

兵庫県産スギ材の材料性能 —エンジニアードウッド生産技術マニュアル—



平成 18 (2006) 年 3 月

兵庫県立農林水産技術総合センター

森林林業技術センター

はじめに

平成 12 年、「建築基準法」が大きく改正され、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行されるとともに、「住宅性能表示制度」が発足するなど、「個々の住宅の品質や居住環境について、その安全・快適・安心度が施主に提示・保証された住宅」を供給するための施策が整備されてきた。品質や性能の優れた住宅を購入したいという施主のニーズの高まりを受け、建築業界では、品質や性能が確保された（クレームの少ない）住宅を提供する必要性がこれまで以上に増してきた。木造住宅の躯体を支える構造用材に関しても、寸法や強度等の品質が管理された製品の需要が増加している。これらの動きを受けて、製材業界では、寸法や強度等の品質を管理した部材を供給することが急務となっている。

従来、製材業界では製品の見た目（化粧的価値）に重きを置いた製材が行われてきた。しかし、住宅工法等の変化により、近年の市場のニーズは上述した通り、「見た目」から「寸法安定性や強度的な品質」へと変わってきている。言い換えれば、化粧的価値の期待できない並材や低質材であっても、含水率や強度性能といった品質を管理、表示することが重要であり、それが大量に蓄積されたスギ人工林材の利用促進の鍵を握っている。

木材は生物由来の材料であるため、もともと材質や強度にはばらつきがある。当センターでは、「強度的に合理的な製材を行い、並材、ひいては低質材をエンジニアードウッド化する」ことを目的に、県産スギ材の材質、強度に焦点をあて、これまでに小試験体から実大材まで、4,000 本を超える強度試験を行ってきた。本書では、まず県産スギ無垢構造材（構造用製材）の強度性能を保証する（エンジニアードウッド化する）流れについて紹介する。次に、県産スギ材の強度が実際にどの程度ばらついているのか、そのばらつきの原因が何なのか、そして強度の低い構造用製材を生産しないようにするためにはどうしたらよいか、について説明する。さらに、丸太内の強度分布を考慮した製材木取りを行うことによって、構造用製材だけでなく、集成材用挽き板を合理的に生産する方法についても紹介する。

本書は、県内の素材生産業界から建築業界までの木材に携わる方々、あるいは県下の行政機関の木材利用担当者等、「県産スギ材を使いたい」という一人でも多くの方々に読んでいただき、県産スギ材をより身近に感じとっていただければ、との想いでとりまとめた。県産スギ材の利用を進めるにあたり、本書に少しでも参考となるところがあれば幸いである。ご不明な点のお問い合わせ、アドバイスを含めたご意見等をお待ちしている。

なお、本書は当センターの平成 13～17 年度研究課題「県内産スギ材の強度特性を考慮したエンジニアードウッドの試作」の試験研究成果として取りまとめたものである。

本書で主に使用している用語

①曲げヤング係数 (Modulus of Elasticity, MOE) :

材に曲げ荷重を加えた時のたわみにくさ。たわみにくいほど数値が大きい。

②縦振動法による動的ヤング係数, 動的ヤング係数 (Elasticity of frequency, Efr) :

1) 密度, 2) 材長, そして3) 材の木口面をハンマー等で打撃した時の固有振動数をもとに求めたヤング係数。曲げヤング係数と相関が高い。

※ : ①曲げヤング係数, ②動的ヤング係数に共通した事項で, どちらかの用語に限定して表記する必要がないと判断した箇所については, 総称として「ヤング係数」という用語を用いている。

③曲げ強さ (Modulus of Rupture, MOR) :

材に曲げ荷重を加えた時の折れにくさ。数値が大きいほど折れにくい。

付録

力の単位

従来		Pa表示		N表示
1	gf/cm ²	= 98.0665	Pa	
1	kgf/cm ²	= 98.0665	KPa	
1	tonf/cm ²	= 98.0665	MPa	= 98.0665 N/mm ²
100	tonf/cm ²	= 9806.65	MPa = 9.80665	GPa = 9806.65 N/mm ² = 9.80665 kN/mm ²

例)

曲げヤング係数にはこのあたりの単位が使われる

$$90 \text{ tonf/cm}^2 = 8825.99 \text{ MPa} = 8.82599 \text{ GPa} = 8.82599 \text{ kN/mm}^2$$

曲げ強さにはこのあたりの単位が使われる

$$400 \text{ kgf/cm}^2 = 39226.60 \text{ KPa} = 39.2266 \text{ MPa} = 39.2266 \text{ N/mm}^2$$

目次

1 どうやって材料の強度性能を保証するのか	1
1.1 木材の強度	
1.2 曲げヤング係数とは	
1.3 曲げヤング係数大 \approx 曲げ強さ大	
1.4 たわみにくさは曲げなくともわかる	
1.5 曲げヤング係数（あるいは動的ヤング係数）を測定すると	
1.6 基準強度とは	
1.7 機械・目視等級区分製材および無等級材の基準強度の比較	
資料 現在告示されている基準強度	7
2 県産スギ構造用製材のヤング係数のばらつき	10
2.1 ばらつきの原因を生立木内部で探る	
(1) 心材・辺材と未成熟材・成熟材	
(2) 樹幹内の曲げヤング係数分布	
(3) 髄からの距離と材質の安定性	
i) 密度と曲げヤング係数の関係	
ii) 密度と曲げ強さの関係	
iii) 曲げヤング係数と曲げ強さの関係	
2.2 スギ樹幹内の材質変動からみた実大材のヤング係数のばらつき	
3 たわみやすい材を構造用製材に挽かない技術	17
3.1 丸太と構造用製材における強度性能相関性（2m 試験材の事例）	
(1) 動的ヤング係数の変動	
(2) 丸太の動的ヤング係数と仕上げ材の曲げヤング係数の関係	
3.2 丸太と構造用製材における強度性能相関性（市場流通材の事例）	
4 丸太内の強度分布を考慮した製材への応用	21
4.1 丸太の動的ヤング係数と丸太内の材質分布との関係	
(1) 丸太のヤング係数で区分した丸太内の密度分布	
(2) 丸太のヤング係数で区分した丸太内の曲げヤング係数分布	
(3) 丸太のヤング係数で区分した丸太内の曲げ強さ分布	
4.2 丸太と集成材用挽き板の動的ヤング係数の関係	
5 まとめ（理想的なエンジニアードウッドの生産技術）	25
引用・参考文献	26
裏表紙 普及ポスター	

1 どうやって材料の強度性能を保証するのか

1.1 木材の強度

「木材の強度」といっても、例えば日本工業規格の「木材の試験方法」(JIS Z2101⁻¹⁹⁹⁴)には、圧縮、引張、曲げ、せん断、割裂、衝撃曲げ、硬さ、クリープ、くぎ引抜き抵抗など、様々な用途を想定した強度試験方法が設定されている。

これに対し、建築用構造材を対象とした「針葉樹の構造用製材の日本農林規格 (JAS)」では、製品の「曲げヤング係数」を測定することによって、その数値に対応した機械等級 (E○○) が表示できる。つまり、無垢構造用製材の強度性能を機械的手法によって保証する (エンジニアードウッド化する) ためには、「曲げヤング係数」を測定する必要がある。

1.2 曲げヤング係数とは

曲げヤング係数をひと言でいうと、「材料のたわみにくさ、曲がりにくさを表した数値」となる。例えば図 1.1 のようにスギ材を横にして 2 点で支え、中央に 1 トンの錘を載せたとする。図中上では 1 トンかかってもほとんどたわんでいないのに対し、下の材は大きくたわんで苦しそうにしている。この時、「上の材は下の材よりもたわみにくく、曲げヤング係数大きい」といえる。すなわち、「曲げヤング係数大きいほどたわみにくい」。

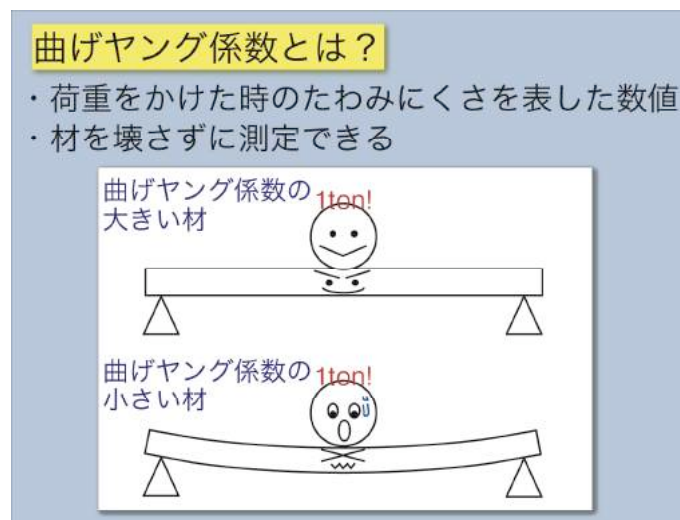


図 1.1 曲げヤング係数とは

例示した図 1.1 では材の中央部に荷重を加えた形 (中央集中荷重方式) となっているが、「針葉樹の構造用製材の JAS」では、図 1.2 のような試験方法 (3 等分 4 点荷重方式) により、以下の数式から曲げヤング係数を求めることとなっている。

$$E = \frac{23l^3 \Delta P}{108bh^3 \Delta y}$$

ここで、E: 曲げヤング係数 (N/mm²), l: スパン (mm), b: 材幅 (mm), h: 材厚 (mm), ΔP: 初期荷重と最終荷重との差 (N), Δy: ΔP に対応するたわみ (mm)。

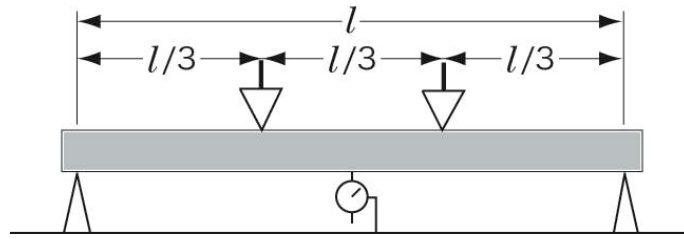


図 1.2 曲げヤング係数測定方法

1.3 曲げヤング係数大≒曲げ強さ大

「たわみにくさ」と「折れにくさ」はその意味をやや異にする。曲げヤング係数が材料のたわみにくさを表した数値であるのに対し、曲げ強さは材料の折れにくさを表した数値である。

スギ材の小試験体について曲げ試験を行い、曲げヤング係数と曲げ強さを測定した結果を図 1.3 に示す。曲げヤング係数の大きい材ほど曲げ強さも大きいという右上がりの傾向、すなわち「たわみにくい材ほど折れにくい」という傾向を見てとれる。

曲げ強さは材料を破壊しなければ測定できないが、曲げヤング係数は材料に少しの荷重を加えることによって（破壊することなく）測定できる。したがって、曲げ試験を積み重ね、曲げヤング係数と曲げ強さの関係データ（右上がりの傾向）を把握しておけば、少し曲げただけで曲げヤング係数が測定でき、その数値から曲げ強さを推定することが可能となる。

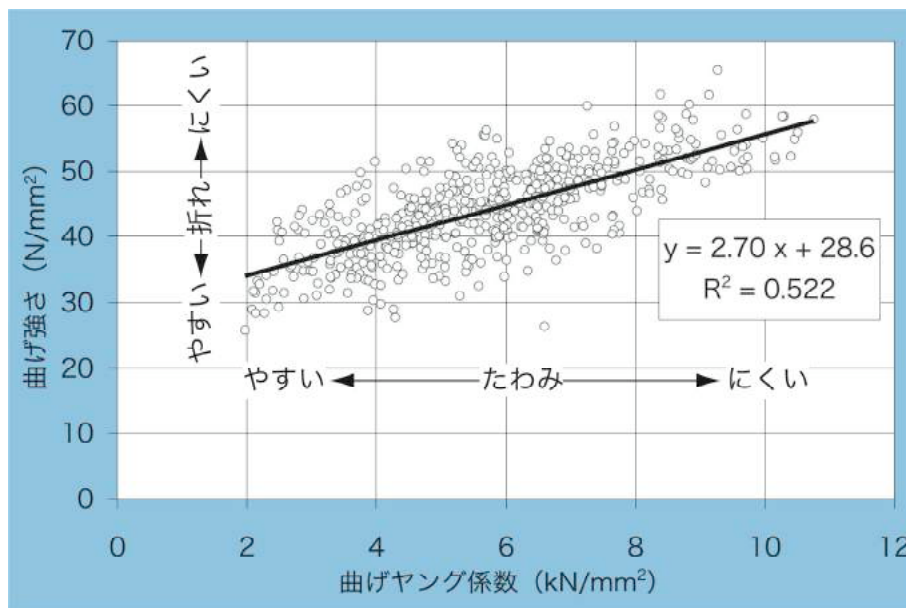


図 1.3 曲げヤング係数と曲げ強さの関係（胸高部位の小試験体 531 本，飽水材）

1.4 たわみにくさは曲げなくともわかる

たわみにくさを求める別の方法として、材料に曲げ荷重を加えることなく、曲げヤング係数と近似したヤング係数を測定する方法がある（写真 1.1）。材の木口面をハンマー等で打撃した時に発生する縦振動波（材の固有振動数）と、材長、そして材の密度から求める「縦振動法による動的ヤング係数」（以下動的ヤング係数）である。計算式は、



写真 1.1 縦振動法による動的ヤング係数の測定

$$E = (2lf)^2 \rho / 10^6$$

ここで、E: 動的ヤング係数 (N/mm²), l: 材長 (m), f: 1 次の固有振動数 (Hz), ρ: 密度 (kg/m³)。

スギ構造用製材の木口面を打撃して求めた動的ヤング係数と、実際に曲げて求めた曲げヤング係数の関係を図 1.4 に示す。動的ヤング係数と曲げヤング係数に高い相関が認められる。「針葉樹の構造用製材の JAS」では、図 1.2 の方法で曲げヤング係数を測定した製品だけでなく、全国木材組合連合会が認定した等級区分機を用いて曲げヤング係数や動的ヤング係数を測定した製品についても、機械等級区分製材としての E 表示が認められている。

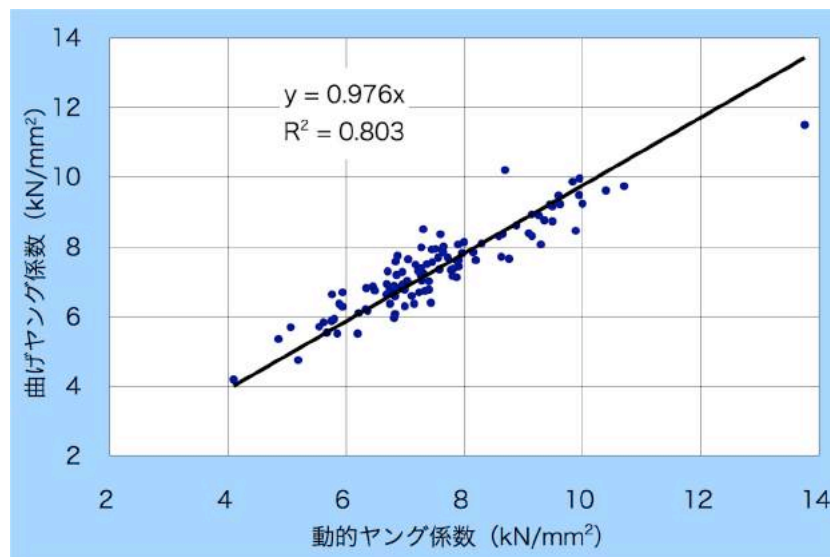


図 1.4 動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係 (構造用製材 107 本, 乾燥材)

1.5 曲げヤング係数 (あるいは動的ヤング係数) を測定すると

「針葉樹の構造用製材の JAS」に則って曲げヤング係数あるいは動的ヤング係数が測定された製品では、曲げ強さだけでなく、圧縮強さ、引張強さも保証されている (建設省告示 1452 号, 平成 12 年 5 月 31 日, 表 1.1, 1.3)。これは、非破壊的に測定可能な曲げヤング係数あるいは動

的ヤング係数と、曲げ・圧縮・引張それぞれの破壊強度との間に図 1.3 のような相関関係が認められることから導き出されたものである。

表 1.1 から、例えば、曲げヤング係数が E70 (5.9kN/mm²以上 7.8kN/mm²未満) のスギ材の場合、その曲げ強さは 29.4N/mm² (以上)、圧縮、引張強さはそれぞれ 23.4、17.4N/mm² (以上) であるという前提で設計を行うことができる。これらの数値は、「すぎ E70 材に対応した曲げ、圧縮、引張の基準強度」と呼ばれる。

表 1.1 「針葉樹の構造用製材の JAS (機械等級)」に対応したスギの基準強度 (表 1.3 から抜粋)

	E50	E70	E90	E110	E130	E150
曲げ	24.0	29.4	34.8	40.8	46.2	51.6
圧縮	19.2	23.4	28.2	32.4	37.2	41.4
引張	14.4	17.4	21.0	24.6	27.6	31.2

(N/mm²)

1.6 基準強度とは

基準強度をきわめて簡単に理解するための一例を以下に挙げる。実際に告示されている基準強度は下のような単純計算ではなく、各種の統計解析やシミュレーション等を駆使して導き出されたものだろうが、基本的には概ね以下のような考え方で差し支えはない。

**基準強度≒100本 (1,000本) の実大試験を行った時、
95本 (950本) がクリアできる強さ**

例えば、「針葉樹の構造用製材の JAS」の乙種 1 級に目視等級区分されたスギ 100 本について、曲げ試験を行った場合、100 本中 95 本は 21.6N/mm² (告示値、表 1.2) 以上の曲げ強さがある、ということである。

同様に、「針葉樹の構造用製材の JAS」の E70 に機械等級区分されたスギ 100 本について、曲げ試験を行った場合、100 本中 95 本は 29.4N/mm² (告示値、表 1.3) 以上の曲げ強さがある、ということである。

さらに、この基準強度から許容応力度を求めようとすると、次のようになる (積雪時は省略)。

$$f_s = \text{基準強度} \times 2/3$$

$$f_l = \text{基準強度} \times 1.1/3$$

ここで、 f_s : 短期の曲げに対する許容応力度、 $2/3$: 比例限度 (荷重を除けば元の形状にもどる領域 = 弾性域) としての係数、 f_l : 長期の曲げに対する許容応力度、 $1.1/3$: クリープ限度 (材料が長期にわたる荷重をうけても弾性域を保つ領域) としての係数。

すなわち、スギ E70 材の曲げの基準強度は 29.4N/mm² であるから、

$$f_s = 29.4 \times 2/3 = 19.6$$

$$f_l = 29.4 \times 1.1/3 = 10.78$$

短期の曲げに対する許容応力度は 19.6N/mm²、長期の曲げに対する許容応力度は 10.78N/mm² となる。

1.7 機械・目視等級区分製材および無等級材の基準強度の比較

資料（7～9 頁）に示した通り、曲げヤング係数や動的ヤング係数を測定していない製品、すなわち JAS に則って目視等級区分された製品、あるいは等級区分されていない（無等級）製品に対しても基準強度は与えられている（表 1.2, 1.4, 1.5）。したがって、「わざわざ機械等級区分を行わなくとも、基準強度が与えられているならば、目視等級区分製材や無等級材で充分ではないか」と考えることもできる。しかし、図 1.5 を見れば E70 以上の機械等級区分製材は目視 1 級材よりも基準強度が大きいこと、さらに E のグレードが高くなるほど機械等級区分製材の優位性が歴然としてくることを見てとれる。

基準強度の大きい製品は、断面寸法やスパンなど設計の自由度が大きくなるとともに、材積ひいては材価を抑制した建築にもつながる。何よりも、機械等級区分製材は無等級材や目視等級区分製材と異なり、機械的手法により等級付けされているため、使う側の安心度も大きくなる。目視等級区分製材や無等級材の基準強度が比較的低いのは、機械的に等級区分を行っておらず、個々の等級（無等級材の場合は総製品）のばらつきの程度が大きいため、5%下限値（いわゆる基準強度）も必然的に低くなることによる。

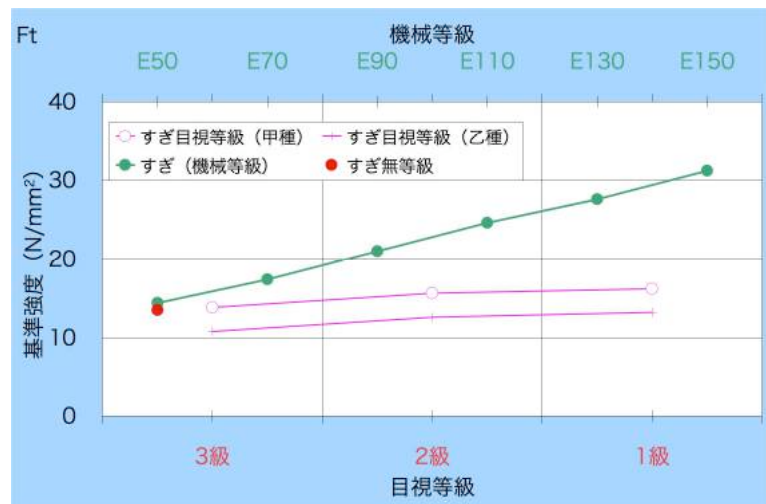
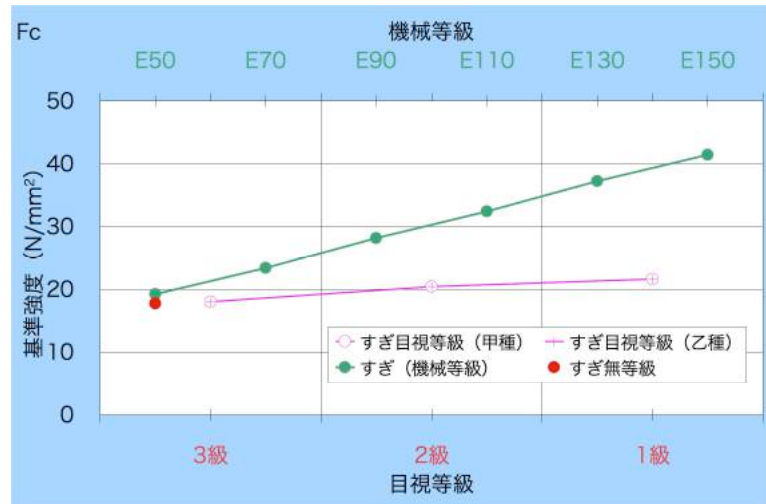
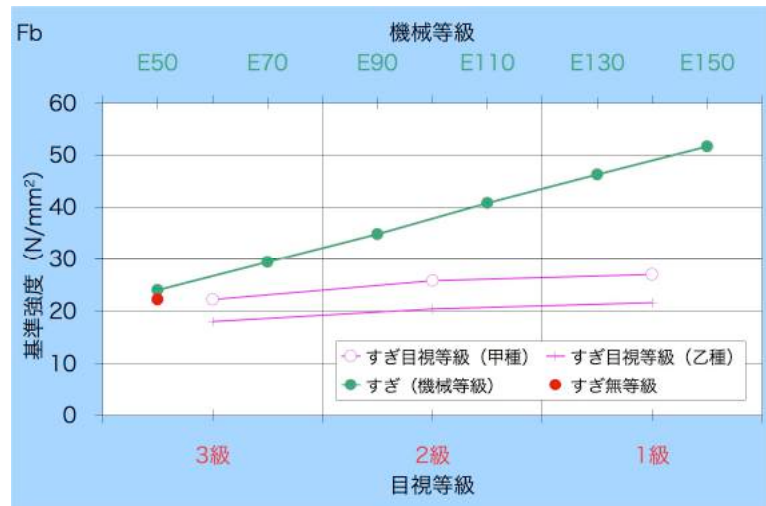


図 1.5 スギ材の基準強度比較（上から Fb：曲げ，Fc：圧縮，Ft：引張）
E70 以上の機械等級区分製材は、曲げ、圧縮、引張のいずれにおいても目視等級区分製材、無等級材より基準強度が大きい。

「針葉樹の構造用製材の JAS（機械等級）」に対応した基準強度（表 1.3）をグラフ化し，他樹種と比較してみる（図 1.6）。スギは他の主要樹種と比較して，E グレードの低い製品でも基準強度が大きい。すなわちスギには「たわみにくいほど折れにくいが，たわみやすくとも比較的折れにくい」傾向がある。この傾向は，圧縮，引張についてもあてはめられている。

参考までに，基準強度を用いて実際に構造計算を行う方法の一例を挙げておく。日本住宅・木材技術センターでは，上述した各種の基準強度をコピーペーストする方式で木造住宅の構造計算等を行うことのできるソフトを無償配布している。

(<http://www.howtec.or.jp/qui/text/index.htm> 内「横架材の構造計算ツール Ver.1.3」等を参照)

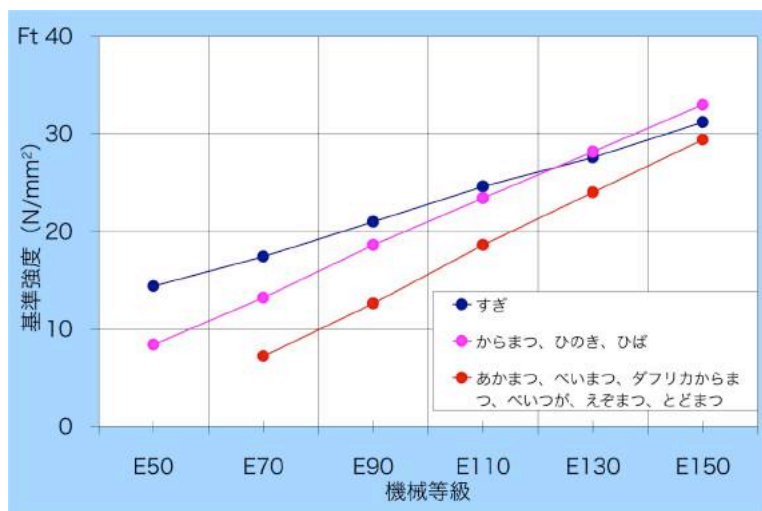
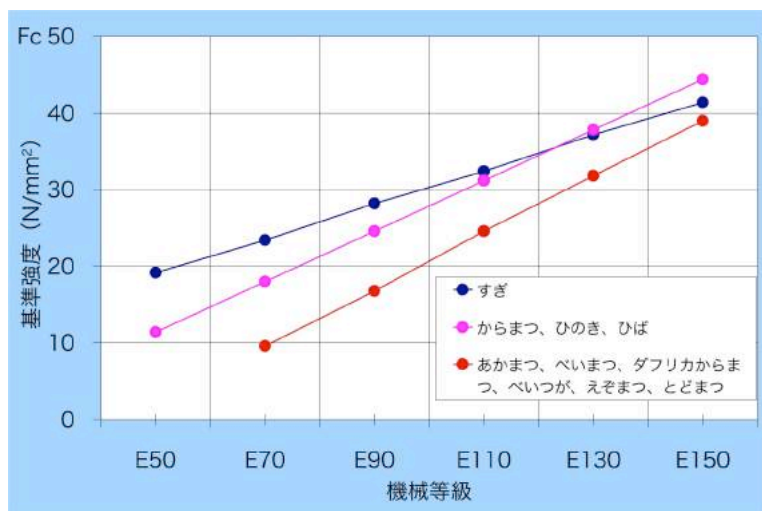
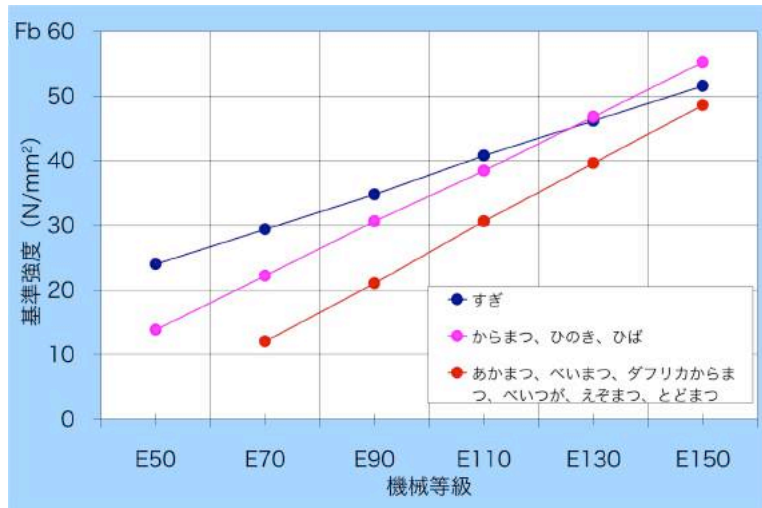


図 1.6 機械等級区分製材の基準強度比較（上から Fb：曲げ，Fc：圧縮，Ft：引張）
E グレードが低くともスギの基準強度は大きい。

資料 現在告示されている基準強度（本書に関連するもののみ抜粋）

<「針葉樹の構造用製材の JAS」合格材について>

表 1.2 「針葉樹の構造用製材の JAS（目視等級）」に対応した基準強度

（建設省告示 1452 号，平成 12 年 5 月 31 日）

樹種	区分	等級	基準強度 (N/mm ²)			
			圧縮	引張	曲げ	せん断
あかまつ	甲種構造材	1級	27.0	20.4	33.6	2.4
		2級	16.8	12.6	20.4	
		3級	11.4	9.0	14.4	
	乙種構造材	1級	27.0	16.2	26.4	
		2級	16.8	10.2	16.8	
		3級	11.4	7.2	11.4	
べいまつ	甲種構造材	1級	27.0	20.4	34.2	2.4
		2級	18.0	13.8	22.8	
		3級	13.8	10.8	17.4	
	乙種構造材	1級	27.0	16.2	27.0	
		2級	18.0	10.8	18.0	
		3級	13.8	8.4	13.8	
からまつ	甲種構造材	1級	23.4	18.0	29.4	2.1
		2級	20.4	15.6	25.8	
		3級	18.6	13.8	23.4	
	乙種構造材	1級	23.4	14.4	23.4	
		2級	20.4	12.6	20.4	
		3級	18.6	10.8	17.4	
ダフリカ からまつ	甲種構造材	1級	28.8	21.6	36.0	2.1
		2級	25.2	18.6	31.2	
		3級	22.2	16.8	27.6	
	乙種構造材	1級	28.8	17.4	28.8	
		2級	25.2	15.0	25.2	
		3級	22.2	13.2	22.2	
ひば	甲種構造材	1級	28.2	21.0	34.8	2.1
		2級	27.6	21.0	34.8	
		3級	23.4	18.0	29.4	
	乙種構造材	1級	28.2	16.8	28.2	
		2級	27.6	16.8	27.6	
		3級	23.4	12.6	20.4	
ひのき	甲種構造材	1級	30.6	22.8	38.4	2.1
		2級	27.0	20.4	34.2	
		3級	23.4	17.4	28.8	
	乙種構造材	1級	30.6	18.6	30.6	
		2級	27.0	16.2	27.0	
		3級	23.4	13.8	23.4	
べいつが	甲種構造材	1級	21.0	15.6	26.4	2.1
		2級	21.0	15.6	26.4	
		3級	17.4	13.2	21.6	
	乙種構造材	1級	21.0	12.6	21.0	
		2級	21.0	12.6	21.0	
		3級	17.4	10.2	17.4	
えぞまつ及 びとどまつ	甲種構造材	1級	27.0	20.4	34.2	1.8
		2級	22.8	17.4	28.2	
		3級	13.8	10.8	17.4	
	乙種構造材	1級	27.0	16.2	27.0	
		2級	22.8	13.8	22.8	
		3級	13.8	5.4	9.0	
すぎ	甲種構造材	1級	21.6	16.2	27.0	1.8
		2級	20.4	15.6	25.8	
		3級	18.0	13.8	22.2	
	乙種構造材	1級	21.6	13.2	21.6	
		2級	20.4	12.6	20.4	
		3級	18.0	10.8	18.0	

（甲種：主として高い曲げ性能を必要とする部材，乙種：主として圧縮性能を必要とする部材）

表 1.3 「針葉樹の構造用製材の J A S (機械等級)」に対応した基準強度

(建設省告示 1452 号, 平成 12 年 5 月 31 日)

樹 種	等級	基準強度 (N/mm ²)			
		圧縮	引張	曲げ	せん断
あかまつ, べいまつ, ダフリカからまつ, べいつが, えぞまつ 及びとどまつ	E50	-	-	-	表 1.2 にしたがって, 樹種ごとの 基準強度と する。
	E70	9.6	7.2	12.0	
	E90	16.8	12.6	21.0	
	E110	24.6	18.6	30.6	
	E130	31.8	24.0	39.6	
	E150	39.0	29.4	48.6	
からまつ, ひのき及びひば	E50	11.4	8.4	13.8	
	E70	18.0	13.2	22.2	
	E90	24.6	18.6	30.6	
	E110	31.2	23.4	38.4	
	E130	37.8	28.2	46.8	
	E150	44.4	33.0	55.2	
すぎ	E50	19.2	14.4	24.0	
	E70	23.4	17.4	29.4	
	E90	28.2	21.0	34.8	
	E110	32.4	24.6	40.8	
	E130	37.2	27.6	46.2	
	E150	41.4	31.2	51.6	

<無等級材について>

表 1.4 無等級材の基準強度

(建設省告示 1452 号, 平成 12 年 5 月 31 日)

樹 種		基準強度 (N/mm ²)				
		圧縮	引張	曲げ	せん断	
針葉樹	I 類	あかまつ, くろまつ, べいまつ	22.2	17.7	28.2	2.4
	II 類	からまつ, ひば, ひのき, べいひ	20.7	16.2	26.7	2.1
	III 類	つが, べいつが	19.2	14.7	25.2	2.1
	IV 類	もみ, えぞまつ, とどまつ, べにまつ, すぎ, べいすぎ, スプルー	17.7	13.5	22.2	1.8
広葉樹	I 類	かし	27.0	24.0	38.4	4.2
	II 類	くり, なら, ぶな, けやき	21.0	18.0	29.4	3.0

<目視等級, 機械等級, 無等級材に共通>

表 1.5 製材のめり込みの基準強度

(国土交通省告示 1024 号, 平成 13 年 6 月 12 日)

樹 種		基準強度 (N/mm ²)
針 葉 樹	あかまつ, くらまつ, べいまつ	9.0
	からまつ, ひば, ひのき, べいひ	7.8
	つが, べいつが, もみ, えぞまつ, とどまつ, べにまつ, すぎ, べいすぎ, スプルース	6.0
広 葉 樹	かし	12.0
	くり, なら, ぶな, けやき	10.8

2 県産スギ構造用製材のヤング係数のばらつき

前章において、ヤング係数を測定する意義や構造用製材の強度性能を保証する流れについて述べた。ここでは、実際に県内から集積したスギ構造用製材（1,373本）の動的ヤング係数の度数分布を示す（図 2.1）。参考として、ヒノキ構造用製材（151本）の結果も掲載した。

スギ材の測定結果を「針葉樹の構造用製材の JAS（機械等級）」に照らし合わせると、下は格外から上は E110 程度まで、実に大きなばらつきがあることがわかる。

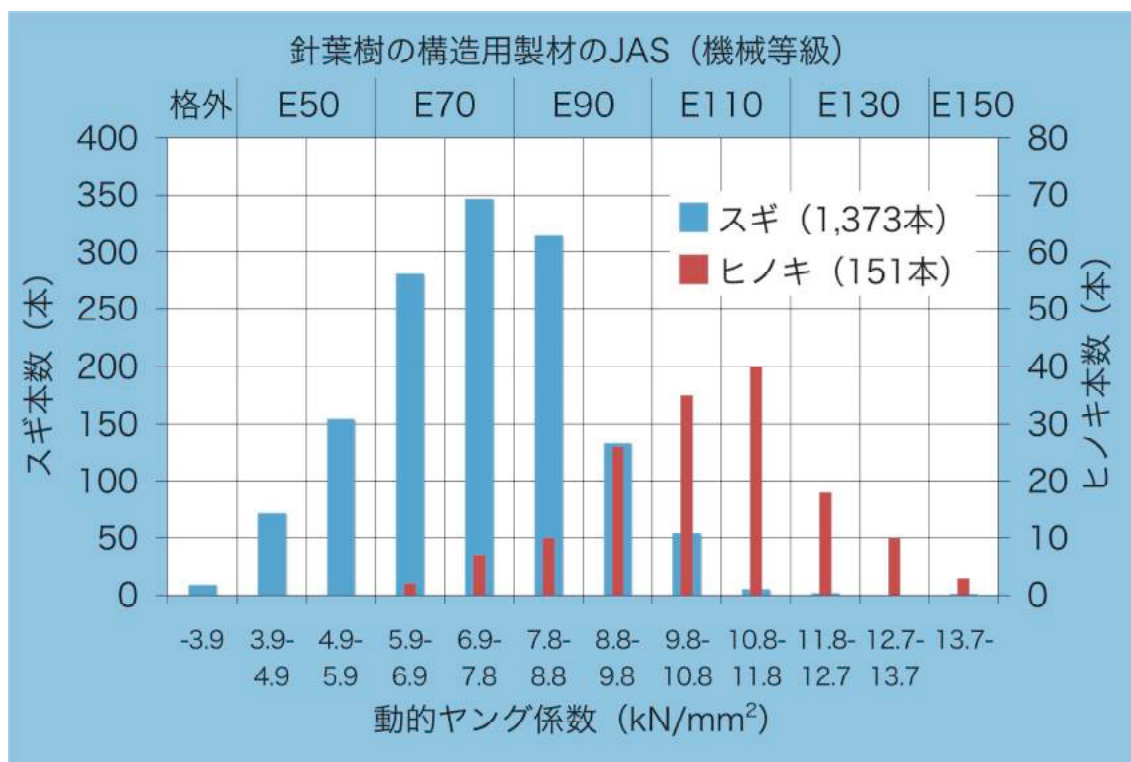


図 2.1 県産構造用製材の動的ヤング係数の度数分布（乾燥材）

2.1 ばらつきの原因を生立木内部で探る

木材製品は生物由来の産物であるため、工業製品とは異なり、一つひとつの製品によって見た目や強度が異なる。とはいえ、なぜ図 2.1 のような大きなばらつきが認められるのか。個々の製品における材質の違いは生立木の樹幹に遡って考えてみると理解しやすい。

(1) 心材・辺材と未成熟材・成熟材

スギ生立木を伐採し、樹幹部の横断面を観察すると（写真 2.1）、①中央部に円形の赤みがかかった部位、その周囲に②幅が数 mm から 1cm 程度の環状に白みがかかった部位、そしてその外側に③幅 3cm 程度



写真 2.1 スギ横断面

の環状の黄褐色部位を見ることが出来る。これらはそれぞれ①「心材」、②「移行材」あるいは「白線帯」、③「辺材」と呼ばれる。移行材や辺材の幅が生長過程においてさほど変動しないのに対し、心材は樹木の肥大生長とともにその径を拡大させていく。

一方、スギ樹幹内の強度のばらつきを考えるには、「未成熟材、成熟材」を理解しておく必要がある（図 2.2）。樹木は木材になる木部と樹皮になる師部の間に存在する環状の「形成層」が細胞を分裂することによって肥大生長する。形成層にも人間と同様に幼年期や壮年期があり、**幼年期（未成熟期）の形成層から分裂した細胞からなる木部（髓付近）を未成熟材、壮年期（成熟期）の形成層から分裂した細胞からなる木部（樹皮側）を成熟材と呼んでいる。**若齢木では形成層はまだ未熟なため、そこから造り出される木部は未成熟材であり、樹木が肥大生長するとともに形成層は成熟するため、木部は樹皮側に向かって成熟材となっていく。

心材径が肥大生長とともに拡大していくのに対し、一旦形成された未成熟材、成熟材の境界が変遷することはない（図 2.2）。つまり、**心材・辺材と未成熟材・成熟材の間に材質的な関連性はない。**未成熟材、成熟材の場合、横断面を肉眼で観察しただけでその境界を判別することはできない。成熟途上の形成層から分裂した細胞で構成された未成熟材部では、髓から樹皮側へと年輪を重ねるごとに以下のような材質変化が認められる（スギの場合）。1) 木部の 90%以上を構成している細胞、「仮道管」の長さが、髓付近で短く、樹皮側に向かって長くなる。2) 材の密度が髓付近で大きく、樹皮側に向かって小さくなる。3) 仮道管の細胞壁の骨格を形成している糸状の「セルロースマイクロフィブリル（CMF）」の主たる配向（仮道管の長さ方向に対しての傾角）が髓付近で大きく、樹皮側に向かって小さくなる。

一般に、針葉樹の未成熟材の範囲は髓から 10~15 年輪目まで、あるいは髓から 5~8cm までとされている。これはすなわち、形成層の細胞がその誕生から 10~15 年を経て成熟期に入ることの意味している。上に挙げた仮道管長、密度および CMF の傾角は、成熟材部でも多かれ少なかれ変動しているが、未成熟材部と比較すると概ね安定している傾向にある。要するに、**未成熟材部は材質が不安定な部位、成熟材部は材質が比較的安定した部位である。**

なお、これらの「個体内での傾向」は個体間に共通して認められるが、「個体内での実測値」は品種系統や生長速度などの影響により個体間で大きく異なる。

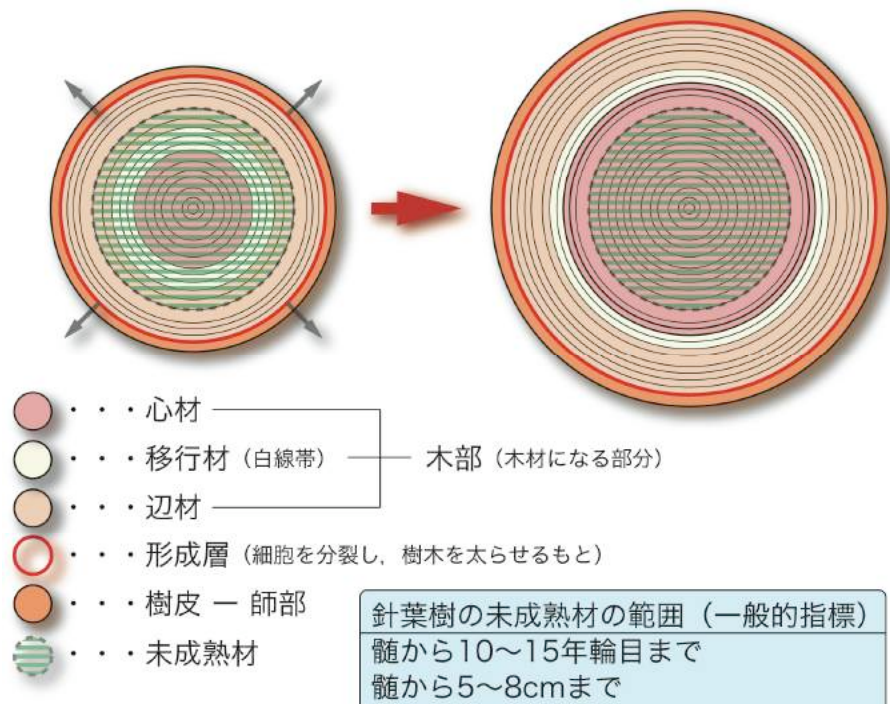


図 2.2 心材・辺材と未成熟材・成熟材

(2) 樹幹内の曲げヤング係数分布

ここでは、具体的にスギ樹幹内の強度分布を示すことで、そのばらつきの傾向を把握しておく。スギ生立木5本の地際から梢端付近までから丸太を採取し、次に10（半径方向）×10（接線方向）×160（樹軸方向）mmの小試験体を髓付近から樹皮側まで連続的に作製し、曲げヤング係数を測定した。その結果について、一部の地上高を抜粋して図2.3に示す。横軸は髓からの距離、縦軸は曲げヤング係数である。

樹幹内の曲げヤング係数分布の特徴は、次の2点にまとめられる。1) 曲げヤング係数は髓付近で小さく、樹皮側に向かって大となり、その後（成熟材部で）概ね安定する。2) 地上高の低い部位では髓から樹皮側へと曲げヤング係数が比較的緩やかに増大しているのに対し、地上高の高い部位ほど髓から樹皮側へと曲げヤング係数が急激に増大している。

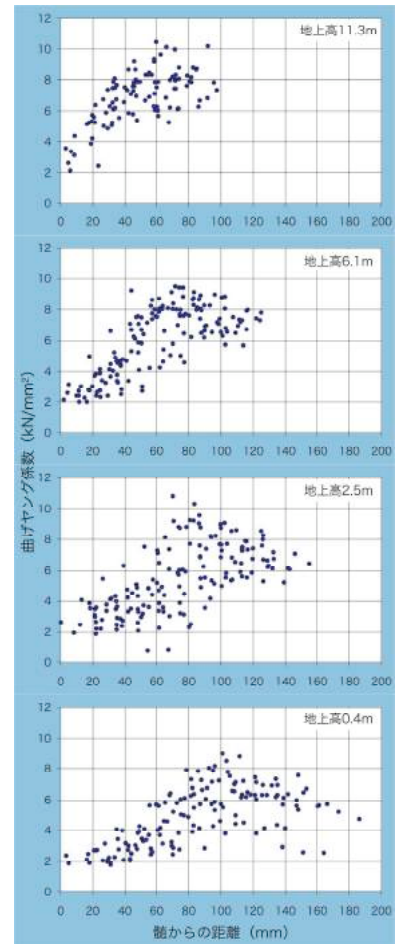


図 2.3 樹幹内の曲げヤング係数分布
(35年生立木5本から得た小試験体, 飽水材)

図2.3のプロットを髓からの距離ごと、地上高ごとに平均して模式図化すると図2.4のようになる。曲げヤング係数の数値自体が大きい小さいかという点についてはここでは触れないが、「髓付近よりも樹皮側の方が曲げヤング係数が大きい」、「地上高が高くなるほど曲げヤング係数の大きい部位が髓に近づいて存在している」、傾向にあることをここで理解しておきたい。

なお、図2.4のような立木から髓を中心とする心持ち10.5cm正角の4m材を製材したとすると、赤い線で囲んだ髓から約5cmの範囲が半割にした時の縦断面となる。元玉、2番玉、3番玉と地上高が高くなるにつれて、曲げヤング係数の大きい部位が材内に占める割合が増加していることがわかる。実際、元玉よりも2、3番玉から得られた製品の方が曲げヤング係数が大きいということは普通に認められる。

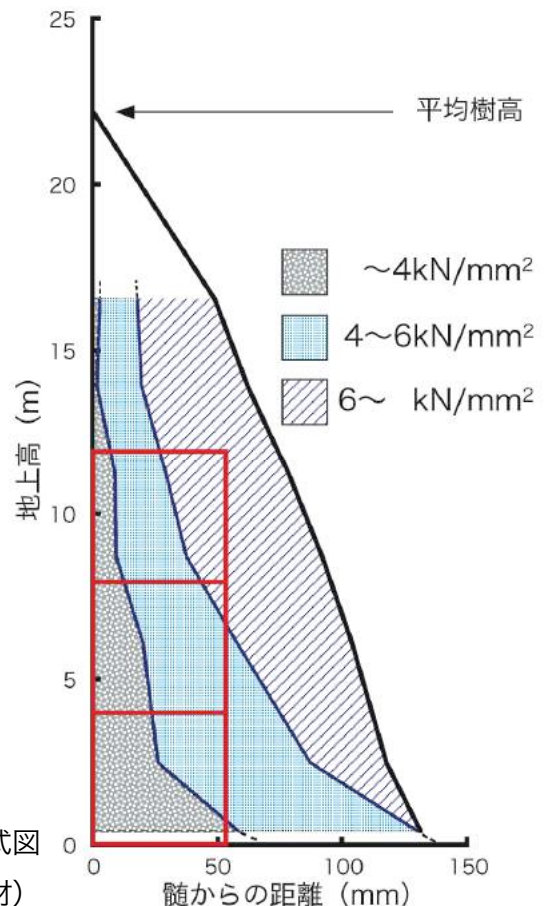


図 2.4 樹幹内曲げヤング係数分布模式図
(35年生立木5本を平均, 飽水材)

(3) 髄からの距離と材質の安定性

ここでは、密度、曲げヤング係数、曲げ強さという材質因子が樹幹内の半径方向でどのように変化し、安定していくかについて述べる。

本県における通常の植栽密度（約 3,000 本/ha）で生育していたスギ生立木（約 30 年生、72 本）の胸高部位から丸太を採取した。各試験体を採取する部位（髄からの距離、年輪数）をチェックした上で、髄付近から樹皮側まで連続的に 10×10×160mm の小試験体を作製し（795 本）、気乾密度、曲げヤング係数、そして曲げ強さを測定した（図 2.5～2.7）。

i) 密度と曲げヤング係数の関係（図 2.5）

一般的傾向として、密度が大きいほど曲げヤング係数も大きい。すなわち、図 2.5 中において密度—曲げヤング係数の間には右上がりの傾向がある。ただし、スギ材の密度は髄付近で大きく、樹皮側に向かって小さくなりその後安定する傾向にある。これに対して曲げヤング係数は髄付近で小さく、樹皮側に向かって大きくなりその後安定する傾向にある。したがって、髄に近い部位（例えば 0-1cm）では比較的密度が大きく、曲げヤング係数が小さい。そして、髄からの距離が離れていくにしたがって密度は小さく、曲げヤング係数は大きくなる。図 2.5 によれば、髄から 5cm までの密度—曲げヤング係数の回帰直線は変化しており、その寄与率 (R^2) も小さい。一方、髄から 5cm 以上離れた部位では密度—曲げヤング係数の関係は明らかに安定し、寄与率も大となっている。つまり、髄から 5cm までの範囲には不安定な未成熟材の性質、髄から 5cm 以上離れた部位には安定した成熟材の性質が現れている。

ii) 密度と曲げ強さの関係（図 2.6）

密度—曲げ強さの関係においても、一般的に「密度が大きいほど曲げ強さも大きい」という傾向がある。髄からの距離ごとの寄与率は密度—曲げヤング係数の場合と比較して明らかに大きく、「密度大ならば曲げ強さ大」という傾向がはっきりと現れている。ただし、髄から 5cm までの範囲では、密度—曲げ強さの関係は流動的に変化しており、5cm 以上離れた部位で明らかに安定している。

iii) 曲げヤング係数と曲げ強さの関係（図 2.7）

曲げヤング係数—曲げ強さの場合も、既に述べたように、曲げヤング係数が高いほど曲げ強さも大きいという関係がある。髄からの距離という条件を加えてさらに解析すると、髄から 5cm までの範囲では曲げヤング係数—曲げ強さの関係は流動的に変化しており、髄から 5cm 以上離れた部位で安定している。

以上のように、スギ生立木 72 本の胸高部位において、髄からの距離と材質の安定性について検討した結果、1) 髄から 5cm までの範囲の密度、曲げヤング係数、曲げ強さの関係はいずれも流動的に変化している、2) 髄から 5cm 以上離れた部位ではそれらの関係は安定している、ことが明らかとなった。なお、髄からの年輪数では、10 年輪目を境界として上述のような傾向が得られた。このことから、胸高部位では髄を中心とする半径 5cm、10 年輪目までの範囲に未成熟材が、その外側に成熟材が存在していることがうかがえる。

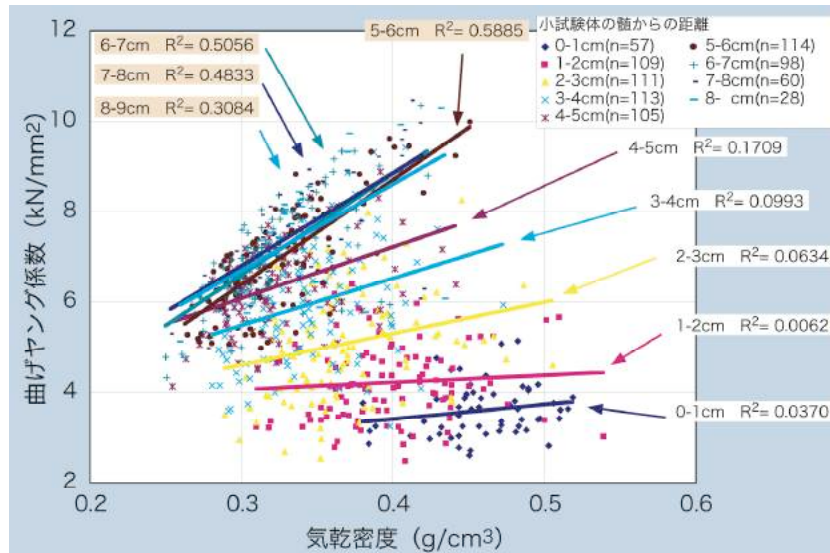


図 2.5 密度と曲げヤング係数の関係 (小試験体, 気乾材, 髄からの距離別)

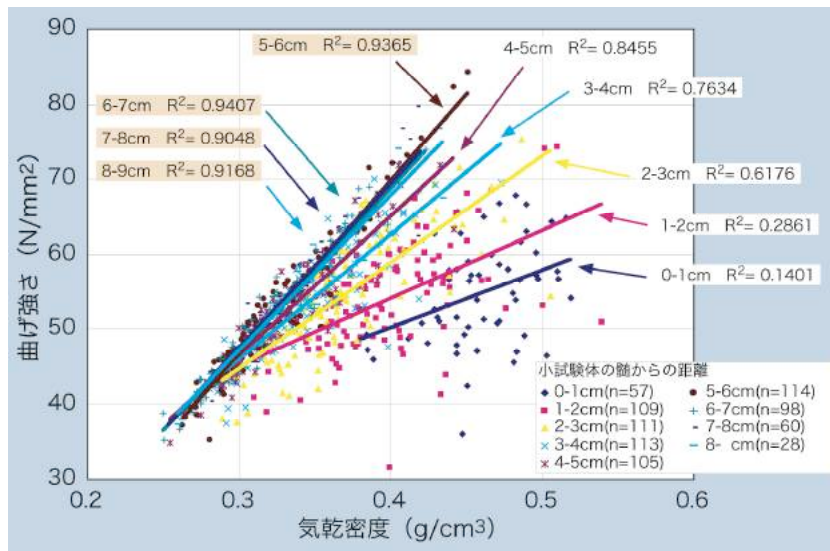


図 2.6 密度と曲げ強さの関係 (小試験体, 気乾材, 髄からの距離別)

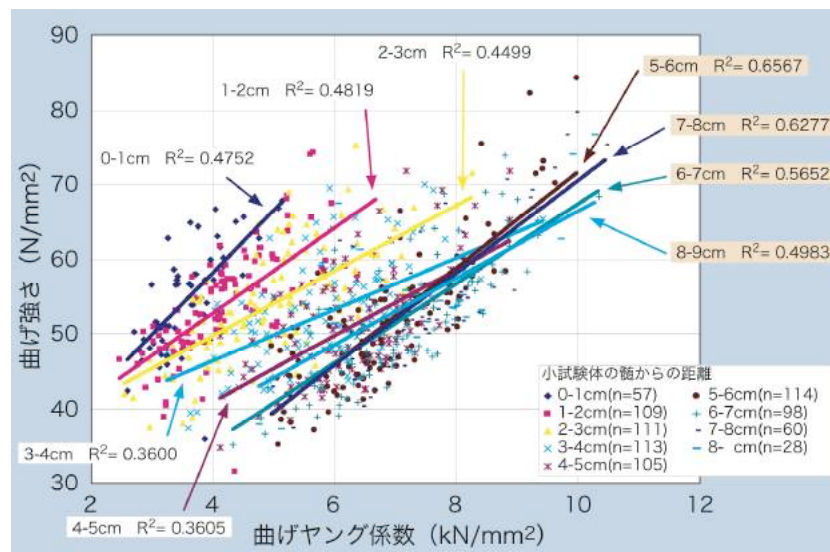


図 2.7 曲げヤング係数と曲げ強さの関係 (小試験体, 気乾材, 髄からの距離別)

2.2 スギ樹幹内の材質変動からみた実大材のヤング係数のばらつき

樹幹内の材質変動を頭に入れた上で、実大材のヤング係数のばらつきについて再度見てみる。図 2.1 のスギ実大材 1,373 本の結果について、便宜的に木口断面積 200cm^2 を境界として区分すると (図 2.8), 小断面積材 (主に柱角材) の分布は大きい数値側に, 大断面積材 (主に平角材) の分布は小さい数値側にそれぞれシフトしていることがわかる。この原因には, 1) 断面積の大きい材は直径の大きい丸太から得られる, 2) 直径の大きい丸太は生長速度が大きく地上高の低い部位から得られがちである, 3) 地上高の低い部位では髓から樹皮側への曲げヤング係数の増大が緩やかである (図 2.3, 2.4), ことが関係していることがうかがえる。

なお, 断面積 200cm^2 未満材, 以上材で E70 以上 (60tonf/cm^2 以上, 5.9kN/mm^2 以上) を示した割合はそれぞれ 88.1%, 73.6% であり, 厳密に 70tonf/cm^2 (6.9kN/mm^2) 以上を示した割合はそれぞれ 70.5%, 48.1% と大きく低下した (表 2.1)。

上述した樹幹内の髓から樹皮側までの材質分布, あるいは地上高の違いによる材質分布は, 実大材の強度に複合的に影響し, 図 2.1, 2.8 のようなばらつきを生じさせている。つまり, 何らかの仕分けを行うことにより製品のばらつきを抑制しなければ, たわみやすい材からたわみにく

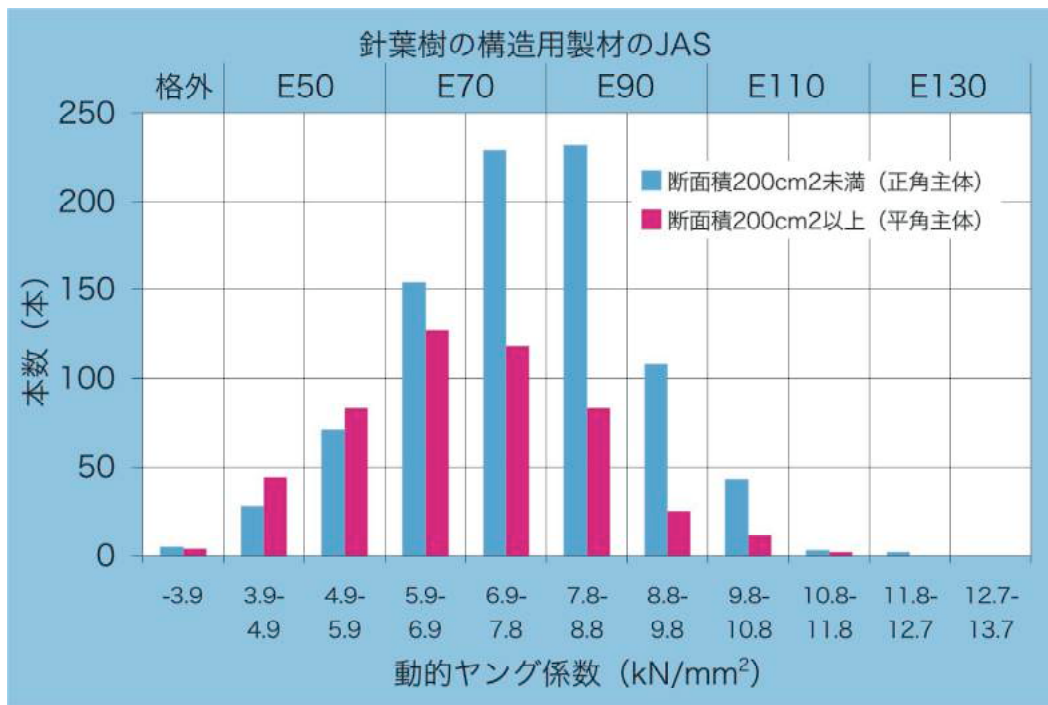


図 2.8 県産スギ構造用製材の動的ヤング係数の度数分布 (乾燥材, 木口断面積別)

表 2.1 全数に占めるヤング係数〇〇以上材の累計頻度 (県産スギ構造用製材)

動的ヤング係数	(tonf/cm ²) (kN/mm ²)	等級 なし	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
			以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上
断面積200cm ² 未満 (正角主体, n=876) (%)		100	99.4	96.2	88.1	70.5	44.4	17.9	5.6	0.7	0.3	0.1	0.1
断面積200cm ² 以上 (平角主体, n=497) (%)		100	99.2	90.3	73.6	48.1	24.3	7.6	2.6	0.4	0.0	0.0	0.0
総合 (n=1373)	(%)	100	99.3	94.1	82.9	62.4	37.1	14.2	4.5	0.6	0.2	0.1	0.1

い材まで、折れやすい材から折れにくい材まで、実に様々な強度性能を持った部材が混在した状態で建築が行われることになる。

また、個々の強度性能を保証するとしても、製材、乾燥、仕上げを行い、ヤング係数を測定した時、納品先から指定されたヤング係数（例えば E70）をクリアできなかった場合、その製品の用途をどうするか、あるいは納材期限内に再度製材、乾燥、仕上げを行う時間的な猶予があるのか、といったような問題が生じてくる。

例えば、当センターに寄せられる相談事例として、公共建築物に使用予定の構造用製材に関して、検討段階の仕様書に「〇〇町産のスギを使用のことで、ヤング係数は 70 (tonf/cm²) 以上であること、…」といった記述がなされていることがある。仕様書に「ヤング係数 70 以上」と書いてあるのは、日本建築学会発行の「木構造計算基準・同解説」に「すぎ普通構造材の繊維方向のヤング係数は 70tonf/cm²」として計算する旨の記載によると聞く。このような相談を受けた際には、**図 2.1** や **図 2.8** を見てもらい、綿密な部材調達方法の検討、あるいは仕様の再検討を勧めている。

図 2.8 をみてもわかるように、通常、「町内産のスギ丸太 1,000 本を構造用製材に挽き、1,000 本すべてのヤング係数が 70tonf/cm² 以上」はあり得ない。実際に測定した県産スギ構造用製材のヤング係数は **図 2.1**、**2.8** に示した通りで、平均値で 7.26kN/mm² であり、70tonf/cm² (6.9kN/mm²) 未満の材が 4 割近くあった (**表 2.1**)。

仕様書を遵守するためには、安全を見て多めに丸太を集めておき、製材後にヤング係数を測定し、規定の数値を満足した製品のみを使用するという方法がひとつ挙げられる。しかしこの場合、1,700 本前後の丸太を調達しておかなければ、70tonf/cm² (6.9kN/mm²) 以上の製品を 1,000 本揃えられないという計算になる。仮に仕様を E70 以上 (5.9kN/mm² 以上) と読み替えたとしても、同じく県産材の試験結果から、E70 未満の製品は 2 割近く出てくる計算になるため、予め 1,250 本程度の丸太を集めておいた方が無難であろう。また、公共建築物では、断面の大きな部材を使うことが多々あるが、断面が大きく、かつヤング係数も大きい部材を調達することは容易でない (**表 2.1**) ので、さらに余分を見しておく必要がある。しかし、最終的に使用されなかった加工済み製品の調達・加工経費をどのようにして解消するのか、また、それらの用途をどう変更するのかという問題がそこに残される。

自由度の大きい建築設計を行うためにはヤング係数の大きい材の方が有利なのかもしれない。しかし公共建築物の場合、その多くは「地場産材を活用すること」が大前提となっている。その目的を達成するためにも、施主（この場合自治体）は地場産スギ材の有する強度性能をある程度把握しておくことが理想的である。設計者側も、「ヤング係数 70 以上の製品をきちり揃えるためには、部材の仕分け（この場合機械等級区分）を全数行わなければならない、この時、強度の不足する製品が少なからず出てくる」ことに留意する必要がある。

3 たわみやすい材を構造用製材に挽かない技術

丸太段階で仕分けを行うことなく、製材、乾燥した構造用製材の場合、ヤング係数の小さい製品は少なからず発生する。しかし、丸太の段階、すなわち製材を行う前に製材後の製品の強度性能がある程度推定できれば、ヤング係数の小さい構造用製材を生産することを抑制できる。

試験事例をもとに、丸太のヤング係数を測定すれば製材後の構造用製材のヤング係数が推定可能であることを示す。



写真 3.1 丸太の動的ヤング係数の測定

3.1 丸太と構造用製材における強度性能相関性 (2m 試験材の事例)

(1) 動的ヤング係数の変動

素材丸太、粗挽き、乾燥、仕上げの過程における動的ヤング係数の変動傾向について検討した。供試材は末口直径 16~18cm (樹皮含む) の柱適寸丸太 40 本 (長さ 2m, 元玉~3 番玉混在) である。丸太, 116mm 角に粗挽き後, 人工乾燥・調湿 (20°C・75%RH) 後, 105mm 角にプレナ仕上げ後の各過程において, 動的ヤング係数を測定した。その結果を図 3.1 に示す。図の要点とその解釈は以下の通りである。

1) 丸太を粗挽きした段階では, いくつかの材の動的ヤング係数はわずかに増大したものの, 多くの材の動的ヤング係数は低下する傾向にあった。2) 粗挽き材を乾燥した後の動的ヤング係数は, ほぼすべての材において乾燥前よりも増大した。3) 乾燥材をプレナ仕上げした結果, 動的ヤング係数は再び低下する傾向にあった。

縦振動法による動的ヤング係数は, 材内の平均的なヤング係数を示す。つまり, 心持ち角に粗挽きした段階で, 比較的ヤング係数の大きい樹皮側の材が背板として除去されるため, その動的ヤング係数は概して

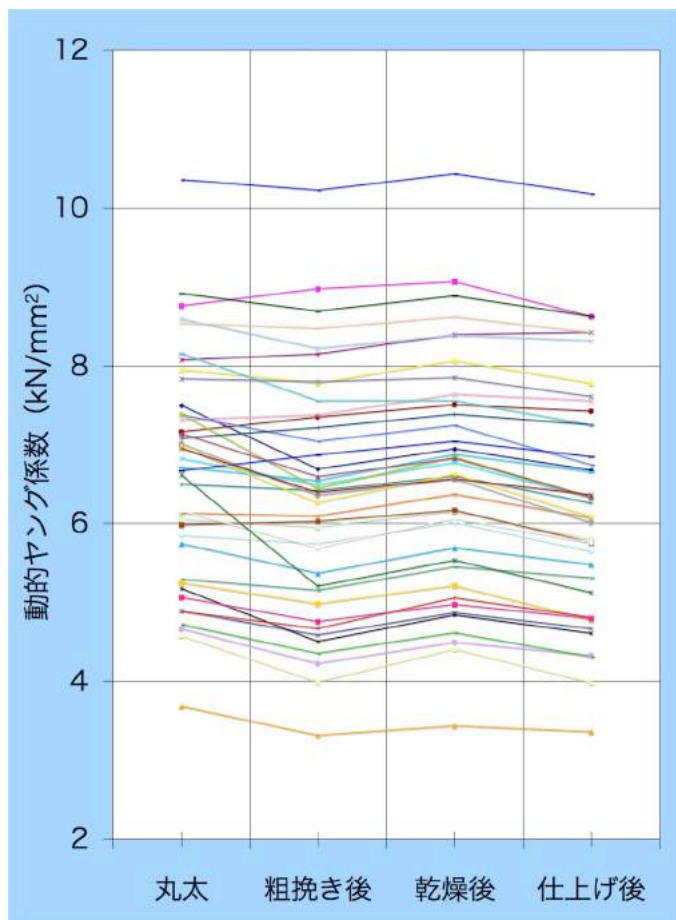


図 3.1 丸太～粗挽き～乾燥～仕上げ過程における動的ヤング係数の変動 (試験材, 40 本)

低下する。なお、**図 3.1** の丸太は樹皮込みで密度および動的ヤング係数を測定している。樹皮を剥いだ場合、丸太実質（木部）の密度および動的ヤング係数が今回の測定値よりも大きくなり、粗挽き後の動的ヤング係数の低下がより顕著に認められることが推察される。乾燥に伴いヤング係数は一旦増大するが、最もヤング係数の大きい材表面層部が仕上げの段階で除去されるため、動的ヤング係数は再び低下する。

図 3.1 を概観すると、ヤング係数の大きい丸太は仕上げ材でも大きい値を維持しており、ヤング係数の小さい丸太は仕上げ材でも小さい値を維持している。つまり、製材加工の過程においてヤング係数が大きく変動することはほとんどない。

(2) 丸太の動的ヤング係数と仕上げ材の曲げヤング係数の関係

仕上げ材について動的ヤング係数を測定した後、「針葉樹の構造用製材の JAS」に準拠して (**図 1.2**) 曲げヤング係数を測定した。丸太の動的ヤング係数と最終仕上げ材の曲げヤング係数の関係を **図 3.2** に示す。これらの間にはきわめて高い相関関係が認められた（原点回帰式： $y=0.972x$, $r=0.975$ ）。すなわち、「丸太のヤング係数を測定すれば最終的な構造用製材の曲げヤング係数を精度よく推定できる」ことが見てとれる。したがって、ヤング係数の大きい丸太は強度性能が要求される構造用製材に、ヤング係数の小さい丸太は強度が求められない造作材に製材するといった効率的な製材が可能になる。

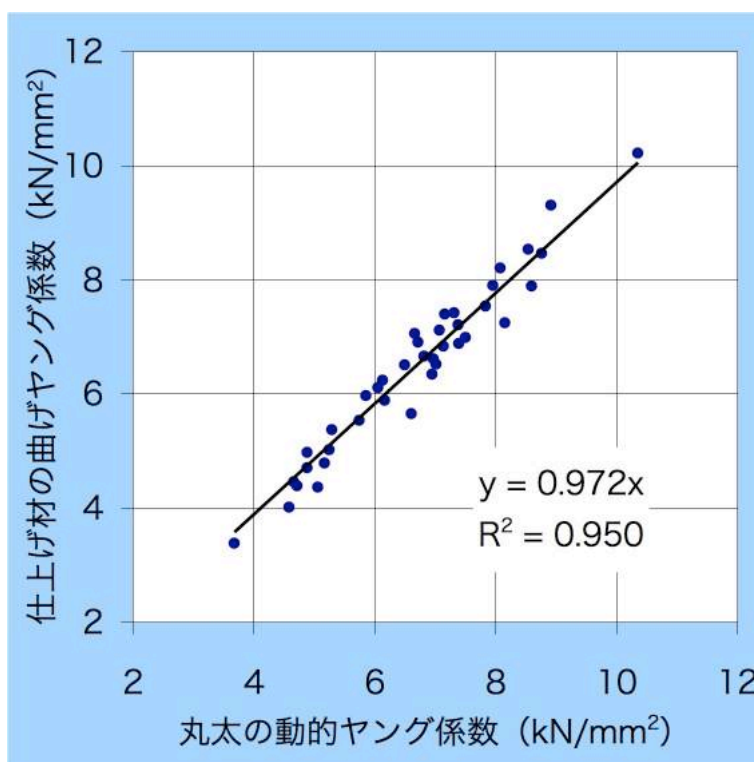


図 3.2 丸太の動的ヤング係数と仕上げ材の曲げヤング係数の関係（試験材，40 本）

3.2 丸太と構造用製材における強度性能相関性（市場流通材の事例）

上述 3.1 に用いた丸太は長さ 2m であり、実際に市場に流通する丸太（通常 3, 4m）よりも明らかに短い。また、柱適寸丸太のみを用いたため、粗挽きの段階で除去される背板の量が比較的少なかったと考えられる。さらに十分な日数をかけて乾燥・調湿を行っている。これらの要因によって **図 3.2** のような高い相関が得られたものと考えられる。市場流通材においても柱適寸丸太のみを集めて、十分に乾燥と調湿を行えば、**図 3.2** のような高い相関関係を得ることも可能であると思われる。しかし実際の市場流通材は様々な断面寸法を持ち、製材時に除去される背板の量が個々の丸太によって大きく異なるうえ、人工乾燥後の調湿期間や出荷時の含水率も企業や製品によって様々であることが考えられる。そこで、これらのばらつきの因子を含む、より現実的

なデータを得ることを目的に、**実際に市場に流通している県内産の素材丸太**（4m材，155本）を用いて、丸太および製材，乾燥後の構造用製材（120×120～300mm）の動的ヤング係数を測定した。その結果，**市場流通材についても比較的高い相関が認められた**（**図 3.3**，原点回帰式： $y=0.941x$ ， $r=0.790$ ）。

市場流通材 155 本の結果をもとに、丸太と構造用製材における動的ヤング係数の相関性，すなわち「**丸太のヤング係数が○kN/mm²以上の時，構造用製材のヤング係数が△kN/mm²以上になる割合は□%**」という関係を求めた（**表 3.1**）。例を挙げると、

- 1) 「針葉樹の構造用製材の JAS」の E70 以上（5.9kN/mm²以上）の供給を想定した場合は、丸太の動的ヤング係数を測定しなくとも（区分なし），94%の製材の動的ヤング係数が E70 をクリアしていた。
- 2) ただし、E70 でも安全側（6.9kN/mm²（70tonf/cm²）以上）の供給を想定した場合、丸太の動的ヤング係数を測定していなければ、21%の製材が 6.9kN/mm²（70tonf/cm²）をクリアしていなかった。
- 3) 丸太の動的ヤング係数を測定し、その値が 6.9kN/mm²（70tonf/cm²）以上を示したものでは 89%の製材が、7.8kN/mm²（80tonf/cm²）以上を示したものでは 97%の製材が 6.9kN/mm²（70tonf/cm²）をクリアした。

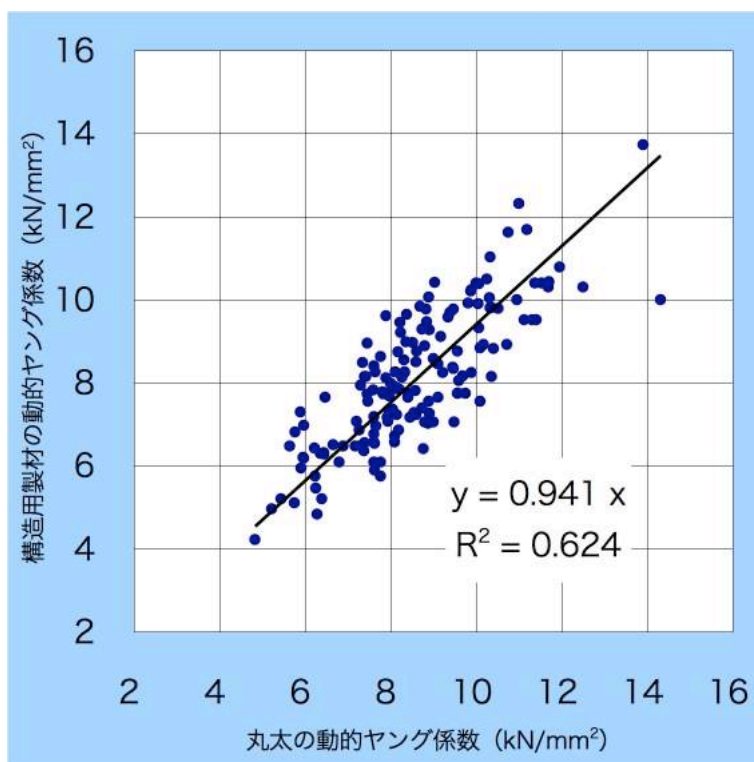


図 3.3 丸太と構造用製材の動的ヤング係数の関係
（市場流通材，155本）

表 3.1 丸太の動的ヤング係数が○kN/mm²以上の時，構造用製材のヤング係数が△kN/mm²以上になる割合（市場流通材，155本）

		構造用製材のヤング係数 (上からkN/mm ² , tonf/cm ² , JAS機械等級)										
		3.9-40-	4.9-50-	5.9-60-	6.9-70-	7.8-80-	8.8-90-	9.8-100-	10.8-110-	11.8-120-	12.7-130-	13.7-140-
		E50-	E70-		E90-		E110-		E130-		E150-	
丸太のヤング係数	区分なし	100	99	94	79	54	33	19	4	1	1	1
	6.9 (70) 以上	100	100	99	89	63	38	22	5	2	1	1
	7.8 (80) 以上	100	100	100	97	71	47	27	6	2	1	1
	8.8 (90) 以上	100	100	100	100	83	66	44	9	3	2	2
	9.8 (100) 以上	100	100	100	100	97	91	69	17	6	3	3
	10.8 (110) 以上	100	100	100	100	100	100	80	33	13	7	7

(%)

4) 丸太の動的ヤング係数が 9.8kN/mm^2 (100tonf/cm^2) 以上の場合、97%の製材が E90 をクリアした。

これらの結果からは、例えば公共建築物の仕様書等で目にする「製品のヤング係数は 70tonf/cm^2 以上」を（5%下限値レベルで）守るためには、動的ヤング係数が 7.8kN/mm^2 (80tonf/cm^2) 以上の丸太を調達しておくことが望ましいだろう。さらに、安全率をより高めるため、そして県産スギ構造用製材の平均ヤング係数 (7.26kN/mm^2 (74.0tonf/cm^2), 2.2 節) と同等以上の構造用製材を供給するための目安として、現行の単位を用いた以下の閾値および生産方法を提案したい。

「『ヤング係数 8kN/mm^2 』以上の丸太を構造用製材に挽く。この時点で 6.9kN/mm^2 (70tonf/cm^2) 未満の構造用製材の生産を大幅に抑制する。さらに最終製品のヤング係数を測定し、個々の製品の強度性能を表示・保証する」。

4 丸太内の強度分布を考慮した製材への応用

「丸太のヤング係数が大きいほど、そこから挽かれた心持ち構造用製材のヤング係数も大きい」、
 「丸太内では、髄から樹皮側へと未成熟材部で材質が変動し、成熟材部で安定している」という傾向は上述した通りである。では、丸太のヤング係数を測定した時、その数値をもとに丸太内の材質分布をイメージすることができたならば、心持ち構造用製材だけでなく、例えば集成材用挽き板の採材位置とヤング係数の関係がイメージできるだろう。

本章では、1) 丸太のヤング係数と丸太内の材質分布との関係、および 2) 丸太と集成材用挽き板のヤング係数の関係、についての検討結果を述べる。

4.1 丸太の動的ヤング係数と丸太内の材質分布との関係

約 30 年生スギ生立木 72 本の地上高 1.2~2.7m から長さ 1.5m の丸太を採取、動的ヤング係数を測定し、 4kN/mm^2 から 9kN/mm^2 まで 1kN/mm^2 ごとに仕分けを行った (図 4.1)。次に、各丸太から図 4.2 に示す方法により小試験体を連続的に作製し (795 本)、気乾密度、曲げヤング係数、曲げ強さを測定した (図 4.3~4.5、髄を含む試験体を除いて解析)。

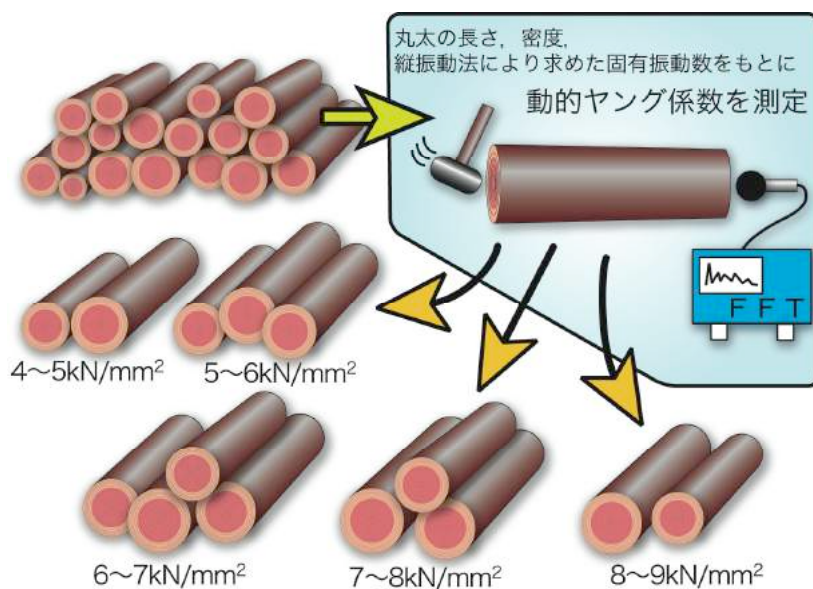


図 4.1 丸太の機械等級区分

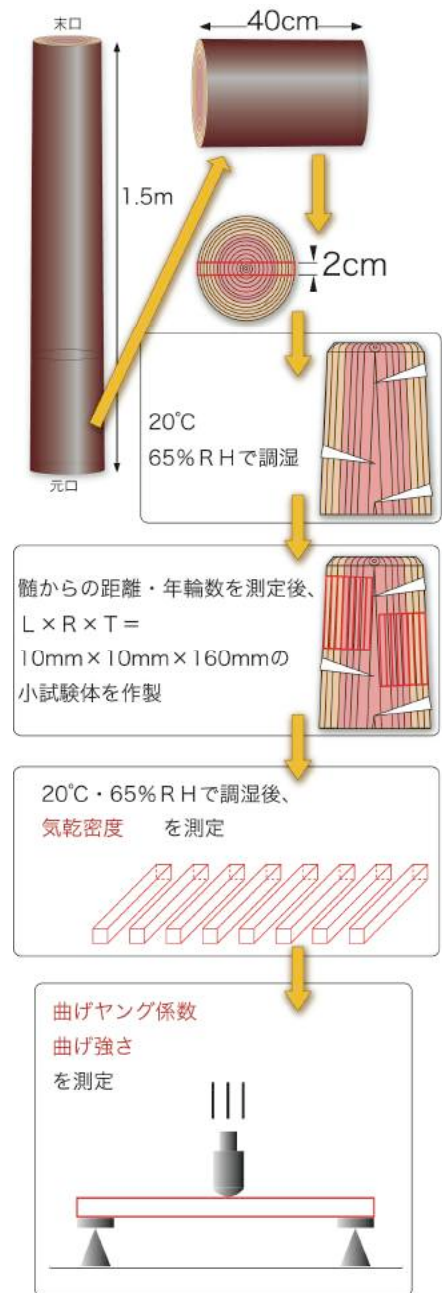


図 4.2 小試験体の作製と試験

(1) 丸太のヤング係数で区分した丸太内の密度分布

既に述べたように、スギ材の密度は髓付近で大きく、樹皮側に向かって小さくなり、その後ほぼ安定する。図 4.3 によれば、ヤング係数の小さい丸太では、髓から樹皮側へと密度が急激に減少しているが、ヤング係数の大きい丸太ほど、髓から樹皮側への密度の減少が緩やかな(樹皮側でも大きい密度を維持している)傾向にある。

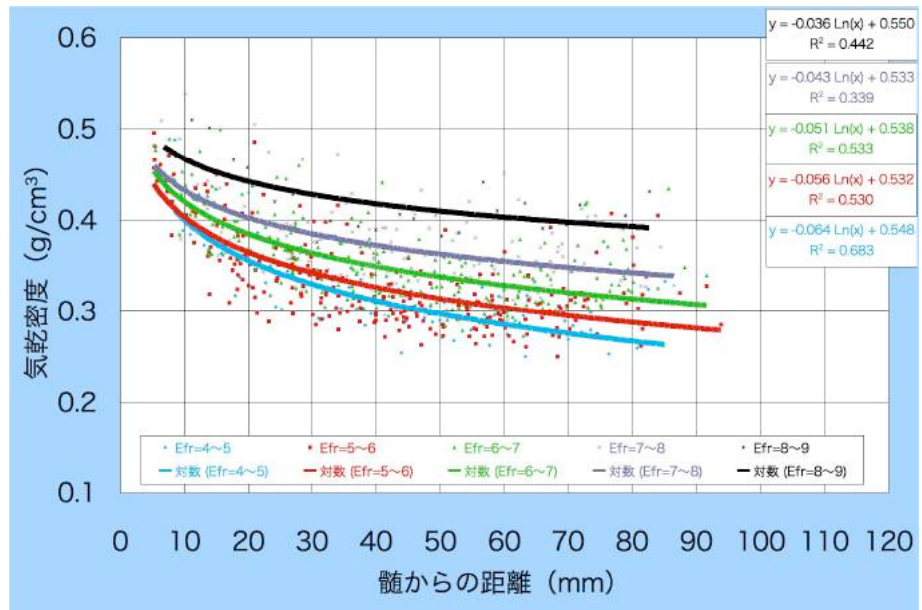


図 4.3 丸太のヤング係数で区分した髓からの距離と密度の関係 (Efr：丸太の動的ヤング係数 (kN/mm²))

(2) 丸太のヤング係数で区分した丸太内の曲げヤング係数分布

地上高によって髓から樹皮側への曲げヤング係数の増大の仕方は異なるが(図 2.3)、同じ胸高部位であっても個体間で髓から樹皮側への曲げヤング係数の増大の仕方は大きく異なる(図 4.4)。丸太を等級区分することにより、ヤング係数の大きい丸太ほど、髓から樹皮側へと曲げヤング係数が急激に増大していることが見てとれる。例えばヤング係数が 4~5kN/mm²であった丸太では、髓から 6cm 離れた部位の曲げヤング係数は 6kN/mm²に満たない。これに対し、ヤング係数が 8~9kN/mm²であった丸太の場合、髓から 6cm 離れた部位の曲げヤング係数は 8kN/mm²を超えている。

なお、髓にごく近い部位の曲げヤング係数は個体間で大きくは変わらない。また、丸太の動的ヤング係数は丸太内の平均ヤング係数を現しているため、通常、丸太での測定値よりも大きいヤング係数を備えた部位が樹皮側に必ず存在する。

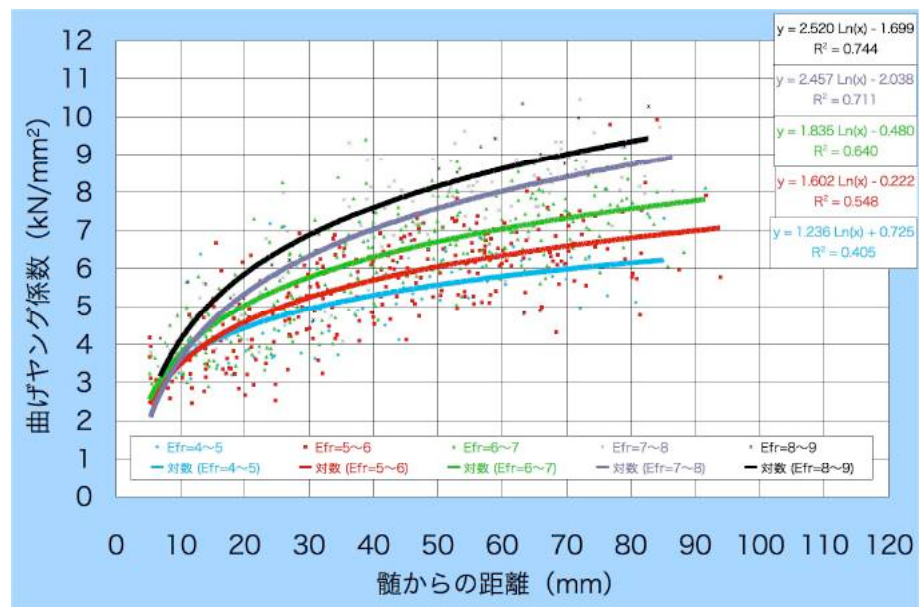


図 4.4 丸太のヤング係数で区分した髓からの距離と曲げヤング係数の関係 (Efr：丸太の動的ヤング係数 (kN/mm²))

(3) 丸太のヤング係数で区分した丸太内の曲げ強さ分布

髓から樹皮側への密度や曲げヤング係数の分布は、丸太のヤング係数の大小によって大きく異なる。これに対し、曲げ強さの場合、個々の丸太内での髓から樹皮側への変動は比較的小さい傾向にある(図4.5)。ただしヤング係数の大きい丸太ほど、髓から樹皮側を通じて曲げ強さも大きい値で分布している。ヤング係数の小さい丸太では、髓から樹皮側へと曲げ強さが低下する場合もある。これは、密度との相関が非常に高い曲げ強さの性質(図2.6)を現しているといえる。

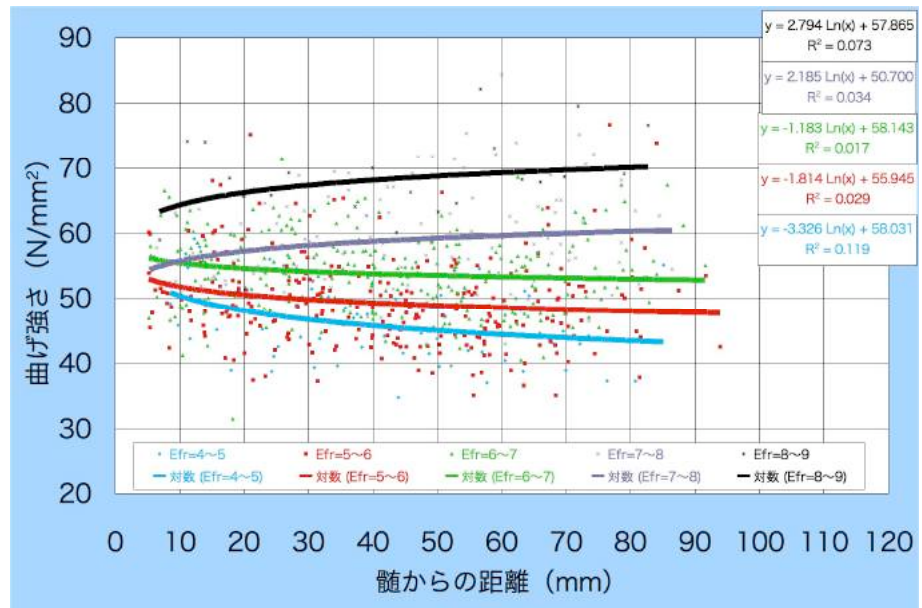


図4.5 丸太のヤング係数で区分した髓からの距離と曲げ強さの関係 (Efr：丸太の動的ヤング係数 (kN/mm²))

4.2 丸太と集成材用挽き板の動的ヤング係数の関係

通直な心持ち正角材を製材するにはやや難のある、すなわち矢高のある丸太53本(3m材, 曲率: 0.0% (1本) ~1.2% (平均) ~3.6% (最大))について、1) 丸太の動的ヤング係数, 2) 製材, 乾燥後の集成材用挽き板(36×120~135mm, 273枚)の動的ヤング係数, を測定した。

丸太と挽き板の動的ヤング係数の関係を図4.6に示す。図の横軸は丸太のヤング係数, 縦軸は挽き板のヤング係数である。丸太のヤング係数が大きいほど、そこから得られる挽き板のヤング係数も大きい傾向にある。丸太ごとに挽き板の平均ヤング係数を求めると(図4.6の□), その値は丸太のヤング

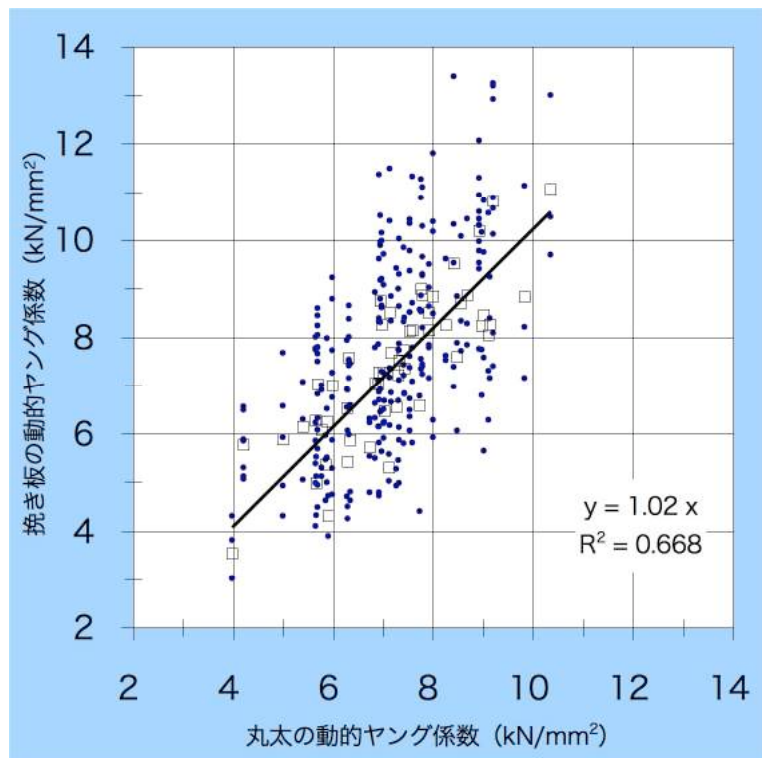


図4.6 丸太(矢高あり)と挽き板の動的ヤング係数の関係
□：丸太単位での挽き板の平均ヤング係数,
—：□の原点回帰式。

係数と概ね一致した（原点回帰式： $y=1.02x$, $r=0.817$ ）。

各丸太において、ヤング係数の大きい挽き板（図 4.6 回帰直線より上方のプロット）は樹皮側から、小さい挽き板（図 4.6 回帰直線より下方のプロット）は髓側から製材されたものである。ヤング係数の大きい、すなわち髓付近から樹皮側へと急激にヤング係数が大きくなる丸太では、髓付近から製材された挽き板であっても、その内部に比較的ヤング係数の大きい部位が含まれているため、ヤング係数の小さい丸太の樹皮側から製材された挽き板と遜色ないか、それ以上のヤング係数を示している。まとめると、

- 1) 心持ち構造用製材には不適な（矢高のある）丸太であっても、そのヤング係数は大小さまざまである。すなわち、化粧的価値の低い矢高丸太であっても、ヤング係数の大きいものは存在し、そこから製材される挽き板のヤング係数も大きい。
- 2) 丸太のヤング係数から、製材後の挽き板のヤング係数分布を推定することが可能であり、少なくともヤング係数の小さい（「構造用集成材の JAS」で格外（ 5kN/mm^2 未満）や低グレードとなる）挽き板の生産を抑制することができる。

例えば、「構造用集成材の JAS」の「対称異等級構成集成材」で 10 層からなる強度等級 E85-F255 材を想定した場合、最外層用挽き板のヤング係数は $L100$ (10kN/mm^2)、外層用挽き板のそれは $L90$ (9kN/mm^2)、以下中間層用は $L80$ (8kN/mm^2)、内層用は $L60$ (6kN/mm^2) 以上と定義されている。図 4.6 のデータによれば、丸太の等級区分を行わなかった場合、22.3% の挽き板が 6kN/mm^2 未満となり E85-F255 材には使用できない。また、 10kN/mm^2 以上の挽き板が全体に占める割合は 14.3% であり、最低 20% は必要な最外層用挽き板の量を安定的に確保できない。これに対し、ヤング係数が 7kN/mm^2 以上の丸太のみを挽き板に製材したとすれば、 6kN/mm^2 未満の挽き板の割合は 8.8% と大きく低下するうえ、 10kN/mm^2 以上の挽き板が全体に占める割合も 24.3% と大きく増加する。さらに、ヤング係数が 7.5kN/mm^2 以上の丸太となると、 6kN/mm^2 未満の挽き板の割合は 3.9% に低下し、 10kN/mm^2 以上の挽き板の割合も 31.7% に増加する。

これらはいくまでも一例であり、机上の計算であるが、丸太の等級区分を行い、低グレードの挽き板の生産を抑制することで、比較的高い歩留りで E85-F255 材を安定生産することも可能ではないかと推察される。この時、ヤング係数の大きい樹皮側の材部をどれだけ有効に活用することができるかが、高グレードな挽き板の割合増加に直結する。

5 まとめ（理想的なエンジニアードウッドの生産技術）

- 1) 「針葉樹の構造用製材の JAS」では、製品の強度性能を機械的に測定、等級区分する方法として、「曲げヤング係数」の測定を採用している。
- 2) 曲げヤング係数（たわみにくさ）を測定すれば、曲げ強さ（折れにくさ）に加えて圧縮強さ、引張強さも保証される（建設省告示 1452 号，平成 12 年 5 月 31 日）。
- 3) 曲げヤング係数は曲げなくとも、木口面をハンマー等で打撃した時の製品の固有振動数、材長、そして密度から求めることもできる（動的ヤング係数）。
- 4) つまり、少し曲げればあるいは木口面を叩けば、曲げ強さ、圧縮強さ、引張強さが保証される。
- 5) 目視等級区分製材や無等級材であっても、曲げ強さ、圧縮強さ、引張強さは保証されているが、その基準強度値は機械等級区分製材と比較して概して小さい。
- 6) 県内から集積したスギ構造用製材（1,373 本）の動的ヤング係数は 3.5～13.5kN/mm²（平均 7.26kN/mm²）と大きくばらついており、強度的品質の揃った製品を供給するためには、機械的手法により仕分けを行うことが必要である。
- 7) 「強度性能を保証する」という観点では、ヤング係数の小さい製品であっても「針葉樹の構造用製材の JAS」の E○○表示を行うことに意義はある。
- 8) しかし、公共建築物等の仕様書に見る「ヤング係数 70 (tonf/cm²) 以上」のように、一定の強度以上を備えた製品を安定的に供給するためには、製材前に仕分けを行う（ヤング係数の小さい丸太を構造用に製材しない）ことが重要である。
- 9) 丸太のヤング係数を測定することにより、そこから挽かれる構造用製材のヤング係数を推定することが可能である。ヤング係数 6.9kN/mm²（70tonf/cm²）未満の構造用製材の生産を抑制するため、ヤング係数 8.0kN/mm²（81.6tonf/cm²）以上の丸太を構造用製材に挽くことを提案する。
- 10) なお、丸太のヤング係数が大きいほど、髓付近から樹皮側までを通じて、より優れた材質、強度性能を有している傾向にあることもわかった。
- 11) したがって、集成材用挽き板等の板類の場合も、丸太のヤング係数を測定することで、製材前に挽き板のヤング係数を推定することが可能である。矢高があり、通直な構造用製材に不適な低質材であっても、ヤング係数の大きい丸太は存在し、その挽き板のヤング係数も大きい。
- 12) 「構造用集成材の JAS」で使用できないヤング係数 5.0kN/mm²未満の挽き板や、低グレードの挽き板の生産を抑制するためにも、丸太ヤング係数の測定による仕分けは非常に有効である。
- 13) 丸太のヤング係数を測定することによって、構造用に挽くか、造作用に挽くかを決定する。構造用の丸太については、その形質や市場ニーズをもとに、構造用製材に挽くか、その他の構造用材（集成材用挽き板等）に挽くかを決定する。製材、乾燥（、仕上げ）後、「針葉樹の構造用製材の JAS」あるいは「構造用集成材の JAS」に則って、構造用製材あるいは集成材用挽き板のヤング係数を測定し、その性能を保証する。

引用・参考文献

- 林 知行編著（1998）高信頼性木質建材「エンジニアードウッド」，218pp，日刊木材新聞社，東京。
- 林 知行（2004）ウッドエンジニアリング入門 木の強さを活かす，223pp，学芸出版社，京都。
- 島地 謙，佐伯 浩，原田 浩，塩倉高義，石田茂雄，重松頼生，須藤彰司共著（1985）木材の構造，276pp，文永堂出版，東京。
- 深澤和三（1997）樹体の解剖 しくみから働きを探る，199pp，海青社，大津。
- 福島和彦，船田 良，杉山淳司，高部圭司，梅澤俊明，山本浩之（2003）木質の形成 バイオマス科学への招待，382pp，海青社，大津。
- 日本建築学会（1988）木構造計算基準・同解説，236pp，丸善，東京。
- 日本規格協会（1994）木材の試験方法 JIS Z2101⁻¹⁹⁹⁴，38pp，東京。
- 日本住宅・木材技術センター（2000）住宅資材性能規定化対策事業地域材性能評価事業・報告書<構造用木材の強度試験法>，102pp，東京。
- 日本農林規格協会（2001）針葉樹の構造用製材の日本農林規格，52pp，東京。
- 日本農林規格協会（2003）集成材及び構造用集成材の日本農林規格，100pp，東京。
- 永井 智，山田範彦，山田直也，前田雅量（1998）兵庫県内産スギ材の材質（I）一年輪幅，容積密度，ヤング率および比ヤング率の樹幹内変動一，兵庫森林技研報 45，17-29。
- 永井 智，前田雅量（1999）兵庫県内産スギ材の強度性能（I）一原木丸太の動的ヤング係数と小試験体の材質一，第49回日本木材学会大会研究発表要旨集，東京，p.534。
- 永井 智（2000）スギ原木丸太～正角材仕上げ過程における強度特性の変動一乾燥材で認められた密度一曲げヤング係数の負の相関一，日本木材加工技術協会第18回年次大会（松江）講演要旨集，p.74。
- 永井 智（2000）スギ素材丸太から正角仕上げ材に至る過程におけるヤング係数の変動，兵庫森林技研報，48，5-10。
- 永井 智（2001）大屋町“あけのペドーム”に用いられたスギ材およびヒノキ材の強度試験，兵庫森林技研報，49，24-28。
- 永井 智（2003）「兵庫県産スギ材の材料性能」研修会資料，19pp，兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センター。

**兵庫県産スギ材の材料性能
－エンジニアードウッド生産技術マニュアル－**

本書の執筆者

兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センター
木材利用部 主任研究員 永井 智

平成 18 (2006) 年 3 月

編集・発行

兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センター
〒671-2515 兵庫県宍粟市山崎町五十波字尾崎 430
電話：0790-62-2118, FAX：0790-62-9390

県産スギ材によるエンジニアードウッドの生産技術

(エンジニアードウッド：強度性能が保証された構造用材)

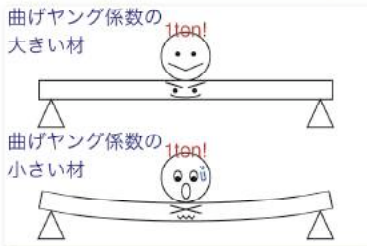
強度（曲げ強度）のポイントは大きく分けて二つ。

- ・たわみにくさ **曲げヤング係数**と呼ばれる。
- ・折れにくさ **曲げ強さ**と呼ばれる。

「曲げヤング係数」の表示（単位）：○○ (kN/mm²)
 ……○○の数値が大きいほどたわみにくい

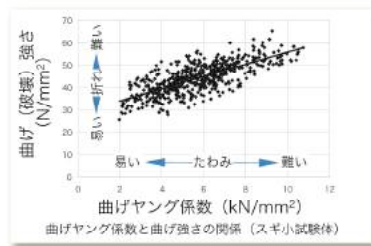
「曲げ強さ」の表示（単位）：□□ (N/mm²)
 ……□□の数値が大きいほど折れにくい

曲げヤング係数とは？



曲げヤング係数とは荷重をかけた時のたわみにくさを表した数値

曲げヤング係数大≒曲げ強さ大



基本的に・・・たわみにくい材は折れにくい
 折れにくさ：折ってみたいとわからない・・・
 たわみにくさ：少し曲げただけで（材を壊さずに）測定できる！

実大材の曲げ試験

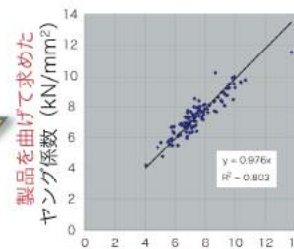


- ①試験を積み重ねる
- ②たわみにくさー折れにくさの関係データを蓄積する
- ③少し曲げただけで（材を壊さずに）折れにくさが推定できる

たわみにくさは曲げなくともわかる



実際に曲げてヤング係数を測定



製品を曲げて求めたヤング係数 (kN/mm²)

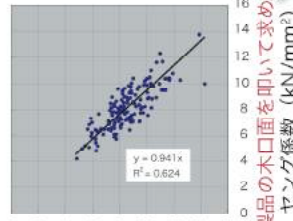


「寸法・重さ・音」からヤング係数を測定

丸太を叩いても（製材を行う前でも）製材品のたわみにくさは推定できる

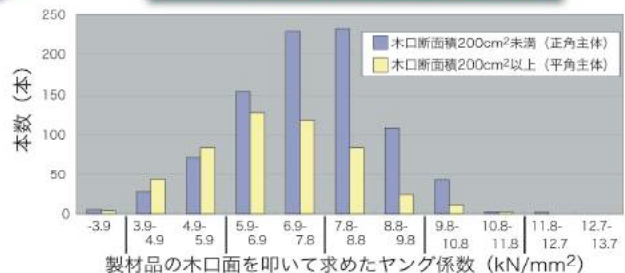


「寸法・重さ・音」からヤング係数を測定



丸太の木口面を叩いて求めたヤング係数 (kN/mm²)

県産スギ製材品のたわみにくさ



格別 | E50 | E70 | E90 | E110 | E130
 「針葉樹の構造用製材JAS」の機械等級区分表示

たわみやすい材からたわみにくい材までさまざま

個々の丸太の強度性能を合理的に活用する技術

丸太の木口面を叩いて 強い丸太は強度を必要とする構造用材に
 弱い丸太は強度性能が求められない造作材に 製材する

(兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センター木材利用部)