

カラマツ丸太およびたいこ挽材の 実大曲げ性能 (第2報)

工藤 修 千葉 宗昭
藤原 拓哉 細谷 俊人

Bending Test of Larch Log and Two - Faced Sawn Lumber in Full Size (2)

Osamu KUDO
Takuya FUJIWARA

Muneaki CHIBA
Toshihito HOSOYA

1. はじめに

ログハウス(丸太組構法)は、木造建築に対する強い愛着と自然志向の高まりを背景として、全国的に建設されている。また、平成2年6月に「丸太組構法技術基準」が改正施行されたことにより、店舗、事務所など、その用途も広がっている。

丸太では表面の繊維が切断されていないため、曲げ強度は一般に製材より高いといわれている。しかしながら、このことに関するデータに乏しいのが現状である。

そこで、これらの基礎データを得る目的で、丸太およびたいこ挽材について一連の実大曲げ性能試験を実施しているが、今回は、カラマツ乾燥丸太の実大曲げ試験結果について報告する。

なお本報告は平成4年度日本木材学会北海道支部研究発表大会(1992年10月、札幌市)において発表したものである。

2. 供試丸太および試験方法

2.1 供試丸太

供試材としては、第1報¹⁾²⁾において、打撃法による動的ヤング係数に基づいて、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うちのBグ

ループのカラマツ丸太34体を用いた。

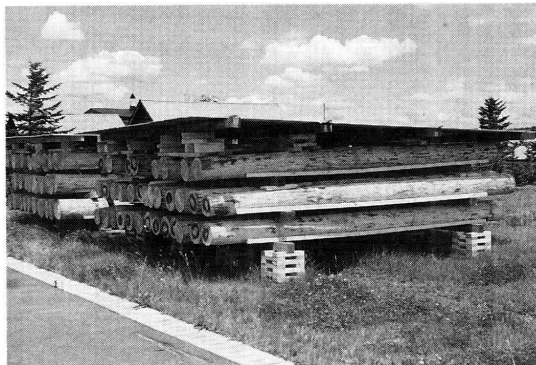
2.2 生材丸太の曲げ剛性試験

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。

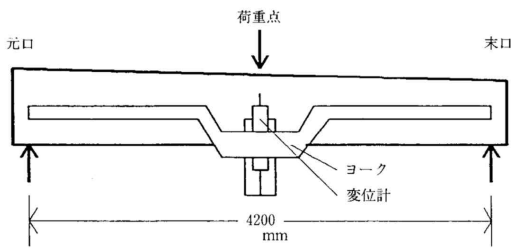
重量・寸法測定後、中央集中荷重により曲げ剛性試験を行い、生材丸太の曲げヤング係数を算出した。

2.3 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、丸太を屋外に棧積みし、約8か月間天然乾燥した。丸太の乾燥状況を第1図に示す。



第1図 丸太の天然乾燥



第2図 曲げ試験の方法

2.4 乾燥丸太の曲げ試験

天然乾燥後、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布製巻尺を用い、丸太の末口・元口・中央部の円周を測定し、乾燥丸太の直径を算出した。あわせて末口・元口の平均年輪幅、末口年輪数も測定した。その後、FFTアナライザーを用い、丸太の振動周波数を測定し、乾燥丸太の打撃法による動的ヤング係数 (Ed) を算出した。

節などの欠点調査は中央部分60cm区間で行い、欠点調査図を描いた。

欠点調査の終了した試験体34体について、材長4.6mに対しスパン4.2mで第2図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、20tonf油圧式強度試験機(東京衡機製)を用い、容量20tonfロードセルにより荷重を検出し、荷重100kgfごとにたわみを計測、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(東京測器研究所製)で計測し、比例限度を超えた時点でヨークを取り外し、破壊までのたわみは1/10mm精度、ストローク1000mmのワイヤ式変位計(共和電業製)を用いて計測した。得られた荷重-たわみ曲線および中央直径から、全体たわみによる曲げヤング係数(MOE)、曲げ比例限度(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にスケッチした後、非破壊部分から厚さ約2cmの円盤を3枚採取し、そのうちの2枚を用いて曲げ試験時の含水率(辺材、心材、および全体)を全乾法で測定した。残りの1枚は気乾状態にした後、試験片を木取り、辺材および心材部の気乾比重を求めた。また、生材時の

含水率については、生材丸太重量、乾燥丸太重量、円盤試験片の重量を用い、円盤試験片の含水率から逆算し、推定した。

3. 試験結果および考察

乾燥丸太の概要と曲げ試験結果を第1表に示す。

末口における年輪数は、平均値29、最小値25、最大値32となっている。

平均年輪幅は、元口で平均値4.7mm、最小限4.0mm、最大値5.1mm、末口で平均値4.5mm、最小値3.8mm、最大値5.1mmで元口と末口とで大きな差はなかった。

丸太の中央直径は、平均値27.8cm、最小値25.3cm、最大値30.4cmであり、細り度は0.4~2.0cm/mで、平均値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13.8~16.6、平均値で15.1となった。

気乾比重は辺材で平均値0.52、最小値0.44、最大値0.61、心材で平均値0.51、最小値0.45、最大値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では平均値21.4%、最小値19.4%、最大値24.0%、辺材では平均値18.5%、最小値16.7%、最大値20.4%、心材では平均値22.9%、最小値20.4%、最大値25.9%となり、心材が辺材より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おける節径比(%)で表現した。その結果、最大単独節径比は平均値2.4%、最小値0.0%、最大値5.0%、最大集中節径比は平均値5.3%、最小値0.0%、最大値11.4%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曲げヤング係数(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。

比例限度の曲げ破壊係数に対する比率をみると、平均値0.58、最小値0.48、最大値0.68となり、木材の比例限度として通常いわれている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、最小値420.2kgf/cm²、最大値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。

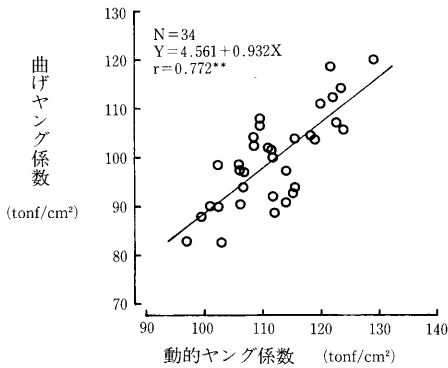
第1表 乾燥丸太の概要と曲げ強度試験結果

試験体 番号 TP No	平均年輪幅		直径		細り度 taper (cm/m)	気乾比重		含水率		最大単独 前径比 KD (%)	最大集中 前径比 SKD (%)	動向 ヤング係数 Ed (tonf/cm ²)	曲げ ヤング係数 (tonf/cm ²)	曲げ MOE (tonf/cm ²)	比別限度 力 PL (kgf/cm ²)	曲げ 破壊係数 MOR (kgf/cm ²)	
	元口 ARW-be (mm)	末口 ARW-te (mm)	元口 D-be (cm)	末口 D-te (cm)		辺材心材 SG-s (%)	辺材心材 SG-h (%)	辺材心材 MC-s (%)	全断面 MC-w (%)								
1	28	4.6	30.7	28.1	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	28.7	28.2	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	28.8	27.1	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	27.7	26.4	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	29.2	27.9	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	27.5	27.2	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	29.5	27.3	0.9	0.52	0.52	18.7	23.2	21.7	0.8	1.4	109.6	106.5	357.5	587.8	
8	25	4.3	26.2	25.3	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	30.1	27.4	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	29.6	28.5	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	28.7	26.4	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	28.7	27.1	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	31.1	27.8	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	31.8	29.2	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	31.3	28.7	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	28.4	26.9	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	27.8	26.0	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	28.1	26.7	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	30.9	28.0	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	29.0	27.9	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	35.0	28.9	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	33.0	27.9	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	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	28.9	28.1	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	28.3	27.9	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	29.2	27.2	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	30.4	28.9	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	28.2	26.8	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	30.3	27.7	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	32.2	30.4	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	30.9	29.2	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	26.5	26.1	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	29.0	28.2	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	31.4	28.3	1.0	0.51	0.55	19.1	23.5	21.9	1.8	3.0	114.0	97.3	283.2	561.3	
min	25	4.0	26.2	25.3	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	29.7	27.8	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	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	38.0	6.8	6.5	4.3	5.6	5.0	49.5	56.3	6.9	9.3	11.7	8.1

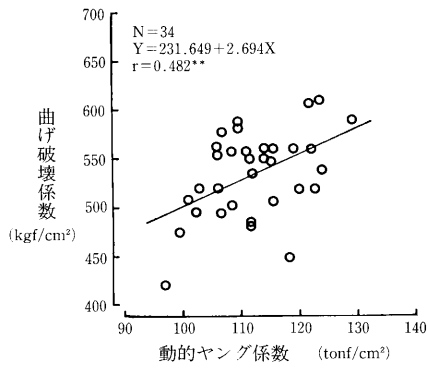
第2表 生材丸太と乾燥丸太の強度比較

		最小値	平均値	最大値	変動係数 (%)
生材丸太	平均含水率 MC (%)	59.9	76.3	91.0	10.1
	中央直径 D (cm)	27.5	29.4	31.7	4.9
	動的ヤング係数 Ed (tonf/cm ²)	87	114	139	9.5
	曲げヤング係数 MOE (tonf/cm ²)	69	108	131	12.9
	曲げ破壊係数 MOR (kgf/cm ²)	445	522	625	8.0
乾燥丸太	平均含水率 MC (%)	19.4	21.4	24.0	5.0
	中央直径 D (cm)	25.3	27.8	30.4	4.0
	動的ヤング係数 Ed (tonf/cm ²)	97.0	111.9	129.0	6.9
	曲げヤング係数 MOE (tonf/cm ²)	82.7	99.7	120.1	9.3
	曲げ破壊係数 MOR (kgf/cm ²)	420.2	533.0	609.6	8.1

* 文献1), 2) から引用した数値



第3図 動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係

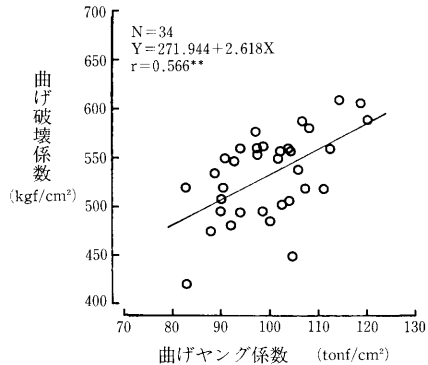


第4図 動的ヤング係数と曲げ破壊係数の関係

生材丸太と乾燥丸太の強度比較を第2表に示す。ただし、生材丸太の各数値は第1報^{1,2)}から引用したものである。

木材は繊維飽和点以下になると、含水率の低下に伴って強度が増大することが知られている。しかし、生材丸太と乾燥丸太の曲げ破壊係数を比較してみると、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、乾燥に伴う割れの影響によるものと考えられる。

動的ヤング係数 (Ed) と曲げヤング係数 (MOE) との関係、動的ヤング係数と曲げ破壊係数 (MOR) との関係および曲げヤング係数と曲げ破壊係数との関係を第3～5図に示す。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。相関係数の値としてはやや小さいが、いずれも1%危険率で有意な値であることから、EdまたはMOEからMORをおおまかに推定す



第5図 曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

ることは可能であると考えられる。

丸太の剛性に及ぼす含水率の影響を第3表に示す。中央直径について乾燥後と生材時の比をみると、平均値0.99、最小値0.98、最大値1.00であり、乾燥後が収縮により若干小さな値となっている。

曲げ剛性についてみると、平均値0.91、最小値0.77、最大値1.32となっているが、1.00を超えたものはわず

第3表 丸太の曲げ剛性に及ぼす含水率の影響

試験体番 号 TP No.	生材時				乾燥時				比					
	平均含水率 MC-g (%)	中央部直径 D-c-g (cm)	断面二次モーメント I-g (10 ⁸ cm ⁴)	曲げ剛性係数 MOE-g (tonf/cm ²)	EI-g (10 ⁹ kgf·cm ²)	平均含水率 MC-d (%)	中央部直径 D-c-d (cm)	断面二次モーメント I-d (10 ⁸ cm ⁴)	曲げ剛性係数 MOE-d (tonf/cm ²)	EI-d (10 ⁹ kgf·cm ²)	中央部直径 D-c-d	断面二次モーメント I-d	曲げ剛性係数 MOE-d	EI-d
1	91.0	28.4	31.9	100.2	3,196.4	23.0	28.1	30.5	90.1	2,748.0	0.99	0.99	0.99	0.86
2	82.6	28.6	32.8	105.2	3,450.6	20.9	28.2	31.2	107.2	3,344.6	0.99	0.99	0.99	0.97
3	78.4	27.3	27.3	70.9	1,935.6	20.8	27.1	26.3	97.4	2,561.6	0.99	0.99	0.99	1.32
4	66.5	26.7	24.9	112.2	2,793.8	22.9	26.4	23.7	114.2	2,706.5	0.99	0.99	0.99	0.97
5	71.0	28.0	30.2	96.1	2,902.2	20.8	27.9	29.5	98.5	2,905.8	1.00	1.00	1.00	1.00
6	79.7	27.4	27.7	88.2	2,443.1	19.8	27.2	26.8	87.9	2,355.7	0.99	0.99	0.99	0.96
7	71.2	27.5	28.1	107.9	3,032.0	21.7	27.3	27.2	106.5	2,896.8	0.99	0.99	0.99	0.96
8	79.2	25.6	21.1	119.6	2,523.6	19.7	25.3	20.0	118.6	2,372.0	0.99	0.99	0.99	0.94
9	68.1	27.7	28.9	111.3	3,216.6	20.8	27.4	27.8	108.0	3,002.4	0.99	0.99	0.99	0.93
10	87.2	28.7	33.3	116.7	3,886.1	22.0	28.5	32.3	102.4	3,307.5	0.99	0.99	0.99	0.85
11	75.2	26.7	24.9	96.2	2,395.4	19.4	26.4	23.9	92.7	2,215.5	0.99	0.99	0.99	0.92
12	74.9	27.0	26.1	118.5	3,092.8	21.5	27.1	26.3	90.8	2,388.0	1.00	1.00	1.00	0.77
13	73.4	28.0	30.2	110.9	3,349.2	21.6	27.8	29.1	103.9	3,023.5	0.99	0.99	0.99	0.90
14	70.2	29.4	36.7	117.9	4,326.9	21.9	29.2	35.8	112.3	4,020.3	0.99	0.99	0.99	0.93
15	74.6	29.0	34.7	125.8	4,365.3	20.6	28.7	33.5	100.0	3,350.0	0.99	0.99	0.99	0.77
16	75.5	26.8	25.3	115.0	2,909.5	23.1	26.9	25.8	93.9	2,422.6	1.00	1.00	1.00	0.83
17	65.5	26.3	23.5	120.9	2,841.2	20.8	26.0	22.5	120.1	2,702.2	0.99	0.99	0.99	0.95
18	80.8	26.8	25.3	105.1	2,659.0	20.9	26.7	24.9	102.0	2,539.8	1.00	1.00	1.00	0.96
19	76.8	28.2	31.0	129.5	4,014.5	20.5	28.0	30.4	101.6	3,088.6	0.99	0.99	0.99	0.77
20	81.5	28.0	31.0	95.4	2,957.4	20.7	27.9	29.9	90.4	2,703.0	0.99	0.99	0.99	0.91
21	64.8	29.0	34.7	112.3	3,896.8	20.1	28.9	34.1	88.7	3,024.7	1.00	1.00	1.00	0.78
22	67.7	27.9	29.7	108.2	3,213.5	23.2	27.9	29.5	98.6	2,908.7	1.00	1.00	1.00	0.90
23	70.6	30.6	43.0	114.6	4,927.8	21.3	30.2	41.0	104.6	4,288.6	0.99	0.99	0.99	0.87
24	75.8	28.3	31.5	93.0	2,929.5	22.0	28.1	30.8	93.9	2,892.1	0.99	0.99	0.99	0.99
25	78.9	28.3	31.5	106.0	3,339.0	20.2	27.9	29.7	104.2	3,094.7	0.98	0.98	0.98	0.93
26	66.5	27.4	27.7	109.5	3,033.2	20.5	27.2	26.8	97.0	2,599.6	0.99	0.99	0.99	0.86
27	93.5	29.0	34.7	111.9	3,882.9	21.6	28.9	34.3	111.0	3,807.3	1.00	1.00	1.00	0.98
28	81.8	26.9	25.7	95.8	2,462.1	21.2	26.8	25.3	89.9	2,274.5	1.00	1.00	1.00	0.92
29	83.5	28.0	30.2	96.0	2,899.2	21.7	27.7	28.9	82.7	2,390.0	0.99	0.99	0.99	0.82
30	86.4	30.6	43.0	88.7	3,814.1	24.0	30.4	41.7	82.9	3,456.9	0.99	0.99	0.99	0.91
31	73.6	29.5	37.2	110.0	4,092.0	22.7	29.2	35.6	105.7	3,762.9	0.99	0.99	0.99	0.92
32	81.4	26.3	23.5	116.4	2,735.4	21.9	26.1	22.7	103.7	2,354.0	0.99	0.99	0.99	0.86
33	80.0	28.4	31.9	96.8	3,087.9	20.9	28.2	31.1	92.0	2,861.2	0.99	0.99	0.99	0.93
34	82.4	29.0	34.7	105.4	3,657.4	21.9	28.3	31.3	97.3	3,045.5	0.98	0.98	0.98	0.83
min	64.8	25.6	21.1	70.9	1,935.6	19.4	25.3	20.0	82.7	2,215.5	0.98	0.98	0.98	0.77
ave	76.8	28.0	30.4	106.7	3,243.0	21.4	27.8	29.4	99.7	2,924.0	0.99	0.99	0.99	0.91
max	93.5	30.6	43.0	129.5	4,927.8	24.0	30.4	41.7	120.1	4,288.6	1.00	1.00	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	0.56	0.56	10.8

か1体であり、全体的に乾燥後のほうが小さな値となっている。この理由としては、乾燥が十分でなく(含水率20%程度)、曲げヤング係数の増大がほとんど認められなかったこと、一方、丸太直径は乾燥収縮により若干減少したこと、乾燥に伴う割れの影響、材料のねじれによる測定値のばらつきなどが考えられるが、これらの点については、今後、さらに追加試験を行うなどの検討が必要である。

4. まとめ

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を得ること、および丸太、たいこ挽材ならびに製材間の曲げ強度性能の関連性を実験的に明らかにするため、一連の試験を行っているが、今回は乾燥丸太の実大曲げ強度性能について検討した。その結果は以下のとおりである。

- (1) 打撃法による動的ヤング係数によって、丸太のおまかな強度等級区分を行う可能性が認められた。
- (2) 今回は乾燥が十分でなかった(含水率20%程度)

こと、乾燥割れなどから、乾燥による強度の増大は認められなかった。

- (3) 含水率の低下に伴って、丸太の直径は若干減少した。
- (4) 乾燥丸太の曲げ剛性は生材丸太の曲げ剛性と比較して低下している。その原因については、今後、さらに追加試験による検討が必要である。

今後、引き続き、たいこ挽材および製材の実大強度試験を継続し、データ蓄積を行うとともに、丸太、たいこ挽材および製材品間の強度的関連性を検討する予定である。

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, 23, 36-39 (1991)
- 2) 山本雅樹ほか3名：林産試験場報, 6, 3, 17-21 (1992)

—性能部 材料性能科—
(原稿受理 H 5 . 2 . 10)