

カラマツ丸太およびたいこ挽材の 実大曲げ性能（第3報）

工藤 修 千葉 宗昭^{*1}
藤原 拓哉 細谷 俊人^{*2}

Bending Test of Larch Log and Two-Faced Sawn Lumber in Full Size (3)

Osamu KUDO
Takuya FUJIWARA

Muneaki CHIBA
Toshihito HOSOYA

Keywords : larch log, two-faced sawn lumber, dynamic modulus of elasticity, modulus of elasticity in bending, modulus of rupture in bending
カラマツ丸太, たいこ挽材, 動的ヤング係数, 曲げヤング係数, 曲げ破壊係数

1. はじめに

木造建築の多様化に伴い、丸太を構造体に用いる建築は増えつつある。そこで

- (1) 丸太および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
- (2) 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
- (3) 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

ことを目的に1990～1992年の3年間にわたって、(財)日本住宅・木材技術センターより委託され、カラマツ丸太およびたいこ挽材の実大曲げ試験を行ってきた。

これまで、生材丸太の実大曲げ試験⁽¹⁾、乾燥丸太の実大曲げ試験^(3,4)について報告してきたが、今回はカラマツたいこ挽材および正角材の実大曲げ試験結果ならびに3か年間の試験結果の取りまとめについて報告する。

2. 供試丸太および試験方法

2.1 供試丸太

供試丸太としては、第1報⁽²⁾において、打撃法による動的ヤング係数に基づき、102体の丸太をほぼ均等になるようにA, B, Cグループに振り分けたくちのCグループのカラマツ丸太34体を用いた。

2.2 丸太の天然乾燥

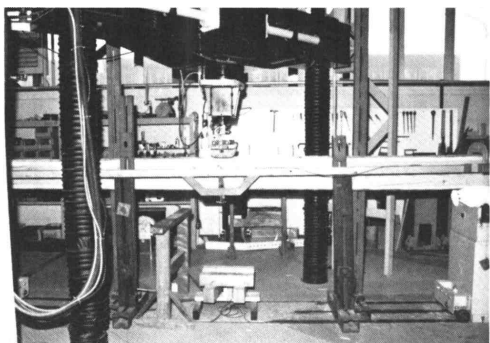
Cグループ34体の丸太について、パーカーではく皮後、重量、寸法を測定した。寸法については、丸太の末口、元口、中央部に直径測定用位置マークをつけ、布製巻尺を用いて各位置の円周を測定し、直径を算出した。

重量、寸法測定後、丸太を屋外に棧積みし、約18か月間天然乾燥した。

2.3 気乾丸太材の曲げ試験

天然乾燥後の気乾丸太材について、重量および直径を再度測定した。直径の測定は生材時と同一箇所、同一方法で行った。また、末口、元口の平均年輪幅、末口年輪数も測定した。

次に、FFTアナライザーにより丸太の振動周波数



第1図 たいこ挽材 edge wise の曲げ試験

を測定し、乾燥丸太の動的ヤング係数を算出した。その後、スパン420cm、重りを用いた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。

2.4 たいこ挽材の実大曲げ試験

曲げ剛性試験終了後、丸太を幅12cmにたいこ挽製材した。

製材後、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材せいを測定し、あわせて重量および材長も測定した。

次に、FFTアナライザーを用いて振動周波数を測定し、たいこ挽材の動的ヤング係数を算出した。

欠点として、たいこ挽材中央部分60cm区間について節の位置と大きさを測定し、節径比を算出した。

欠点調査後、たいこ挽材は flat wise、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。

次に、edge wise、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。また、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置した（第1図）。

edge wise 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、元口側から採取したものと、末口側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 flat wise で曲げ破壊試験を行うものと、12cm正角材で試験するものとに振り分けた。振り分けは、生材時動的ヤング係数値の大きさの順番で、末口側から flat wise 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 flat wise 試験体を採取した場合は末口側から正角材を交互に採取し、それぞれ元口側、末口側が同数となるようにした。

edge wise たいこ挽材と同様に、flat wise たいこ挽材についても重量、寸法、動的ヤング係数、節径比を測定した。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3枚の試験片（厚さ3cm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、心材別の含水率を全乾法で測定した。残りの1枚は恒温恒湿室で気乾状態にした後、気乾比重を計測する試験片を辺材部、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。

2.5 正角材の曲げ破壊試験

2分割したたいこ挽材のうち正角材用試験体については、flat wise、スパン168cm、中央集中荷重で剛性試験を行い、曲げヤング係数を求めた後、12cm正角材に製材した。正角材についても、重量、寸法、動的ヤング係数、節径比を測定した。

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枚の試験片（厚さ3cm程度）を採取し、そのうちの1枚で全体含水率を全乾法で測定した。残りの1枚は恒温恒湿室で気乾状態にした後、気乾比重、気乾含水率を測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 たいこ挽材の試験結果

たいこ挽材試験用丸太の概要を第1表に、たいこ挽材 edge wise 曲げ試験（スパン420cm）結果を第2表に、たいこ挽材 flat wise 曲げ試験（スパン168cm）結果を第3表に示す。

今回の試験に用いた丸太の末口年輪数は27～29～36、平均年輪幅は、元口で4.4～4.9～5.7mm、末口で35～47～55mm、中央部直径は270～305～336cm、

第1表 たいこ挽材試験用丸太の概要

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

*1 はく皮乾燥丸太 *2 はく皮生材丸太

第2表 たいこ挽材の曲げ強度試験結果(1)

曲げスパン: 420cm

試験体 番号 TTP No.	生材時丸太での 動的ヤング係数 Edg (tonf/cmf)		気乾比率		平均半径		試験含水率				来り 年輪数 RN t.e.c.	動的 ヤング係数 Ed (tonf/cmf)	曲げヤング係数		比例限 曲げ応力度 PL _{edge} (kgf/cmf)	曲げ 破断係数 MOR _{edge} (kgf/cmf)	最大単独 節径比 KD _{edge} (%)	最大集中 節径比 SKD _{edge} (%)
	辺材 SG-s	心材 SG-h	心材 MC-h	心材 MC-h	心材 MC-h	心材 MC-h	心材 MC-h	心材 MC-h	心材 MC-h	心材 MC-h			心材 MC-h	心材 MC-h				
1	108.0	0.50	0.42	0.50	14.4	17.6	16.6	29	100.0	95.7	101.2	300.2	484.3	16.1	26.2			
2	111.6	0.49	0.42	0.50	4.7	4.7	14.8	27	94.1	87.7	101.2	297.2	429.5	18.7	19.9			
3	110.2	0.51	0.43	0.51	4.2	4.2	15.1	30	118.2	101.7	128.7	268.7	519.9	4.3	4.3			
4	125.2	0.51	0.46	0.51	4.6	4.6	13.9	29	108.7	105.9	101.3	327.4	455.1	6.7	17.2			
5	119.7	0.54	0.49	0.54	4.4	4.4	13.2	30	103.3	102.6	119.4	261.6	504.5	14.2	28.1			
6	124.9	0.55	0.45	0.45	4.9	4.9	15.3	28	114.5	103.9	114.9	308.8	498.8	10.5	16.6			
7	112.4	0.47	0.43	0.43	4.8	4.5	13.5	30	106.8	97.0	96.3	304.2	449.5	13.5	37.1			
8	131.5	0.51	0.45	0.45	4.7	4.5	13.7	28	108.7	105.3	102.6	364.2	492.0	5.3	9.5			
9	107.6	0.48	0.47	0.47	5.4	4.5	13.5	31	100.6	98.2	113.1	332.1	431.8	7.1	23.0			
10	124.9	0.56	0.49	0.49	4.9	4.3	14.4	30	114.2	109.3	113.7	322.4	534.0	10.5	11.6			
11	111.4	0.47	0.44	0.44	5.2	5.5	14.0	27	103.8	92.9	96.9	283.5	393.3	5.4	15.3			
12	105.8	0.50	0.39	0.39	5.7	4.7	13.7	30	97.2	87.6	102.3	337.9	415.3	11.4	22.5			
13	127.2	0.59	0.45	0.45	4.7	5.0	14.4	28	108.0	94.6	93.6	350.7	447.4	9.4	16.8			
14	114.7	0.49	0.47	0.47	4.5	4.4	14.4	29	103.1	95.5	89.8	328.6	514.0	11.9	19.6			
15	121.1	0.50	0.43	0.43	4.9	4.6	13.2	30	102.4	95.0	85.4	320.6	385.1	9.1	19.6			
16	123.3	0.51	0.48	0.48	5.6	5.1	13.8	29	120.4	112.1	104.9	284.1	428.0	4.9	10.1			
17	139.1	0.57	0.48	0.48	4.7	4.5	13.9	29	126.1	116.3	130.3	317.8	495.1	6.8	16.5			
18	113.5	0.49	0.51	0.51	4.7	3.5	13.2	36	100.1	88.4	88.7	357.9	434.7	9.3	31.4			
19	98.2	0.45	0.47	0.47	5.0	5.3	13.3	28	99.0	89.1	91.2	240.8	415.7	13.5	19.8			
20	133.2	0.53	0.55	0.55	4.8	4.8	13.7	31	126.5	106.3	114.2	426.8	482.0	5.0	8.5			
21	101.6	0.50	0.42	0.42	5.0	4.8	14.1	28	106.4	102.9	125.7	336.4	476.1	10.1	22.6			
22	108.6	0.53	0.48	0.48	5.1	5.0	14.2	28	104.0	94.2	117.2	355.1	451.8	14.9	24.8			
23	112.3	0.52	0.50	0.50	4.7	4.5	14.4	29	102.1	95.7	97.5	314.8	440.3	7.7	17.8			
24	110.8	0.53	0.40	0.40	4.9	4.7	14.5	31	110.4	98.6	121.4	311.4	481.7	16.3	40.3			
25	114.6	0.50	0.42	0.42	5.3	5.1	14.2	29	108.1	94.8	112.2	301.2	405.2	13.7	20.0			
26	103.2	0.53	0.38	0.38	4.4	4.4	15.5	30	109.2	100.8	117.3	366.8	504.6	5.8	6.9			
27	92.6	0.53	0.41	0.41	4.9	4.9	14.8	27	94.4	92.6	108.5	346.2	457.8	12.0	29.8			
28	115.9	0.54	0.41	0.41	5.1	4.3	15.4	31	113.0	111.4	113.8	358.6	528.6	10.3	11.8			
29	105.6	0.59	0.43	0.43	4.6	4.7	13.6	28	105.2	96.5	113.3	351.5	467.0	12.2	33.5			
30	117.9	0.50	0.40	0.40	4.9	5.2	14.0	27	114.5	104.3	116.7	243.9	418.8	12.0	34.4			
31	117.4	0.57	0.39	0.39	4.9	5.0	14.3	28	113.9	105.6	108.3	309.1	475.6	9.3	17.7			
32	100.1	0.55	0.40	0.40	5.3	5.0	14.3	29	95.6	86.7	87.3	323.2	403.0	9.9	21.2			
33	110.9	0.54	0.39	0.39	4.4	4.3	14.4	30	108.5	97.5	127.4	335.3	512.7	6.8	18.7			
34	95.5	0.48	0.37	0.37	5.2	4.4	13.0	29	105.2	102.2	108.1	321.2	491.6	15.9	19.6			
min	92.6	0.45	0.37	0.37	4.4	3.5	13.0	27	94.1	86.7	85.4	240.8	385.1	4.3	4.3			
ave	113.8	0.52	0.44	0.44	4.9	4.7	14.1	29	107.2	99.1	107.6	320.8	462.5	10.3	20.1			
max	139.1	0.59	0.55	0.55	5.7	5.5	15.5	36	126.5	116.3	130.3	426.8	534.0	18.7	40.3			
cv (%)	9.3	6.7	9.4	9.4	6.6	8.0	4.5	5.7	7.5	7.4	11.5	11.5	8.8	36.2	42.6			

第3表 たいこ挽材の曲げ強度試験結果 (2)

曲げスパスパン: 108cm

試験体 番号 TP No.	生材時丸太での 動的ヤング係数 E _{dG} (tonf/cm ²)		気乾比重		動的 ヤング係数 E _d (tonf/cm ²)		曲げ ヤング係数 MOE _{flat} (tonf/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)	最大単独 節径比 KD _{flat} (%)	最大集中 節径比 SKD _{flat} (%)	採材位置	
	辺材 SG-s	心材 SG-h	心材 MC-h (%)	全体 MC-w (%)	心材 MC-h (%)	全体 MC-w (%)							
1	108.0	0.50	0.50	0.50	17.6	16.6	103.7	96.2	277.3	460.4	17.4	33.0	末口側
2	111.6	0.49	0.42	0.42	17.8	16.7	99.0	90.4	419.8	488.2	16.3	17.3	末口側
3	110.2	0.51	0.43	0.43	18.4	18.4	122.5	106.7	294.2	470.7	14.3	24.3	末口側
4	125.2	0.51	0.46	0.46	16.1	15.7	109.2	85.4	275.1	475.6	9.4	22.2	末口側
5	119.7	0.54	0.49	0.49	13.2	16.2	108.1	95.6	364.4	565.0	8.3	23.3	末口側
6	124.9	0.55	0.45	0.45	18.3	17.5	117.0	99.7	403.0	600.5	13.7	30.6	末口側
7	112.4	0.47	0.43	0.43	13.5	15.2	106.0	107.1	334.9	380.3	10.0	26.4	末口側
8	131.5	0.51	0.45	0.45	13.7	15.2	110.9	92.5	312.7	383.0	22.2	22.2	末口側
9	107.6	0.48	0.47	0.47	16.5	15.9	100.3	101.0	378.3	456.1	8.8	15.1	末口側
10	124.9	0.56	0.49	0.49	14.4	17.8	108.2	90.0	382.1	482.4	6.5	8.8	末口側
11	111.4	0.47	0.44	0.44	14.0	16.9	100.8	88.0	260.7	483.5	6.1	10.3	末口側
12	105.8	0.50	0.39	0.39	13.7	15.9	101.5	80.2	389.5	485.8	12.9	22.1	末口側
13	127.2	0.59	0.45	0.45	14.4	16.1	110.1	101.5	252.5	475.4	7.7	18.1	末口側
14	114.7	0.49	0.47	0.47	14.4	16.6	106.3	90.9	311.0	521.4	4.8	4.8	末口側
15	121.1	0.50	0.43	0.43	13.2	15.3	103.2	92.9	214.4	348.4	6.0	11.9	末口側
16	122.3	0.51	0.48	0.48	13.8	16.6	122.9	112.6	460.0	588.0	4.5	18.9	末口側
17	139.1	0.57	0.48	0.48	13.9	17.3	124.4	103.9	301.8	549.5	6.0	14.5	末口側
18	113.5	0.49	0.51	0.51	13.2	17.0	99.4	90.7	308.4	445.5	6.8	19.3	末口側
19	98.2	0.45	0.47	0.47	13.3	15.8	102.0	104.3	174.1	394.3	10.0	16.5	末口側
20	133.2	0.53	0.55	0.55	13.7	17.2	132.1	112.7	328.4	640.7	6.6	10.6	末口側
21	101.6	0.50	0.42	0.42	14.1	16.5	107.7	95.0	292.5	450.3	7.2	14.0	末口側
22	108.6	0.53	0.48	0.48	14.2	16.9	106.4	108.9	240.3	506.2	6.5	12.7	末口側
23	112.3	0.52	0.50	0.50	14.4	18.5	108.0	83.8	277.0	369.9	12.2	17.8	末口側
24	110.8	0.53	0.40	0.40	14.5	17.0	115.8	94.0	394.5	554.5	8.2	20.7	末口側
25	114.6	0.50	0.42	0.42	14.2	16.4	117.0	92.6	347.0	385.6	15.3	27.2	末口側
26	103.2	0.53	0.38	0.38	15.5	18.5	113.6	105.5	424.8	487.5	4.5	11.6	末口側
27	92.6	0.53	0.41	0.41	14.8	16.6	89.4	81.1	312.7	555.4	9.0	18.7	末口側
28	115.9	0.54	0.41	0.41	15.4	17.7	114.6	95.0	443.4	622.9	9.2	21.2	末口側
29	105.6	0.59	0.43	0.43	13.6	17.0	105.8	91.3	387.7	508.4	5.0	24.4	末口側
30	117.9	0.50	0.40	0.40	14.0	16.6	119.8	103.4	249.1	472.1	9.5	19.5	末口側
31	117.4	0.57	0.39	0.39	14.3	16.9	117.0	122.0	236.0	569.7	14.5	25.8	末口側
32	100.1	0.55	0.40	0.40	14.3	17.5	98.4	78.2	340.0	377.0	22.3	31.9	末口側
33	110.9	0.54	0.39	0.39	14.4	15.9	109.4	99.1	371.4	616.8	9.6	22.5	末口側
34	95.5	0.48	0.37	0.37	13.0	15.8	108.4	89.1	275.1	589.1	4.8	15.1	末口側
min	92.6	0.45	0.37	0.37	13.0	15.2	89.4	78.2	174.1	348.4	4.5	4.8	
ave	113.8	0.52	0.44	0.44	14.1	16.6	109.4	96.5	324.5	491.5	9.9	19.2	
max	139.1	0.59	0.55	0.55	15.5	18.5	132.1	122.0	460.0	640.7	22.3	33.0	
cv(%)	9.3	6.7	9.4	9.4	4.5	5.3	8.0	10.3	21.1	16.2	47.3	34.2	

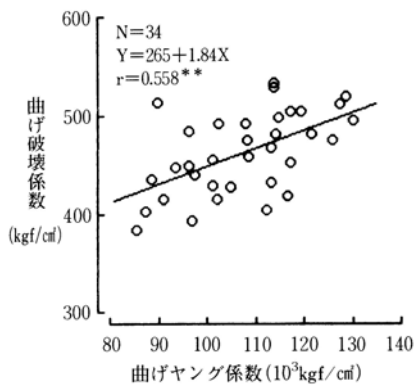
細り度は0.3~1.0~1.7cm/m、皮付生材丸太の動的ヤング係数 E_d は92.6~113.8~139.1tonf/cm²、はく皮乾燥丸太の動的ヤング係数 E_d は100.6~118.0~143.7tonf/cm²、はく皮乾燥丸太の曲げたわみより求めた曲げヤング係数 MOE_d は84.2~112.0~143.3tonf/cm²であった。これらの値は生材丸太、乾燥丸太の値と大差はないが、曲げヤング係数が若干大きな値となっている。

たいこ挽材の気乾比重は、辺材で0.45~0.52~0.59、心材で0.37~0.44~0.55、試験時含水率は、辺材で13.0~14.1~15.5%、心材で16.0~17.1~18.7%、全体で15.2~16.6~18.5%であった。

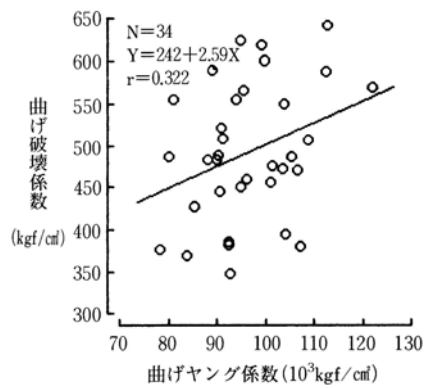
材長4.6mでのたいこ挽材の最大単独節径比は4.3~10.3~18.7%、最大集中節径比は4.3~20.1~40.3%、動的ヤング係数 E_d は94.1~107.2~126.5tonf/cm²、重りを用いた小荷重曲げ試験より求めたflat wise曲げヤング係数 MOE_{flat} （スパン420cm）は86.7~99.1~116.3tonf/cm²、edge wise曲げヤング係数 MOE_{edge} は85.4~107.6~130.3tonf/cm²、比例限曲げ応力度 PL_{edge} は240.8~320.8~426.8kgf/cm²、曲げ破壊係数 MOR_{edge} は385.1~462.5~534.0kgf/cm²であった。 MOE_{flat}/E_d は0.86~0.92~0.99と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。また、相関係数も0.844であり高い相関を示している。 MOE_{edge}/E_d は0.83~1.00~1.18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0.555は危険率1%で有意な値である。 PL_{edge}/MOR_{edge} は0.52~0.70~0.88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。 MOR_{edge} と MOE_{edge} との相関を第2図に示す。相関係数0.558は危険率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でのたいこ挽材の最大単独節径比は4.5~9.9~22.3%、最大集中節径比は4.8~19.2~33.0%、動的ヤング係数 E_d は89.4~109.4~132.1tonf/cm²、曲げたわみより求めたflat wise曲げヤング係数 MOE_{flat} （スパン168cm）は78.2~96.5~122.0tonf/cm²、比例限曲げ応力度 PL_{flat} は174.1~324.5~460.0kgf/cm²、曲げ破壊係数 MOR_{flat} は348.4~491.5~640.7kgf/cm²であった。 MOE_{flat}/E_d は0.78~0.88~1.04でばらつきがやや大きい。 PL_{flat}/MOR_{flat} は0.41~0.67~0.90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0.410は危険率5%で有意な値である。 MOR_{flat} と MOE_{flat} の相関を第3図に示す。相関係数は0.322であり、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。



第2図 たいこ挽材 edge wise の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係



第3図 たいこ挽材 flat wise の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

第4表 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}
供試体数	34	34	17	17
平均値	107.6	99.1	95.2	97.8
CV(%)	11.5	7.4	9.0	11.1
比	1.10	1.01	0.97	1.00
	1.09	1.00	0.96	0.99

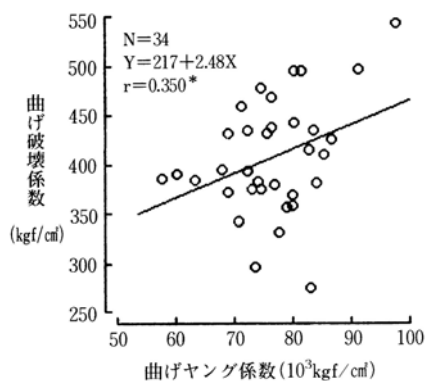
注) 末・元：原木からの採材位置（末口側，元口側）を表わす

たいこ挽材の曲げヤング係数（平均値）の比較を第4表に示す。スパン420cmでのedge wiseの値が他のものより約1割大であった。

3.2 正角材の試験結果

12cm正角材の曲げ試験（スパン168cm）結果を第5表に示す。

気乾比重は0.37~0.44~0.50，平均年輪幅は4.5~6.3~8.1mm，試験時含水率は15.8~16.8~18.0%，最大単節径径比は9.2~18.2~28.3%，最大集中節径比は15.0~35.4~78.8%，動的ヤング係数Edは67.1~85.6~110.6tonf/cm²，曲げヤング係数MOEは57.6~76.5~97.7tonf/cm²，比例限曲げ応力度PLは219.7~315.4~402.5kgf/cm²曲げ破壊係数MORは274.0~406.9~542.6kgf/cm²であった。MOE/Edは0.78~0.90~1.10でややばらつきが大きい。PL/MORは0.50~0.79~0.99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生材時動的ヤング係数Ed_g，比重，MOEで，いずれも5%危険率で有意となった。MOEとMORの相関を第4図



第4図 正角材の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

に示す。

4. まとめ

1990~1992年度にわたって，丸太，たいこ挽材，正角材の強度性能を検討してきた。この3年間の試験結果の概要を第6表に示す。

4.1 丸太のグループ分け

1990年度に，102本の丸太を3グループ（生材丸太試験用，乾燥丸太試験用，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Ed_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分かる。

4.2 気乾比重，平均年輪幅，含水率

丸太，たいこ挽材およ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59.9~76.3~91.0%，乾燥丸太で19.4~21.4~24.0%，たいこ挽材で15.2~16.6~18.5%，正角材で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。

4.3 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，MORと他の各種因子との相関について検討した（第7表）。

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Ed_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

第5表 正角材の曲げ強度試験結果

曲げスパン: 168cm

試験体 番号 TP No.	生材時丸太での 動的ヤング係数 E _{dG} (tonf/cm ²)	気乾比重 SG	平均 年輪幅 ARW (mm)	試験時 含水率 MC (%)	動的 ヤング係数 E _d (tonf/cm ²)	曲げ ヤング係数 MOE (tonf/cm ²)	比 例 限 曲 げ 応 力 P _L (kgf/cm ²)	山 け 破 壊 係 数 MOR (kgf/cm ²)	最 大 単 独 節 径 比 節 径 比 K _D	最 大 集 中 節 径 比 節 径 比 SKD (%)	採 材 位 置
1	108.0	0.45	5.9	16.9	85.6	72.2	300.9	392.9	11.6	27.4	元口側
2	111.6	0.41	5.8	16.4	67.1	57.6	352.7	385.1	25.4	37.2	元口側
3	110.2	0.47	5.9	16.6	84.2	71.3	296.9	460.0	21.3	21.3	元口側
4	125.2	0.45	5.3	17.5	90.2	85.3	304.9	409.4	14.7	25.0	元口側
5	119.7	0.46	8.1	16.9	84.1	77.6	322.1	331.4	28.3	56.7	元口側
6	124.9	0.50	5.6	17.4	87.7	76.4	292.9	437.7	16.0	35.4	元口側
7	112.4	0.41	6.4	16.8	90.1	70.7	339.2	342.3	16.8	26.8	元口側
8	131.5	0.42	7.1	16.0	88.8	77.0	374.9	378.6	24.2	53.2	元口側
9	107.6	0.40	5.6	15.8	84.0	73.7	285.9	296.2	20.7	35.3	元口側
10	124.9	0.42	6.1	16.9	92.9	83.6	320.9	435.2	18.3	31.9	元口側
11	111.4	0.44	5.6	16.8	90.3	80.2	402.5	442.9	9.2	15.0	元口側
12	105.8	0.37	7.3	16.8	71.6	60.2	337.3	390.0	15.3	15.3	元口側
13	127.2	0.42	7.3	16.5	88.0	75.6	349.8	431.8	24.5	58.2	元口側
14	114.7	0.43	5.8	16.9	86.2	80.0	325.9	358.0	11.1	18.8	元口側
15	121.1	0.41	6.0	16.6	92.5	80.2	349.9	494.9	19.4	49.8	元口側
16	122.3	0.42	6.5	16.1	95.2	82.7	343.9	415.3	20.5	21.7	元口側
17	139.1	0.48	5.8	17.4	97.2	91.3	330.0	496.0	10.8	17.5	元口側
18	113.5	0.45	5.7	17.2	85.8	79.1	349.2	356.2	16.6	43.1	元口側
19	98.2	0.44	4.5	17.0	96.0	83.2	266.7	274.0	20.1	40.2	元口側
20	133.2	0.48	5.9	17.0	110.6	97.7	327.5	542.6	15.6	28.4	元口側
21	101.6	0.41	6.0	17.6	83.9	80.0	245.5	367.8	15.4	25.7	元口側
22	108.6	0.45	6.0	16.6	81.8	68.9	330.1	371.0	17.4	39.0	元口側
23	112.3	0.43	7.1	16.5	79.2	73.1	312.1	374.9	21.5	76.6	元口側
24	110.8	0.45	7.1	18.0	86.0	74.0	341.0	382.1	23.5	38.1	元口側
25	114.6	0.44	6.3	16.5	90.8	76.4	279.4	468.1	16.6	31.6	元口側
26	103.2	0.48	5.0	15.9	90.6	81.6	256.5	494.1	14.1	29.9	元口側
27	92.6	0.40	6.7	16.1	70.4	68.0	302.7	394.5	17.1	27.4	元口側
28	115.9	0.45	7.7	16.6	79.9	74.6	391.1	478.3	15.4	30.0	元口側
29	105.6	0.43	7.5	16.6	78.6	69.0	303.4	431.8	23.0	47.6	元口側
30	117.9	0.43	6.7	16.4	91.0	74.5	353.5	375.0	20.6	26.7	元口側
31	117.4	0.42	7.9	17.2	84.1	84.1	288.8	381.0	20.7	32.3	元口側
32	100.1	0.44	7.3	17.8	67.3	63.3	237.8	383.8	24.0	78.8	元口側
33	110.9	0.43	5.4	17.1	72.0	72.3	219.7	434.5	13.4	26.9	元口側
34	95.5	0.41	6.1	16.7	78.9	86.6	286.5	426.1	16.6	35.7	元口側
min	92.6	0.37	4.5	15.8	67.1	57.6	219.7	274.0	9.2	15.0	
ave	113.8	0.44	6.3	16.8	85.6	76.5	315.4	406.9	18.2	35.4	
max	139.1	0.50	8.1	18.0	110.6	97.7	402.5	542.6	28.3	78.8	
cv(%)	9.3	6.0	13.4	3.0	12.3	10.6	13.2	14.1	24.7	42.8	

第6表 丸太・たいこ挽材・正角材の試験結果の概要

材種	生材時までの動的ヤング係数				平均径輪幅				試験時含水率				動的ヤング係数				曲げ性能				最大曲げ節径比 SKD (%)
	辺材		心材		元口		心材		MC-h		MC-w		Ed		MOE		PL		最大曲げ節径比 (%)		
	SG-s	SG-h	SG-s	SG-h	ARW-b.e.	ARW-t.e.	MC-s	MC-h	MC-w	Ed	MOE	PL	MOE	PL	MOE	PL	MOE	PL			
生材丸太	min	0.42	0.41	0.42	0.41	3.8	3.8	36.9	36.9	59.9	59.9	171.4	171.4	69.0	69.0	445.2	445.2	0.0	0.0		
	ave	0.51	0.47	0.51	0.47	4.7	4.7	40.9	40.9	76.3	76.3	241.4	241.4	107.5	107.5	521.8	521.8	1.6	2.9		
	max	0.58	0.55	0.58	0.55	5.3	5.5	48.0	48.0	91.0	91.0	330.3	330.3	130.7	130.7	624.7	624.7	3.2	8.6		
乾燥丸太	min	0.44	0.45	0.44	0.45	4.0	3.8	20.4	20.4	19.4	19.4	212.3	212.3	82.7	82.7	420.2	420.2	0.0	0.0		
	ave	0.52	0.51	0.52	0.51	4.7	4.5	22.9	22.9	21.4	21.4	310.0	310.0	99.7	99.7	533.0	533.0	2.4	5.3		
	max	0.61	0.61	0.61	0.61	5.1	5.1	25.9	25.9	24.0	24.0	371.6	371.6	120.1	120.1	609.6	609.6	5.0	11.4		
たいこ挽材	min	0.45	0.37	0.45	0.37	-	13.0	16.0	16.0	15.2	15.2	240.8	240.8	85.4	85.4	385.1	385.1	4.3	4.3		
	ave	0.52	0.44	0.52	0.44	-	14.1	17.1	17.1	16.6	16.6	320.8	320.8	107.6	107.6	462.5	462.5	10.3	20.1		
	max	0.59	0.55	0.59	0.55	-	15.5	18.7	18.7	18.5	18.5	426.8	426.8	130.3	130.3	534.0	534.0	18.7	40.3		
たいこ挽材 flat wise	min	0.45	0.37	0.45	0.37	-	13.0	16.0	16.0	15.2	15.2	174.1	174.1	78.2	78.2	348.4	348.4	4.5	4.8		
	ave	0.52	0.44	0.52	0.44	-	14.1	17.1	17.1	16.6	16.6	324.5	324.5	96.5	96.5	491.5	491.5	9.9	19.2		
	max	0.59	0.55	0.59	0.55	-	15.5	18.7	18.7	18.5	18.5	460.0	460.0	122.0	122.0	640.7	640.7	22.3	33.0		
正角材	min	0.37	0.37	0.37	0.37	4.5	4.5	4.7	4.7	5.3	5.3	21.1	21.1	10.3	10.3	16.2	16.2	47.3	34.2		
	ave	0.44	0.44	0.44	0.44	6.3	6.3	-	-	16.8	16.8	76.5	76.5	315.4	315.4	406.9	406.9	18.2	35.4		
	max	0.50	0.50	0.50	0.50	8.1	8.1	-	-	18.0	18.0	97.7	97.7	402.5	402.5	542.6	542.6	28.3	78.8		
MOR	EdG	0.473**	0.590**	0.473**	0.590**	-0.189	-0.181	0.561**	0.421*	-0.373**	-0.072	-0.172	-0.308	-0.135	-0.135	-0.308	-0.135	SKD	SKD		
	Ed	0.433*	0.482**	0.433*	0.482**	-0.156	-0.277	-0.160	0.435*	0.226	-0.134	-0.247	-0.140	0.058	-0.064	-0.140	0.058	KD	KD		
	EdG	0.196	0.439**	0.196	0.439**	0.152	-0.448**	-0.516**	0.400*	0.049	0.410*	0.409*	0.389**	-0.076	-0.307	0.389**	-0.076	SKD	SKD		
たいこ挽材 edge wise	EdG	0.134	0.405*	0.134	0.405*	0.322	0.380*	0.252	0.349*	0.229	-0.367*	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	SKD	SKD		
	Ed	0.398*	0.287	0.398*	0.287	0.350*	-0.052	0.394*	-0.022	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	SKD	SKD		
	EdG	0.398*	0.287	0.398*	0.287	0.350*	-0.052	0.394*	-0.022	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	SKD	SKD		

第7表 MOR と他の因子との相関

材種	MOR	MOE		Ed		RN-t.e.		ARW-b.e.		ARW-t.e.		SG-s		SG-h		MC-h		MC-s		MC-w		SKD
		EdG	Ed	EdG	Ed	EdG	Ed	EdG	Ed	EdG	Ed	EdG	Ed	EdG	Ed	EdG	Ed	EdG	Ed	EdG	Ed	
生材丸太	0.473**	0.590**	0.004	0.482**	0.566**	0.004	-0.189	-0.181	0.561**	0.421*	-0.373**	-0.072	-0.172	-0.308	-0.135	-0.135	-0.308	-0.135	-0.308	-0.135	-0.135	SKD
乾燥丸太	0.433*	0.482**	0.566**	0.482**	0.566**	0.566**	-0.156	-0.277	-0.160	0.435*	0.226	-0.134	-0.247	-0.140	0.058	-0.064	-0.140	0.058	-0.064	-0.064	-0.064	SKD
たいこ挽材 edge wise	0.196	0.439**	0.558**	0.439**	0.558**	0.558**	0.152	-0.448**	-0.516**	0.400*	0.049	0.410*	0.409*	0.389**	-0.076	-0.307	0.409*	0.389**	-0.076	-0.307	-0.307	SKD
たいこ挽材 flat wise	0.134	0.405*	0.322	0.405*	0.322	0.322	0.380*	0.252	0.349*	0.229	-0.367*	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	SKD
正角材	0.398*	0.287	0.350*	0.287	0.350*	0.350*	-0.052	0.394*	-0.022	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	-0.338	-0.219	SKD

注) *: 危険率5%で有意な値
 **: 危険率1%で有意な値

MC-sである。

同様に、乾燥丸太において危険率1%で有意であったのは、試験時動的ヤング係数 E_d 、MOEであり、危険率5%で有意であったのは、 E_{dG} 、SG-sである。

たいこ挽材edge wiseにおいて危険率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、SG-s、MC-s、心材含水率MC-h、全体含水率MC-wである。

たいこ挽材flat wiseにおいて危険率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_{dG} 、MOE、比重SGである。

以上の結果から、MORの推定に E_{dG} 、 E_d 、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、 E_{dG} をただちに利用することはできない。さらにSG-sも利用の可能性が高い因子といえよう。

4.4 丸太、たいこ挽材、正角材間における強度性能の関係

丸太、たいこ挽材および正角材のMOE、MORを第8表に示す。

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、正角材は心持ち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。平均値によるおおまかな比較をすると、MOEについては丸太：たいこ挽材：正角材=100：100：80、MORについては丸太：たいこ挽材：正角材=100：95：75となっている。

4.5 丸太強度性能に対する含水率の影響

生材丸太の直径、曲げヤング係数および乾燥丸太の直径、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/生材直径で見ると、0.98~0.99~1.00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、さら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445.2~521.8~624.7kgf/cm²、乾燥丸太では420.2~533.0~609.6kgf/cm²であり、ほとんど差が認められない。これは乾燥丸太の乾燥程度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。

第8表 丸太、たいこ挽材、正角材のMOE、MORの比較

スパン	生材丸太 420cm	乾燥丸太 420cm	たいこ挽材				正角材 168cm	
			420cm		168cm		MOE末	MOE元
	MOE	MOE	MOE _{edge}	MOE _{flat}	MOE _{flat末}	MOE _{flat元}	MOR末	MOR元
供試体数(本)	34	34	34	34	17	17	17	17
最小値(tonf/cm ²)	69.0	82.7	85.4	86.7	78.2	81.1	68.0	57.6
平均値(tonf/cm ²)	107.5	99.7	107.6	99.1	95.2	97.9	78.3	74.8
最大値(tonf/cm ²)	130.7	120.1	130.3	116.3	107.1	122.0	97.7	91.3
CV(%)	12.9	9.3	11.5	7.4	9.0	11.1	9.0	11.6
	MOR	MOR	MOR _{edge}	MOR _{flat末}	MOR _{flat元}	MOR末	MOR元	
供試体数(本)	34	34	34	17	17	17	17	17
最小値(kgf/cm ²)	445.2	420.2	385.1	348.4	369.9	274.0	342.3	342.3
平均値(kgf/cm ²)	521.8	533.0	462.5	479.1	503.9	387.4	426.3	426.3
最大値(kgf/cm ²)	624.7	609.6	534.0	622.9	640.7	542.6	496.0	496.0
CV(%)	8.0	8.1	8.8	18.8	14.0	16.0	11.4	11.4

注) MOE：曲げヤング係数 MOR：曲げ破壊係数 末・元：原木からの採材位置（末口側，元口側）を表わす

文 献

- 1) 山本雅樹ほか3名 : 日本木材学会北海道支部講演集, No.23, 旭川, 1991, p. 36-39
- 2) 山本雅樹ほか3名 : 林産試験場報, 6(3), 17-21 (1992)
- 3) 工藤修ほか3名 : 日本木材学会北海道支部講演集, No.24, 札幌, 1992, p. 16-19
- 4) 工藤修ほか3名 : 林産試験場報, 7(2), 10-15 (1993)

— 性能部 材料性能科 —
— *1現竹内木材工業合資会社 —
— *2現寒地住宅都市研究所 —
(原稿受理 H 6. 1. 31)