



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：45度傾斜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, 55(1), 11-17
Issue Date	1998-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21425
Type	departmental bulletin paper
File Information	55(1)_P11-17.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

— 45度傾斜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 Finger Joint Inclined 45 Degrees —

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が、現在ではフィンガージョイント (FJ) による縦継が主流である。既報¹⁾では長尺のわん曲集成材の製造を想定し、水平フィンガージョイントされた挽板の最小安全曲率半径について実験的検討を加えた。本報告では、フィンランドで考案された新型のフィンガージョイントである45度傾斜フィンガージョイント (挽板の広い面に対して45度の角度でフィンガー切削するもの) について同じく検討を加えるとともに、水平フィンガージョイントとの比較を行った。その結果、比例限度時の平均曲率半径は挽板厚 t に対して、水平フィンガージョイントで $138t$ 、45度フィンガージョイントで $136t$ とほぼ同様であったが、破壊時のそれは水平フィンガージョイントの $98t$ に対して、45度フィンガージョイントはそれよりも約1割短い平均曲率半径 $89t$ を示した。これらについて検定を行った結果、いずれも有意差は認められなかったが、この破壊時曲率半径の平均値の違いは、比例限度を超えた後の粘りの面で45度傾斜フィンガージョイントが水平フィンガージョイントよりも優れていることを示唆するものとも思われる。この平均値から、20mm厚トドマツ45度傾斜フィンガージョイント挽板の最小安全曲率半径 R は、既報と同様に安全率を1.5とした場合、 $R=135t$ 程度と評価された。また、比例限度時の曲率半径は、この最小安全曲率半径と数値的に一致した。

キーワード：最小安全曲率半径，わん曲集成材，45度傾斜フィンガージョイント，FJ，
トドマツ挽板

1997年8月29日受理。Received August 29, 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. 緒 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が、現在はフィンガージョイントによる縦継が主流である。既報では長尺のわん曲集成材の製造を想定して、水平フィンガージョイントされた20 mm厚トドマツ挽板の最小安全曲率半径について実験的検討を加えた¹⁾。本報告では、フィンランドのRoth²⁾によって考案された新型のフィンガージョイントである45度傾斜フィンガージョイントについて、同寸法のトドマツ挽板を用いて同じく検討を加えるとともに、水平フィンガージョイントとの比較を行った。

2. 45度傾斜フィンガージョイント

本報告で用いた45度傾斜フィンガージョイントは、フィンランドのRothによって考案された新型のフィンガージョイントであり、挽板の表面(広い面)に対し45度の角度でフィンガー一切削するものである。形成された接合部を図1に示す。挽板の広い面に対して、90度または0度で切削される垂直、水平フィンガージョイントにおいては、多くの場合、端部に薄く変形しやすいフィンガー部が形成されがちである。この部分はフェザーエッジと呼ばれ、十分な接着は期待できない。そのため、接着接合時にフェザーエッジが外側に開くのを避けるために側圧を加えるか、または接合後にこの部分を削り取る必要がある。これに対し、45度傾斜フィンガージョイントではこのようなフェザーエッジは形成されず、端部のフィンガー部も十分剛であるために、全フィンガーに対して一様な接着が期待できる。またこの45度傾斜フィンガージョイントは、曲げにおいては垂直、水平両フィンガージョイントを上回る性能を、引張においてはそれらと同等の性能を有する、とRothは主張している。

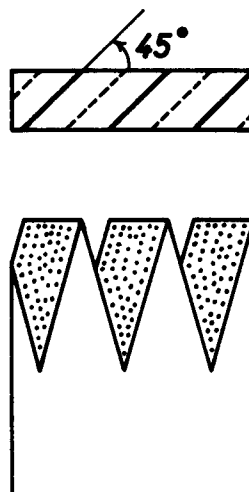


図1 45度傾斜フィンガージョイント

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60 cmの原板を50枚木取った。これらを材幅10.0 cm、材せい2.2 cmに仕上

げた後、スパン 50 cm, 10kgf ごと 50 kgf までの中央集中荷重方式で剛性試験を行い、各原板のヤング係数 E を求めた。この E をもとに、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、15 組 30 枚の原板を選択した。なお、これらの接合前の原板の E と、既報における同じく接合前の水平フィンガージョイントの原板の E との間に有意差は認められなかった。これら原板の基礎材質およびヤング係数 E を表 1 に示す。

表 1 基礎材質

No.	ℓ	b	t	r	RW	E	u
Av.	60.04	10.005	2.205	0.375	3.1	98.3	13.6
Max.	60.10	10.042	2.237	0.415	5.6	120.6	15.2
Min.	59.83	9.960	2.188	0.345	1.1	81.3	12.2

注) ℓ :材長 (cm)、 b :材幅 (cm)、 t :材せい (cm)、 r :比重、RW:平均年輪幅 (mm)、 E :ヤング係数 (tf/cm²)、 u :含水率 (%)

使用したフィンガージョイントの形状は既報と同様、長さ 12 mm, ピッチ 4 mm, チップ 0.4 mm (兼房刃物工業製) であり、回転数 3,000 rpm で切削した。切削方法は、接合しようとする 2 枚の挽板の一方を、まず切削方向前方に 45 度傾けて切削し、次にもう一方の板を今度は後方に 45 度傾けて切削するもので、2 工程を必要とした。接着剤は尿素樹脂接着剤(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。一週間の養生期間の後、接合体を長さ 110 cm, 材幅 9.6 cm, 材せい 2.0 cm と既報と同寸法に仕上げ、計 15 体の 45 度傾斜フィンガージョイント挽板を得た。

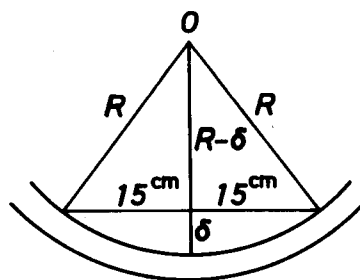
これらフィンガージョイント挽板に対し、既報と同様にスパン 100 cm, 荷重点間距離 40 cm の 2 点荷重方式で曲げ破壊試験を行い、荷重点間内中央 30 cm 区間の相対撓みを、1/100 mm 精度のダイヤルゲージを用いて荷重 10 kgf ごとに破壊まで測定した。これにより、曲げ比例限度 σ'_{bp} , 比例限曲率半径 R_{bp} , 曲げ強さ σ'_b および破壊時曲率半径 R_b をそれぞれ求めた。相対撓みを測定した荷重点間内の曲げモーメントは一定であるために、この荷重点間内で挽板は同一円弧状をなして曲がる。ここで、測定区間 30 cm で測定される相対撓み δ と、挽板上面の圧縮面における曲率半径 R との間には、図 2 に示す関係が存在し、これにより、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。また、これまで同様、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。

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 32 cm のコントロール材を木取り、これらについてスパン 28 cm, 荷重きざみ 25 kgf 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。以上の曲げ試験にはいずれもオルゼン型万能試験機を用いた。また、コントロール材作製時にフィンガージョイント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2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 1.044 となり、接合によるヤング係数の低減はないと言える。

次に、曲率半径についての結果を表3に示す。比例限曲率半径 R_{bp} は挽板厚 t に対して $R_{bp}=120.3t \sim 152.1t$ となり、平均でほぼ $R_{bp}=136t$ 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 $R_b=64.6t \sim 109.1t$ であり、平均でほぼ $R_b=89t$ であった。これに対し、既報で得られた水平フィン



$$R^2 = (R - \delta)^2 + 15^2$$

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

$$\delta = R - \sqrt{R^2 - 15^2}$$

図2 曲率半径 R と相対撓み δ との関係

表2 剛性試験結果

No.	E	E'	E'/E
1	87.7	107.1	1.221
2	94.8	99.3	1.047
3	98.8	101.6	1.028
4	97.7	104.0	1.064
5	90.6	91.3	1.008
6	98.3	103.0	1.048
7	99.3	105.4	1.061
8	93.8	96.6	1.030
9	96.3	96.2	0.999
10	86.4	91.5	1.059
11	115.8	99.1	0.856
12	101.8	107.5	1.056
13	106.7	121.3	1.137
14	117.8	129.1	1.096
15	88.8	84.0	0.946
Av.	98.4	102.5	1.044

注) E は接合前の、 E' は接合後のヤング係数 (tf/cm²)

表3 破壊試験結果 (曲率半径)

No.	R_{bp}/t	R_b/t
1	136.6	67.1
2	150.9	93.4
3	145.4	104.3
4	141.1	75.6
5	131.2	92.5
6	136.6	106.5
7	152.1	100.9
8	131.2	64.6
9	136.6	95.0
10	120.3	78.6
11	135.6	87.5
12	138.3	75.8
13	128.5	109.1
14	130.0	106.7
15	130.0	83.6
Av.	136.3	89.4

注) 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)

ガージョイントの比例限度時の平均曲率半径は $138t$ であり、また破壊時の平均曲率半径は $98t$ である。これらと今回の結果を比較すると、平均比例限曲率半径についてはほぼ同程度であるが、破壊時の曲率半径については、45度傾斜フィンガージョイントが水平フィンガージョイン

トよりも約1割短い平均曲率半径である $89t$ を示した。これらについて検定を行った結果、期待された有意差は認められなかった。しかしながらこの平均値の違いは、比例限度を超えた後の粘りの面で45度傾斜フィンガージョイントが水平フィンガージョイントよりも優れていることを示唆するものとも思われる。この破壊時の平均曲率半径 $R_b = 89t$ より、20mm厚トドマツ45度傾斜フィンガージョイント挽板の最小安全曲率半径は試験体の数が15と限られてはいるが、安全率を1.5とした場合、 $R = 135t$ 程度と評価された。また、比例限度時の平均曲率半径 ($R_{bp} = 136t$) は、この最小安全曲率半径と数値的に一致した。既報で述べたように、わん曲部の最小曲率半径について³⁾、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通直)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45度傾斜フィンガージョイント挽板の使用はやや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、 $R = 135t$ 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行うべきである。

次に、曲げ強さと強度効率についての結果を表4に示す。45度傾斜フィンガージョイント挽板の曲げ強さ σ'_{bp} は、431~558 kgf/cm² であり、平均で482 kgf/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フィンガージョイント挽板本来の曲げ強さ σ_b と見なすと、 σ_b は475~673 kgf/cm²、平均604 kgf/cm² となる。これらから強度効率を求めると、効率は0.68~0.98、平均0.80となり、水平フィンガージョイントと同様、ほぼ

表4 破壊試験結果 (強度効率)

No.	σ'_{bp}	σ'_b	σ_b	σ'_b/σ_b	u
1	394.3	541.6	609.2	0.889	13.3
2	328.9	468.7	630.6	0.743	14.1
3	350.1	446.9	624.9	0.715	13.4
4	370.7	506.2	645.0	0.785	13.1
5	349.1	441.0	553.4	0.797	13.7
6	371.2	435.1	642.4	0.677	13.3
7	348.2	472.4	605.6	0.780	13.0
8	370.5	510.5	626.0	0.815	13.9
9	352.0	444.7	524.0	0.849	13.4
10	373.6	467.0	475.0	0.983	13.5
11	367.3	484.3	620.0	0.781	13.7
12	392.1	518.9	626.8	0.828	13.2
13	442.3	507.7	673.0	0.754	13.7
14	490.0	557.7	662.5	0.842	13.1
15	304.3	430.8	534.7	0.806	14.1
Av.	373.6	482.2	603.5	0.803	13.5

注) σ'_{bp} : FJ 挽板の曲げ比例限度 (kgf/cm²)、 σ'_b : 同曲げ強さ (kgf/cm²)、 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/cm²)、 u : 含水率 (%)

20%の強度低減が認められた。また、45度傾斜フィンガージョイント挽板15体中、全数の15体に圧縮破壊線が認められた。

5. 結 言

45度傾斜フィンガージョイントによる20mm厚トドマツフィンガージョイント挽板の最小安全曲率半径について、既報と同様に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 $R_b = 89t$ であった。このことから、20mm厚トドマツ45度傾斜フィンガージョイント挽板の最小安全曲率半径 R は、安全率を1.5とした場合、 $R = 135t$ 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 $R_{bp} = 136t$ であり、上記の最小安全曲率半径と数値的に一致した。また、この数値は水平フィンガージョイントのそれともほぼ一致した。
- 3) 破壊時の曲率半径 R_b 、比例限度時の曲率半径 R_{bp} に関して、45度傾斜フィンガージョイントと水平フィンガージョイントの間に期待された有意差は認められなかった。しかしながら、破壊時の曲率半径については、水平フィンガージョイントよりも平均で約1割短い曲率半径を示しており、比例限度を超えた後の粘りの向上が示唆された。
- 4) 強度効率率は平均で0.80であり、水平フィンガージョイントと同様、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。
- 5) 45度傾斜フィンガージョイント挽板15体中、全数の15体に圧縮破壊線が認められた。

文 献

- 1) 生田晴家 (1997) : 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—。北大演研報 54(2), 267-272
- 2) Roth, A. (1970) : A new type of finger joint. Paperi ja Puu., 52(1), 25-28
- 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

Summary

In manufacturing a long, glued-laminated timber, end jointing of boards is necessary because the available board length is limited. In end jointing, the finger joint is most commonly used today. In the previous paper, the minimum safe radii of curvature were investigated for 20mm-thick todomatsu (*Abies sachalinensis* MAST.) boards which were joined using a horizontal finger joint. In this paper, a similar investigation was carried out for 20mm-thick todomatsu boards which were joined by a finger joint inclined 45 degrees. This inclined finger joint was formed by cutting the fingers at an angle of 45 degrees to the plane of the board. We found that the radius of curvature, at the time of rupture, was about 89 times that of the board thickness. Therefore, the minimum safe radius of curvature for the inclined finger joint is about 135 times that of the board thickness if the safety factor is set at 1.5. This radius of curvature is shorter than that of the horizontal finger joint by about 10%. The radius of curvature at the

proportional limit was about 136 times that of the board thickness. This value is similar to that of the horizontal finger joint and also coincides with the minimum safe radius of curvature described above. Concerning the radius of curvature, both at the time of rupture and at the proportional limit, no significant difference was found between the inclined finger joint and the horizontal finger joint, which was previously tested. But it does seem that the radius of curvature at the time of rupture is significantly shorter than that of the horizontal finger joint.