

安全・安心な乾燥材生産技術の開発(Ⅱ)

—天然乾燥材と過度の高温乾燥材の強度特性(3) 縦引張り強度特性—

山内仁人・柴田直明・吉田孝久・加藤英雄*・井道裕史*・長尾博文*

天然乾燥と過度の高温乾燥を施したカラマツの 120mm 正角材について、縦引張り強度性能を比較した。カラマツ天然乾燥材の縦引張り強さの平均値は 34.3N/mm²であったのに対し、過度の高温乾燥材の縦引張り強さの平均値は 22.6N/mm²で、熱劣化によると考えられる強度性能の低下が顕著であった。

キーワード：カラマツ，天然乾燥，高温乾燥，縦引張り強さ，熱劣化

1 目的

過度の高温乾燥を施したカラマツの内部割れ及び熱劣化による縦引張り強度性能への影響を明らかにするため、以下の試験を実施した。

なお、アカマツについては、材面割れを十分に抑制できず、乾燥スケジュールを再検討することとなったため、縦引張り試験は行わなかった。

2 試験方法

2.1 試験体

前報Ⅱ(1) 2～3¹⁾で作製したカラマツの 120mm 正角材(長さ 4m) 100 体のうち、2010 年 6 月から当所構内の屋根付き天乾場で約半年間天然乾燥した 50 体と、表-1 に示すスケジュールで過度の高温乾燥を実施した 50 体から、予備試験体 10 体を除く各 40 体について試験を実施した。

いずれの試験体も、試験前に寸法・重量、節の大きさ・位置、材面割れの長さ・幅等を計測し、縦振動法によるヤング係数を測定した上で縦引張り試験に供した。

また、縦引張り試験実施後、試験体の非破壊部から厚さ 15mm 程度の含水率試験片を切り出し、全乾法により含水率を求めた。

表-1 過度の高温乾燥スケジュール

乾燥時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	備考
10	95	95	0	蒸煮
24	120	90	30	高温セット
24	110	80	30	高温乾燥
240	90	60	30	中温乾燥10日

2.2 縦引張り試験

縦引張り試験は、過度の高温乾燥カラマツについては 2010 年 9 月に、天然乾燥カラマツについては 2011 年 2 月に、茨城県つくば市の(独)森林総合研究所で行った。試験は、(株)前川試験機製作所製の実大木材横型引張試験機 HZS-200-LB4 を使用し、チャック部は片側 1,000mm、チャック間距離 2,000mm で行った(図-1・写真-1)。なお、最大荷重から縦引張り強さを算出するとともに、標点間距離 1,000mm で試験体の伸びを測定し、縦引張りヤング係数を算出した。

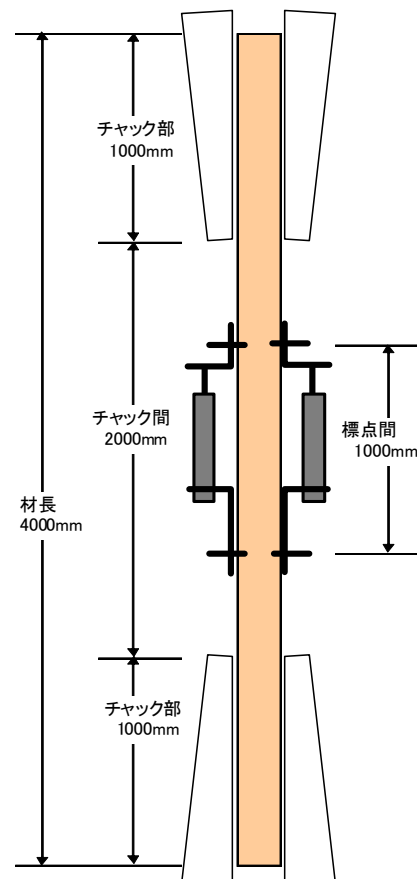


図-1 試験方法

*独) 森林総合研究所

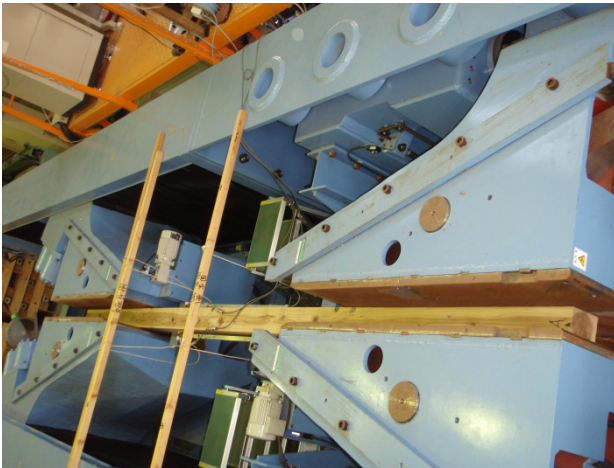


写真-1 引張り試験の様子

3 結果と考察

試験結果の概要を表-2 に示す。

天然乾燥カラマツは、仕上がり含水率が平均 19.1%で、過度の高温乾燥カラマツの平均 13.5%に比べ 5%以上高かった。また、前報²⁾の天然乾燥カラマツの縦圧縮試験体（平均 15.4%）と比較しても高かった。その要因として、天然乾燥を実施した時季、期間等が異なったことが考えられるが、カラマツ天然乾燥材が実際に市場に供給される場合、同程度の含水率のバラツキはあり得ると考えられるので、強度等の比較に当たり、特に含水率補正は行わなかった。

縦振動法によるヤング係数と縦引張りヤング係数の相関は過度の高温乾燥材・天然乾燥材ともに高く、平均値や変動幅もほぼ同程度の値で、乾燥方法・スケジュールが異なることに起因する特段の差異は認められなかった（表-2、図-2）。

一方、縦引張り強さは過度の高温乾燥カラマツの平均値が 22.6N/mm² で天然乾燥カラマツの平均値 34.2 N/mm² より 3 割以上低かった（表-2、図-3）。また、天然乾燥カラマツでは、無等級材の基準強度 16.2 N/mm² を下回った試験体が 1 本も無かったのに対し、過度の高温乾燥カラマツでは 6 体あり、強度の低下傾向が顕著であった（表-2、図-3）。

さらに、天然乾燥カラマツは繊維方向に長く裂けるように破壊するケースが多かったのに対し、高温乾燥カラマツはササクレ等が少なく、熱劣化によって、材質の脆化が進んだことがうかがわれた（写真-2,3）。また、天然乾燥カラマツに比べ、過度の高温カラマツでは、縦引張りヤング係数と縦引張り強さの相関係数が大幅に低下していたことも、熱劣化の影響と思われる。



写真-2 過度の高温乾燥カラマツの破断

表-2 試験結果概要

樹種 (グループ)	試験体数	項目	ヤング係数 E (kN/mm ²)		縦引張り 強さ σ _t (N/mm ²)	最大荷重* 時はずみ ε Pmax (μ)	含水率 MC (%)	試験時 密度 ρ (kg/m ³)	目視等級区分 (チャック間距離を対象)		
			縦振動法	縦引張り*					甲種	乙種	
カラマツ (過度の高温乾燥)	40 (39)	最小値	8.26	7.39	14.7	1572	10.9	440	甲種	乙種	
		平均値	11.14	10.59	22.6	2388	13.5	523	1級	2	1級 17
		最大値	14.29	13.64	44.0	4348	17.3	629	2級	15	2級 17
		標準偏差	1.45	1.40	6.5	679	1.5	53	3級	11	3級 6
		変動係数 (%)	13.0	13.3	28.7	28.4	10.8	10.2	格外	12	格外 -
カラマツ (天然乾燥)	40	最小値	9.09	7.94	21.7	2172	17.9	440	甲種	乙種	
		平均値	11.60	10.74	34.2	3389	19.1	533	1級	3	1級 23
		最大値	15.47	14.68	54.0	4662	20.4	638	2級	25	2級 16
		標準偏差	1.47	1.41	8.3	604	0.6	43	3級	9	3級 1
		変動係数 (%)	12.7	13.1	24.4	17.8	2.9	8.1	格外	3	格外 -

高温乾燥材の試験は、欠測のため*印の項目はn数が39体

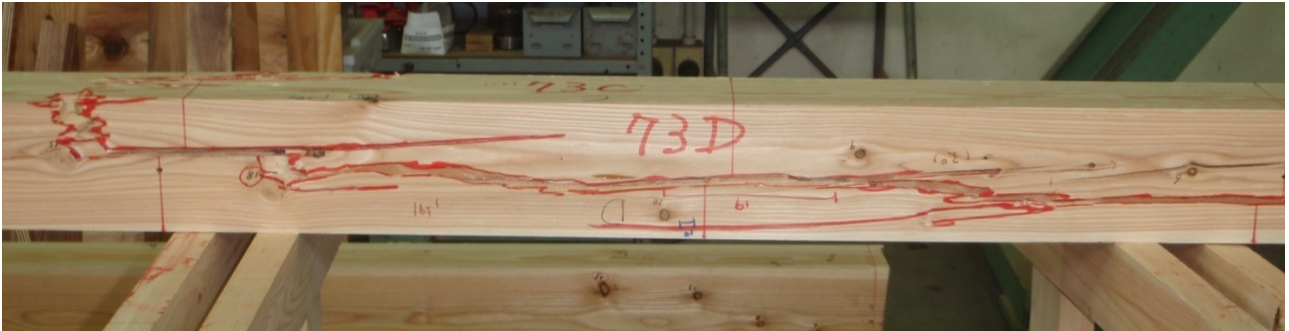


写真-3 天然乾燥カラマツの破断

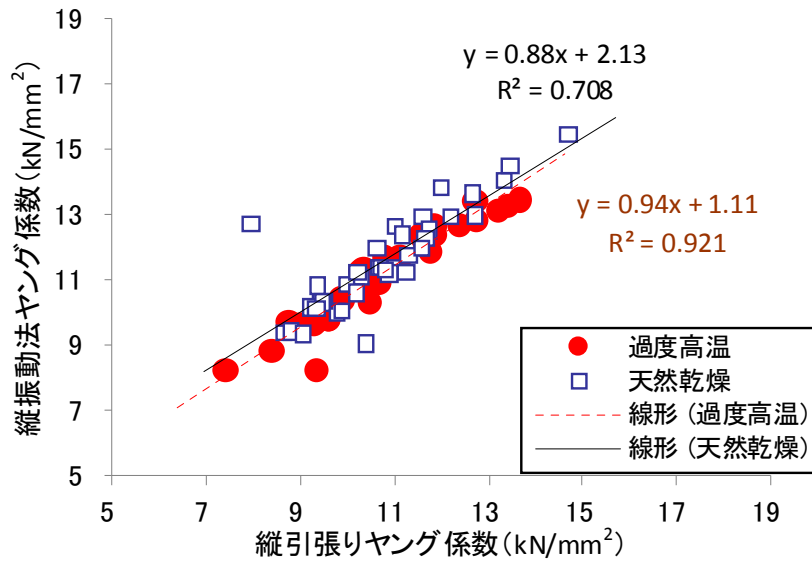


図-2 縦引張りヤング係数と縦振動法ヤング係数の関係

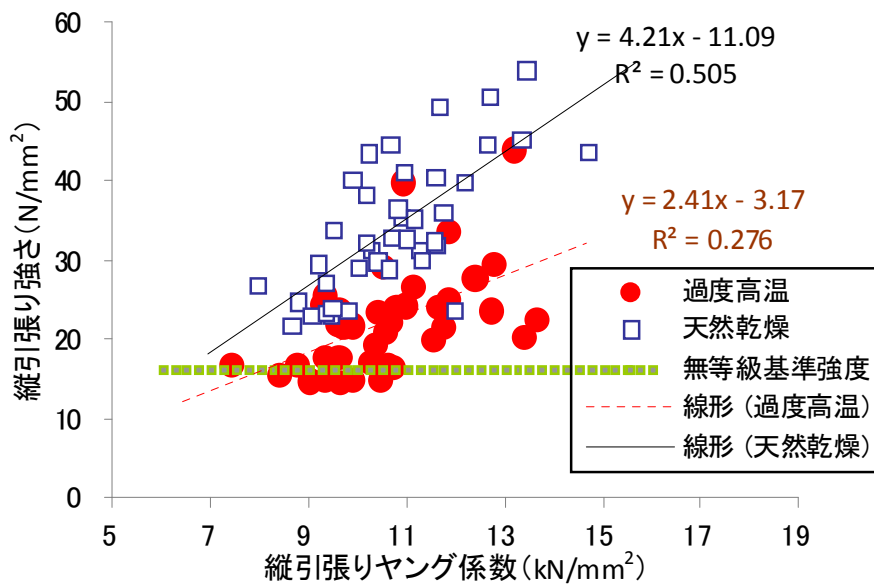


図-3 縦引張りヤング係数と縦引張り強さの関係

なお、前報³⁾では、本報と同じ過度の高温乾燥スケジュールで乾燥したカラマツについて、材の両端木口付近を除けば内部割れはわずかしか発生しないことを確認している。今回の試験体も、含水率試験体採取時等にも顕著な内部割れは発生していなかったことから、引張り強さの低下は内部割れの発生に起因するものではないと言える。

材面割れの長さ・幅については、縦引張り強さへの特段の影響は認められなかった(図-4, 5)。また、節径比については、節が大きくなるに従い縦引張り強さが低下する傾向は認められるものの、縦振動法による動的ヤング係数と縦引張り強さの関係に比べるとその相関は低かった(図-6~8)。

従って、縦引張り強さに関しても、縦振動法で動的ヤング係数を測定する機械等級区分は、目視等級区分より有効と言える。しかし、今回の試験結果から、過度の高温乾燥では熱劣化の影響が顕著で、機械等級区分材の基準強度を下回る材の発生率が高まる可能性があるため、その危険性について注意を喚起し、無理のない適切なスケジュールで乾燥を実施するよう、周知する必要がある。

4 謝辞

本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」(課題番号: 21029, 中核機関: 石川県林業試験場)の一環として実施した。関係各位のご協力に深謝します。

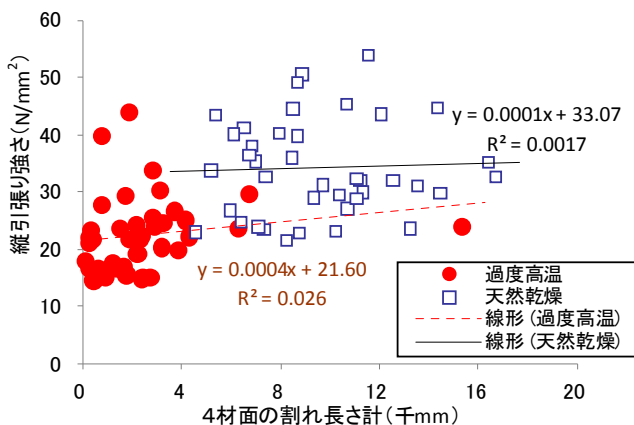


図-4 材面割れ長さと縦引張り強さの関係

引用文献

- 1) 柴田直明・伊東嘉文・吉田孝久・山内仁人(2013), 安全・安心な乾燥材生産技術の開発(Ⅱ)-過度の高温乾燥材の強度特性(1)試験体の調整-, 長野県林業総合センター研究報告 No.27, 123-132p
- 2) 山内仁人・柴田直明・吉田孝久・加藤英雄・井道裕史・長尾博文(2013), 安全・安心な乾燥材生産技術の開発(Ⅱ)-過度の高温乾燥材の強度特性(2)縦圧縮強さ-, 長野県林業総合センター研究報告 No.27, 133-141pp
- 3) 吉田孝久・柴田直明・今井信・山内仁人・松元浩(2013), 安全・安心な乾燥材生産技術の開発(Ⅰ)-材面割れ及び内部割れの少ない乾燥スケジュールの開発-, 長野県林業総合センター研究報告 No.27, 107-122pp

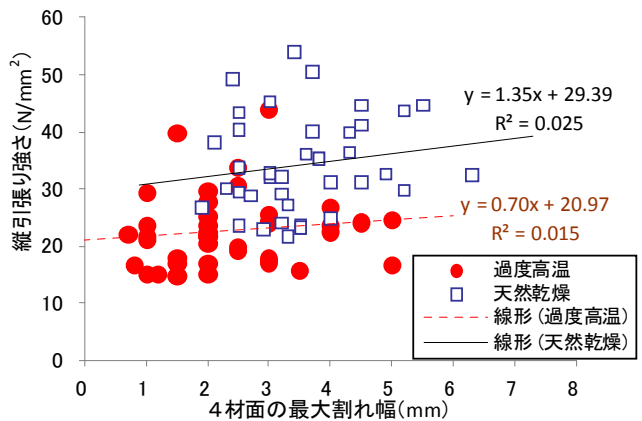


図-5 材面割れ幅と縦引張り強さの関係

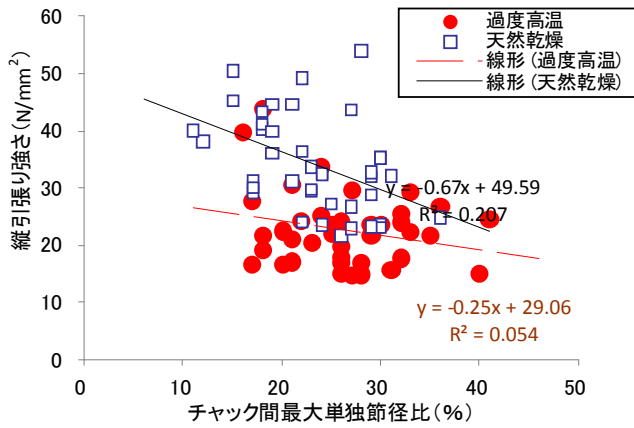


図-6 最大単独節径比と縦引張り強さの関係

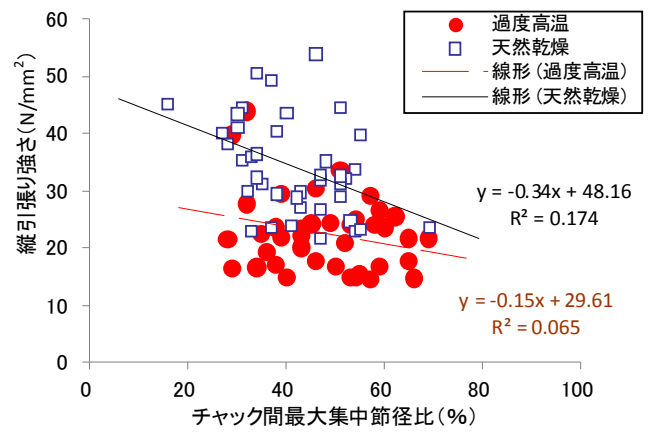


図-7 最大集中節径比と縦引張り強さの関係

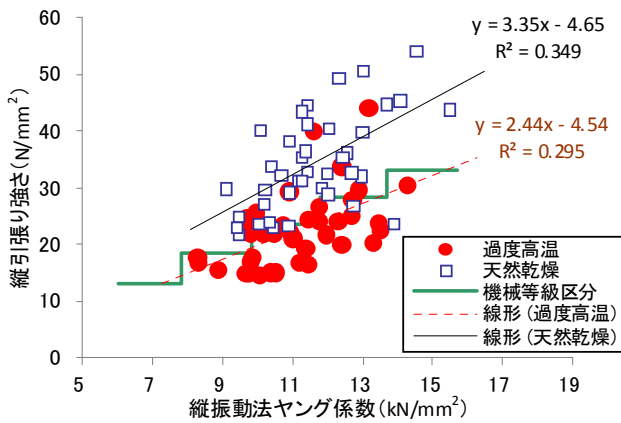


図-8 材面割れ幅と縦引張り強さの関係

付表-1 過度の高温乾燥カラマツの試験結果一覧

No	含水率 (%)	気乾 密度 (kg/m ³)	最大 荷重 (kN)	縦引張 り強さ (N/mm ²)	縦引張 りヤング 係数 (kN/mm ²)	縦振動 ヤング 係数 (kN/mm ²)	材面 割れ 長さ計 (mm)	材面 割れ 最大幅 (mm)	単独 最大 節径比 (%)	集中 最大 節径比 (%)	甲種 目視 等級	乙種 目視 等級	備 考
1	13.7	482	257.4	17.9	9.32	8.26	88	1.5	26	46	3	2	
3	15.1	611	362.1	25.1	11.82	12.68	4122	2.0	24	54	2	2	
4	13.4	548	423.4	29.7	12.74	12.88	6686	2.0	27	39	3	1	
7	12.0	479	354.2	24.6	9.27	9.67	3221	5.0	41	49	4	3	
9	13.4	540	422.8	29.3	10.47	10.90	1707	1.0	33	57	2	2	
14	13.4	532	337.3	23.5	10.37	10.74	318	1.0	25	43	3	1	
15	14.5	553	312.8	21.8	9.69	10.16	2317	2.0	35	69	4	3	
17	13.3	531	367.4	25.5	9.31	9.94	2808	3.0	32	62	3	3	
19	14.9	612	380.6	26.8	11.11	11.75	3712	4.0	36	59	4	2	
20	13.7	479	315.3	22.1	9.59	9.80	236	0.7	25	39	2	1	
22	11.1	464	400.4	27.8	12.38	12.70	745	2.0	17	32	2	1	
25	14.0	470	217.4	15.1	9.32	9.75	921	2.0	26	53	4	2	
26	14.4	573	482.1	33.8	11.85	12.40	2808	2.5	24	51	2	2	
36	16.4	629	318.1	22.2	10.64	10.94	4277	2.0	33	43	2	2	
37	11.7	442	215.5	14.9	8.99	9.67	2375	1.5	28	66	3	3	
40	15.6	549	238.5	16.7	10.59	11.17	213	0.8	17	34	2	1	
44	13.5	613	285.4	19.9	11.54	12.39	3822	2.5	26	43	3	1	
45	12.3	482	304.1	21.1	10.56	11.00	213	1.0	21	52	2	2	
46	16.9	563	572.7	39.9	10.89	11.61	720	1.5	16	29	2	1	
49	12.5	481	348.4	24.3	10.94	11.44	2152	3.0	22	45	3	1	
50	14.0	504	242.9	16.9	7.39	8.31	1353	2.0	26	59	4	2	
52	14.2	564	630.8	44.0	13.19	13.16	1843	3.0	18	32	2	1	
64	13.2	471	225.8	15.7	8.37	8.84	1734	3.5	31	55	4	2	
67	13.1	504	277.5	19.3	10.34	11.36	2176	2.5	18	36	1	1	
69	11.6	537	342.3	23.7	12.70	13.44	6296	4.0	30	38	3	1	
71	14.7	502	216.5	15.1	9.86	10.50	2417	1.0	28	40	3	1	
75	12.0	454	244.7	17.0	8.73	9.77	1629	1.5	28	50	3	2	
77	13.3	470	210.5	14.7	9.64	10.03	423	1.5	27	57	4	2	
78	12.7	563	346.8	24.2	10.78	11.75	15286	4.5	32	58	4	2	
81	12.7	525	311.5	21.8	9.88	10.45	1895	2.0	29	65	3	3	
83	11.9	463	255.6	17.8	9.60	9.83	1197	3.0	32	65	4	3	
85	10.9	440	343.7	23.7	9.58	9.95	1488	2.0	29	60	4	2	
87	13.0	483	312.4	21.7	11.74	11.94	367	1.0	18	28	1	1	
88	14.5	567	291.7	20.4	13.39	13.30	3175	2.0	23	43	2	1	
90	13.3	523	345.6	24.1	11.61	12.29	2875	3.0	26	53	4	2	
92	17.3	608	217.2	15.1	10.44	10.36	2696	1.2	40	54	4	2	
94	14.5	576	323.2	22.5	13.64	13.48	2390	4.0	20	35	2	1	
97	12.2	456	239.3	16.7	10.70	11.42	585	5.0	20	29	2	1	
100	12.5	481	247.5	17.2	10.25	11.28	1224	3.0	21	38	2	1	
82	12.1	585	439.6	30.5	-	14.29	3096	2.5	21	46	2	2	変位計未設置
平均値	13.5	522.7	324.5	22.6	10.59	11.14	2440.2	2.3	26.3	47.7	2.8	1.7	
標準偏差	1.5	53.2	93.0	6.5	1.40	1.45	2560	1.1	6.2	11.3			
最大値	17.3	628.5	630.8	44.0	13.64	14.29	15286	5.0	41.0	69.0			
最小値	10.9	439.9	210.5	14.7	7.39	8.26	88.0	0.7	16.0	28.0			
1級											2	17	
2級											15	17	
3級											11	6	
格外											12	0	

付表-2 天然乾燥カラマツの試験結果一覧

No	含水率 (%)	気乾 密度 (kg/m ³)	最大 荷重 (kN)	縦引張 り強さ (N/mm ²)	縦引張	縦振動	材面	材面	単独	集中	甲種 目視 等級	乙種 目視 等級	備 考
					りヤング 係数 (kN/mm ²)	ヤング 係数 (kN/mm ²)	割れ 長さ計 (mm)	割れ 最大幅 (mm)	最大 節径比 (%)	最大 節径比 (%)			
2	19.5	522	340.4	23.6	9.79	10.04	7299	2.5	30	69	4	3	
10	19.5	533	584.5	40.4	11.57	12.03	7944	2.5	18	38	2	1	
11	19.3	497	547.8	38.2	10.17	10.89	6813	2.1	12	28	2	1	
12	19.1	528	641.1	44.6	10.65	11.42	8466	5.5	19	51	2	2	
16	20.0	508	593.1	41.2	10.94	11.42	6492	4.5	18	30	2	1	
18	19.5	480	315.1	21.7	8.64	9.45	8232	3.3	26	47	3	2	
21	19.9	602	633.3	43.8	14.68	15.47	12048	5.2	27	40	2	1	
23	19.2	519	422.2	29.2	9.99	10.90	9334	3.2	17	51	2	2	
24	18.9	494	453.2	31.3	10.27	11.14	9692	4.0	17	35	2	1	
32	18.4	512	362.3	24.9	8.77	9.46	6383	4.0	36	53	4	2	
33	19.4	512	511.8	35.4	10.87	11.24	6963	3.8	30	31	1	1	
34	19.3	483	487.5	33.8	9.48	10.39	5161	2.5	23	54	2	2	
35	20.4	612	462.5	32.0	11.60	12.94	12513	3.0	29	47	3	2	
38	17.9	501	331.0	23.0	9.43	10.41	8723	2.9	27	33	3	1	
39	19.0	547	386.2	26.8	7.94	12.73	5928	1.9	27	47	2	2	
41	20.2	629	340.6	23.7	11.97	13.87	13227	3.5	24	37	2	1	
42	18.3	440	331.9	23.1	9.06	9.38	4549	3.5	30	54	3	2	
43	18.9	504	472.6	32.8	10.68	11.40	7364	3.0	29	47	2	2	
47	18.9	497	426.1	29.6	9.18	10.19	10366	2.5	23	38	2	1	
48	18.7	541	643.2	44.7	12.64	13.67	14315	4.5	21	31	2	1	
51	19.0	537	519.7	36.1	11.72	12.55	8433	3.6	19	33	1	1	
57	18.9	521	464.9	32.2	10.16	10.66	11212	3.2	31	52	3	2	
58	19.2	573	725.9	50.6	12.70	13.00	8841	3.7	15	34	2	1	
59	19.0	555	574.5	39.9	12.18	12.99	8679	4.3	19	55	2	2	
61	18.1	520	451.7	31.2	11.23	11.26	13523	4.5	21	51	4	2	
62	18.8	564	336.5	23.3	9.34	10.86	10219	3.5	29	55	3	2	
63	18.8	517	347.0	24.1	9.45	10.34	7069	3.2	22	41	2	1	
65	19.0	507	392.5	27.1	9.33	10.16	10691	3.3	25	43	2	1	
66	17.9	508	432.3	29.9	10.38	9.09	14448	5.2	23	43	3	1	
68	18.5	525	432.7	30.0	11.28	11.81	11294	2.3	17	32	2	1	
70	18.5	513	627.7	43.5	10.20	11.27	5335	2.5	18	30	2	1	
73	19.7	580	648.2	45.3	13.32	14.06	10638	3.0	15	16	1	1	
79	19.0	521	708.4	49.3	11.65	12.32	8660	2.4	22	37	2	1	
80	19.3	572	472.4	32.7	11.00	12.66	16684	4.9	24	51	2	2	
86	19.0	638	414.2	28.9	10.61	12.00	11063	2.7	29	42	3	1	
89	19.9	610	775.7	54.0	13.43	14.53	11539	3.4	28	46	2	2	
91	19.1	494	579.1	40.1	9.88	10.07	6071	3.7	11	27	2	1	
95	18.9	494	522.2	36.5	10.82	11.34	6693	4.3	22	34	2	1	
96	18.8	511	468.2	32.5	11.55	11.99	11061	6.3	24	34	2	1	
99	18.7	590	510.3	35.4	11.14	12.41	16380	3.8	30	48	3	2	
平均値	19.1	532.8	492.3	34.2	10.74	11.60	9508.6	3.5	23.2	41.6	2.3	1.5	
標準偏差	0.6	43.4	119.3	8.3	1.41	1.47	3004	1.0	5.7	10.3			
最大値	20.4	638.2	775.7	54.0	14.68	15.47	16684	6.3	36.0	69.0			
最小値	17.9	439.8	315.1	21.7	7.94	9.09	4549.0	1.9	11.0	16.0			
1級											3	23	
2級											25	16	
3級											9	1	
格外											3	0	