

マニュアル第IV部 材料と耐久性

第1章 材料

第IV部 材料と耐久性

第1章 材料

1.1 許容応力度及び材料強度

1.1.1 強軸方向と弱軸方向、及び、積層方向と幅方向

CLT 構造による建築物の構造設計を行うにあたって使用する直交集成板の許容応力度、材料強度、並びに、基準強度については、応力が生じる方向によってその値が異なる場合がある。したがって、応力が生じる方向の種類とその呼称について知っておく必要がある。以下、その概要について記す。

強軸方向 : 外層ラミナの繊維方向と平行な方向

弱軸方向 : 外層ラミナの繊維方向と直交する方向

積層方向 : 直交集成板の版面に対して垂直な方向

幅方向 : 直交集成板の版面に対して平行な方向

曲げ応力、及び、せん断応力が作用する直交集成板について、積層方向に荷重が作用した場合の強軸方向と弱軸方向の考え方を図 1.1.1-1 に、また、幅方向に荷重が作用した場合の強軸方向と弱軸方向の考え方を図 1.1.1-2 に示す。

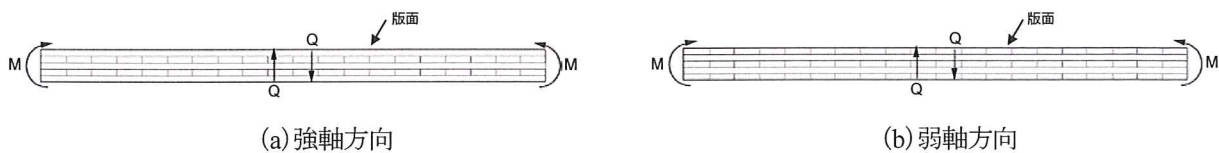


図 1.1.1-1 積層方向に応力が作用する荷重方向の例

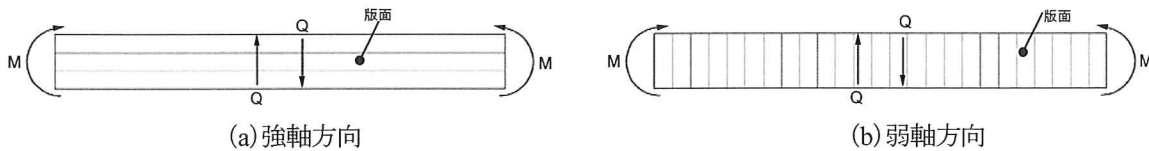


図 1.1.1-2 幅方向に応力が作用する荷重方向の例

1.1.2 適用範囲

直交集成板の圧縮、引張、曲げ、せん断、めりこみの許容応力度及び材料強度並びに圧縮材の許容応力度及び材料強度は、直交集成板の日本農林規格に定めるすべての直交集成板について定められているものではなく、直交集成板の積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度は、強軸方向については構成の方法が3層3プライ、3層4プライ、5層5プライ、5層7プライであるものに限り定められており、弱軸方向については構成の方法が3層3プライ、3層4プライ、5層5プライ、5層7プライ、7層7プライであるものに限り定められている。なお、せん断、めりこみの許容応力度及び材料強度については樹種によりその値が定められている。

1.1.3 圧縮、引張、曲げ、せん断の許容応力度

圧縮、引張、曲げ、せん断の各応力に対する直交集成板の長期及び短期に生じる力に対する許容応力度は表 1.1.3-1 に示すように長期に生ずる力に対する許容応力度は基準強度に $1/3$ を乗じた値、短期に生ずる力に対する許容応力度は基準強度に $2/3$ を乗じた値となる。また、積雪時の構造計算をするときに用いる長期に生ずる力に対する許容応力度は表 1.1.3-1 に示す数値に 1.3 を乗じた数値とし、短期に生ずる力に対する許容応力度は表 1.1.3-1 に示す数値に 0.8 を乗じた数値とする。

なお、表 1.1.3-1 に示す許容応力度は、以下の各条件を満たす直交集成板に対してのみ適用される。

- ・ 直交集成板の日本農林規格(平 25 農水告第 3079 号)に適合すること

また、表 1.1.3-1 に示す許容応力度は、原則、以下の各条件を満たす直交集成板に対して適用される。

- ・ 小角材をその繊維方向を互いにほぼ平行にして幅方向に接着したものが、ラミナとして使用されていないこと
- ・ 各ラミナの厚さが、12mm 以上 36mm 以下であること
- ・ 直交集成板の幅及び長さが、36cm 以上であること

表 1.1.3-1 直交集成板の圧縮、引張、曲げ、せん断の長期及び短期に生じる力に対する許容応力度

長期に生ずる力に対する許容応力度 (N/mm ²)				短期に生ずる力に対する許容応力度 (N/mm ²)			
圧縮	引張	曲げ	せん断	圧縮	引張	曲げ	せん断
$\frac{1.1F_c}{3}$	$\frac{1.1F_t}{3}$	$\frac{1.1F_b}{3}$	$\frac{1.1F_s}{3}$	$\frac{2F_c}{3}$	$\frac{2F_t}{3}$	$\frac{2F_b}{3}$	$\frac{2F_s}{3}$

(注) F_c 、 F_t 、 F_b 及び F_s は、それぞれ直交集成板の圧縮、引張、曲げ及びせん断に対する基準強度を表す。

1.1.4 むりこみの許容応力度

直交集成板のむりこみの許容応力度には、直交集成板の表面と加力方向のなす角度に応じて以下に記す数値を用いる。

- ① 10 度以下の場合: 圧縮の許容応力度の数値
- ② 10 度を超え、70 度未満の場合: ①と③に記す数値を直線的に補間した数値
- ③ 70 度以上 90 度以下の場合: 表 1.1.4-1 に掲げる数値

表 1.1.4-1 むりこみの許容応力度

建築物の部分	長期に生ずる力に対する むりこみの許容応力度 (N/mm ²)		短期に生ずる力に対する むりこみの許容応力度 (N/mm ²)	
	積雪時	積雪時以外	積雪時	積雪時以外
土台その他これに類する横架材 (当該部材のむりこみによって他の部材の 応力に変化が生じない場合に限る。)	$\frac{1.5F_{cv}}{3}$	$\frac{1.5F_{cv}}{3}$	$\frac{2F_{cv}}{3}$	$\frac{2F_{cv}}{3}$
上記に掲げる場合以外の場合	$\frac{1.43F_{cv}}{3}$	$\frac{1.1F_{cv}}{3}$	$\frac{1.6F_{cv}}{3}$	$\frac{2F_{cv}}{3}$

(注) F_{cv} は、直交集成板のむりこみに対する基準強度(N/mm²)を表す。

1.1.5 圧縮材(座屈)の許容応力度

直交集成板の圧縮材(座屈)の許容応力度には、その有効細長比に応じて、表 1.1.5-1 に示す各式によって計算した数値を用いる。ただし、積雪時の構造計算をするときに用いる長期に生ずる力に対する許容応力度は表 1.1.5-1 に示す数値に 1.3 を乗じた数値とし、短期に生ずる力に対する許容応力度は表 1.1.5-1 に示す数値に 0.8 を乗じた数値とする。

なお、直交集成板の有効細長比を求める際に注意すべきこととしては、断面積と断面二次モーメントの算定方法が強軸方向と弱軸方向で異なることである。強軸方向の細長比を計算する場合には、断面積は材の全断面に対する断面積とし、断面二次モーメントは材の全断面に対する断面二次モーメントとする。一方、弱軸方向の細長比を計算する場合には、断面積は材の外層部分を除いた断面に対する断面積とし、断面二次モーメントは材の外層部分を除いた断面に

する断面二次モーメントとする。弱軸方向の断面積、並びに、断面二次モーメントを計算する際に外層部分を除くのは、外層部分の強度に対する寄与が他の部分と比較した場合に極端に小さく、ないものとして扱っても差し支えないという判断に基づくものである。

表 1.1.5-1 圧縮材（座屈）の許容応力度

有効細長比	長期に生ずる力に対する座屈の許容応力度(N/mm ²)	短期に生ずる力に対する座屈の許容応力度(N/mm ²)
$\lambda \leq 30$ の場合	$\frac{1.1}{3} F_c$	$\frac{2}{3} F_c$
$30 < \lambda \leq 100$ の場合	$\frac{1.1}{3} (1.3 - 0.01\lambda) F_c$	$\frac{2}{3} (1.3 - 0.01\lambda) F_c$
$100 < \lambda$ の場合	$\frac{1.1}{3} \cdot \frac{3000}{\lambda^2} F_c$	$\frac{2}{3} \cdot \frac{3000}{\lambda^2} F_c$

(注) λ 及び F_c は、それぞれ次の数値を表す。

λ : 有効細長比で以下の式により求まる値。

$$\lambda = l \sqrt{\frac{A}{I}}$$

ここで、 l 座屈長さ(mm)

A 強軸方向の許容応力度を計算する場合は、全断面積(mm²)

弱軸方向の許容応力度を計算する場合は、外層を除いた部分の断面積(mm²)

I 強軸方向の許容応力度を計算する場合に、全断面の断面二次モーメント(mm⁴)

弱軸方向の許容応力度を計算する場合は、外層を除いた部分の断面二次モーメント(mm⁴)

F_c 圧縮に対する基準強度(N/mm²)

1.1.6 圧縮、引張、曲げ、せん断の材料強度

圧縮、引張、曲げ、せん断の各応力に対する直交集成板の材料強度は表 1.1.6-1 に示すように基準強度の値とする。なお、積雪時の構造計算をするときに用いる材料強度は、表 1.1.6-1 の数値に 0.8 を乗じた数値とする。

表 1.1.6-1 直交集成板の圧縮、引張、曲げ、せん断の材料強度

材料強度(N/mm ²)			
圧縮	引張	曲げ	せん断
F_c	F_t	F_b	F_s

(注) F_c 、 F_t 、 F_b 及び F_s は、それぞれ直交集成板の圧縮、引張、曲げ及びせん断に対する基準強度を表す。

1.1.7 むりこみの材料強度

直交集成板のむりこみの材料強度には、直交集成板の表面と加力方向のなす角度に応じて以下に記す数値を用いる。ただし、土台その他これに類する横架材(当該部材のむりこみによって他の部材の応力に変化が生じない場合に限る。)以外について、積雪時の構造計算をするときに用いる材料強度は、以下の数値に 0.8 を乗じた数値とする。

- ① 10度以下の場合: 圧縮の材料強度の数値
- ② 10度を越え、70度未満の場合: ①と③に記す数値を直線的に補間した数値
- ③ 70度以上90度以下の場合: むりこみに対する基準強度の数値

1.1.8 圧縮材（座屈）の材料強度

直交集成板の圧縮材（座屈）の材料強度には、その有効細長比に応じて、表 1.1.8-1 に示す各式によって計算した数値を用いる。ただし、積雪時の構造計算をするときに用いる材料強度は、表 1.1.8-1 に示す数値に 0.8 を乗じた数値とする。

表 1.1.8-1 圧縮材（座屈）の材料強度

有効細長比	座屈の材料強度(N/mm ²)
$\lambda \leq 30$ の場合	F_c
$30 < \lambda \leq 100$ の場合	$(1.3 - 0.01\lambda)F_c$
$100 < \lambda$ の場合	$\frac{3000}{\lambda^2}F_c$

1.1.9 水分の作用に対する許容応力度と材料強度の低減

木材、集成材等と同様に、直交集成板についても基礎ぐい、水槽、浴室その他これらに類する常時湿潤状態にある部分に使用する場合には、許容応力度と材料強度を上記の各値に対して 70%相当まで低減することとしている。

1.2 基準強度

1.2.1 圧縮

直交集成板の圧縮強度は、等価断面法の考え方に基づいてラミナの圧縮強度から精度よく推定できることが明らかとなっており、平 13 国交告第 1024 号(以下、本節において「告示」と記す。)では式(1.2.1-1)が用いられている¹⁾。

$$F_c = \sigma_{c_oml} \frac{A_A}{A_0} \times 0.75 \quad (1.2.1-1)$$

ここに、 σ_{c_oml} 、 A_A 及び A_0 は、それぞれ次の数値を表す。

σ_{c_oml} 強軸方向の基準強度を計算する場合にあつては外層に使用するラミナの圧縮強度、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあつては内層の最も外側の層に使用するラミナの圧縮強度である。ラミナには、MSR 区分又は機械等級区分によるもの(表 1.2.1-1)と目視等級区分によるもの(表 1.2.1-2)があり、それぞれに複数の等級があるので正しく選択する必要がある。

A_A 直交集成板の等価断面の断面積で、式(1.2.1-2)によって計算する。

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_0} \quad (1.2.1-2)$$

この式において、 E_i 、 A_i 及び E_0 は、それぞれ次の数値を表す。

E_i 一方の外層から数えて i 番目の層(以下、単に「 i 番目の層」と記す。)に使用するラミナの圧縮弾性係数

この場合において、強軸方向の基準強度を計算する場合における直交層に使用するラミナの圧縮弾性係数及び弱軸方向の基準強度を計算する場合における平行層に使用するラミナの圧縮弾性係数は「0」とする。ラミナの圧縮弾性係数は曲げヤング係数と同じとみなし、直交集成板の日本農林規格に規定されるラミナの品質基準の曲げヤング係数を用いる。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.1-1、目視等級区分によるものは表 1.2.1-2 を参照する。

A_i i 番目の層の断面積

E_0 強軸方向の基準強度を計算する場合にあつては外層に使用するラミナの圧縮弾性係数、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあつては内層の最も外側に使用するラミナの圧縮弾性係数。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.1-1、目視等級区分によるものは表 1.2.1-2 を参照する。

A_0 直交集成板の断面積

直交集成板の断面積 A_0 は、部材断面の幅(B)と厚さ(H)の積である。一般的な部材としての幅や長さについて用語としての明確な定義はないが、寸法の表示やその精度を規定するために直交集成板の日本農林規格では、強軸に平行方向の辺長を「直交集成板の長さ」、弱軸に平行方向の辺長を「直交集成板の幅」と定義している。圧縮強度を算出するための部材断面の幅(B)は、強軸では「直交集成板の幅」、弱軸では「直交集成板の長さ」となる。

係数(0.75) 強度分布の 95%下側許容限界値(以下、「5%下限値」と記す。)を算出するための直交集成板の圧縮強度の変動係数に応じた調整係数

1) 宮武敦ほか9名：“CLT の強度性能推定精度に与える層構成やラミナ等級の影響”、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)構造 CIII、pp78、2015

表 1.2.1-1 機械等級区分ラミナの圧縮強度及び圧縮弾性係数²⁾ (単位: N/mm²)

等級区分機による等級	圧縮強度	圧縮弾性係数
M120A 又は M120B	33.6	12000
M90A 又は M90B	27.6	9000
M60A 又は M60B	21.6	6000
M30A 又は M30B	15.6	3000

表 1.2.1-2 目視等級区分ラミナの圧縮強度及び圧縮弾性係数³⁾ (単位: N/mm²)

等級	圧縮強度	圧縮弾性係数
樹種群 E1 の一等	36.0	11000
樹種群 E1 の二等	26.4	7000
樹種群 E2 の一等	33.6	10000
樹種群 E2 の二等	24.0	6000
樹種群 E3 の一等	31.2	9000
樹種群 E3 の二等	21.6	5000
樹種群 E4 の一等	28.8	8000
樹種群 E4 の二等	19.2	4000
樹種群 E5 の一等	26.4	7000
樹種群 E5 の二等	16.8	3000

樹種群 E1: ダフリカからまつ、サザンパイン、べいまつ及びウエスタンラーチ
 樹種群 E2: ひのき、ひば、からまつ、あかまつ、くろまつ及びべいひ
 樹種群 E3: つが、アラスカイエローシダー、ラジアタパイン及びべいつが
 樹種群 E4: もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロッジポールパイン、べにまつ、
 ポンデローサパイン、おうしゅうあかまつ及びジャックパイン
 樹種群 E5: すぎ、べいすぎ及びホワイトサイプレスパイン

表 1.2.1-3 に機械等級区分ラミナを用いた Mx60-3-3、Mx60-5-5、Mx60-7-7 の計算例を示す。

2) 表中の圧縮強度は平 13 国交告第 1024 号第三第九号イの表 1 により、圧縮弾性係数は直交集成板の日本農林規格の表 8 による。
 3) 表中の圧縮強度は平 13 国交告第 1024 号第三第九号イの表 2 により、圧縮弾性係数は直交集成板の日本農林規格の表 11 による。

表 1.2.1-3 直交集成板の圧縮基準強度の計算例

層構成	ラミナ種類	繊維方向	構成ラミナ		等級	プライ		Ei	Ai	EiAi	Σ EiAi	A _A	A ₀	A _A /A ₀	ラミナ強度	CLT強度
						幅	厚さ					Σ EiAi/E ₀	= Σ Ai		σ _{c,omt}	σ _{c,omt} × A _A /A ₀ × 0.75
						mm	mm									
3層 3プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	360,000	60,000	90,000	0.667	21.6	10.80
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000						
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0	90,000	30,000	90,000	0.334	15.6	3.90
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000						
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0						
5層 5プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	450,000	75,000	150,000	0.500	21.6	8.10
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000						
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000						
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0						
		弱軸	直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000	180,000	60,000	150,000	0.400	15.6	4.68
			平行層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000						
			平行層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000						
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0						
7層 7プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	540,000	90,000	210,000	0.429	21.6	6.94
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000						
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000						
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0	270,000	90,000	210,000	0.429	15.6	5.01
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000						
			平行層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000						
			平行層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0						
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000						
平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0									

1.2.2 引張

直交集成板の引張強度は、等価断面法の考え方に基づいてラミナの引張強度から精度よく推定できることが明らかとなっており、告示では式(1.2.2-1)が用いられている。

$$F_t = \sigma_{t_omt} \frac{A_A}{A_0} \times 0.75 \quad (1.2.2-1)$$

σ_{t_omt} 強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては外層に使用するラミナの引張強度、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては内層の最も外側の層に使用するラミナの引張強度である。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.2-1、目視等級区分によるものは表 1.2.2-2 を参照する。

A_A 直交集成板の等価断面の断面積で、式(1.2.2-2)によって計算する。

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_0} \quad (1.2.2-2)$$

この式において、E_i、A_i及びE₀は、それぞれ次の数値を表す。

E_i 一方の外層から数えて*i*番目の層(以下、単に「*i*番目の層」と記す。)に使用するラミナの引張弾性係数

この場合において、強軸方向の基準強度を計算する場合における直交層に使用するラミナの引張弾性係数及び弱軸方向の基準強度を計算する場合における平行層に使用するラミナの引張弾性係数は「0」とする。ラミナの引張弾性係数は曲げヤング係数と同じとみなし、直交集成板の日本農林規格に規定されるラミナの品質基準の曲げヤング係数を用いる。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.2-1、目視等級区分によるものは表 1.2.2-2 を参照する。

A_i i 番目の層の断面積

E_0 強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては外層に使用するラミナの引張弾性係数、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては内層の最も外側に使用するラミナの引張弾性係数。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.2-1、目視等級区分によるものは表 1.2.2-2 を参照する。

A_0 直交集成板の断面積

1.2.1 項の説明を参照のこと。

係数(0.75) 強度分布の 95%下側許容限界値(以下、「5%下限値」と記す。)を算出するための直交集成板の引張強度の変動係数に応じた調整係数

表 1.2.2-1 機械等級区分ラミナの引張強度及び引張弾性係数⁴⁾ (単位: N/mm²)

等級区分機による等級	引張強度	引張弾性係数
M120A 又は M120B	25.0	12000
M90A 又は M90B	20.5	9000
M60A 又は M60B	16.0	6000
M30A 又は M30B	11.5	3000

表 1.2.2-2 目視等級区分ラミナの引張強度及び引張弾性係数⁵⁾ (単位: N/mm²)

等級	引張強度	引張弾性係数
樹種群 E1 の一等	26.5	11000
樹種群 E1 の二等	20.0	7000
樹種群 E2 の一等	24.5	10000
樹種群 E2 の二等	18.0	6000
樹種群 E3 の一等	23.5	9000
樹種群 E3 の二等	16.5	5000
樹種群 E4 の一等	21.5	8000
樹種群 E4 の二等	14.5	4000
樹種群 E5 の一等	20.0	7000
樹種群 E5 の二等	12.5	3000

樹種群に属する樹種名は表 1.2.1-2 参照

表 1.2.2-3 に目視等級区分ラミナを用いた S60-3-3、S60-5-5、S60-7-7 の計算例を示す。

4) 表中の引張強度は平 13 国交告第 1024 号第三第九号口の表 1 により、引張弾性係数は直交集成板の日本農林規格の表 8 による。

5) 表中の引張強度は平 13 国交告第 1024 号第三第九号口の表 2 により、引張弾性係数は直交集成板の日本農林規格の表 11 による。

表 1.2.2-3 直交集成板の引張基準強度の計算例

層構成	ラミナ種類	繊維方向	構成ラミナ		等級※	プライ		Ei	Ai	EiAi	Σ EiAi	A _k	A ₀	A _k /A ₀	ラミナ強度	CLT強度
						幅	厚さ					Σ EiAi/E ₀	= Σ Ai		σ _{t,ont}	σ _{t,ont} × A _k /A ₀ × 0.75
						mm	mm									
3層 3プライ	目視	強軸	平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000	420,000	60,000	90,000	0.667	20.0	10.00
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
		弱軸	平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0	210,000	30,000	90,000	0.333	20.0	5.00
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0						
5層 5プライ	目視	強軸	平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000	630,000	90,000	150,000	0.600	20.0	9.00
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
		弱軸	平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0	420,000	60,000	150,000	0.400	20.0	6.00
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			平行層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
7層 7プライ	目視	強軸	平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000	840,000	120,000	210,000	0.571	20.0	8.57
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
		弱軸	平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0	630,000	90,000	210,000	0.429	20.0	6.42
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			平行層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			平行層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0						
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000						
			平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0						

※ V1:直交集成板の日本農林規格に規定する目視区分ラミナのうち樹種群E5の1等のこと

1.2.3 積層方向の曲げ

積層方向の曲げについて、長期に生ずる力に対する許容応力度を計算する場合にあつては、用いることのできる直交集成板の構成が限定され、強軸方向の長期に生ずる力に対する許容応力度を計算する場合にあつては、構成の方法が3層3プライ、3層4プライ、5層5プライ又は5層7プライであるものに限られ、積層方向でかつ弱軸方向の長期に生ずる力に対する許容応力度を計算する場合にあつては、3層3プライ、3層4プライ、5層5プライ、5層7プライ又は7層7プライであるものに限られる。

告示では直交集成板の積層方向の曲げ強度の算出に等価断面法に基づいた式(1.2.3-1)を用いている。積層方向の曲げ強度では、等価断面の断面二次モーメント I_A と全断面の断面二次モーメント I_0 の比率 (I_A/I_0) に比例していると考え、基準とした層のラミナの曲げ強度にその比率を乗じて算出する。

$$F_b = \sigma_{b_oml} \frac{I_A}{I_0} \times 0.4875 \quad (1.2.3-1)$$

σ_{b_oml} 強軸方向の基準強度を計算する場合にあつては外層に使用するラミナの曲げ強度、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあつては内層の最も外側の層に使用するラミナの曲げ強度である。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.3-1、目視等級区分によるものは表 1.2.3-2 を参照する。

I_A 直交集成板の等価断面の断面二次モーメント、式(1.2.3-2)により計算する。

$$I_A = \frac{\sum (E_i I_i + E_i A_i z_i^2)}{E_0} \quad (1.2.3-2)$$

この式において、 E_i 、 I_i 、 A_i 、 E_0 及び z_i は、それぞれ次の数値を表す。

E_i i 番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数

強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては直交層に使用するラミナの曲げヤング係数及び弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては平行層に使用するラミナの曲げヤング係数は「0」とする。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.3-1、目視等級区分によるものは表 1.2.3-2 を参照する。

I_i i 番目の層の断面二次モーメント

A_i i 番目の層の断面積

z_i 直交集成板の中立軸と i 番目の層のラミナの重心との距離

E_0 強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては外層に使用するラミナの曲げヤング係数、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては内層の最も外側に使用するラミナの曲げヤング係数。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.3-1、目視等級区分によるものは表 1.2.3-2 を参照する。

I_0 直交集成板の断面二次モーメント

係数(0.4875) 強度分布の 5%下限値を算出するための直交集成板の積層方向の曲げ強度の変動係数に応じた調整係数(0.75)及びその他の調整係数(0.65)の積

表 1.2.3-1 機械等級区分ラミナの曲げ強度及び曲げヤング係数⁶⁾ (単位: N/mm²)

等級区分機による等級	曲げ強度	曲げヤング係数
M120A又はM120B	42.0	12000
M90A又はM90B	34.5	9000
M60A又はM60B	27.0	6000
M30A又はM30B	19.5	3000

表 1.2.3-2 目視等級区分ラミナの曲げ強度及び曲げヤング係数⁷⁾ (単位: N/mm²)

等級	曲げ強度	曲げヤング係数
樹種群 E1 の一等	45.0	11000
樹種群 E1 の二等	33.0	7000
樹種群 E2 の一等	42.0	10000
樹種群 E2 の二等	30.0	6000
樹種群 E3 の一等	39.0	9000
樹種群 E3 の二等	27.0	5000
樹種群 E4 の一等	36.0	8000
樹種群 E4 の二等	24.0	4000
樹種群 E5 の一等	33.0	7000
樹種群 E5 の二等	21.0	3000

樹種群に属する樹種名は表 1.2.1-2 参照

表 1.2.3-3 に機械等級区分ラミナを用いた Mx60-3-4、Mx60-5-5、Mx60-5-7 の計算例を示す。

6) 表中の曲げ強度は平 13 国交告第 1024 号第三第九号ハの表 1 により、曲げヤング係数は直交集成板の日本農林規格の表 8 及び表 9 による。

7) 表中の曲げ強度は平 13 国交告第 1024 号第三第九号ハの表 2 により、曲げヤング係数は直交集成板の日本農林規格の表 11 による。

表 1.2.3-3 直交集成板の積層方向の曲げ基準強度の計算例

層構成	ラミナ種類	繊維方向	構成ラミナ		等級	プライ		Ei	Zi	EI	EAz ²	(ΣEI+EAz ²)/E ₀	I ₀	I _x /I ₀	ラミナ強度		CLT強度	
						幅	厚さ								σ _{b,oml}	σ _{b,oml} × I _x /I ₀ × 0.4875		
						mm	mm										N/mm ²	N/mm ²
3層 4プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	45	13,500	364,500	126,000	144,000	0.875	27.0	11.51		
			直交層	内層	M30	1000	30	0	15	0	0							
			直交層	内層	M30	1000	30	0	15	0	0							
		平行層	外層	M60	1000	30	6.0	45	13,500	364,500								
		平行層	外層	M60	1000	30	0	45	0	0								
		直交層	内層	M30	1000	30	3.0	15	6,750	20,250								
	弱軸	直交層	内層	M30	1000	30	3.0	15	6,750	20,250								
		平行層	外層	M60	1000	30	0	45	0	0								
		異等級 構成	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	60	13,500	648,000	221,625	281,250	0.788	27.0	10.37
					直交層	内層	M30	1000	30	0	30	0	0					
					平行層	内層	M30	1000	30	3.0	0	6,750	0					
				直交層	内層	M30	1000	30	0	30	0	0						
平行層	外層			M60	1000	30	6.0	60	13,500	648,000								
平行層	外層			M60	1000	30	0	60	0	0								
弱軸	直交層		内層	M30	1000	30	3.0	30	6,750	81,000								
	平行層		内層	M30	1000	30	0	0	0	0								
	直交層		内層	M30	1000	30	3.0	30	6,750	81,000								
	平行層		外層	M60	1000	30	0	60	0	0								
	5層 7プライ		MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	90	13,500	1,458,000	712,125	771,750	0.923	27.0	12.14
					平行層	外層	M60	1000	30	6.0	60	13,500	648,000					
直交層		内層			M30	1000	30	0	30	0	0							
平行層		内層		M30	1000	30	3.0	0	6,750	0								
直交層		内層		M30	1000	30	0	30	0	0								
平行層		外層		M60	1000	30	6.0	60	13,500	648,000								
弱軸		平行層	外層	M60	1000	30	6.0	90	13,500	1,458,000								
		平行層	外層	M60	1000	30	0	90	0	0								
		平行層	外層	M60	1000	30	0	60	0	0								
		直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30	6,750	81,000								
		平行層	内層	M30	1000	30	0	0	0	0								
		直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30	6,750	81,000								

1.2.4 幅方向の曲げ

告示では直交集成板の幅方向の曲げ強度の算出に等価断面法に基づいた式(1.2.4-1)を用いている。幅方向の曲げ強度は、等価断面の面積 A_A と全断面の面積 A_0 の比率 (A_A/A_0) に比例していると考え、基準とした層のラミナの曲げ強度にその比率を乗じて算出する。

$$F_b = \sigma_{b_oml} \frac{A_A}{A_0} \times 0.60 \tag{1.2.4-1}$$

σ_{b_oml} 強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては外層に使用するラミナの曲げ強度、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては内層の最も外側の層に使用するラミナの曲げ強度である。MSR 区分又は機械等級区分によるものは 1.2.3 項の表 1.2.3-1、目視等級区分によるものは 1.2.3 項の表 1.2.3-2 を参照する。

A_A 直交集成板の等価断面の断面積で、式(1.2.4-2)によって計算する。

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_0} \tag{1.2.4-2}$$

この式において、 E_i 、 A_i 及び E_0 は、それぞれ次の数値を表す。

E_i 一方の外層から数えて i 番目の層(以下、単に「 i 番目の層」と記す。)に使用するラミナの曲げヤング係数
 この場合において、強軸方向の基準強度を計算する場合における直交層に使用するラミナの曲げヤング係数及び弱軸方向の基準強度を計算する場合における平行層に使用するラミナの曲げヤング係数は「0」とする。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.3-1、目視等級区分によるものは表 1.2.3-2 を参照する。

A_i i 番目の層の断面積

E_0 強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては外層に使用するラミナの曲げヤング係数、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては内層の最も外側に使用するラミナの曲げヤング係数。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.2.3-1、目視等級区分によるものは表 1.2.3-2 を参照する。

A_0 直交集成板の断面積

1.2.1 項の説明を参照のこと。

係数(0.60) 強度分布の 5%下限値を算出するための直交集成板の幅方向の曲げ強度の変動係数に応じた調整係数(0.75)及びその他の調整係数(0.80)の積

表 1.2.4-1 に機械等級区分ラミナを用いた S60-3-3、S60-5-5、S60-7-7 の計算例を示す。

表 1.2.4-1 直交集成板の幅方向の曲げ基準強度の計算例

層構成	ラミナ種類	繊維方向	構成ラミナ		等級	プライ		E_i	A_i	$E_i A_i$	$\Sigma E_i A_i$	A_A	A_0	A_A/A_0	ラミナ強度		CLT強度	
						幅	厚さ					$\Sigma E_i A_i / E_0$	$= \Sigma A_i$		$\sigma_{b,ent}$	$\sigma_{b,ent} \times A_A / A_0 \times 0.60$		
																	mm ²	mm ²
3層 3プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	360,000	60,000	90,000	0.667	27.0	10.80		
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0								
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0	180,000	30,000	90,000	0.333	27.0	5.40		
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0								
同一等級構成 5層 5プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	540,000	90,000	150,000	0.600	27.0	9.72		
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0								
			平行層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0								
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
			直交層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0								
		弱軸	直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	360,000	60,000	150,000	0.400	27.0	6.48		
			平行層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0								
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
			平行層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0								
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0								
7層 7プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	720,000	120,000	210,000	0.571	27.0	9.25		
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0								
			平行層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0								
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
			直交層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0								
		弱軸	直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	540,000	90,000	210,000	0.429	27.0	6.94		
			平行層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0								
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
			平行層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0								
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000								
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0								

1.2.5 積層方向のせん断の基準強度

積層方向のせん断の基準強度とは、いわゆる直交集成板の面外方向のせん断の基準強度のことである(図 1.2.5-1 参照)。長期に生ずる力に対する許容応力度を計算する場合にあっては、用いることのできる直交集成板の構成が限定され、強軸方向の長期に生ずる力に対する許容応力度を計算する場合にあっては、構成の方法が3層3プライ、3層4プライ、5層5プライ又は5層7プライであるものになり、積層方向でかつ弱軸方向の長期に生ずる力に対する許容応力度を計算する場合にあっては、3層3プライ、3層4プライ、5層5プライ、5層7プライ又は7層7プライであるものに限

られる。

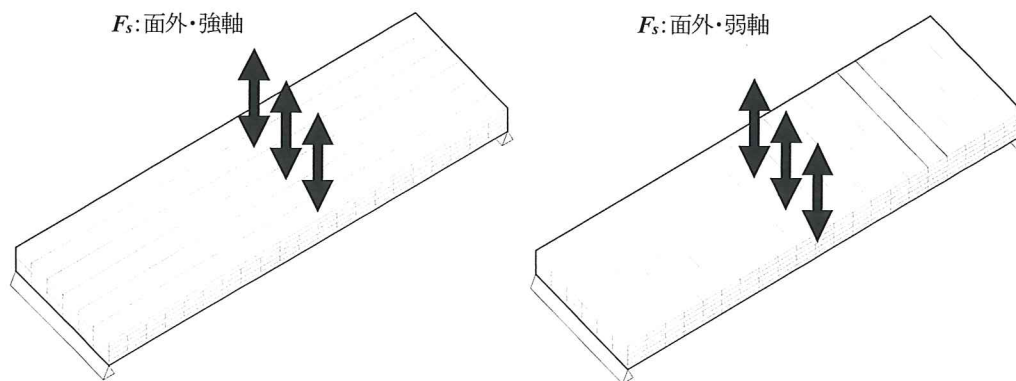


図 1.2.5-1 直交集成板の積層方向

積層方向のせん断破壊としては、①ラミナの横引張強度、②日本農林規格による積層方向のせん断強度が考えられる。①は、文献⁸⁾によると、せん断強度の 1/3 とあり、一方②は、直交集成板の日本農林規格の一部改正案(平成 30 年 4 月 20 日パブリックコメント時点資料)では表 1.2.5-1 の値としているため、告示では、小さい方の①とした。

表 1.2.5-1 横引張強度と積層方向のせん断強度 (単位: N/mm²)

樹種区分	樹種	横引張強度	積層方向のせん断強度
S1	ひのき、ひば、からまつ、あかまつ、くろまつ、べいひ、ダフリカからまつ、サザンパイン、べいまつ、ホワイトサイプレスパイン及びウエスタンラーチ	1.2	2.00
S2	つが、アラスカイエローシダー、ベにまつ、ラジアタパイン及びべいつが	1.1	1.84
S3	もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロジポールパイン、ボンデローサパイン、おうしゅうあかまつ及びジャックパイン	1.0	1.67
S4	すぎ及びべいすぎ	0.9	1.50

構造設計において、面外せん断応力は以下の式で求められる。

$$Q_b = {}_d F_s \cdot A_{eff} \quad (1.2.5-1)$$

ここで、

Q_b : せん断応力
 ${}_d F_s$: 設計用せん断強度
 A_{eff} : 有効せん断面積

$$A_{eff} = \frac{2 \cdot (EI)_{eff}}{E_i \cdot (x_1^2 - x^2) + \sum_{i=2}^{m-1} E_i \cdot (x_i^2 - x_{i-1}^2)} \quad (1.2.5-2)$$

ここで、

x_i : 中立軸から各ラミナの上面までの距離 (図 1.2.5-2)

8) 日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説、P207、2011

- x : 中立軸からせん断力を求める位置までの距離
- m : x から外側のラミナ層数
- $(EI)_{eff}$: CLT パネルの有効曲げ剛性

また A_{eff} は、全断面積 A_{tot} 及びせん断応力度分布係数 β と以下の関係にある。

$$A_{eff} = A_{tot} / \beta \tag{1.2.5-3}$$

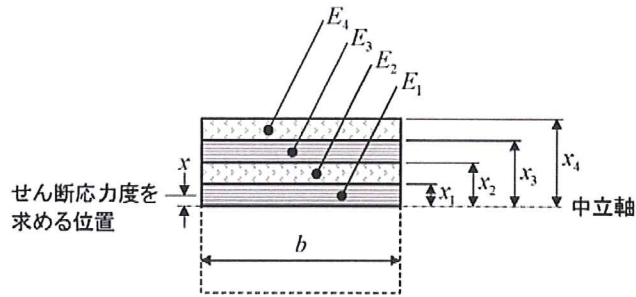


図 1.2.5-2 中立軸からの距離

表 1.2.5-2 に、樹種がスギの場合について、積層方向のせん断の基準強度 F_s と、最外層が強軸と弱軸の場合のせん断応力度分布係数 β を示す。

表 1.2.5-2 面外せん断の基準強度 F_s とせん断応力度分布係数 β (樹種: スギ)

ラミナ区分	強度等級		F_s	β	
			N/mm ²	強軸	弱軸
機械 MSR	Mx60	-3-3	0.9	1.385	4.500
		-3-4	0.9	1.286	3.000
		-5-5	0.9	1.257	2.308
		-5-7	0.9	1.344	3.231
		-7-7※	0.9	1.273	1.804
		-9-9※	0.9	1.256	1.771
	S60	-3-3	0.9	1.385	4.500
		-3-4	0.9	1.286	3.000
		-5-5	0.9	1.288	2.308
		-5-7	0.9	1.359	3.231
		-7-7※	0.9	1.378	1.804
		-9-9※	0.9	1.364	1.771
目視	Mx60	-3-3	0.9	1.385	4.500
		-3-4	0.9	1.286	3.000
		-5-5	0.9	1.252	2.308
		-5-7	0.9	1.342	3.231
		-7-7※	0.9	1.257	1.804
		-9-9※	0.9	1.238	1.771
	S60	-3-3	0.9	1.385	4.500
		-3-4	0.9	1.286	3.000
		-5-5	0.9	1.288	2.308
		-5-7	0.9	1.359	3.231
		-7-7※	0.9	1.378	1.804
		-9-9※	0.9	1.364	1.771

※表の網掛け部分について、7層7プライは強軸方向について、9層9プライは強軸方向と弱軸方向ともについて、積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度は定められていない。

1.2.6 幅方向のせん断の基準強度

直交集成板の幅方向のせん断の基準強度とは、いわゆる直交集成板の面内方向のせん断の基準強度のことである(図 1.2.6-1 参照)。

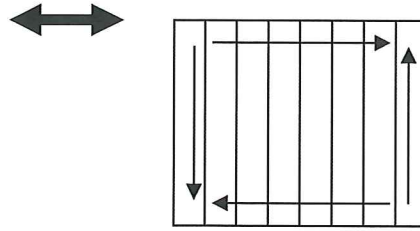


図 1.2.6-1 直交集成板の面内せん断応力度

幅方向のせん断破壊については、図 1.2.6-2 に示す 3 つの破壊モードが考えられる⁹⁾。

- I : 直交集成板が一体となってせん断変形することにより生じるせん断応力度によるせん断破壊
- II : 直交集成板のラミナの幅はぎ位置で、直交するラミナがせん断変形することで生じるせん断応力度によるせん断破壊。この場合、せん断破壊は総層数に占める層数の少ない層で生じる(例:5 層 5 プライの場合は直交層 2 層、3 層 3 プライの場合は内層 1 層)
- III : 2 つの直交するラミナの交差面がずれ変形やねじり変形することで交差面に生じる、せん断力や回転力によるせん断破壊

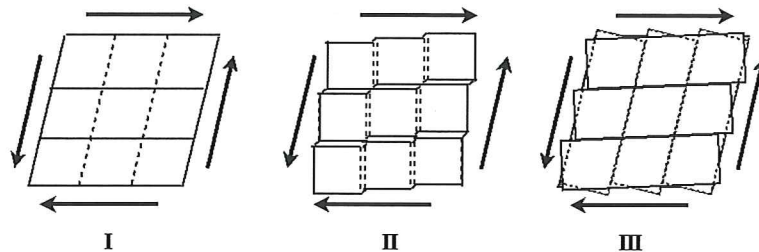


図 1.2.6-2 直交集成板の 3 つの面内せん断破壊モード

上述の 3 つの破壊モードによるせん断応力度は、式(1.2.6-1)で表される。

$$F_S = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{v_lam_0} \\ f_{v_lam_90} \frac{t_{net}}{t_{gross}} \\ \frac{bn_{ca}}{2t_{gross}} \cdot k_{sth} \cdot \frac{1}{\frac{1}{f_{v_tor}} \left(1 - \frac{1}{m^2}\right) + \frac{2}{f_R} \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m^2}\right)} \end{array} \right\} \quad (1.2.6-1)$$

ここで、

- $f_{v_lam_0}$ はラミナの繊維方向のせん断強度 (N/mm²)、
- $f_{v_lam_90}$ はラミナの繊維方向と直交する方向のせん断強度 (N/mm²)、
- f_{v_tor} は接着された直交する 2 つのラミナの交差面のねじりせん断強度 (N/mm²)、
- f_R はローリングシア強度 (N/mm²)、
- n_{ca} は直交集成板の直交接着層の数、
- b はラミナの幅 (mm)、
- t_{net} は直交層の厚さの合計 (mm) (例:5 層 5 プライの場合は直交層 2 層分の厚さ、3 層 3 プライの

9) M.Flaig, H.J.Blaß: Shear strength and shear stiffness of CLT-beams loaded in plane, proceedings of CIB-W18, 46-12-3, pp.1-14, 2013. 8

場合は直交層1層分の厚さ)、
 t_{gross} は直交集成板の厚さ(mm)、
 m は各層のラミナの幅方向の数のうち最小の値、
 k_{5th} は95%下側許容限界値算出係数(3/4)
 である(図 1.2.6-3)。

表 1.2.6-1 ラミナの繊維方向および繊維方向と直交する方向のせん断強度、ねじりせん断強度、ローリングシア強度
(単位 : N/mm²)

樹種区分	樹種	$f_{v_lam_0}$	$f_{v_lam_90}$	f_{v_tor}	f_R
S1	ひのき、ひば、からまつ、あかまつ、くろまつ、べいひ、ダフリカからまつ、サザンパイン、べいまつ、ホワイトサイプレスパイン及びウエスタンラーク	3.6	10.8	4.7	2.0
S2	つが、アラスカイエローシダー、ベいまつ、ラジアタパイン及びべいつが	3.3	9.9	3.0	1.8
S3	もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロッジポールパイン、ポンデローサパイン、おうしゅうあかまつ及びジャックパイン	3.0	9.0	3.0	1.6
S4	すぎ及びべいすぎ	2.7	8.1	3.0	1.5

$f_{v_lam_0}$ 、 $f_{v_lam_90}$ 、 f_{v_tor} 、 f_R について告示では、表 1.2.6-1 の値としている。複数の樹種を使用した直交集成板のせん断の基準強度の算出にあつては、それぞれの樹種に応じた数値のうち最も小さい数値を用いる必要がある。 $f_{v_lam_0}$ については、ラミナの繊維方向のせん断強度の表の値を用いる。 $f_{v_lam_90}$ については、ラミナの繊維方向と直交する方向のせん断強度の表の値を用いる。文献¹⁰⁾より、 $f_{v_lam_0}$ の3~4倍としており、ここでは $f_{v_lam_0}$ の3倍としている。 f_{v_tor} については、カラマツ、トドマツ、スギ CLT を用いた要素試験結果^{11)、12)}より、前掲のねじりせん断強度の数値を定めている。ここで、平13国交告第1024号第3第九号ニに規定する直交集成板の幅方向のせん断の基準強度の算出に用いるねじりせん断強度については、表の数値のほか特別な調査又は研究の結果に基づき直交集成板の材料特性を適切に評価して定めた数値を用いることが可能となっている(技術的助言「特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件の改正について」(国住指第4825号、平成30年12月12日)。例えば既存建築物に用いられる直交集成板が、直交集成板規格に適合するものであつて、すぎ又はとどまつが使用されているものについては、適切な木材の試験方法等を参考に測定した密度の平均が400kg/m³以上の場合にあつては、特別な調査又は研究の結果に基づき直交集成板の材料特性を適切に評価して定めた数値として、ねじりせん断強度の数値を4.0N/mm²とすることができる。木材の密度とねじりせん断強度の関係については文献¹³⁾が参考となる。 f_R については、直交集成板の日本農林規格の一部改正案(平成30年4月20日パブリックコメント時点資料)の値(積層方向のせん断強度)を用いる¹⁴⁾。なお、ラミナ幅 b の寸法が複数混在する場合は、それらのうち最小値を用いるものとする。

10) 青木謙治: 構造用材料としての木材・木質材料の現状と今後の課題、木材学会誌、Vol. 61 No. 3、pp.169-173、2015
 11) 中島昌一、荒木康弘、中島史郎、新藤健太、宮武 敦: CLT 面内せん断強度評価のための接着層ねじり実験、第66回日本木材学会大会発表要旨集、H27-07-1445、2016
 12) 石原 亘、宮崎淳子、高梨隆也、大橋義徳、中島昌一、宮武 敦、新藤健太: 国産針葉樹を用いた CLT 接着層のねじりせん断強度、第69回日本木材学会大会発表要旨集、2019
 13) Shoichi Nakashima, Yasuhiro Araki, Yoshinori Ohashi, Shiro Nakajima, Atsushi Miyatake: Evaluation of In-plane Shear Strength of CLT Panel with Horizontal Loading Shear Test, Proceedings of World Conference on Timber Engineering, MAT-P-21, (電子媒体), 2018
 14) 岡部 実、安村 基、小林研治: スギ CLT パネル層内せん断耐力の推定、木材学会誌、Vol.60、No.3、pp.169-176、2014

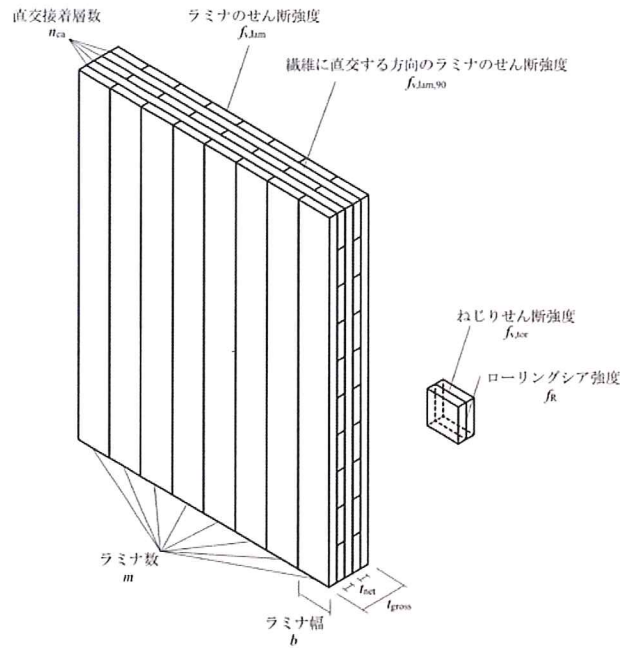


図 1.2.6-3 寸法等の定義

《計算例》

強度等級: Mx60-5-5「スギ(外層:M60A、内層:M30A)」

ラミナの繊維方向のせん断強度($f_{v_lam_0}$): 2.7N/mm²

ラミナの繊維方向と直交する方向のせん断強度($f_{v_lam_90}$): 8.1N/mm²

接着された直交する2つのラミナの交差面のねじりせん断強度(f_{tor}): 3.0N/mm²

ローリングシア強度(f_R): 1.5N/mm²

直交集成板の直交接着層の数(n_{ca}): 4

ラミナの幅 (b): 120mm

直交層の厚さの合計(t_{net}): 60mm

直交集成板の厚さ(t_{gross}): 150mm

各層のラミナの幅方向の数のうち最小の値(m): 8

告示の第1式 (モードI) は 2.7

告示の第2式 (モードII) は $8.1 \times \frac{60}{150} = 3.24$

告示の第3式 (モードIII) は $\frac{3 \times 120 \times 4}{8 \times 150} \cdot \frac{1}{\frac{1}{3} \left(1 - \frac{1}{8^2}\right) + \frac{2}{1.5} \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{8^2}\right)} = \frac{1152}{455} = 2.53$

よって、 $F_S = \min\{2.7, 3.24, 2.53\} = 2.53$ N/mm²

表 1.2.8-2 及び表 1.2.8-3 に、幅方向のせん断の基準強度の計算例を示す。

1.2.7 むりこみの基準強度

むりこみの基準強度は、外層ラミナの樹種区分に応じて、表 1.2.7-1 に示す強度が定められている。

表 1.2.7-1 むり込みの基準強度

樹種	基準強度(単位 1平方メートルにつきニュートン)
あかまつ、くろまつ、ダフリカからまつ、サザンパイン、べいまつ、ホワイトサイプレスパイン及びウエスタンラーチ	9.0
ひのき、ひば、からまつ及びべいひ	7.8
つが、アラスカイエローシダー、ベにまつ、ラジアタパイン、べいつが、もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロジポールパイン、ボンデローサパイン、おうしゅうあかまつ、すぎ、べいすぎ及びジャックパイン	6.0

1.2.8 基準強度一覧

表 1.2.8-1 直交集成板の基準強度 (単位: N/mm²)

ラミナ区分	強度等級	曲げ・積層方向		曲げ・幅方向		圧縮		引張		
		強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	
異等級 機械 MSR 内層: スギ、M30	Mx120	-3-3	19.71	0.36	16.81	3.91	16.80	3.90	12.50	2.88
		-3-4	17.91	1.18	12.60	5.85	12.60	5.85	9.37	4.31
		-5-5	16.09	1.97	11.34	4.68	11.34	4.68	8.43	3.45
		-5-7	18.89	0.72	15.32	3.35	15.32	3.35	11.40	2.47
		-7-7※	13.41	2.74	9.02	5.02	9.02	5.02	6.71	3.70
	-9-9※	11.54	3.18	7.71	5.21	7.71	5.21	5.74	3.84	
	Mx90	-3-3	16.19	0.36	13.81	3.91	13.80	3.90	10.25	2.88
		-3-4	14.71	1.18	10.35	5.85	10.35	5.85	7.68	4.31
		-5-5	13.23	1.97	9.67	4.68	9.66	4.68	7.18	3.45
		-5-7	15.52	0.72	12.83	3.35	12.83	3.35	9.53	2.47
		-7-7※	11.11	2.74	7.89	5.02	7.89	5.02	5.86	3.70
	-9-9※	9.67	3.18	6.91	5.21	6.91	5.21	5.14	3.84	
	Mx60	-3-3	12.67	0.36	10.81	3.91	10.80	3.90	8.00	2.88
		-3-4	11.51	1.18	8.10	5.85	8.10	5.85	6.00	4.31
		-5-5	10.37	1.97	8.10	4.68	8.10	4.68	6.00	3.45
		-5-7	12.14	0.72	10.42	3.35	10.42	3.35	7.72	2.47
		-7-7※	8.87	2.74	6.95	5.02	6.95	5.02	5.15	3.70
	-9-9※	7.87	3.18	6.30	5.21	6.30	5.21	4.67	3.84	
同一等級 機械 MSR	S120	-3-3	19.71	0.77	16.81	8.42	16.80	8.41	12.50	6.26
		-3-4	17.91	2.55	12.60	12.60	12.60	12.60	9.37	9.37
		-5-5	16.21	4.25	15.12	10.08	15.12	10.08	11.25	7.50
		-5-7	18.93	1.55	18.02	7.21	18.02	7.21	13.41	5.36
		-7-7※	14.57	5.91	14.41	10.81	14.41	10.81	10.73	8.04
	-9-9※	13.63	6.85	14.01	11.21	14.01	11.21	10.43	8.34	
	S90	-3-3	16.19	0.63	13.81	6.91	13.80	6.91	10.25	5.13
		-3-4	14.71	2.10	10.35	10.35	10.35	10.35	7.68	7.68
		-5-5	13.32	3.49	12.42	8.28	12.42	8.28	9.22	6.15
		-5-7	15.55	1.27	14.80	5.92	14.80	5.92	10.99	4.40
		-7-7※	11.97	4.86	11.84	8.88	11.84	8.88	8.79	6.60
	-9-9※	11.20	5.63	11.51	9.21	11.51	9.21	8.55	6.84	
	S60	-3-3	12.67	0.50	10.81	5.41	10.80	5.41	8.00	4.00
		-3-4	11.51	1.64	8.10	8.10	8.10	8.10	6.00	6.00
		-5-5	10.42	2.73	9.72	6.48	9.72	6.48	7.20	4.80
		-5-7	12.17	1.00	11.58	4.63	11.58	4.63	8.58	3.43
		-7-7※	9.37	3.80	9.27	6.95	9.27	6.95	6.86	5.15
	-9-9※	8.76	4.40	9.01	7.21	9.01	7.21	6.67	5.34	
	S30	-3-3	9.15	0.36	7.80	3.91	7.80	3.90	5.75	2.88
		-3-4	8.31	1.18	5.85	5.85	5.85	5.85	4.31	4.31
		-5-5	7.52	1.97	7.02	4.68	7.02	4.68	5.17	3.45
		-5-7	8.79	0.72	8.37	3.35	8.37	3.35	6.17	2.47
		-7-7※	6.76	2.74	6.69	5.02	6.69	5.02	4.93	3.70
	-9-9※	6.33	3.18	6.51	5.21	6.51	5.21	4.80	3.84	
異等級 目視 スギ 外層:V1 内層:V2	Mx60	-3-3	15.49	0.38	13.21	4.21	13.20	4.20	10.00	3.13
		-3-4	14.07	1.27	9.90	6.30	9.90	6.30	7.50	4.68
		-5-5	12.67	2.12	9.62	5.04	9.62	5.04	7.29	3.75
		-5-7	14.84	0.77	12.53	3.60	12.53	3.60	9.50	2.68
		-7-7※	10.76	2.95	8.10	5.41	8.10	5.41	6.14	4.02
-9-9※	9.45	3.42	7.25	5.61	7.25	5.61	5.49	4.17		
同一 目視 スギ 外層:V1 内層:V1	S60	-3-3	15.49	0.61	13.21	6.61	13.20	6.61	10.00	5.01
		-3-4	14.07	2.01	9.90	9.90	9.90	9.90	7.50	7.50
		-5-5	12.74	3.34	11.88	7.92	11.88	7.92	9.00	6.00
		-5-7	14.88	1.22	14.16	5.66	14.16	5.66	10.73	4.29
		-7-7※	11.45	4.64	11.33	8.49	11.33	8.49	8.58	6.44
-9-9※	10.71	5.38	11.01	8.81	11.01	8.81	8.34	6.68		
同一 目視 スギ 外層:V2 内層:V2	S30	-3-3	9.85	0.38	8.40	4.21	8.40	4.20	6.25	3.13
		-3-4	8.95	1.27	6.30	6.30	6.30	6.30	4.68	4.68
		-5-5	8.10	2.12	7.56	5.04	7.56	5.04	5.62	3.75
		-5-7	9.46	0.77	9.01	3.60	9.01	3.60	6.70	2.68
		-7-7※	7.28	2.95	7.21	5.41	7.21	5.41	5.36	4.02
-9-9※	6.81	3.42	7.01	5.61	7.01	5.61	5.21	4.17		

※表の網掛け部分について、積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度を計算する場合、用いることのできる直交集成板の構成が限定される(強軸3-3,3-4,5-5,7-7、弱軸3-3,3-4,5-5,7-7)。7層7プライの強軸方向及び9層9プライについては、積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度は定められていない。

表 1.2.8-2 幅方向のせん断の基準強度 (樹種区分 S4,S3)

樹種 区分*	層構成	ラミナ 幅	CLT 厚	CLT 厚	幅方向 枚数	直交接 着層数	モード I	モード II	モード III	Min (I, II, III)	モード
		b(mm)	t _{gross}	t _{net} (mm)	m	n _{ca}	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	-
S4	3-3	120	90	30	6	2	2.7	2.70	1.96	1.96	III
		120	90	30	8	2	2.7	2.70	2.11	2.11	III
		120	90	30	10	2	2.7	2.70	2.22	2.22	III
	3-4	120	120	60	6	2	2.7	4.05	1.47	1.47	III
		120	120	60	8	2	2.7	4.05	1.58	1.58	III
		120	120	60	10	2	2.7	4.05	1.67	1.67	III
	5-5	120	150	60	6	4	2.7	3.24	2.36	2.36	III
		120	150	60	8	4	2.7	3.24	2.53	2.53	III
		120	150	60	10	4	2.7	3.24	2.67	2.67	III
	5-7	120	210	60	6	4	2.7	2.31	1.68	1.68	III
		120	210	60	8	4	2.7	2.31	1.81	1.81	III
		120	210	60	10	4	2.7	2.31	1.90	1.90	III
	7-7**	120	210	90	6	6	2.7	3.47	2.52	2.52	III
		120	210	90	8	6	2.7	3.47	2.71	2.70	I
		120	210	90	10	6	2.7	3.47	2.86	2.70	I
9-9**	120	270	120	6	8	2.7	3.60	2.62	2.62	III	
	120	270	120	8	8	2.7	3.60	2.81	2.70	I	
	120	270	120	10	8	2.7	3.60	2.96	2.70	I	
S3	3-3	120	90	30	6	2	3.0	3.00	2.01	2.01	III
		120	90	30	8	2	3.0	3.00	2.15	2.15	III
		120	90	30	10	2	3.0	3.00	2.26	2.26	III
	3-4	120	120	60	6	2	3.0	4.50	1.51	1.51	III
		120	120	60	8	2	3.0	4.50	1.61	1.61	III
		120	120	60	10	2	3.0	4.50	1.69	1.69	III
	5-5	120	150	60	6	4	3.0	3.60	2.41	2.41	III
		120	150	60	8	4	3.0	3.60	2.58	2.58	III
		120	150	60	10	4	3.0	3.60	2.71	2.71	III
	5-7	120	210	60	6	4	3.0	2.57	1.72	1.72	III
		120	210	60	8	4	3.0	2.57	1.84	1.84	III
		120	210	60	10	4	3.0	2.57	1.94	1.94	III
	7-7**	120	210	90	6	6	3.0	3.86	2.58	2.58	III
		120	210	90	8	6	3.0	3.86	2.77	2.77	III
		120	210	90	10	6	3.0	3.86	2.91	2.91	III
	9-9**	120	270	120	6	8	3.0	4.00	2.68	2.68	III
		120	270	120	8	8	3.0	4.00	2.87	2.87	III
		120	270	120	10	8	3.0	4.00	3.01	3.00	I

*幅方向のせん断強度は直交集成板の強度等級に抛らない。また、複数の樹種を使用した直交集成板については、それぞれの樹種に応じた数値のうち最も小さい数値を用いる。

**表の網掛け部分について、積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度を計算する場合、用いることのできる直交集成板の構成が限定される(強軸 3-3,3-4,5-5,5-7、弱軸 3-3,3-4,5-5,5-7,7-7)。7層7プライの強軸方向及び9層9プライについては、積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度は定められていない。

表 1.2.8-3 幅方向のせん断の基準強度 (樹種区分 S2,S1)

樹種 区分*	層構成	ラミナ 幅	CLT 厚	CLT 厚	幅方向 枚数	直交接 着層数	モード I	モード II	モード III	Min (I, II, III)	モード
		b(mm)	t _{gross}	t _{net} (mm)	m	n _{ca}	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	-
S2	3-3	120	90	30	6	2	3.3	3.30	2.09	2.09	III
		120	90	30	8	2	3.3	3.30	2.22	2.22	III
		120	90	30	10	2	3.3	3.30	2.33	2.33	III
	3-4	120	120	60	6	2	3.3	4.95	1.57	1.57	III
		120	120	60	8	2	3.3	4.95	1.67	1.67	III
		120	120	60	10	2	3.3	4.95	1.74	1.74	III
	5-5	120	150	60	6	4	3.3	3.96	2.51	2.51	III
		120	150	60	8	4	3.3	3.96	2.67	2.67	III
		120	150	60	10	4	3.3	3.96	2.79	2.79	III
	5-7	120	210	60	6	4	3.3	2.83	1.79	1.79	III
		120	210	60	8	4	3.3	2.83	1.91	1.91	III
		120	210	60	10	4	3.3	2.83	1.99	1.99	III
	7-7**	120	210	90	6	6	3.3	4.24	2.69	2.69	III
		120	210	90	8	6	3.3	4.24	2.86	2.86	III
		120	210	90	10	6	3.3	4.24	2.99	2.99	III
9-9**	120	270	120	6	8	3.3	4.40	2.79	2.79	III	
	120	270	120	8	8	3.3	4.40	2.97	2.97	III	
	120	270	120	10	8	3.3	4.40	3.10	3.10	III	
S1	3-3	120	90	30	6	2	3.6	3.60	2.89	2.89	III
		120	90	30	8	2	3.6	3.60	3.14	3.14	III
		120	90	30	10	2	3.6	3.60	3.33	3.33	III
	3-4	120	120	60	6	2	3.6	5.40	2.17	2.17	III
		120	120	60	8	2	3.6	5.40	2.35	2.35	III
		120	120	60	10	2	3.6	5.40	2.49	2.49	III
	5-5	120	150	60	6	4	3.6	4.32	3.47	3.47	III
		120	150	60	8	4	3.6	4.32	3.76	3.60	I
		120	150	60	10	4	3.6	4.32	3.99	3.60	I
	5-7	120	210	60	6	4	3.6	3.09	2.48	2.48	III
		120	210	60	8	4	3.6	3.09	2.69	2.69	III
		120	210	60	10	4	3.6	3.09	2.85	2.85	III
	7-7**	120	210	90	6	6	3.6	4.63	3.72	3.60	I
		120	210	90	8	6	3.6	4.63	4.03	3.60	I
		120	210	90	10	6	3.6	4.63	4.28	3.60	I
9-9**	120	270	120	6	8	3.6	4.80	3.86	3.60	I	
	120	270	120	8	8	3.6	4.80	4.18	3.60	I	
	120	270	120	10	8	3.6	4.80	4.44	3.60	I	

*幅方向のせん断強度は直交集成板の強度等級に拠らない。また、複数の樹種を使用した直交集成板については、それぞれの樹種に応じた数値のうち最も小さい数値を用いる。

**表の網掛け部分について、積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度を計算する場合、用いることのできる直交集成板の構成が限定される(強軸 3-3,3-4,5-5,5-7、弱軸 3-3,3-4,5-5,7,7-7)。7層7プライの強軸方向及び9層9プライについては、積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度は定められていない。

1.3 弾性係数

1.3.1 圧縮

直交集成板の圧縮の弾性係数 E_c は、等価断面法の考え方に基づいてラミナの圧縮弾性係数から精度よく推定できることが明らかとなっており式(1.3.1-1)を用いる。圧縮の弾性係数は、等価断面法で得た断面の断面積 A_A と全断面の断面積 A_0 の比率(A_A/A_0)に比例していると考え、基準とした層のラミナの圧縮弾性係数の平均値 E_{c_oml} にその比を乗じて算出する。等価断面法に関する詳細は 1.2.1 項を参照のこと。

$$E_c = E_{c_oml} \times \frac{A_A}{A_0} \quad (1.3.1-1)$$

E_{c_oml} 強軸方向の圧縮弾性係数を計算する場合にあつては外層に用いられるラミナの圧縮弾性係数、弱軸方向の圧縮弾性係数を計算する場合にあつては内層の最も外側の層に使用するラミナの圧縮弾性係数になる。日本農林規格ではラミナの品質を区分する方法には、MSR 区分又は機械等級区分によるもの(等級区分機による等級)と目視等級区分によるものがある。それぞれに対応した圧縮弾性係数を選択する。等級区分機によるものは表 1.3.1-1、目視等級区分によるものは表 1.3.1-2 から選択する。

A_A 直交集成板の等価断面の断面積で、式(1.3.1-2)によって計算する。

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_0} \quad (1.3.1-2)$$

この式において、 E_i 、 A_i 、及び E_0 は、それぞれ次の数値を表す。

E_i 各層のラミナの圧縮弾性係数

ラミナの圧縮弾性係数は曲げヤング係数と同じとみなし、日本農林規格に規定されるラミナの品質基準の曲げヤング係数を用いる。等級区分機によるものは表 1.3.1-1、目視等級区分によるものは表 1.3.1-2 から選択する。なお、荷重方向に直交する層の圧縮弾性係数は「0」とみなす。

A_i 各層の断面積

i 番目の層の断面積は、部材断面の幅(B)と各層の厚さ(h_i)の積である。

E_0 基準とする層の弾性係数

強軸方向の圧縮弾性係数を計算する場合にあつては外層に使用するラミナ等級に応じた圧縮弾性係数、弱軸方向の圧縮弾性係数を計算する場合にあつては内層の最も外側に使用するラミナ等級の圧縮弾性係数を選択する。等級区分機によるものは表 1.3.1-1、目視等級区分によるものは表 1.3.1-2 から選択する。

A_0 直交集成板の断面積

1.2.1 項の説明を参照のこと。

木造建築物の構造計算における製材などの木材の弾性係数は、弾性係数分布の 50%下側許容限界値(以下、「50%下限値」と記す。)が用いられており、直交集成板についても同様に 50%下限値を基準弾性係数として設定する。5%下限値が必要な場合は、これに直交集成板の圧縮弾性係数の変動係数に応じた調整係数(0.75)を乗じて求める。

表 1.3.1-1 機械等級区分ラミナの圧縮弾性係数¹⁵⁾ (単位 : N/mm²)

等級区分機による等級	圧縮弾性係数
M120A若しくはM120B	12000
M90A若しくはM90B	9000
M60A若しくはM60B	6000
M30A若しくはM30B	3000

表 1.3.1-2 目視等級区分ラミナの圧縮弾性係数¹⁶⁾ (単位 : N/mm²)

等級	一等	二等
樹種群 E1	11000	7000
樹種群 E2	10000	6000
樹種群 E3	9000	5000
樹種群 E4	8000	4000
樹種群 E5	7000	3000

樹種群に属する樹種名は表 1.2.1-2 参照

表 1.3.1-3 に機械等級区分ラミナを用いた Mx60-3-3、Mx60-5-5、Mx60-7-7 の計算例を示す。

15) 直交集成板の日本農林規格の表 8 及び表 9 による。

16) 直交集成板の日本農林規格の表 11 による。

表 1.3.1-3 直交集成板の圧縮弾性係数の計算例

層構成	ラミナ種類	繊維方向	構成ラミナ		等級	プライ		E _i kN/mm ²	A _i mm ²	E _i A _i kN	Σ E _i A _i kN	A _A		A _A /A ₀	CLT弾性係数 E ₀ × A _A /A ₀ kN/mm ²
						幅	厚さ					Σ E _i A _i /E ₀ mm ²	= Σ A _i mm ²		
						mm	mm								
3層 3プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	360,000	60,000	90,000	0.667	4.00
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0	90,000	30,000	90,000	0.334	1.00
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0					
異等級構成 5層 5プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	450,000	75,000	150,000	0.500	3.00
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0	180,000	60,000	150,000	0.400	1.20
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
			平行層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
7層 7プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	540,000	90,000	210,000	0.429	2.57
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0	270,000	90,000	210,000	0.429	1.28
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
			平行層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
			平行層	内層	M30	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30,000	90,000					
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0					

1.3.2 引張

直交集成板の引張の弾性係数 E_t は、等価断面法の考え方に基いてラミナの引張弾性係数から精度よく推定できることが明らかとなっており式(1.3.2-1)を用いる。等価断面法に関する詳細は 1.2.1 項を参照されたい。

$$E_t = E_{t_oml} \times \frac{A_A}{A_0} \quad (1.3.2-1)$$

E_{t_oml} 強軸方向の引張弾性係数を計算する場合にあっては外層に用いられるラミナの引張弾性係数、弱軸方向の引張弾性係数を計算する場合にあっては内層の最も外側の層に使用するラミナの引張弾性係数になる。等級区分機によるものは表 1.3.1-1、目視等級区分によるものは表 1.3.1-2 を参照する。

A_A 等価断面の断面積

直交集成板の等価断面の断面積で、式(1.3.2-2)によって計算する。

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_0} \quad (1.3.2-2)$$

この式において、 E_i 、 A_i 、及び E_0 は、それぞれ次の数値を表す。

E_i 各層のラミナの引張弾性係数

ラミナの引張弾性係数は曲げヤング係数と同じとみなし、日本農林規格に規定されるラミナの品質基準の曲げヤング係数を用いる。等級区分機によるものは表 1.3.2-1、目視等級区分によるものは表 1.3.2-2 から選択する。なお、荷重方向に直交する層の引張弾性係数は「0」とみなす。

A_i 各層の断面積

i 番目の層の断面積は、部材断面の幅(B)と各層の厚さ(h_i)の積である。

E_0 基準とする層の引張弾性係数

強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては外層に使用するラミナ等級に応じた引張弾性係数、弱軸方向の引張弾性係数を計算する場合にあっては内層の最も外側に使用するラミナ等級の引張弾性係数を選択する。等級区分機によるものは表 1.3.2-1、目視等級区分によるものは表 1.3.2-2 から選択する。

A_0 直交集成板の断面積

1.3.1 項の説明を参照のこと。

5%下限値が必要な場合は、これに直交集成板の引張弾性係数の変動係数に応じた調整係数(0.75)を乗じて求める。

表 1.3.2-1 機械等級区分ラミナの引張弾性係数¹⁷⁾ (単位: N/mm²)

等級区分機による等級	引張弾性係数
M120A若しくはM120B	12000
M90A若しくはM90B	9000
M60A若しくはM60B	6000
M30A若しくはM30B	3000

表 1.3.2-2 目視等級区分ラミナの引張弾性係数¹⁸⁾ (単位: N/mm²)

等級	一等	二等
樹種群 E1	11000	7000
樹種群 E2	10000	6000
樹種群 E3	9000	5000
樹種群 E4	8000	4000
樹種群 E5	7000	3000

樹種群に属する樹種名は表 1.2.1-2 参照

表 1.3.2-3 に目視等級区分ラミナを用いた S60-3-3、S60-5-5、S60-7-7 の計算例を示す。

17) 直交集成板の日本農林規格の表 8 及び表 9 による。

18) 直交集成板の日本農林規格の表 11 による。

表 1.3.2-3 直交集成板の引張弾性係数の計算例

層構成	ラミナ種類	繊維方向	構成ラミナ		等級※	プライ		Ei	Ai	EiAi	ΣEiAi	A _A	A ₀	A _A /A ₀	CLT弾性係数
						幅	厚さ					ΣEiAi/E ₀	= Σ Ai		E ₀ × A _A /A ₀
						mm	mm					kN/mm ²	mm ²		kN
3層 3プライ	目視	強軸	平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000	420,000	60,000	90,000	0.667	4.66
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
		弱軸	平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0	210,000	30,000	90,000	0.333	2.33
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
			平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0					
5層 5プライ	目視	強軸	平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000	630,000	90,000	150,000	0.600	4.20
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
		弱軸	平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0	420,000	60,000	150,000	0.400	2.80
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
			平行層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
			平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0					
7層 7プライ	目視	強軸	平行層	外層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000	840,000	120,000	210,000	0.571	4.00
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
			直交層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0					
		弱軸	平行層	外層	V1	1000	30	0	30,000	0	630,000	90,000	210,000	0.429	3.00
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
			平行層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					
			平行層	内層	V1	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	V1	1000	30	7.0	30,000	210,000					

※ V1:直交集成板の日本農林規格に規定する目視区分ラミナのうち樹種群E5の1等のこと

1.3.3 積層方向の曲げ

直交集成板の積層方向の曲げヤング係数 E_b の算出には、等価断面法に基づいた式(1.3.3-1)が用いられる。積層方向の曲げヤング係数は等価断面の断面二次モーメント I_A と全断面の断面二次モーメント I_0 の比率(I_A/I_0)に比例していると考えて、基準とした層のラミナの曲げヤング係数 E_{b_oml} にその比率を乗じて算出する。

$$E_b = E_{b_oml} \times \frac{I_A}{I_0} \quad (1.3.3-1)$$

E_{b_oml} 強軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては外層に用いられるラミナの曲げヤング係数、弱軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては内層の最も外側の層に使用するラミナの曲げヤング係数になる。等級区分機によるものは表 1.3.3-1、目視等級区分によるものは表 1.3.3-2 を参照する。

I_A 直交集成板の等価断面の断面二次モーメント、式(1.3.3-2)により計算する。

$$I_A = \frac{\sum (E_i I_i + E_i A_i z_i^2)}{E_0} \quad (1.3.3-2)$$

この式において、 E_i 、 I_i 、 A_i 、 E_0 及び z_i は、それぞれ次の数値を表す。

E_i i 番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数

強軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては直交層に使用するラミナの曲げヤング係数及び弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては平行層に使用するラミナの曲げヤング係数は「0」とする。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.3.3-1、目視等級区分によるものは表 1.3.3-2 を参照する。

I_i i 番目の層の断面二次モーメント

A_i i 番目の層の断面積

z_i 直交集成板の中立軸と i 番目の層のラミナの重心との距離

E_0 強軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては外層に使用するラミナの曲げヤング係数、弱軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては内層の最も外側に使用するラミナの曲げヤング係数。MSR 区分又は機械等級区分によるものは表 1.3.3-1、目視等級区分によるものは表 1.3.3-2 を参照する。

I_0 直交集成板の断面二次モーメント

5%下限値が必要な場合は、これに直交集成板の曲げヤング係数の変動係数に応じた調整係数(0.75)を乗じて求める。

表 1.3.3-1 機械等級区分ラミナの曲げヤング係数¹⁹⁾ (単位: N/mm²)

等級区分機による等級	曲げヤング係数
M120A若しくはM120B	12000
M90A若しくはM90B	9000
M60A若しくはM60B	6000
M30A若しくはM30B	3000

表 1.3.3-2 目視等級区分ラミナの曲げヤング係数²⁰⁾ (単位: N/mm²)

等級	一等	二等
樹種群 E1	11000	7000
樹種群 E2	10000	6000
樹種群 E3	9000	5000
樹種群 E4	8000	4000
樹種群 E5	7000	3000

樹種群に属する樹種名は表 1.2.1-2 参照

表 1.3.3-3 に機械等級区分ラミナを用いた Mx60-3-4、Mx60-5-5、Mx60-5-7 の計算例を示す。

19) 直交集成板の日本農林規格の表 8 及び表 9 による。

20) 直交集成板の日本農林規格の表 11 による。

表 1.3.3-3 直交集成板の積層方向の曲げヤング係数の計算例

層構成	ラミナ種類	繊維方向	構成ラミナ		等級	プライ		Ei	Zi	EI	EAz ²	(ΣEi+EAz ²)/E ₀	I ₀	I _x /I ₀	CLT弾性係数 E ₀ × I _x /I ₀ kN/mm ²	
						幅	厚さ									
						mm	mm									
3層 4プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	45	13,500	364,500	126,000	144,000	0.875	5.25	
			直交層	内層	M30	1000	30	0	15	0	0					
			直交層	内層	M30	1000	30	0	15	0	0					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	45	13,500	364,500					
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	45	0	0	0	18,000	144,000	0.125	0.37
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	15	6,750	20,250					
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	15	6,750	20,250					
			平行層	外層	M60	1000	30	0	45	0	0					
異等級 構成	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	60	13,500	648,000	221,625	281,250	0.788	4.72	
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30	0	0					
			平行層	内層	M30	1000	30	3.0	0	6,750	0					
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30	0	0					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	60	13,500	648,000					
			直交層	外層	M60	1000	30	0	60	0	0					
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	60	0	0	0	58,500	281,250	0.208	0.62
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30	6,750	81,000					
			平行層	内層	M30	1000	30	0	0	0	0					
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30	6,750	81,000					
			平行層	外層	M60	1000	30	0	60	0	0					
			直交層	外層	M60	1000	30	0	60	0	0					
5層 7プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	90	13,500	1,458,000	712,125	771,750	0.923	5.53	
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	60	13,500	648,000					
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30	0	0					
			平行層	内層	M30	1000	30	3.0	0	6,750	0					
			直交層	内層	M30	1000	30	0	30	0	0					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	60	13,500	648,000					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	90	13,500	1,458,000					
			直交層	外層	M60	1000	30	0	90	0	0					
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	60	0	0	0	58,500	771,750	0.076	0.22
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30	6,750	81,000					
			平行層	内層	M30	1000	30	0	0	0	0					
			直交層	内層	M30	1000	30	3.0	30	6,750	81,000					
			平行層	外層	M60	1000	30	0	60	0	0					
			直交層	外層	M60	1000	30	0	90	0	0					

1.3.4 幅方向の曲げ

直交集成板の幅方向の曲げヤング係数 E_b は、等価断面法の考え方に基づいてラミナの曲げヤング係数から推定することとし式(1.3.4-1)を用いる。等価断面法に関する詳細は 1.2.1 項を参照のこと。

$$E_b = E_{b_oml} \times \frac{A_A}{A_0} \quad (1.3.4-1)$$

E_{b_oml} 強軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては外層に用いられるラミナの曲げヤング係数、弱軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては内層の最も外側の層に使用するラミナの曲げヤング係数になる。等級区分機によるものは表 1.3.3-1、目視等級区分によるものは表 1.3.3-2 を参照する。

A_A 等価断面の断面積

直交集成板の等価断面の断面積で、式(1.3.4-2)によって計算する。

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_0} \quad (1.3.4-2)$$

この式において、 E_i 、 A_i 、及び E_0 は、それぞれ次の数値を表す。

E_i 各層のラミナの曲げヤング係数

日本農林規格に規定されるラミナの品質基準の曲げヤング係数を用いる。等級区分機によるものは表 1.3.3-1、目視等級区分によるものは表 1.3.3-2 から選択する。なお、荷重方向に直交する層の曲げヤング係数は「0」とみなす。

A_i 各層の断面積

i 番目の層の断面積は、部材断面の幅(B)と各層の厚さ(h_i)の積である。

E_0 基準とする層の曲げヤング係数

強軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては外層に使用するラミナ等級に応じた曲げヤング係数、弱軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては内層の最も外側に使用するラミナ等級の曲げヤング係数を選択する。等級区分機によるものは表 1.3.3-1、目視等級区分によるものは表 1.3.3-2 から選択する。

A_0 直交集成板の断面積

1.3.1 項の説明を参照のこと。

5%下限値が必要な場合は、これに直交集成板の曲げヤング係数の変動係数に応じた調整係数(0.75)を乗じて求める。

表 1.3.4-1 に機械等級区分ラミナを用いた Mx60-3-3、Mx60-5-5、Mx60-7-7 の計算例を示す。

表 1.3.4-1 直交集成板の幅方向の曲げヤング係数の計算例

層構成	ラミナ種類	繊維方向	構成ラミナ		等級	プライ		E_i	A_i	$E_i A_i$	$\Sigma E_i A_i$	A_A	A_0	A_A/A_0	CLT弾性係数
						幅	厚さ					$\Sigma E_i A_i/E_0$	$= \Sigma A_i$		$E_0 \times A_A/A_0$
						mm	mm					mm ²	mm ²		mm ²
3層 3プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	360,000	60,000	90,000	0.667	4.00
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0	180,000	30,000	90,000	0.333	2.00
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0					
5層 5プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	540,000	90,000	150,000	0.600	3.60
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0	360,000	60,000	150,000	0.400	2.40
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			平行層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0					
7層 7プライ	MSR 機械	強軸	平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000	720,000	120,000	210,000	0.571	3.42
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			直交層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			平行層	外層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
		弱軸	平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0	540,000	90,000	210,000	0.429	2.57
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			平行層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			平行層	内層	M60	1000	30	0	30,000	0					
			直交層	内層	M60	1000	30	6.0	30,000	180,000					
			平行層	外層	M60	1000	30	0	30,000	0					

1.3.5 積層方向のせん断弾性係数

積層方向のせん断弾性係数は、CLTHandBook²¹⁾によると重ね梁の計算式 (Kreuzinger, Timber Engineering, 1995) で計算することができる(図 1.3.5-1)。

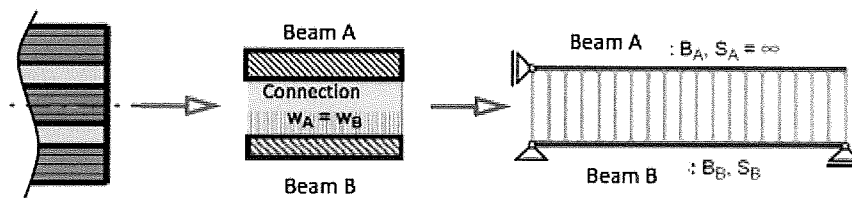


図 1.3.5-1 2つの仮想梁モデル²²⁾

まず、梁 A 及び梁 B のせん断剛性 S_A 、 S_B は以下のように表される。

$$S_A = \infty \quad (1.3.5-1)$$

$$S_B = \frac{a^2}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{k_i} + \frac{h_1}{2G_1 b_1} + \sum_{i=2}^{n-2} \frac{h_i}{G_i b_i} + \frac{h_n}{2G_n b_n}} \quad (1.3.5-2)$$

ここで、
 G_i : せん断弾性係数
 k_i : 接合部のすべり係数、 $k_i = K_i/s_i$
 K_i : 接合部の剛性 (CLT では接着層)
 s_i : 接合部の長さ (CLT では接着層 $s_i = 0$)
 a : 最外にある平行層の中心間距離

式(1.3.5-1)、式(1.3.5-2)から、CLT の曲げ剛性とせん断剛性は次の式で表される。

$$(GA)_{eff} = \frac{a^2}{\frac{h_1}{2G_1 b_1} + \sum_{i=2}^{n-2} \frac{h_i}{G_i b_i} + \frac{h_n}{2G_n b_n}} \quad (1.3.5-3)$$

G_i はラミナの方角によって決められる。繊維に平行する方向のヤング係数 E_0 を用いて、せん断弾性係数 G_0 、繊維に直交する方向のせん断弾性係数 G_{90} を次のように表す。式(1.3.5-3)の E_i 、 G_i には、例えば 5 層 5 プライや 7 層 7 プライの外層が強軸方向の CLT では、 i が奇数のときには G_0 を、 i が偶数のときには G_{90} の値を用いる。

$$E_{90} = \frac{E_0}{e_1}, \quad G_0 = \frac{E_0}{e_2}, \quad G_{90} = \frac{G_0}{e_3} \quad (1.3.5-4)$$

ここで、 e_1 、 e_2 、 e_3 : 係数

CLT Handbook⁷⁾ では、 e_1 、 e_2 、 e_3 として、それぞれ、30、16、10 が提案されている。

式(1.3.5-3)を用いて計算した CLT のせん断弾性係数を表 1.3.8-2 に示す。なお、式(1.3.5-4)の e_2 、 e_3 は 16、10 を用いている。

21) CLTHandBook, FPInnovations

22) Maria Guggenberger: Comparative view on the computational and design procedures of CLT elements loaded in bending in accordance to Canadian and European standards and design guidelines, Master Thesis, GraZ University of Technology, 2012

1.3.6 幅方向のせん断弾性係数

幅はぎ接着されていない CLT パネルでは、あるラミナにせん断力が加わった場合に、そのラミナと直交するラミナは接着され、かつ直交するラミナも幅方向に幅はぎが無いという複雑な状況であるため、実験から導かれた値を用いる方法が考えられる。

既往の研究において、CLT パネルのせん断剛性は強度等級、層構成や樹種に関係なく、全断面に対し $350\text{N/mm}^2 \sim 800\text{N/mm}^2$ であった²³⁾²⁴⁾²⁵⁾。そこで、本マニュアルでは、幅方向のせん断弾性係数は全て全断面に対し 500N/mm^2 とした。表 1.3.8-1 に、幅方向のせん断弾性係数を示す。また、実験により求めた適当なせん断弾性係数を用いることもできる。

幅はぎ接着が無い場合、本マニュアルでは、幅方向のせん断応力度分布係数は全て 1.0 とした。

23) Shoichi Nakashima, Yasuhiro Araki, Yoshinori Ohashi, Shiro Nakajima, Atsushi Miyatake: Evaluation of In-plane Shear Strength of CLT Panel with Horizontal Loading Test, Proceedings of World Conference on Timber Engineering, MAT-P-21, 2018

24) 中島昌一、荒木康弘、大橋義徳、中島史郎、宮武 敦: 実大水平載荷実験による CLT の幅方向のせん断強度の評価、日本建築学会構造系論文集、第 84 巻、第 760 号、2019

25) 荒木康弘、中島昌一、岡本滋史、小谷竜城: 9 層 9 プライヒノキ CLT の面内 せん断性能に関する実験的研究、日本建築学会技術報告集、25 巻 59 号、pp.141-145, 2019

1.3.7 たわみ計算

製材、集成材の日本農林規格に基づいて製品に表示される曲げヤング係数は、それぞれの規格に定める標準的な試験方法において測定された数値に基づくものである。しかしながら、実際の構造設計における荷重条件等は材料の標準的な試験条件と異なる場合がほとんどであり、荷重条件によっては製品に表示された曲げヤング係数を用いたのでは危険側の設計になることが知られている。これは、木材のせん断弾性係数が木材の繊維方向の弾性係数に比較してかなり小さいことに起因する。

日本建築学会の木質構造設計基準・同解説では、標準的な4点曲げ試験で得た曲げヤング係数と荷重条件が異なった際に測定されるみかけの曲げヤング係数 E_{app} の関係式(1.3.7-1)を示している。

$$E_{app} = E_b \frac{1 + \frac{2.4h_0^2\alpha}{3L_0^2 - 4a_0^2}}{1 + \frac{2.4h^2\alpha}{3L^2 - 4a^2}} \quad (1.3.7-1)$$

E_b 標準試験で得られた曲げヤング係数

α せん断弾性係数に対する真の曲げヤング係数の比率

h_0, L_0, a_0 標準試験における梁せい、支点間距離、支点と荷重点の距離

h, L, a 設計条件における梁せい、支点間距離、支点と荷重点の距離

せん断弾性係数に対する真の曲げヤング係数の比率について、ここで通常の製材や集成材に対しては $\alpha = 15$ が推奨されている。直交集成板の断面内には、せん断弾性係数が極めて低い木口面が荷重伝達方向に含まれており、 α はさらに大きくなることが報告されている²⁶⁾。

上式(1.3.7-1)を用いて直交集成板の日本農林規格に定める製品の曲げヤング試験条件における α の影響を試算して表 1.3.7-1 に示す。

表 1.3.7-1 せん断弾性係数に対する曲げヤング係数の比率 α がみかけの曲げヤング係数に与える影響

α	1	15	24	50
E_{app}	6192	6000	5891	5596
G		413	258	124

単位 : N/mm²

試験条件は $h_0=h, L_0=L, a_0=a$ として、 $\alpha = 1, 15, 24, 50$ と変化させ、 E_{app} を求めた。ここでは $\alpha = 15$ の時日本農林規格に定める標準試験条件で測定された曲げヤング係数 E_b を 6000N/mm² とした。 $\alpha = 1$ の時の E_{app} は真の曲げヤング係数を示す。表 1.3.7-1 から α が大きくなると、みかけの曲げヤング係数は小さくなり、 $\alpha = 50$ では7%程度低下することがわかる。直交集成板の日本農林規格に定める製品の曲げヤング係数の基準値は、 α が 50 を超えることも想定し、1.3.3 項で求める積層方向の曲げヤング係数に 0.90 を乗じて求めた数値となっている。

以上は、材料試験で用いられる4点曲げ方式の荷重条件に関するものであるが、床パネルのたわみを計算する際にも1.3.3 項で算出される積層方向の曲げヤング係数だけでなく、1.3.5 項で算出される積層方向のせん断弾性係数についても考慮する必要があることがわかる。そこで、実際の設計におけるせん断弾性係数の寄与率について、等分布荷重が載荷された場合に単純化して考察する。

ここで等分布荷重 q N/mm が載荷された床パネルに生じるたわみ u_{max} は曲げモーメントにより生じるたわみ u_b とせん断力により生じるたわみ u_s の和であり、式(1.3.7-2)から計算される。

26) 井道裕史ほか4名：“クロス・ラミネイテッド・ティンバー(CLT)の製造と性能評価 その6 弾性係数と縦引張り強度性能”、第63回日本木材学会大会(盛岡)D29-08-1100

$$u_{max} = u_b + u_s = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} + \frac{1}{8} \frac{\kappa qL^2}{GA} \quad (1.3.7-2)$$

ここに、 L はスパン、 E は直交集成板の真の曲げヤング係数、 I は CLT パネルの実断面の断面二次モーメント、 κ はせん断応力分布定数(ここでは 1.2)、 G はせん断弾性係数、 A は CLT パネルの断面積

ここで、 EI は式(1.3.7-3)、 GA は 1.3.5 項の式(1.3.5-3) で算出する。

$$EI = \Sigma(E_i I_i + E_i A_i z_i^2) \quad (1.3.7-3)$$

ここで、みかけの曲げヤング係数を E_{app} とすると、床パネルのたわみは式(1.3.7-4) で表される。

$$E_{app} = \frac{E}{1 + \frac{4\kappa h}{5} \alpha \left(\frac{h}{L}\right)^2} \quad (1.3.7-4)$$

ここで、 h/L が 1/64、1/32、1/16、1/8 の4つの場合について、 α と E_{app}/E の関係を図 1.3.7-1 に示す。 α は、直交集成板の層構成や強度等級、荷重の伝達方向(強軸、弱軸)などにより様々に変動する。計算により求めた α は強軸では 65～297、弱軸では 2～33 の範囲にあるのでその範囲とした。

日本農林規格で行う直交集成板の曲げ試験条件では、 $h/L=1/21$ である。これよりも h/L が大きい場合、すなわちスパンが短い場合は特にせん断によるたわみを十分考慮し、式(1.3.7-4)を用いて設計する必要がある。

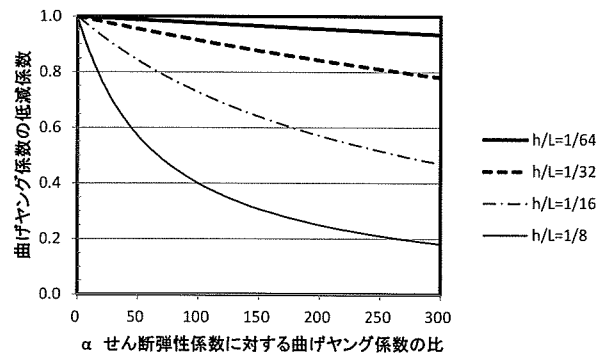


図 1.3.7-1 せん断弾性係数に対する曲げヤング係数の比率 α と曲げヤング係数の低減係数の関係

1.3.8 弾性係数一覧

表 1.3.8-1 直交集成板の曲げヤング係数、弾性係数 (単位: kN/mm²)

ラミナ区分	強度等級	曲げ・積層方向				曲げ・幅方向			圧縮の弾性係数 引張の弾性係数		
		強軸		弱軸		曲げヤング係数		せん断弾性 係数	強軸	弱軸	
		曲げヤング 係数	せん断弾性 係数	曲げヤング 係数	せん断弾性 係数	強軸	弱軸				
異等級 機械 MSR 内層: スギ、M30	Mx120	-3-3	11.55	0.024	0.11	0.062	8.00	1.00	0.50	8.00	1.00
		-3-4	10.50	0.020	0.37	0.093	6.00	1.50	0.50	6.00	1.50
		-5-5	9.43	0.028	0.62	0.012	5.40	1.20	0.50	5.40	1.20
		-5-7	11.07	0.030	0.22	0.008	7.29	0.85	0.50	7.29	0.85
		-7-7※	7.86	0.029	0.86	0.018	4.29	1.28	0.50	4.29	1.28
	-9-9※	6.76	0.030	1.00	0.022	3.67	1.33	0.50	3.67	1.33	
	Mx90	-3-3	8.66	0.024	0.11	0.062	6.00	1.00	0.50	6.00	1.00
		-3-4	7.87	0.020	0.37	0.093	4.50	1.50	0.50	4.50	1.50
		-5-5	7.08	0.028	0.62	0.012	4.20	1.20	0.50	4.20	1.20
		-5-7	8.30	0.030	0.22	0.008	5.58	0.85	0.50	5.58	0.85
		-7-7※	5.94	0.029	0.86	0.018	3.42	1.28	0.50	3.42	1.28
	-9-9※	5.17	0.030	1.00	0.022	3.00	1.33	0.50	3.00	1.33	
Mx60	-3-3	5.77	0.023	0.11	0.062	4.00	1.00	0.50	4.00	1.00	
	-3-4	5.25	0.020	0.37	0.093	3.00	1.50	0.50	3.00	1.50	
	-5-5	4.72	0.027	0.62	0.012	3.00	1.20	0.50	3.00	1.20	
	-5-7	5.53	0.029	0.22	0.008	3.85	0.85	0.50	3.85	0.85	
	-7-7※	4.04	0.029	0.86	0.018	2.57	1.28	0.50	2.57	1.28	
-9-9※	3.58	0.030	1.00	0.022	2.33	1.33	0.50	2.33	1.33		
同一等級 機械 MSR	S120	-3-3	11.55	0.090	0.45	0.250	8.00	4.00	0.50	8.00	4.00
		-3-4	10.50	0.080	1.50	0.375	6.00	6.00	0.50	6.00	6.00
		-5-5	9.50	0.109	2.49	0.050	7.20	4.80	0.50	7.20	4.80
		-5-7	11.10	0.031	0.22	0.023	8.58	0.85	0.50	8.58	0.85
		-7-7※	8.54	0.031	0.86	0.053	6.86	1.28	0.50	6.86	1.28
	-9-9※	7.99	0.032	1.00	0.065	6.67	1.33	0.50	6.67	1.33	
	S90	-3-3	8.66	0.068	0.34	0.187	6.00	3.00	0.50	6.00	3.00
		-3-4	7.87	0.060	1.12	0.281	4.50	4.50	0.50	4.50	4.50
		-5-5	7.12	0.081	1.87	0.037	5.40	3.60	0.50	5.40	3.60
		-5-7	8.32	0.031	0.22	0.020	6.43	0.85	0.50	6.43	0.85
		-7-7※	6.40	0.031	0.86	0.044	5.14	1.28	0.50	5.14	1.28
	-9-9※	5.99	0.032	1.00	0.053	5.00	1.33	0.50	5.00	1.33	
	S60	-3-3	5.77	0.045	0.22	0.125	4.00	2.00	0.50	4.00	2.00
		-3-4	5.25	0.040	0.75	0.187	3.00	3.00	0.50	3.00	3.00
		-5-5	4.75	0.054	1.24	0.025	3.60	2.40	0.50	3.60	2.40
		-5-7	5.55	0.030	0.22	0.015	4.29	0.85	0.50	4.29	0.85
		-7-7※	4.27	0.030	0.86	0.032	3.43	1.28	0.50	3.43	1.28
	-9-9※	3.99	0.031	1.00	0.039	3.33	1.33	0.50	3.33	1.33	
	S30	-3-3	2.88	0.022	0.11	0.062	2.00	1.00	0.50	2.00	1.00
		-3-4	2.62	0.020	0.37	0.093	1.50	1.50	0.50	1.50	1.50
		-5-5	2.37	0.027	0.62	0.012	1.80	1.20	0.50	1.80	1.20
		-5-7	2.77	0.027	0.22	0.008	2.14	0.85	0.50	2.14	0.85
		-7-7※	2.13	0.029	0.86	0.018	1.71	1.28	0.50	1.71	1.28
	-9-9※	1.99	0.030	1.00	0.022	1.66	1.33	0.50	1.66	1.33	
異等級 目視 スギ 外層:V1 内層:V2	Mx60	-3-3	6.74	0.023	0.11	0.062	4.66	1.00	0.50	4.66	1.00
		-3-4	6.12	0.020	0.37	0.093	3.50	1.50	0.50	3.50	1.50
		-5-5	5.51	0.028	0.62	0.012	3.40	1.20	0.50	3.40	1.20
		-5-7	6.46	0.030	0.22	0.008	4.43	0.85	0.50	4.43	0.85
		-7-7※	4.68	0.029	0.86	0.018	2.86	1.28	0.50	2.86	1.28
-9-9※	4.11	0.030	1.00	0.022	2.56	1.33	0.50	2.56	1.33		
同一 目視 スギ 外層:V1 内層:V1	S60	-3-3	6.74	0.053	0.26	0.145	4.66	2.33	0.50	4.66	2.33
		-3-4	6.12	0.046	0.87	0.218	3.50	3.50	0.50	3.50	3.50
		-5-5	5.54	0.063	1.45	0.029	4.20	2.80	0.50	4.20	2.80
		-5-7	6.47	0.065	0.22	0.020	5.00	0.85	0.50	5.00	0.85
		-7-7※	4.98	0.068	0.86	0.043	4.00	1.28	0.50	4.00	1.28
-9-9※	4.66	0.070	1.00	0.051	3.89	1.33	0.50	3.89	1.33		
同一 目視 スギ 外層:V2 内層:V2	S30	-3-3	2.88	0.022	0.11	0.062	2.00	1.00	0.50	2.00	1.00
		-3-4	2.62	0.020	0.37	0.093	1.50	1.50	0.50	1.50	1.50
		-5-5	2.37	0.027	0.62	0.012	1.80	1.20	0.50	1.80	1.20
		-5-7	2.77	0.027	0.22	0.008	2.14	0.85	0.50	2.14	0.85
		-7-7※	2.13	0.029	0.86	0.018	1.71	1.28	0.50	1.71	1.28
-9-9※	1.99	0.030	1.00	0.022	1.66	1.33	0.50	1.66	1.33		

※表の網掛け部分について、積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度を計算する場合、用いることのできる直交集成板の構成が限定される(強軸3-3,3-4,5-5,7、弱軸3-3,3-4,5-5,7,7-7)。7層7プライの強軸方向及び9層9プライについては、積層方向の長期に生ずる力に対する曲げ及びせん断の許容応力度は定められていない。

1.4 建築基準法第 37 条に基づく CLT の品質基準

平 12 建告第 1446 号が改正(改正告示:平 28 国交告第 561 号)され、直交集成板(以下、「CLT」と記す。)が指定建築材料として指定され、その品質は国土交通大臣が指定した規格に従う(法第 37 条第 1 号)か、大臣が定める品質基準に適合することについて大臣の認定を受けたもの(法第 37 条第 2 号)に制限されることとなった。本節ではこれらの概要を紹介する。

1.4.1 指定建築材料とは

建築基準法(昭和 25 年法律第 201 号。以下、「法」と記す。)第 37 条において、建築物の**基礎、主要構造部その他安全上、防火上又は衛生上重要な部分**に使用する建築材料として、国土交通大臣が指定したものを指定建築材料という。建築物の安全上、防火上又は衛生上重要な部分は、建築基準法施行令(昭和 25 年政令第 338 号、以下、「令」と記す。)第 144 条の 3 に示される部分であり、建築物の構造耐力上主要な部分を含む多くの部分が該当する。これらの重要な部分に CLT を使用する場合に限り、規格適合要求、又は品質基準が適用される。

指定建築材料の名称及びその定義は具体的に法第 37 条に基づく平 12 建告第 1446 号第 1 に列挙されている。構造用鋼材及び鋳鋼、高力ボルト及びボルト、構造用ケーブル、鉄筋、コンクリートなどとともに第 23 号に「直交集成板」が指定されており、その定義は“ひき板又は小角材(略)をその繊維方向を互いにほぼ平行にして幅方向に並べ又は接着したものを、主として繊維方向を互いにほぼ直角にして積層接着し 3 層以上の構造を持たせたもの”としているが、日本農林規格の定義と同様である。

1.4.2 国土交通大臣が指定した規格

法第 37 条第 1 号に基づいて、平 12 建告第 1446 号第 2 において、指定建築材料ごとに適合すべき規格が定められている。第 1 第 23 号 CLT の適合すべき規格は CLT の日本農林規格(平 25 農水告第 3079 号)と定められている。この規格に適合すれば、法第 37 条第 2 号による制限は受けない。

1.4.3 CLT の品質基準

法第 37 条第 2 号に基づいて、平 12 建告第 1446 号第 3 において、指定建築材料ごとに適合すべき品質基準が示されている。具体的には同告示別表第二に、材料ごとの品質基準が(ろ)欄に、その測定方法が(は)欄に示されている。一部の例外を除いて、ほとんどの品質基準は「〇〇の基準値が定められていること」とされており、強度等数値の大小が品質基準への適否判断の根拠にならない。唯一の例外は第 11 号「接着耐久性に関する強さの残存率」で、0.5 以上であることが求められている。これは、接着剤と使用環境の適合性を判断するものであり、実際の材料特性等を誘導するものでないと同時に、0.5 を下回るものは当該接着剤がその使用環境に適切でないことを意味しており、大臣認定の対象外となる。

また、別表第二第一号の「寸法」、第三号の「面外曲げ・面内曲げ」、第六号の「含水率」、並びに第十号の「事故的な水掛りを考慮した調整係数」の品質基準は必須であるものの、これら以外の品質基準は必要な場合に限り適用される。つまり、曲げ以外の力学特性値については当該応力が作用する材料として、事故的な水掛り以外の調整係数については当該調整係数が想定する条件で使用する材料として認定を取得する場合にのみ必要となるが、そうでない場合には不要となる。各品質基準の適用関係を整理して、表 1.4.3-1 に示す。さらに、当該品質基準の測定方法の引用規格等を整理して併記する。

一方、各種調整係数を求める必要がある応力の種類は、原則として特性値が必要とされる応力全てであるが、他の応力に対する調整係数で代用できる場合や、各部の構成要素から推定しうる場合など適用関係が様々であるので、これを整理して表 1.4.3-2 に示す。

なお、各品質基準に関する具体的な測定方法については、告示等解説書²⁶⁾を参照されたい。また、引用する測定方法のなかで、1998年建設省住宅局建築指導課国際基準調査官事務連絡とあるのは、日米加建築専門家委員会における協議結果に基づいて定められた「枠組壁工法に使用する枠組材、面材、接合部、耐力壁の性能試験方法」のことである。枠組壁工法の性能規定化を目指して定められたものであり、同工法に使用する材料についてはこの事務連絡の要求を満たさなければならないとともに、これを超える要求もできないことになっている。

表 1.4.3-1 平 12 建告第 1446 号別表第二における各品質基準の適用関係と測定方法の概略

別表第二の号	品質基準項目	必須	適用除外される場合	測定方法の概略
一	寸法	●		本告示第一第十二号に掲げる建築材料の測定方法
二	面内圧縮強さ及び面内圧縮の弾性係数		面内圧縮応力が作用しない場合	
三	曲げ強さ及び曲げ弾性係数	●	面外曲げ	JIS A1414-2(建築用パネルの性能試験方法—第二部:力学特性に関する試験)—2010の5.3に掲げる方法、又はCLTのJAS別記第3項(6)に掲げる方法
	面内曲げ		面内曲げ応力が作用しない場合	
四	めり込み		めり込み応力が作用しない場合	本告示第一第十号に掲げる建築材料の測定方法
五	せん断強さ及びせん断弾性係数	面外せん断	面外せん断応力が作用しない場合	CLTのJAS別記第3項(8)に掲げる方法
		面内せん断	面内せん断応力が作用しない場合	1998年建設省住宅局建築指導課国際基準調査官事務連絡に示す方法(ツーレールシア法)
六	含水率	●		本告示第一第十号に掲げる建築材料の測定方法
七	含水率の調整係数		湿潤状態となるおそれのある部分に使用しない場合	
八	荷重継続時間の調整係数		長期に生ずる応力を受ける部分に使用しない場合	
九	クリープの調整係数			
十	事故的な水掛りを考慮した調整係数	●		
十一	接着耐久性に関する強さの残存率		CLTのJAS第3条に規定する接着の程度の基準に適合する場合	
十二	防腐処理による力学特性値の低下率		防腐処理を行わない場合	

26) CLT 関連告示等解説書編集委員会:CLT 関連告示等解説書, P.83-110, (公財)日本住宅・木材技術センター, 2016.

表 1.4.3-2 各力学特性値と調整係数の適用関係

別表 第二 の号	品質基準項目	面内 圧縮		面外 曲げ		面内 曲げ		めり 込み 強さ	面外 せん断		面内 せん断	
		強さ	弾性係数	強さ	弾性係数	強さ	弾性係数		強さ	弾性係数	強さ	弾性係数
七	含水率の調整係数	※	※	○	○	※	※	※	※	※	※	※
八	荷重継続時間の調整係数	※	-	○	-	※	-	※	※	-	※	-
九	クリープの調整係数	-	※	-	○	-	※	-	-	※	-	※
十	事故的水掛りを考慮した調整係数	※	※	●	●	※	※	※	※	※	※	※
十一	接着耐久性に関する強さの残存率	-	-	△	△	-	-	-	-	-	-	-
十二	防腐処理による力学特性値の低下率	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

ただし、●:必須、○:使用条件によって必要、※:曲げと同等である場合にあっては曲げで代替可、-:適用なし、△:CLTのJASの接着の程度を満足しなければ必要、かつ剝離試験等同等以上に測定できる方法可

1.4.4 品質検査

平12建告第1446号第3第二号では、CLTの品質に関する検査方法が示されている。検査はCLTの品質基準の項目全てについて、それぞれの測定方法によることとされている。寸法の基準値を除いた各力学特性値については、例えば、曲げなどの代表的な品質基準の項目がある一定の数値を満たすことによって、他の品質が確保されているとみなすことができる場合は、その代表的な品質基準の検査をすればよいこととされている。形状・寸法の検査は、資材の受入時の書類等によって行うこととされている。

さらに、運搬及び保管時、検査の設備、品質管理に関する社内規格の整備やそのトラブル等の記録等についても規定されている。製造設備の管理、外注管理、苦情処理等について適切に社内規格が整備、見直しがなされていることが求められているが、一部はJIS Q 9901(品質マネジメントシステム—要求事項)—2000への適合をもって読み替えられることが示されている。詳しくは告示等解説書²⁷⁾を参照されたい。

1.4.5 その他

本品質基準は施行日(2016年3月31日)時点で、既に建築物内に用いられているCLT、及び建築、修繕又は模様替えの工事中の建築物内に用いられているCLTは本告示に適合しているものと見なすことができる。また、昭56建告第1100号の規定に基づいて大臣認定を受けた軸組に使用されているCLTのうち、平成29(2017)年3月30日までに法第6条第1項もしくは第6条の2第1項の規定による確認の申請がなされた建築物、又は第18条第2項に基づいて建築主事に対して計画通知がなされた建築物に使用されるものは、本告示に適合しているものと見なせる。

27) CLT関連告示等解説書編集委員会:CLT関連告示等解説書, p.111-114, (公財)日本住宅・木材技術センター, 2016.

