

製材の品等区分と許容応力

工藤 修

はじめに

木材は鋸断、鉋削、釘打ち等の加工が容易なこと、軽いわりには強いこと、肌ざわりがよく木目が美しいこと等により、古くから我々の生活に親しまれ、多方面にわたって使用されてきた。

わが国における木材（素材）の部門別需要量では製材が圧倒的に多く、木材総需要量の約65%を占めている（第1表）。また、この製材の用途の大部分は建築関係で製材品の約75%が利用されている（第2表）。従って、木材総需要量のおよそ50%は建築用材に向けられていることになる。

製材はこのほかに、土木・建設用、家具・建具用、造船・車両用など、強度を必要とする場所に多く使用される。このような強度部材として利用するには、個々の材料の強度を前もって知ることが望ましい。しかしながら、木材は天然材料であるため、樹種、生育条件、採材部位などによって理学的、強度的性質に差異がある。そのうえ節、あて、割れ、腐れなど、各種の欠点の存在によって、さらにばらつきが大きくなる。従って、木材を構造用部材として使用する場合、個々の部材の強度を把握することは極めて困難な問題である。このような特性を有する木材を工業材料として位

第1表 部門別素材需要量¹⁾

	年次	計	製材用	パルプ用	合板用	坑木用	電柱用	く	い	丸	大	足	丸	大	繊維板用	木	材	その他用
									用	用	用	用	用	用	用	用	用	用
実数 (千m ³)	昭40	66,255	45,969	7,879	5,185	1,365	357	290	271	171	3,532	1,236						
	41	71,251	48,768	8,494	6,252	1,388	353	258	281	184	4,069	1,204						
	42	78,067	52,791	9,238	7,420	1,218	398	252	264	215	5,116	1,155						
	43	81,208	55,691	7,700	8,870	1,027	437	296	277	202	5,598	1,110						
	44	84,327	56,829	6,993	10,522	874	414	268	249	200	7,002	976						
	45	88,632	58,052	7,125	12,511	727	412	213	228	161	8,332	871						
構成比率 (%)	昭40	100.0	69.4	11.9	7.8	2.1	0.5	0.4	0.4	0.3	5.3	1.9						
	41	100.0	68.4	11.9	8.8	1.9	0.5	0.4	0.4	0.3	5.7	1.7						
	42	100.0	67.6	11.8	9.5	1.6	0.5	0.3	0.3	0.3	6.6	1.5						
	43	100.0	68.6	9.5	10.9	1.3	0.5	0.4	0.3	0.2	6.9	1.4						
	44	100.0	67.4	8.3	12.5	1.0	0.5	0.3	0.3	0.2	8.3	1.2						
	45	100.0	65.5	8.0	14.1	0.8	0.4	0.2	0.3	0.2	9.4	1.0						

第2表 用途別製材品出荷量¹⁾

	年次	合計	建築用材				土木建	木箱仕組	家具建	造船車	その他
			計	板類	ひき割り		設用材	板	具用材	両用材	用材
					類	類					
実数 (千m ³)	昭40	33,275	23,788	7,776	6,414	9,598	2,029	2,901	2,577	395	1,585
	41	35,501	25,731	8,328	7,109	10,294	2,132	2,958	2,692	375	1,613
	42	38,236	27,929	8,820	7,768	11,341	2,141	3,055	2,889	435	1,787
	43	40,344	29,755	8,974	8,593	12,188	2,198	3,308	2,749	394	1,940
	44	41,400	31,058	8,929	9,155	12,974	2,057	3,246	2,756	395	1,888
	45	42,165	31,555	8,633	9,699	13,223	1,917	3,573	2,987	440	1,693
構成比率 (%)	昭40	100.0	71.5	23.4	19.3	28.8	6.1	8.7	7.7	1.2	4.8
	41	100.0	72.5	23.5	20.0	29.0	6.0	8.3	7.6	1.1	4.5
	42	100.0	73.0	23.1	20.3	29.7	5.6	8.0	7.6	1.1	4.7
	43	100.0	73.8	22.2	21.3	30.2	5.4	8.2	6.8	1.0	4.8
	44	100.0	75.0	21.6	22.1	31.3	5.0	7.8	6.7	1.0	4.6
	45	100.0	74.8	20.5	23.0	31.4	4.5	8.5	7.1	1.0	4.0

置付けるためには、その強度特性をある程度推定できるようにならなければならない。そのための研究が数多くおこなわれてきており、今後も継続されるものと思われる。

そこで、アメリカおよび日本を中心に、これまでおこなわれてきた製材の品等区分に関する研究、ならびに規格類について簡単に紹介する。

視覚的品等区分

製材の表面上にあらわれた欠点、品質を視覚的に判断して品等区分をおこなうのが視覚的品等区分である。

製材の日本農林規格²⁾では、節、丸身、割れ、あて、腐れなどの欠点の有無、程度により製材の品等区をおこなっている。この品等区分は、強度との関係が

必ずしも明確ではなく、木材を化粧材としてみようとする立場が強い。

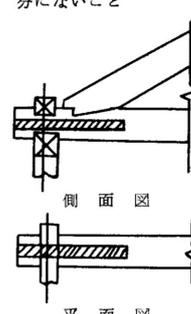
日本建築学会の木構造設計規準³⁾では、構造用木材を、普通構造材、上級構造材のふたつに等級区分している。

普通構造材として使用する木材の品等は、JASS 11 木工事⁴⁾による(第3表)。

上級構造材として使用する木材の品等は、用材の日本農林規格⁵⁾において針葉樹、小節以上の品等であること、比重・年輪幅・欠点の条件はJASS 11木工事によるとともに第4表を満足しなければならない。

これらに対して、構造物あるいは部材を安全に設計するための基準として、許容応力度、ヤング係数が定められている(第5~8表)。

第3表 構造材の許容しうる欠点⁴⁾

種別	節径比	節	丸身	繊維の傾斜	木口割れ
位置 柱およびはりの最大曲げ応力を うける付近	0.3以下	—	30%以下	4/100以下	—
くぎ打ちおよびジベル継手部分	—	最大径 7 mm 以下	10%以下	4/100以下	くぎ打ち面がないこと
胴付き仕口付近(合掌じり・ろくばり端・筋かい端部など)	—	—	胴付き面にて 7%以下	4/100以下	—
引張力をうける材 (添え木を含む)	板材はそのふちおよびはじ付近で節径比0.1以上の節のないこと	—	JASS11.1.2表(1)の品等を1等級下げてもよい	4/100以下	下図のようなハッチ部分がないこと 

第4表 上級構造材に対する比重・年輪幅・欠点の条件³⁾

樹種	気乾比重(含水率15%) 最小値	平均年輪幅 最大値 (mm)	節径比 最大値	丸身 最大値 (%)	繊維の傾斜 最大値	元わん曲 最大値
針葉樹 I類	0.5	6	引張材} 0.2 曲げ材}	引張材} 15 曲げ材} 圧縮材}	引張材} 2 曲げ材} 100	圧縮材 2/1000
針葉樹 II類	0.43	6	圧縮材 0.3	ただし、曲げ材においてはスパンの中央1/3部分に対しては10	圧縮材 4/100	

製材の品等区分と許容応力

第5表 普通構造材の繊維方向の許容応力度³⁾

(単位: kg/cm²)

樹種	長期応力に対する値 Lf	長期応力に対する値 Lf			短期応力に対する値 sf
		圧縮	引張・曲げ	せん断	
針葉樹	I類	80	90	7	長期応力に対する値の 2倍
	II類	60	70	5	
広葉樹	I類	90	130	14	
	II類	70	100	10	
	III類	70	90	6	

* 低品質のすぎ(気乾比重0.3以下または平均年輪幅6mm以上)に対しては表記の値の70%をとる
 ** なら・けやきについては平均年輪幅1mm以上のものとする

第6表 上級構造材(針葉樹)の繊維方向の許容応力度³⁾

(単位: kg/cm²)

樹種	長期応力に対する値 Lf	長期応力に対する値 Lf			短期応力に対する値 sf
		圧縮	引張・曲げ	せん断	
針葉樹	I類	100	120	9	長期応力に対する値の 2倍
	II類	80	90	7	

第7表 繊維に直角方向の許容応力度³⁾

樹種	許容めり込み応力度	許容圧縮応力度
針葉樹	0.2fc	0.125fc
広葉樹	0.33fc	0.2fc

材中間部におけるめり込み 材端におけるめり込み 全面圧縮

加力状態

第8表 木材のヤング係数³⁾

(単位: 10⁸kg/cm²)

等級	樹種	縦方向 E _∥	横方向 E _⊥
普通構造材	針葉樹	I類	2.5
		II類	
	広葉樹	I類	4
		II類	
		III類	
上級構造材	針葉樹	I類	3
		II類	
	広葉樹	I類	4.5
		II類	
		III類	

* 低品質のすぎ(気乾比重0.3以下, または平均年輪幅6mm以上)に対しては表記の値の70%をとる
 ** なら・けやきについては平均年輪幅1mm以上のものとする

これらは、過去の実験結果にもとづいたもので、許容応力は次のようにして算出される³⁾⁶⁾。

$$\text{短期許容応力 } s_f = \sigma_f \times 2/3 \times$$

$$\text{長期許容応力 } l_f = 1/2 \times s_f$$

ここで σ_f : 無欠点、小型試験片の強度
: 欠点による低減係数

また、 $\sigma_f \times 2/3$ は木材の比例限度（荷重と変形の間にはほぼ比例関係が成り立つと考えられる上限）をあらわし、 $1/2$ はクリープ限度の比例限度に対する比率をあらわしている。

ここでクリープとは、木材に一定の荷重を長期間積載しておく、はじめのうちは小さかった変形が、荷重を増加しないでも、だいに増大する。このような現象をクリープという。積載荷重がある限度以下であ

れば、このクリープによる変形が一定状態で安定を保つようになる。この応力の限度をクリープ限度と称している。

木構造設計規準では、普通構造材の σ_f としては、無欠点材強度値（第9表）の下限値を、上級構造材の σ_f としてはその平均値をとっている。

欠点による低減係数 については、強度を低減させる欠点のうち、節によるもの k_k 、丸身によるもの k_w 、繊維の傾斜によるもの k_g を考え、もっとも不利な場合としてこれらの相乗積

$$= k_k \times k_w \times k_g$$

をとっている（第10表）。

アメリカ⁷⁾⁸⁾、カナダ等における視覚的品等区分法は、実験室での無欠点材の平均強度に修正係数をかけ

第9表 無欠点木材の強度³⁾

(単位: kg/cm²)

樹種	種	圧縮強度 Fc	引張強度 Ft	曲げ強度 Fb	せん断強度 Fs	ヤング係数×10 ⁸		
						縦方向 E//	横方向 E⊥	
針葉樹	I 類	あかまつ・くろまつ・からまつ・ひば・ひのき・つが・べいまつ・べいひ	最平 350	700	650	70	65	2.5
			小均 450	1000	850	80	80	4
		最 550	1300	1100	110	120	6	
	II 類	すぎ・もみ・えぞまつ・とどまつ・べいすぎ・べいつが	最平 250	500	450	50	55	2.5
			小均 350	700	650	70	70	4
		最 450	1000	850	90	100	6	
広葉樹	I 類	かし	最平 450	950	900	80	80	3
			小均 600	1500	1200	100	100	5
		最 750	2000	1500	130	140	7	
	II 類	くり・なら・ぶな・けやき・アビトン	最平 300	600	500	60	60	3
			小均 450	1000	800	80	80	5
		最 550	1600	1000	100	120	7	
III 類	ラワン	最平 300	600	450	50	55	3	
		小均 400	1100	750	70	80	4	
	最 500	1300	1000	90	120	6		

第10表 欠点材の許容応力の算出³⁾

材種	等級	kk	kw	kg	α	$\frac{2}{3}\alpha$	σ _f	$\frac{2}{3}\alpha\sigma_f$	sf(規準)
曲げ材(はり)	普通	0.5	0.95	0.9	0.43	0.29	650	190	180
	上級	0.6	0.98	0.95	0.56	0.37	450	130	140
引張材	普通	0.45	0.95	0.9	0.385	0.26	850	320	240
	上級	0.5	0.98	0.95	0.47	0.31	650	240	180
せん断材	普通	—	—	—	1	$\frac{1}{3.5} \times 70$	700	180	180
	上級	—	—	—	1	$\frac{1}{3.5} \times 50$	500	130	140
						$\frac{1}{3.5} \times 90$	1000	310	240
						$\frac{1}{3.5} \times 70$	700	220	180

て許容応力度を決定している。その手順は⁹⁾

- 1) 無欠点、小型試験片の平均強度を求める
- 2) ばらつき、寸法効果、荷重期間等に対し、低減係数を適用する
- 3) 基準応力を求める
- 4) 強度低減特性（節、繊維傾斜、丸身、あて、割れ等）による強度比を用い品等区分する
- 5) 各品等に相当する許容応力度を指定する

ここで強度比とは、無欠点材の強度に対する構造材の強度の割合で、節、繊維傾斜、割れなどに対し、その程度に応じて大きさが決められている。一例として繊維傾斜に対するものを第11表に示す。

第11表 繊維傾斜に対する強度比⁹⁾

繊維傾斜	最大強度比 (%)	
	曲げ、引張	圧縮
1/6		56
1/8	53	66
1/10	61	74
1/12	69	82
1/14	74	87
1/15	76	100
1/16	80	
1/18	85	
1/20	100	

イギリスでは、British Code of Practice CP112 “建築に用いられる構造用木材”で、節、その他の強度低減特性の視覚評価にもとづく品等区分が規定されている¹⁰⁾。

前述のように、木材はその強度的性質において、大きなばらつきを持つ材料である。そのため、許容応力度を、破壊試験によって確認された強度値の弱い方で制限せざるを得なくしている。従って、構造用材の大部分は低応力に押えられており、有効に利用されていない^{11)~14)}。また、視覚的品等区分法はあまり正確でなく、木材を実際より下級に区分していることが多い。さらに、材の四面を検査するのは非常に骨の折れる仕事であり、比重、その他の材質の変動については、外観のみでは容易に評価できない¹⁰⁾。

以上のことから、木材の強度をより正確に決定する方法として非破壊試験法が研究された。

振動法による品等区分

非破壊試験法のひとつとして研究されたのが振動法である。これは、試験片に対し機械的に振動を生ぜしめ、その材料固有の振動数との一致点、すなわち共鳴周波数を求めたり、振動数の減衰状態をあらわす対数減衰率を求め、それらと静的試験による強度特性との関係を見出そうとするものである。

この種の研究は古くからおこなわれている¹³⁾。

松本¹⁵⁾、Miller¹⁶⁾、中山¹⁴⁾、堤と松本¹⁷⁾らは、動的ヤング率 (E_D) と静的ヤング率 (E_S) との比較をおこない、いずれも両者が高い相関関係にあり、 $E_D > E_S$ であることを報告している。

さらに、中山¹⁴⁾および堤と松本¹⁷⁾は、動的ヤング率と曲げ破壊係数の間にも高い相関関係が見出されることを報告している。

従って、木材の動的ヤング率を非破壊的に測定することによって、その破壊係数を推定することができるわけである。しかし、それを構造用材に適用するためには装置が大がかりとなるため、まだ実用段階にいたっていない。

機械的品等区分

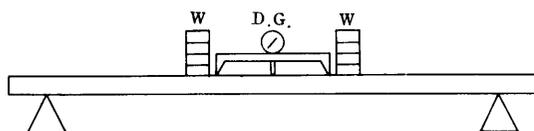
非破壊試験法のもうひとつは機械的品等区分法である。

数多くの研究で、曲げヤング係数と曲げ破壊係数の間にはよい相関があることが知られている⁹⁾¹⁰⁾¹²⁾¹⁸⁾。

アメリカおよびカナダで得られたデータの統計解析では、曲げヤング係数に関する曲げ破壊係数の相関係数はほぼ0.60~0.85である⁹⁾。従って、弾性限度内の曲げ試験をおこなって曲げヤング係数を求めると、それと曲げ破壊係数との関係から強度が推定できるわけである。それに強度低減係数を適用することによって許容応力度が決定される。手順は

- 1) 静的曲げ試験データから、統計処理によって曲げヤング係数と曲げ破壊係数の回帰直線を求める
- 2) 適切な低減係数を適用して許容応力度線を求める

- 3) 数段階の等級区分をおこなう
 - 4) 各等級の下限値をその等級の許容応力値とする
- このように、等級区分基準が決定されたならば、実際作業としては、分銅とダイヤルゲージを用いて曲げ試験をおこなったり（第1図）、品等区分機（グレーディング・マシーン）を用いて曲げヤング係数を測定し、許容応力度を決定する。



第1図 曲げ試験(3分点2点荷重)
W: 分銅
D.G.: ダイヤルゲージ

グレーディング・マシーンについては、Hoyle¹¹⁾、Wood¹⁹⁾、SunleyとHudson¹⁰⁾、Galligan²⁰⁾、中村²¹⁾らの報告がある。なお、當場で購入した「マイクロストレス」については、本誌の47年8月号にその概要を紹介した。

Wood, Galliganは、Potlatch Forest Co. のCLT-1 マシーンと、Western Pine AssociationのStress-O-Maticを紹介している。

前者は材料に所定の撓みを与え、その際の荷重を測定することにより、後者は要求応力にもとづいて計算された荷重（保証荷重）を加えることによって木材の品等区分をおこなう。

中村は連続梁、張り出し梁、両端固定梁型式による撓み測定をおこない、グレーディング・マシンの実用化試験をおこなった。

グレーディング・マシンの用いた品等区分は、個々の材について評価をおこなうため、視覚的品等区分より正確であり¹⁰⁾、材料等級をより向上させることが可能である²²⁾。

おわりに

木材を強度部材として効果的に使用するため、木材の強度にもとづく品等区分法が研究され、そのための機械も実用化されてきている。これらの既往の研究に

ついてとりまとめたが、わが国においては、その実用化には更に研究を進める必要がある。

今後、當場において、グレーディング・マシンの用い研究をすすめ、実用化の一助としたい。

文 献

- 1) 農林省農林経済局統計調査部編：木材需給報告書，昭和45年（1971）
- 2) 農林省告示第1842号：製材の日本農林規格（1967）
- 3) 日本建築学会編：木構造設計標準・同解説（1961）
- 4) 日本建築学会編：建築工事標準仕様書・同解説 JASS11木工事（1968）
- 5) 農林省告示第694号：用材の日本農林規格（1960）
- 6) 山井良三郎：構造材料としての木材，日本林業技術協会（1969）
- 7) U.S. Forest Products Laboratory: Wood Handbook, U.S.D.A. Handbook 72 (1955)
- 8) ASTM: Tentative methods for establishing structural grades of lumber, ASTM Standard D 245-66T (1966)
- 9) H.C. Hilbrand, D.G. Miller: Machine Grading—Theory and Practice, F.P.J., 16,11,28 (1966)
- 10) J.G. Sunley, W.M. Hudson: A report of research on the Machine-Grading of Lumber in Britain, F.P.J., 14,4, 155 (1964)
- 11) R.J. Hoyle: A Nondestructive Test for Stiffness of Structural Lumber, F.P.J., 11,6,251 (1961)
- 12) J.F. Senft, H.D. Angleton: A New Approach to Stress Grading of Lumber, F.P.J., 12,4,183 (1962)
- 13) D.G. Miller: Selection Efficiencies of Nondestructive Strength Tests, F.P.J., 12, 8, 358 (1962)
- 14) 中山義雄：木材の動的なヤング率に関する研究(1) 動的なヤング率と曲げ強さ，高知大農学部演習林報告 2, 17 (1968)
- 15) 松本 昶：木材の動的弾性率，特に撓み振動によるヤング率と対数減衰率に関する研究，九州大農学部演習林報告 36,1 (1962)
- 16) D.G. Miller: Nondestructive Testing of Joists by a Vibrational Technique, F.P.J., 18,2,25 (1968)
- 17) 堤 寿一，松本 昶：超音波パルス透過法による動的縦弾性率の測定について，第19回日本木材学会大会研究発表要旨 42 (1969)
- 18) 中村徳孫：南九州産材からのひき板の強度等級に関する研究(第1報)ヤング係数と曲げ破壊係数の関係，木材学会誌，16,4,156 (1970)
- 19) L.W. Wood: Machine-Graded Lumber……out of the laboratory—into commercial trials, F.P.J., 14,1,41 (1964)
- 20) W.L. Galligan: A status report Nondestructive Testing in Wood, F.P.J., 14,5,221 (1964)
- 21) 中村徳孫：ひき板の Stress Grading Machineの試験，第20回日本木材学会大会研究発表要旨，105 (1970)
- 22) P.R. Krammer: Correlation of Bending Strength and Stiffness of Southern Pine, F.P.J., 14,10,495 (1964)