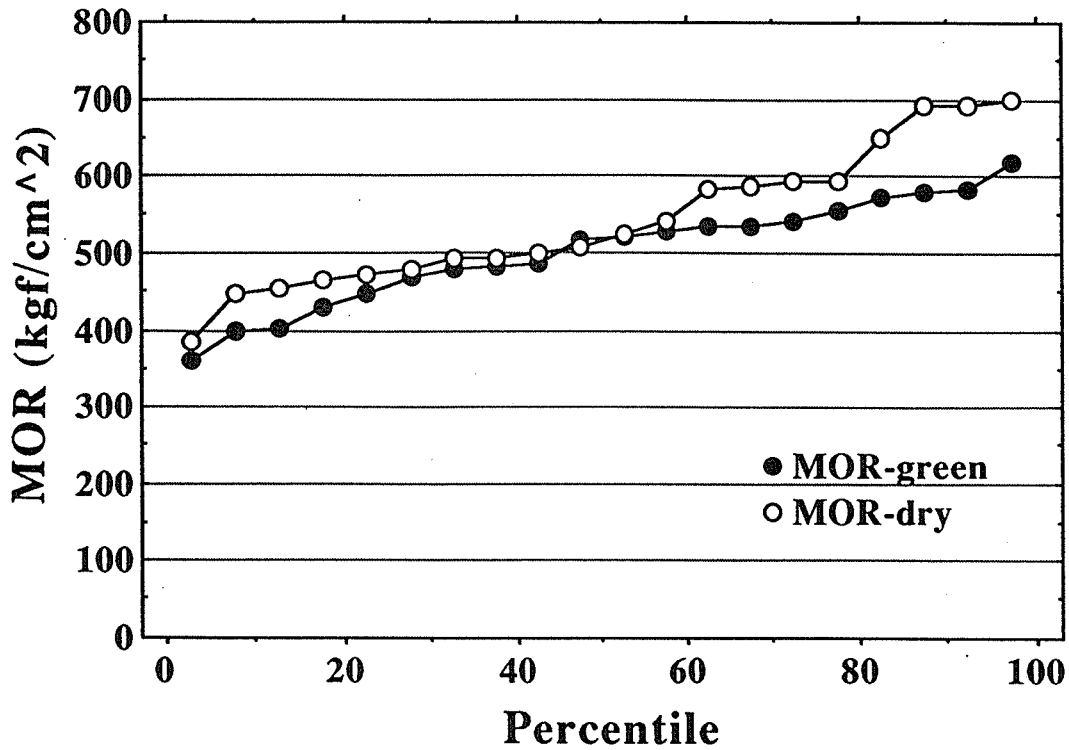


図６　スギ丸太の生材および乾燥材（ＭＣ＜19%）の

曲げ破壊係数（ＭＯＲ）を正規化した分布

（森林総研）

参考資料

丸太・たいこ挽材の実大曲げ試験
実施要領

1．試験の目的

木造建築の多様化に伴ない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。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、実験的に明らかにする。さらに丸太については、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。

2．試験の概要

上記目的を達成するため、次の試験を行なう。

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、たいこに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（Ｅｄ）を測定する。（この具体的方法は別記する）

2）Ｅｄの平均値およ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。

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	平成２年度
B	丸　太	気乾材	34体	平成３年度
C	たいこ	気乾材	34体	平成４年度

このためＥｄの値を小さいものから、昇位順にならべ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。

5．丸太の実大曲げ試験方法

1）形状寸法の計測

丸太の末口、元口およ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。

2）試験方法

① 節などの欠点調査は、試験機に丸太をのせる前に行う。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が、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。

欠点調査

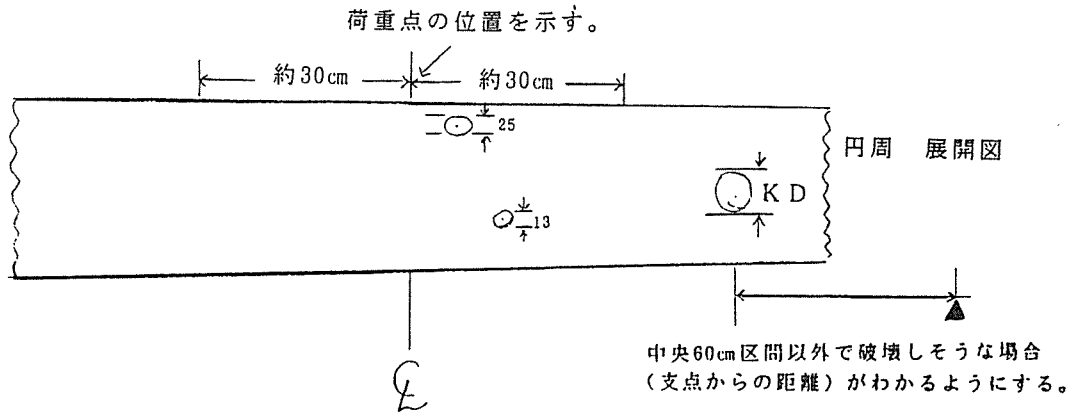


図1　欠点調査図

② 図2にその概要を示した。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型アングルまたは、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　例えば15mm×15mm×45mm、又は長さ90mmなど、ダイヤルゲージのストロークにあわ

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材にあっては3600㎜とする。

⑨　試験を開始して、丸太が回転したり、ねじれが生じたりした場合は、そのまま荷重の負荷を続けないで、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。

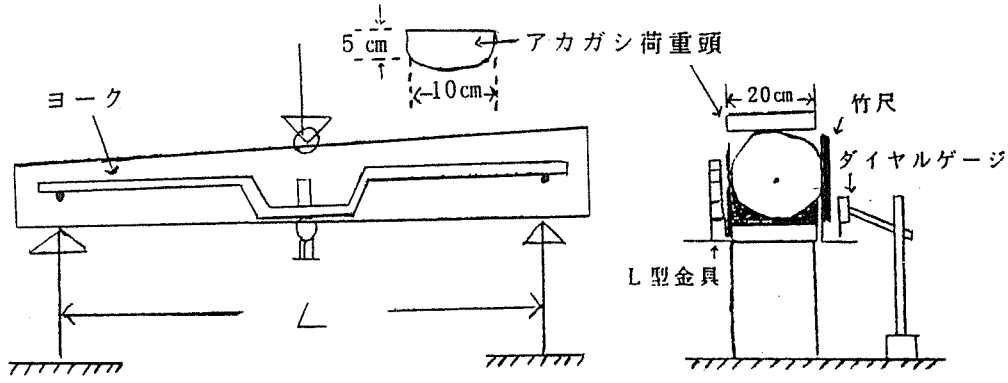


図２　中央集中荷重方式による丸太の実大曲げ試験方法

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および全乾法により、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。

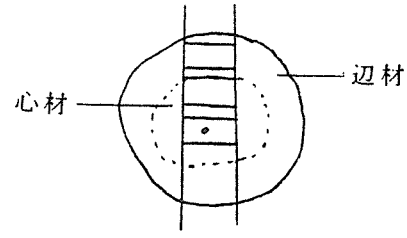


図3　比重用試験体木取図

6．たいこ挽材の実大曲げ試験方法

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。

製材して乾燥した場合ねじれ等が予想される場合は、2度挽を考えるか、または、丸太のまま乾燥した後、たいこに製材することとする。

2）形状寸法の計測

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

3）試験方法

図4に示したように、

① 生材時、また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 幅を12cmとしたたいこ挽材に製材し、flat wise 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、edge wise 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。

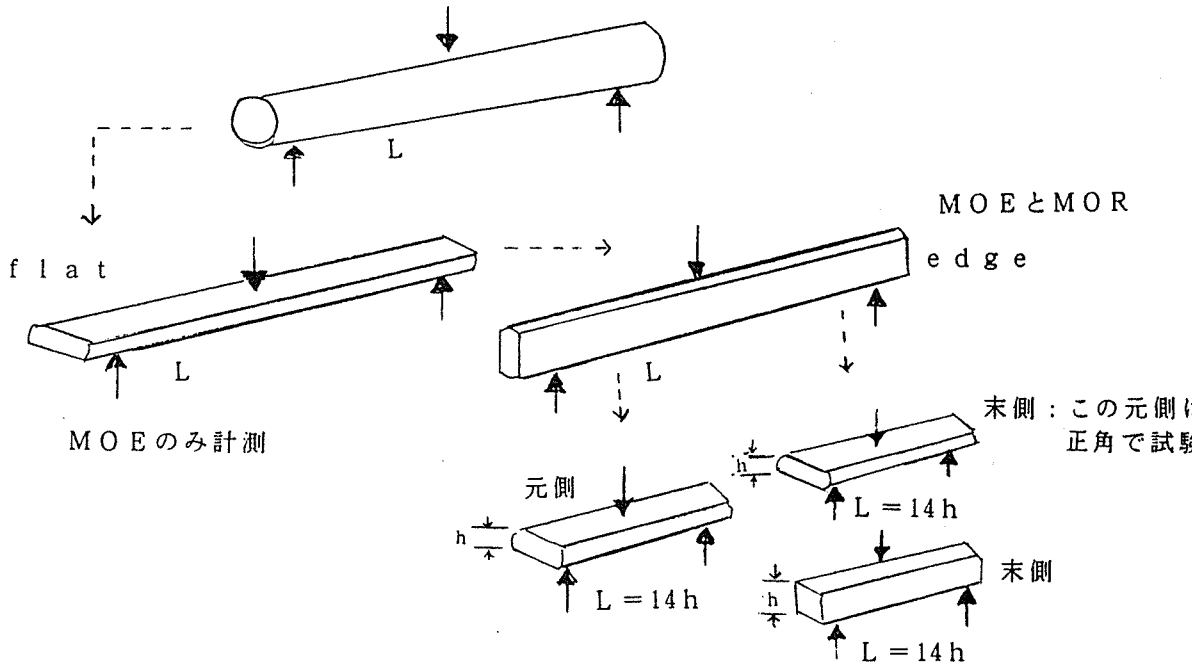


図4　たいこの実大曲げ試験の流れ図

4）破断後の作業

① edge wise で破壊したたいこの非破壊部分よりflat wise で破壊する試験体を元口側と末口側から、それぞれ1体づつ採取する。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flat wise 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に分割する。

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 $\frac{d}{D}$ ×100(％) とする。

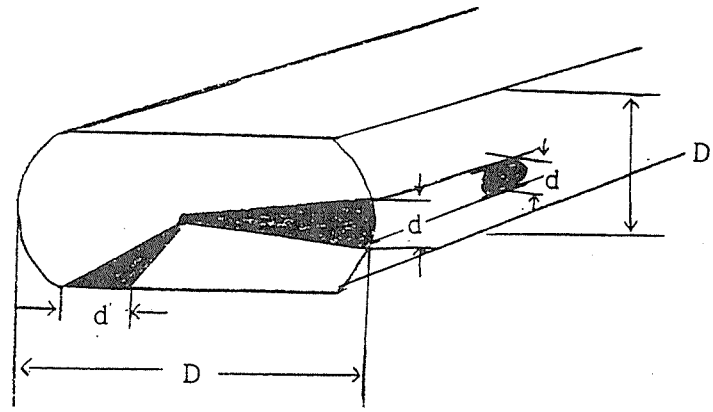


図５　たいこ挽材の節径比測定方法

⑤　破断面近くより、厚さ２㎝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。この含水率測定の値を、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

1）断面の算定は、以下の式を用いる。

(1) 丸太

$$A = \pi d^2 / 4$$

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

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

(2) たいこ材

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

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

$$Z = 2I / d$$

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

$$Z = 2I / b$$

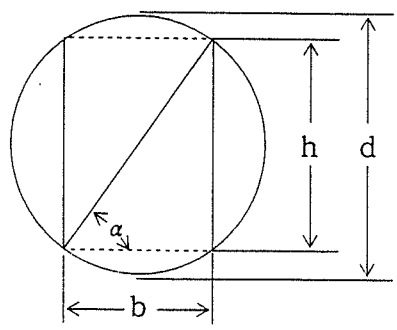
(3) 製材品

$$A = bh$$

$$I = bh^3 / 12$$

$$Z = bh^2 / 6$$

但し、



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

A：断面積

I：断面二次モーメント

Z：断面係数

（得られる主なデータ）

同一ロットとみなせる
丸太(102本)の入手

Ｅｄの測定

- Ⓐ生材時丸太の曲げ試験（ｎ＝34）：Ｅｄ，ＭＯＥ，ＭＯＲ，σｐ（比例限度），ＡＲＷ（平均年輪幅），Ｓ．Ｇ（比重），Ｍ．Ｃ．（含水率），Ｃ．Ａ．（キンビアルエイジ），ＫＤ（節径比）
- Ⓒ気乾時たいこ挽材の曲げ試験（ｎ＝34）：flat wise，ＭＯＥ，Ｅｄ
  ↓
  edge wise，ＭＯＥ，ＭＯＲ，Ｅｄ
  ↓
  flat wise，ＭＯＥ，ＭＯＲ，Ｅｄ（ｎ＝34）
  製　材，ＭＯＥ，ＭＯＲ，Ｅｄ（ｎ＝34）
  うち17は元口側より――（対応する）――うち17は末口側より
  17は末口側より――（同　上）――17は元口側より
- Ⓑ気乾時丸太の曲げ試験（ｎ＝34）：Ｅｄ，ＭＯＥ，ＭＯＲ，σｐ，ＡＲＷ，Ｓ．Ｇ．，Ｍ．Ｃ．，Ｃ．Ａ．，ＫＤ
  - この部分については、試験機にかけて生材でのＭＯＥを乾燥前に求めておく。（寸法の変化とＭＯＥの変化）

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

	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ＭＯＥ，寸法が、気乾時にどう変化したかが明らかになる。ＥＩ生とＥＩ気乾の比。

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