

木材の強度とヤング係数

木造の設計に不可欠である強度とヤング係数についてその基本と、製材JAS(そのうち構造用製材)と各種基準との関係を解説する。ここでは、枠組壁工法や丸太組構法を除いた製材を利用する木造軸組構法について対象とする。

※本稿では、製材JASの構造用製材について、製材JASと記述する。



講 師 宮林正幸(ティー・イー・コンサルティング)



講 義 日 2011年12月15日(木)



事 業 者 社団法人徳島県建築士会

- 参考文献
- *1 製材の日本農林規格 (http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/kikaku_40.pdf)
 - *2 わかりやすい新製材JASの解説(社団法人 全国木材組合連合会)
 - *3 木質構造設計標準・同解説 一許容応力度・許容耐力設計法(日本建築学会)
 - *4 2007年版建築物の構造関係技術基準解説書(日本建築行政会議)
 - *5 構造用木材の強度試験マニュアル 平成23年3月((財)日本住宅木材・技術センター) (<http://www.howtec.or.jp/kenkyu/m-kyoudosiken.pdf>)
 - *6 木造計画・設計基準及び同資料 平成23年5月 国土交通省大臣官房庁営繕部 (<http://www.mlit.go.jp/common/000160680.pdf>)

1.木材の強度とヤング係数の基本

木造の設計においては、使用する木材の強度とヤング係数が保証されていることが前提条件となる。ここでは、この2つの値について、どのように保証されているかを見ていくことにする。

木材の強度については、以下2つの基本原則がある。

- ①木材強度は、実験で壊してみないと実際の値はわからない。
- ②木材強度は、同一樹種であっても材によってばらつきがあり、加えて節等の欠点が大きき影響を及ぼす。

目の前にある木材の強度を知るには破壊に至る実験を行う必要があるが、実験で破壊してしまった材は建築物には利用できない。したがって、現在私たちが利用している木材の強度は、膨大な破壊実験結果から得た強度分布を統計的に定量化して推測したものである。また、節や目切れなどの目で見て評価できる強度上の欠点の状態や出現頻度と、実験で得られた強度との関係を求めることで、目視による評価での強度の推測が可能となり、この仕組みを利用したものが目視等級区分と呼ばれる方法である。

一方、木材のヤング係数については、破壊させなくても計測することが可能である。したがって、実際に建築物に使用する木材のヤング係数を直接計測することが可能である。強度を求める破壊実験では、同時にヤング係数が得られるため、強度とヤング係数の関係を求めることが可能である。この仕組みを利用して、ヤング係数を計測して強度を推測する方法が機械等級区分と呼ばれる方法である。

2.製材JASの概要^{*1,2}

製材JASには表1のような区分があるが、ここでは構造用製材について述べる。

構造用製材には、目視等級区分と機械等級区分があるが、両方ともに保存処理、含水率、寸法等についての規格がある。ここでは、強度に関する規格についてのみ解説する。

目視等級区分には表1に示すような3種類の規格があるが、これら全てに1~3級の等級があり、目視でわかる材面の欠点の種類、位置、量などについての基準が詳細に決められている。

機械等級区分では、計測されたヤング係数の範囲別に等級が決められており(表2)、同時に、目視でわかる材面の欠点についても基準が定められている。

目視等級区分、機械等級区分共に、材面の欠点についての基準が存在するが、後者は前者と比較してかなり緩い基準となっている。

表1 製材JASの区分

区 分	説 明	
構造用製材	製材のうち、針葉樹を材料とするものであって、建築物の構造耐力上主要な部分に使用することを主な目的とするものをいう。	
目視等級区分構造用製材	構造用製材のうち、節、丸身等材の欠点を目視により測定し、等級区分するものをいう。	
甲種構造材	目視等級区分構造用製材のうち、主として高い曲げ性能を必要とする部分に使用するものをいう。	
構造用Ⅰ	甲種構造材のうち、木口の短辺が36mm未満のもの、及び木口の短辺が36mm以上で、かつ、木口の長辺が90mm未満のものをいう。	たる木、根太、ぬぎ、野地板、壁下地板等
構造用Ⅱ	甲種構造材のうち、木口の短辺が36mm以上で、かつ、木口の長辺が90mm以上のものをいう。	梁、大引き等
乙種構造材	目視等級区分構造用製材のうち、主として圧縮性能を必要とする部分に使用するものをいう。	柱等
機械等級区分構造用製材	構造用製材のうち、機械によりヤング係数を測定し、等級区分するものをいう。	
造作用製材	製材のうち、針葉樹を材料とするものであって、数層、鴨居、壁その他の建築物の造作に使用することを主な目的とするものをいう。	
下地用製材	製材のうち、針葉樹を材料とするものであって、建築物の屋根、床、壁等の下地(外部から見えない部分をいう。)に使用することを主な目的とするものをいう。	
広葉樹製材	製材のうち、広葉樹を材料とするものをいう。	

表2 機械等級区分の等級

等級	曲げヤング係数 (GPa又はkN/mm ²)
E50	3.9以上 5.9未満
E70	5.9以上 7.8未満
E90	7.8以上 9.8未満
E110	9.8以上 11.8未満
E130	11.8以上 13.7未満
E150	13.7以上

3.基準強度と基準弾性係数(ヤング係数)

設計で使用する木材の強度はJASの規格内で規定されているわけではない。設計に使用する基準強度は建築基準法関係告示H12年建告1452号で示されている。ちなみに、ここで示されている基準強度を用いて算出する許容応力度については、令89条に示されている。H12年建告1452号では、基準強度がJAS規格の区分別、樹種別に示されている。表3に、ヒノキとスギについての基準強度および許容応力度を示す。

ここで示されている強度は、1.で述べたように、膨大な破壊実験の結果を統計的に定量化して導き出したものであり、柱や梁単独で使用することを想定して、おおむね下限値をもって定められている。H12年建告1452号では、たる木や根太のように複数本で荷重を支持する場合は平均値に近い値を用いることができるとしており、以下の通りそれぞれ割り増し係数が示されている。

目視等級区分及び無等級材について

たる木、根太その他荷重を分散して負担する目的で並列して設けた部材(以下「並列材」という。)にあっては、曲げに対する基準強度Fbの数値について、当該部材群に構造用合板又はこれと同等以上の面材をはる場合には1.25を、その他の場合には1.15を乗じた数値とすることができる。

機械等級区分について

並列材にあっては、曲げに対する基準強度Fbの数値について、当該部材群に構造用合板又はこれと同等以上の面材をはる場合には1.15を乗じた数値とすることができる。

H12年建告1452号では、JAS規格に定められていない木材、いわゆる「無等級材」についても基準強度が与えられている。無等級材は、当然ながらヤング係数の実測値も欠点の状態もわからない材という意味であるため、統計的に処理された内で安全側の値を与えられることになる。

ヤング係数は、H12年建告1452号ではなく、日本建築学会の木質構造設計規準・同解説^{*3}にて示されている。こちらでも、JAS規格の区分別、樹種別に値が示され、無等級材についても値が示されている。ただし、木質構造設計規準では「無等級材」ではなく「普通構造材」という用語を使用していることに注意が必要である。これらの用語については、従前の製材JASと木質構造設計規準との関係から現在でも使用されているが、その経緯については、現在の木質構造設計規準・同解説(第4版)に詳しい。^{*3、pp.149-150}

表3 ヒノキとスギの強度、ヤング係数

樹種	区分	等級	基準材料強度(N/mm ²)				基準許容応力度(N/mm ²)				基準弾性係数(kN/mm ²)		
			Fc	Ft	Fb	Fs	Fc	Ft	Fb	Fs	E ₀	E _{0.05}	G ₀
ヒノキ	甲種構造材	1級	30.6	22.8	38.4	2.1	10.2	7.6	12.8	0.7	11.0	8.5	E ₀ の1/15
		2級	27.0	20.4	34.2		9.0	6.8	11.4				
		3級	23.4	17.4	28.8		7.8	5.8	9.6				
	乙種構造材	1級	30.6	18.6	30.6		10.2	6.2	10.2		11.0	8.5	
		2級	27.0	16.2	27.0		9.0	5.4	9.0				
		3級	23.4	13.8	23.4		7.8	4.6	7.8				
	機械区分等級	E50	11.4	8.4	13.8		3.8	2.8	4.6		4.9	3.9	
		E70	18.0	13.2	22.2		6.0	4.4	7.4		6.9	5.9	
		E90	24.6	18.6	30.6		8.2	6.2	10.2		8.8	7.8	
		E110	31.2	23.4	38.4		10.4	7.8	12.8		10.8	9.8	
		E130	37.8	28.2	46.8		12.6	9.4	15.6		12.7	11.8	
		E150	44.4	33.0	55.2		14.8	11.0	18.4		14.7	13.7	
	無等級材(普通構造材)	-	20.7	16.2	26.7		6.9	5.4	8.9	0.7	9.0	6.0	
スギ	甲種構造材	1級	21.6	16.2	27.0	1.8	7.2	5.4	9.0	0.6	7.0	4.5	E ₀ の1/15
		2級	20.4	15.6	25.8		6.8	5.2	8.6				
		3級	18.0	13.8	22.2		6.0	4.6	7.4				
	乙種構造材	1級	21.6	13.2	21.6		7.2	4.4	7.2		7.0	4.5	
		2級	20.4	12.6	20.4		6.8	4.2	6.8				
		3級	18.0	10.8	18.0		6.0	3.6	6.0				
	機械区分等級	E50	19.2	14.4	24.0		6.4	4.8	8.0		4.9	3.9	
		E70	23.4	17.4	29.4		7.8	5.8	9.8		6.9	5.9	
		E90	28.2	21.0	34.8		9.4	7.0	11.6		8.8	7.8	
		E110	32.4	24.6	40.8		10.8	8.2	13.6		10.8	9.8	
		E130	37.2	27.6	46.2		12.4	9.2	15.4		12.7	11.8	
		E150	41.4	31.2	51.6		13.8	10.4	17.2		14.7	13.7	
	無等級材(普通構造材)	-	17.7	13.5	22.2		5.9	4.5	7.4	0.6	7.0	4.5	

4.実測したヤング係数を利用する

設計に使用するヤング係数については、木質構造設計規準に示されている数値の他に、計測した値を使用することが可能である旨が2007年版建築物の構造関係技術基準解説書^{*4、P474}に示されている。

使用する木材のヤング係数については、機械による曲げ応力等級区分を行う製材のように当該規格からヤング係数がわかる場合を除き、日本建築学会「木質構造設計基準・同解説」の設計資料や十分な信頼性を有する実験結果に基づいて定められている数値を採用して良い。

ここでの実験には、載荷式の曲げ実験の他、動的弾性係数の非破壊測定方法等も該当すると考えられる。これらの実験方法については、構造用木材の強度試験マニュアル^{*5}に詳しい。実験で得られたヤング係数を利用する場合には、得られた値の意味を十分に理解した上で利用することが求められる。

ヤング係数を実測する場合としては、無等級材を利用して設計を行う場合や、目視等級区分の材の実測したヤング係数が木質構造設計規準に示される目視等級区分等級材のヤング係数よりも大きくなる傾向が強い地域で設計を行う場合等が想定されるが、それぞれ木材品質に関する前提が異なるので、より安全に利用できるよう、注意する必要がある。

計測した値の扱いについて判断に迷う場合は、計測した値に合致する機械等級区分の等級を表2において確認し、表3に示す木質構造設計規準に示される機械等級区分等級のヤング係数を利用することが推奨される。

5.基準法の規定によって製材JASに適合する木材を利用しなくてはならない場合

基準法の規定によって製材JASに適合する木材を利用しなくてはならない場合は、逆に言うと、これに該当しない場合は無等級材が利用できるということになる。令46条第2項に示されるルート(令46条2項ルート)に該当しない建築物、つまり四号建物と呼ばれる壁量計算で対応できる建築物や、ルート1からルート3の設計を行い、かつ、壁量計算の仕様規定等も遵守する壁量の多い建築物では、無等級材の利用が可能である。

令46条2項ルートに該当する建築物では、S62年建告1898号にて、構造耐力上主要な部分である柱及び横架材(間柱、小はりその他これらに類するものを除く。)に使用する集成材その他の木材の品質の強度及び耐久性に関する基準が示されているため、それらを遵守する必要がある、製材の場合、製材JASに適合する木材等を利用することが求められる。

木造の場合、木材の躯体を現しにした準耐火構造とする「燃えしろ設計」を行う場合があるが、この場合には、H12年建告1358号やH12年建告1380号にて、令46条第2項第一号イ及びロに掲げる基準に適合していることが求められるため、製材JASに適合する木材であることが無条件に求められる。

なお、一般の木造では行われることはほとんどないと思われるが、限界耐力計算では許容応力度が与えられれば計算可能であるため無等級材を使用可能であり、時刻歴応答解析では許容応力度が与えられていなくても(法37条の建築材料でなくても)計算可能であるため使用する木材品質について規定されていない。

6.木造計画・設計基準及び同資料*⁶での扱い

木造計画・設計基準及び同資料では、構造耐力上主要な部分に用いる製材は、原則として製材JASに適合する木材(JASに規定する含水率表示SD15又は20)を用いることが求められる。ただし、以下のような条件を満たす材であれば、それらの利用も認められている。

木造計画・設計基準及び同資料の抜粋*², pp.41-42

ただし、製材のJASに適合する木材等を用いないことができる場合は、次の(1)から(3)の制限をすべて満たす場合に限る。

(1)構造計算方法による制限

建築基準法施行令第46条第2項等により、法令上、構造耐力上主要な部分である柱及び横架材に対し製材のJASに適合する木材等を用いなければならない場合に該当しないこと

(2)個別の事由による制限(以下の①から③のいずれかに該当するもの)

- ①使用量が極小であること
- ②工事場所が離島であること
- ③特定の製材を用いる場合であって、製材のJASに適合する木材等として出荷をできない場合であること。

(3)機械的性質による制限(以下の①から③すべてに該当するもの)

- ①製材のJAS規格第6条に規定する曲げ性能(曲げヤング係数)の確認と同等の確認(これと同等の打撃による確認を含む)ができること。曲げヤング係数の目安を表(本稿の表2)に示す。ただし、この際に用いることのできる基準強度は、無等級材の基準強度を上限とする。
- ②原則として、製材のJAS規格第5条に規定する含水率の確認ができ、その平均値が20%以下であることが確認できること。ただし、広葉樹を用いる必要がある場合、古材を再利用する場合については、含水率の制限がない計算方法を選択した上で、将来において、部材の収縮、変形等によって支障が生じないような工夫をする場合に限っては、含水率が20%以上の木材を用いることも許容するものとする。
- ③製材のJAS規格第6条に規定する節、集中節、丸身、貫通割れ、目周り、腐朽、曲がり、狂い及びその他の欠点について、品質の基準を満たすことが確認できること。

木造計画・設計基準及び同資料では、原則、許容応力度計算以上の高度な設計を行うこととなっているが、住宅用途である建築物、平屋建ての建築物については、四号建物である場合、壁量計算での設計が可能である。

ただし、利用する製材の品質としては、どちらの設計法を採用したとしても、製材JASに適合する材もしくは上に示した条件に適合する材を利用することが望ましいとされている。また、限界耐力計算を採用する場合には、上の抜粋の(3)を満たすことが求められている。

ここで木造計画・設計基準で無等級材を利用する条件を改めて確認してみる。

まず(1)では、令46条2項ルートに該当しない建築物であることが求められる。

(2)については、JAS 工場が存在しない地域で生産された製材を利用することを発注者が条件付けることで③に該当する。

(3)では、ほぼ製材JAS規格の条件をクリアすることが求められている。①については本稿の4.を参考に実施することで対応可能であり、②については製材JASで示されている試験法(全乾法)の他、非破壊で計測可能な含水率計を利用する方法も考えられる。③については、機械等級区分における材面の欠点のチェックを行うことになる。これらの確認を日常的に実施していない主体が新たに行うことは大きな労力が必要となるため、ここで示されている条件と同様の内容で運営されている地域材の認証制度等を活用することが現実的かと思われるが、針葉樹の場合は含水率の平均値が20%以下であることを確認しなければならない事に注意する必要がある。

また、大きな労力をかけてこれらの条件を確認したとしても、利用できる基準強度は無等級材と同等の値である。ヤング係数については、計測した値に合致する機械等級区分の等級を表2において確認し、表3に示す木質構造設計基準に示される機械等級区分等級のヤング係数を利用することとなる。

コラム

◎たいこ材と丸太の利用

製材JASにおいては、目視等級区分に「たいこ材」の規格が存在します。実際に、たいこ材の規格材を利用した事例は確認していませんが、木造計画・設計基準に適合させる必要がある公共建築物や燃えしろ設計において利用できるルートは存在することになります。

一方、丸太については製材JASには規格がありません。製材JASには円柱製材の規格はありますが、丸太をそのまま利用する場合の規格がないので、木造計画・設計基準に適合させる必要がある公共建築物や燃えしろ設計において利用することはできないのです。