



Title	フィンガージョイントされたトドマツ挽板の最小安全曲率半径：水平フィンガージョイントについて
Author(s)	生田, 晴家; IKUTA, Haruie
Citation	北海道大学農学部 演習林研究報告, 54(2), 267-272
Issue Date	1997-09
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21421
Type	departmental bulletin paper
File Information	54(2)_P267-272.pdf



フィンガージョイントされた トドマツ挽板の最小安全曲率半径

— 水平フィンガージョイントについて —

生 田 晴 家*

Minimum Safe Radius of Curvature
for Finger-Jointed Todomatsu Board
— On Horizontal Finger Joint —

by

Haruie IKUTA*

要 旨

長尺の集成材を製造する場合、入手できる挽板の長さには限りがあるので、当然のことながら挽板の縦継が必要となる。この縦継については、現在フィンガージョイントが主流である。挽板を大きく曲げることにより製造されるわん曲集成材においては、製造の際のフィンガージョイントされた挽板（以下FJ挽板と記す）の曲げ変形性能が問題となる。それは、一般にフィンガージョイントされた材は粘りが小さい、すなわち曲げ破壊時の変形量が小さいとされているからである。そのため、FJ挽板がどの程度の曲率半径まで曲げられ得るのか、またその結果、許容される安全な曲率半径はどの程度になるのかを把握する必要がある。そこで、本報告では水平フィンガージョイントによるトドマツFJ挽板の最小安全曲率半径について、実験的検討を加えた。その結果、破壊時の曲率半径 R_b は、挽板厚 t に対して平均でほぼ $R_b = 98t$ であったことから、20mm厚トドマツ水平FJ挽板の最小安全曲率半径 R は、安全率を1.5とした場合、 $R = 145t$ 程度と評価された。また、比例限度時の曲率半径 R_{bp} は、平均でほぼ $R_{bp} = 138t$ であった。

キーワード：最小安全曲率半径，わん曲集成材，水平フィンガージョイント，FJ，
トドマツ挽板

1997年3月31日受理。Received March 31, 1997

*北海道大学農学部木材工学講座

Laboratory of Timber Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

1. 結 言

長尺の集成材を製造する場合、入手できる挽板の長さには限りがあるので、当然のことながら挽板の縦継が必要となる。この縦継については、現在フィンガージョイントによるのが主流である。集成材が通直であるならば、製造の際このフィンガージョイントの存在は何ら問題とはならないが、挽板を大きく曲げることにより製造されるわん曲集成材においては、製造の際のFJ挽板の曲げ変形性能が問題となる。それは、一般にフィンガージョイントされた材は粘りが小さい、すなわち曲げ破壊時の変形量が小さいとされているからである。そのため、FJ挽板がどの程度の曲率半径まで曲げられ得るのか、またその結果、許容される安全な曲率半径はどの程度になるのかを把握する必要がある。そこで、本報告では水平フィンガージョイントによるトドマツFJ挽板の最小安全曲率半径について、実験的検討を加えた。

2. 針葉樹わん曲集成材製造基準における挽板の曲率半径

曲率半径 R と挽板厚 t との関係は、1961年改訂の基準では $R > 125t$ とされていたが¹⁾、設計上の要求や集成作業の省力化の要求から、1973年3月に $R \geq 100t$ に改訂された²⁾。この $R \geq 100t$ という基準にあつては、当然のことながら集成作業の省力化のために、挽板に最もきつい曲率を与える $R = 100t$ が採用されることになるが、この $R = 100t$ 基準については製造時の挽板の安全性に関して、経験上または理論上からも疑問の持たれるところであった。その後、1987年12月に更にこの基準は改訂され、樹種の区分別、挽板の厚さ別、わん曲の形態別に、それぞれ具体的に最小安全曲率半径が規定された³⁾。例えば、本試験に用いたトドマツ挽板は針葉樹B-2類に区分され、さらに厚さ20mmのものについては、部分的わん曲の場合 $R = 124t$ 、それ以外の連続したわん曲の場合 $R = 170t$ とされている。部分的わん曲の場合とは、集成材の長さ方向の一部がわん曲しており、それ以外の部分は通直である場合を言う。また、B-2類以外の樹種区分の20mm厚のものについては、部分的わん曲の場合で $R = 150t$ 、それ以外の場合で $R = 200t$ と規定されている。

3. 材料および試験方法

使用材料は、北海道大学雨龍地方演習林産のトドマツ挽板である。まず、欠点を避けて横切りし、長さ60cmの原板を35枚木取った。これらを長さ58cm、材幅9.8cm、材せい2.2cmに仕上げた後、スパン50cm、分銅による中央集中荷重(2kgfごとに10kgfまで)方式で曲げ剛性試験を行い、各原板のヤング係数 E を求めた。この E に基づき、接合される2枚の原板の E が等しくなるように組合せを決め、30枚の原板を選択した。なお、これら原板の平均年輪幅と比重は、それぞれ平均で2.3mm(1.0~3.7mm)、0.41(0.38~0.46)であった。

使用したフィンガージョイントの形状は長さ12mm、ピッチ4mm、チップ0.4mm(兼房

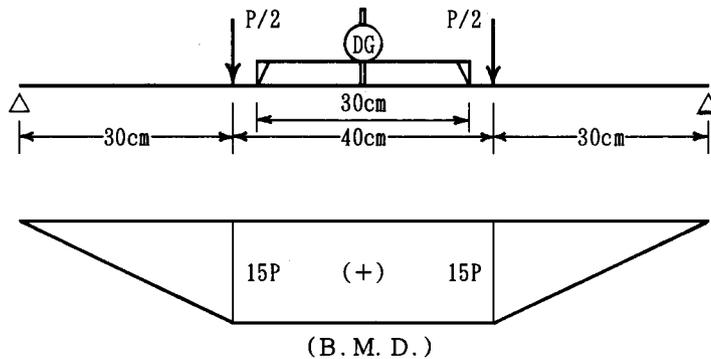


図1 破壊試験方法および曲げモーメント図

刃物工業製)であり、回転数3,000rpmで切削した。接着剤は尿素樹脂接着剤(住友ペークライト製イゲタライム、硬化剤として塩化アンモニウムを重量比0.5%添加)であり、圧縮圧50 kgf/cm²で圧縮した。なお、接着剤としては本来尿素樹脂ではなく、レゾルシノール樹脂を使用すべきであるが、以前の研究⁴⁾において、短期的には両者の間に強度的差異が認められなかったために、尿素樹脂を代用した。一週間の養生期間の後、接合体を長さ110cm、材幅9.6cm、材せい2.0cmに仕上げ、計15体のFJ挽板を得た。これらについて、スパン100cm、分銅による中央集中荷重方式で曲げ剛性試験を行い(1kgfごとに4kgfまで)、接合後のヤング係数 E' を求めた。

続いて、曲げ破壊試験を図1に示すようなスパン100cm、荷重点間距離40cmの2点荷重方式で行い、荷重点間内中央30cm区間の相対撓みを、1/100mm精度のダイヤルゲージを用いて荷重10kgfごとに破壊まで測定した。これにより、曲げ比例限度 σ'_{bp} 、比例限曲率半径 R_{bp} 、曲げ強さ σ'_b および破壊時曲率半径 R_b をそれぞれ求めたが、使用した試験機はオルゼン型万能試験機であり、荷重容量を500kgfとして行った。同図の曲げモーメント図からも明らかなように、荷重点間内の曲げモーメントは一定となり($M=15P$)、この区間の挽板の性質を一樣と見なすならば、荷重点間内で挽板は同一円弧状をなして曲がる。それ故、同図の測定区間30cmで測定される相対撓み δ と、挽板上面の圧縮面における曲率半径 R との間には、(1)式に示す関係が存在し(式中の単位はcm)、これより、任意の相対撓みに対する、その時の曲率半径が容易に求められる。しかしながら厳密には、曲げ比例限度を超えて圧縮破壊線等が生じた場合には、荷重点間内の挽板の変形は一樣ではなくなる訳であるが、ここでは荷重点間内の挽板は常に一樣な円弧をなすものと見なした。また、鉄製の荷重点が試験体の圧縮面にめり込むのを避けるため、十分な緩衝材をそれらの間に挟んだ。

$$R = \frac{1}{2\delta} (\delta^2 + 15^2) \quad (1)$$

破壊試験終了後、各支点側の非破壊部よりそれぞれ1体、計2体の長さ32cmのコント

ロール材を木取り，これらについてスパン28cm，荷重きざみ25kgfの中央集中荷重方式による曲げ破壊試験を行い，コントロール材の曲げ強さを求めた。また，コントロール材作製時にFJ部の両側から小片を採取し，含水率を測定した。

4. 結果および考察

接合前後における剛性試験結果を表1に示す。接合前のヤング係数 E に対する接合後のヤング係数 E' の比 E'/E をみると，平均で1.058となり，接合によるヤング係数の低減はないと言える。また，ヤング係数 E' のわずかな増加が認められるが，これは接合後の剛性試験ではスパンが長くなり，材せいが逆にやや減少したためにスパン (ℓ) に対する材せい (h) の比 h/ℓ が減少し，これによって剪断付加撓み率も減少して見かけの E の増加となったことが主因であろう。

次に，ヤング係数と曲率半径についての結果を表2に示す。曲げヤング係数 E'' は，せん断付加撓みを含まない荷重点間内の相対撓みから求めたために，先の E' よりもわずかに増加している。比例限曲率半径 R_{bp} は挽板厚 t に対して $R_{bp}=130.9t\sim 148.1t$ となり，平均でほぼ $R_{bp}=138t$ であった。また，破壊時の曲率半径 R_b は挽板厚 t に対して $R_b=76.3t\sim 128.4t$ であり，平均でほぼ $R_b=98t$ となった。この破壊時の曲率半径 $R_b=98t$ より，20mm厚トドマツ水平FJ挽板の最小安全曲率半径は，試験体数が15と限られているが，安全率を1.5とした場合， $R=145t$ 程度と評価される。後述するが，比例限度内であれば挽板厚が一定の場合，曲率半径と挽板に発生する最大曲げ応力は，直接の反比例関係にあるため，曲率半径を1.5倍

表1 剛性試験結果

No.	E	E'	E'/E
1	99.8	106.2	1.064
2	102.3	114.0	1.114
3	98.5	108.7	1.104
4	97.8	114.5	1.171
5	107.0	101.8	0.951
6	118.0	117.9	0.999
7	109.1	127.6	1.170
8	100.0	106.9	1.069
9	96.1	105.2	1.095
10	105.7	116.1	1.098
11	102.6	115.3	1.124
12	119.8	104.6	0.873
13	99.1	105.2	1.062
14	98.0	109.0	1.112
15	120.3	104.8	0.871
Av.	104.9	110.5	1.058

注) E は接合前の， E' は接合後のヤング係数 (単位: tf/cm^2)

表2 破壊試験結果 (曲率半径)

No.	E''	R_{bp}/t	R_b/t
1	110.6	134.0	80.0
2	110.8	134.0	88.3
3	105.7	142.5	101.0
4	112.9	134.0	101.7
5	105.6	134.0	111.8
6	113.4	132.5	101.0
7	119.2	148.1	83.9
8	108.2	130.9	95.8
9	106.5	137.3	86.2
10	129.3	134.0	115.7
11	128.4	140.7	128.4
12	111.2	142.5	76.3
13	102.3	144.3	86.8
14	128.0	140.7	90.7
15	115.8	139.0	116.6
Av.	113.9	137.9	97.6

注) E'' : ヤング係数 (tf/cm^2)， R_{bp} : 比例限曲率半径 (mm)， R_b : 破壊時曲率半径 (mm)， t : 挽板厚 (20 mm)

(3/2倍) するという事は、曲げ応力を 2/3 にするという事である。第 2 章で述べたように、針葉樹 B-2 類に属するトドマツの 20mm 厚挽板に対しては、部分的わん曲 (軒肩部などのわん曲部分で隣接部分は直線) の場合 $R=124t$ 、それ以外の場合 (円弧状のアーチ等) $R=170t$ と規定されている。また、針葉樹 B-2 類以外の 20mm 厚挽板に対しては、それぞれ同じ順に $R=150t$ 、 $R=200t$ とされている。これらからみて、部分的わん曲部分へのトドマツ水平 FJ 挽板の使用は危険であると考えられるが、それ以外の場合には十分安全に使用可能であると判断される。なお、 $R=145t$ よりも短い (きつい) 曲率半径である $R=124t$ の条件で製造したいのであれば、事前に、その変形状態までの保証変形試験を必ず行うべきであろう。いま、この変形状態において挽板に発生する曲げ応力 σ の分布を、純曲げを受けて同一円弧状に変形する挽板の曲げ応力分布と見なすならば、最大曲げ応力 σ_{\max} は次のように試算される。

$$\frac{\sigma}{y} = \frac{M}{I} = \frac{E}{R_0} \quad (2)$$

(2)式より、

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I} \times \frac{t}{2} = \frac{Et}{2R_0} = \frac{E}{2(R_0/t)} \quad (3)$$

ここに、 y : 挽板の中立軸からの距離、 M : 曲げモーメント、 I : 挽板の中立軸に関する断面 2 次モーメント、 E : ヤング係数、 R_0 : 挽板の中立軸における曲率半径、 t : 挽板厚、である。

(3)式から、挽板に発生する最大曲げ応力はそのヤング係数に正比例し、曲率半径と挽板厚の比 (R_0/t) に直接反比例することが分かる。つまり、曲率半径の長さが 1/2 になると、最大曲げ応力は丁度 2 倍になるのである。ここで、(3)式中に $R_0/t = R/t = 124$ 、また破壊試験における挽板の平均ヤング係数 $E = 113.9 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ を代入すると、最大曲げ応力は $\sigma_{\max} = 459 \text{ kgf/cm}^2$ と試算される。ちなみに $R = 145t$ の場合は $\sigma_{\max} = 393 \text{ kgf/cm}^2$ であり、ほぼ 15% 小さい。

次に、曲げ強さと強度効率について

表 3 破壊試験結果 (強度効率)

No.	σ'_{bp}	σ'_b	σ_b	σ'_b/σ_b	u
1	415.8	544.0	653.3	0.841	12.8
2	416.7	530.1	726.0	0.730	13.0
3	375.8	476.8	631.3	0.755	12.8
4	417.6	497.7	589.1	0.845	12.6
5	399.2	443.8	694.8	0.639	11.5
6	446.7	519.6	747.2	0.695	12.0
7	416.5	557.6	740.7	0.753	12.8
8	417.7	489.6	659.5	0.742	12.6
9	390.0	495.5	658.4	0.753	13.1
10	463.0	494.3	713.0	0.693	13.0
11	437.9	443.7	562.5	0.789	12.5
12	388.9	557.0	576.4	0.966	12.8
13	367.2	492.3	642.7	0.766	12.6
14	390.6	496.3	539.4	0.920	13.4
15	412.6	447.0	555.2	0.805	12.8
Av.	410.4	499.0	646.0	0.779	12.7

注) σ'_{bp} : FJ 挽板の曲げ比例限度 (kgf/cm^2)、 σ'_b : 同曲げ強さ (kgf/cm^2)、 σ_b : 各 2 体のコントロール材のうち低かった方の曲げ強さ (kgf/cm^2)、 u : 含水率 (%)

げ強さ σ'_b は、444~558kgf/cm² であり、平均で499kgf/cm² であった。これに対し、各2体のコントロール材の曲げ強さのうち低かった方の強さをFJ挽板本来の曲げ強さ σ_b と見なすと、 σ_b は539~747kgf/cm²、平均646kgf/cm² となる。これらから強度効率である σ'_b/σ_b を求めると、効率は0.64~0.97、平均0.78となり、ほぼ20%の強度低減が認められた。また、FJ挽板15体中、14体に圧縮破壊線が認められた。

5. 結 言

水平フィンガージョイントによる20mm厚トドマツFJ挽板の最小安全曲率半径について、実験的検討を加えたが、結果は以下のように要約される。

- 1) 破壊時の曲率半径 R_b は、挽板厚 t に対して平均で $R_b=98t$ であった。このことから、20mm厚トドマツ水平FJ挽板の最小安全曲率半径 R は、試験体数が15と限られているが、安全率を1.5とした場合、 $R=145t$ 程度と評価された。
- 2) 比例限度時の曲率半径 R_{bp} は、平均でほぼ $R_{bp}=138t$ であった。
- 3) 強度効率は平均で0.78であり、ほぼ20%の強度低減が認められたが、ヤング係数については低減は認められなかった。
- 4) 水平FJ挽板15体中、14体に圧縮破壊線が認められた。

文 献

- 1) 日本建築学会 (1961) : 木構造設計基準・同解説. p. 58, 丸善
- 2) 日本建築学会 (1973) : 木構造設計基準・同解説. p. 281, 丸善
- 3) 日本建築センター (1988) : 大断面木造建築物設計施工マニュアル. p. 15, 新洋社
- 4) 生田晴家 (1979) : 各種接着剤を用いたF.J.工法の耐力と効率. 日本北支講 11, 58-62

Summary

In manufacturing a long, glued-laminated timber, end jointing boards is necessary because the available board length is limited. For end jointing, the finger joint is most commonly used today. It is said generally, however, that a finger-jointed board is brittle and the deflection at the time of rupture is comparatively small. In curved glued-laminated timber, which is manufactured by bending each board to a sharp curvature, it is important to find the finger-jointed board can be bent safely to what radius of curvature. In this paper, the minimum safe radii of curvature were investigated for horizontally finger-jointed todomatsu boards. We found that the radius of curvature at the time of rupture was about 98 times that of the board thickness. Therefore, the minimum safe radius of curvature for the horizontally finger-jointed todomatsu board was about 145 times that of the board thickness if the safety factor was set as 1.5. The radius of curvature at the proportional limit was about 138 times that of the board thickness.