

構造用フィンガージョイント材の 強度性能 (第2報)

堀 江 秀 夫 倉 田 久 敬
石 井 誠

目 次

1. まえがき	45
2. 既往の研究	45
3. 適正製造条件の決定	46
3.1 L ₃₂ 直交表による適正製造条件の検討	46
3.1.1 試験で取り上げた因子と水準	46
3.1.2 材料と試験方法	49
3.1.3 結果と考察	50
3.2 二元配置法による適正製造条件の検討	53
3.2.1 試験で取り上げた因子と水準	53
3.2.2 材料と試験方法	55
3.2.3 結果と考察	55
3.3 まとめ	56
4. 3種類のカッターで製造したフィンガージョイント材の曲げ 強度試験	56
4.1 カッターごとの適正作業条件の決定	57
4.1.1 材料と試験方法	57
4.1.2 結果と考察	59
4.2 カッターごとのフィンガージョイント材の曲げ強度試験	61
4.2.1 材料と試験方法	61
4.2.2 結果と考察	63
4.3 まとめ	67
5. 要 約	67
6. あとがき	68
文 献	69
Résumé	71

1. まえがき

本報告は、フィンガージョイント工法による縦継ぎ木材を、構造用部材として実用化することを目標とした研究の第2報である。前報⁶⁾では、市販のミニフィンガーカッター（公称フィンガー長12mm）を用い、構造用フィンガージョイント材の基本的製造条件について統計的手法により検討した。この試験結果から、フィンガー形状に及ぼす切削条件の中では、カッター刃先位置の影響が最も大きいことが分かった。フィンガージョイント材を製造する時の嵌合条件では、フィンガー長が最も重要であった。嵌合縦圧縮試験を行うと、試験片のフィンガー長によって3つの荷重 - 変位曲線型が得られ、B型と名付けた荷重 - 変位曲線型が現れるときのフィンガー長が適正フィンガー長であった。そして、このフィンガー長に対する適正圧縮圧は、B型曲線中の直線部分に相当する圧縮圧であった。このとき使用したカッターとエゾマツ材の場合には、フィンガー長10.0～10.7mm、圧縮圧100～150kgf/cm²が適正な嵌合条件と判断された。また、2種類の接着剤（レゾルシノール樹脂と水性ビニルウレタン）を用いたフィンガージョイント材の引張試験結果から、明らかにレゾルシノール樹脂の方が水性ビニルウレタンよりも強いことが分かった。

前報におけるこのような判断の妥当性は、既に報告しているフィンガージョイント材の嵌合条件と曲げ強度性能の関係を調べた試験（L₁₆直交表実験）¹²⁾で確認していることであった。しかしこの試験では、フィンガージョイント材の曲げ強度性能に影響を及ぼす因子として木目が有意となり、これに対する納得のゆく技術的理由が見当たらなかった。各因子間の交互作用はないように注意を払ったつもりであったが、4水準因子であるフィンガー長と圧縮圧の因子間に交互作用が現れ、他のすべての因子の主効果と交絡した可能性があり、木目の主効果が有意となったのは、このためと考えられた。こうしたことから、再度フィンガージョイント材の嵌合条件と曲げ強度性能の関係を確認する必要性を感じ、交絡が生じないようにL₃₂直交表の2回繰り返し実験として、改めて計画を立て直した。

以上のような経過から、本報告では、構造用フィンガージョイント材製造時の適正製造条件を決定するため、嵌合条件と曲げ強度性能の関係をj確認するL₃₂直交表による試験を既報¹²⁾と同じ要領で行った。さらに、適正なフィンガー長と圧縮圧の範囲を確認する目的で二元配置法による試験を行った。このようにしてフィンガージョイント材の適正製造条件を求める手法を確立した上で、大断面材のフィンガージョイントに適するカッター形状について検討した。具体的には、長さ約10mm、20mm、30mmの3種類のカッターとトドマツ208材を用いて、それぞれの適正嵌合条件を求めた後、それぞれのカッターで作られたフィンガージョイント材の曲げ強度試験を行い、カッター間の強度性能を比較した。

2. 既往の研究

フィンガージョイント材の基礎的な製造条件に関する研究は、米国においてはM.L.Selbo¹⁾が、日本においては星ら²⁾及び小西ら⁶⁾⁷⁾⁸⁾のものがある。ただし、これらの研究は長さ25～40mmの長いフィンガー形状を対象としたものであるため、現在主流となっている短いフィンガー形状（長さ6～14mm）のミニフィンガージョイント材¹⁹⁾²⁰⁾には当てはまらない面が多い。これに対して、我が国でのミニフィンガージョイント材の製造条件に関する研究は、星ら³⁾⁴⁾が行った5種類のカッター（長さ7.5mm～12.0mm）と3種類の接着剤と3種類の樹種を用いた試験に始まる。この試験では、嵌合公差と圧縮圧を段階的に変化させてフィンガージョイント材を製造し、その曲げ接合効率から適正な製造条件について検討しているが、統計的検定を行っていないため明確な適正製造条件を把握することが出来なかった。生田ら⁹⁾は、長さ13mmミニフィンガーカッターで切削された木材の嵌合縦圧縮試験を行い、試

験時の荷重 - 変位曲線に着目して適正圧縮圧の決定法について検討している。この試験では、フィンガージョイント部に接着剤を塗布せずに嵌合縦圧縮試験を行っており、接着剤を塗布した場合が未確認であることと、嵌合度と圧縮圧の関係も未確認であることが今後の課題として残された。この課題については、我々が前報⁽⁶⁾及び他の既報⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾において解決している。こうした研究とフィンガージョイント工法の普及⁽¹⁹⁾とから、昭和51年に造作用フィンガージョイント材の製造基準(案)⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾が出された。

最近では、フィンガージョイント工法は、唯一構造用に認められている集成材ラミナの縦継ぎにとどまらず、土台、パネルの枠材やトラスの弦材などの縦継ぎ工法として注目を集めるようになってきている。こうした状況から、フィンガージョイント材を構造用に用いる場合の製造上の問題点と強度上の評価体系を整理する目的で、日本住宅・木材技術センターによりフィンガージョイント材の系統的な一連の研究⁽²⁰⁾⁽²¹⁾が行われた。この一連の研究の中では、4種類の Cutter (長さ12.0~25.2mm)を用いて、それぞれのCutterで嵌合度を段階的に変化させて製造したフィンガージョイント材の曲げ及び引張試験を行っている。この試験結果から、Cutter形状及び嵌合公差と強度性能の差を検討しているが、強度に大きな影響を及ぼす圧縮圧を固定していることと、強度差の検討に際して統計的検定を行っていないため明確な適正製造条件をつかむまでには致らなかった。こうした一連の研究成果をもとに、構造用フィンガージョイント材の現状と技術的課題が整理⁽²²⁾され、昭和60年に構造用フィンガージョイント材の製造基準(案)⁽²³⁾が作られた。

3. 適正製造条件の決定

前報で求めた適正切削条件及び嵌合条件の妥当性を確認するため、実験計画法に従って切削及び嵌合条件を変化させたフィンガージョイント材を製造して曲げ強度試験を行い、求めた接合効率の統計的検定により適正な製造条件を決定した。

なるべく多くの切削及び嵌合条件を取り上げ、かつ因子間に交絡が生じないようにするため、 L_{32} 直交表を用いて試験を行った。この試験の結果から、構造用フィンガージョイント材の製造条件として重要な因子と水準を絞り込んだ。次に、絞り込んだ因子と水準について二元配置法の試験を行い、最終的に、適正な製造条件とその範囲を決定した。

なお、試験に用いたCutter、材料、接着剤、切削装置は前報と同じである。

3.1 L_{32} 直交表による適正製造条件の検討

3.1.1 試験に取り上げた因子と水準

前報の結果をふまえて、多くの切削及び嵌合条件のなかからフィンガージョイント材の強度性能に影響を与えると思われる因子と水準を第1表に示すように取り上げ、 L_{32} 直交表⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾に割付けた。割付けに用いた線点図を第1図に、試験片ごとの具体的試験条件を第2表に示す。

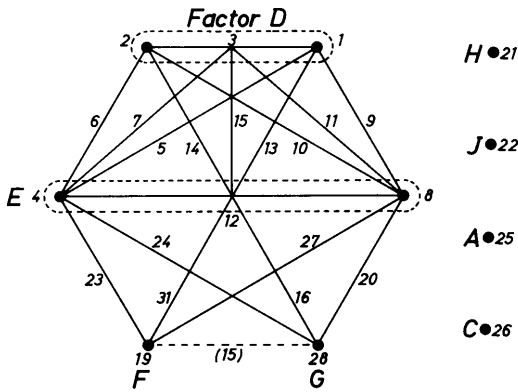
前報の切削精度に及ぼす切削条件の検討結果では、Cutter刃先位置と予備切削が有意となったが、現実問題として針葉樹材を対象にした構造用フィンガージョイント材の場合に予備切削は行われないのが一般的であるため、ここでは、Cutter刃先位置のみを取り上げた。また、前報の嵌合縦圧縮試験による適正嵌合条件の検討結果ではフィンガー長が、フィンガージョイント薄片の引張試験結果では接着剤が有意であったため、それぞれ取り上げた。フィンガー長があまり短くても長くても十分な接合強度が発揮されないことから、フィンガー長の水準は、9.5mm~11.0mmの0.5mm刻みとした。その他の因子は、以前の試験内容⁽¹²⁾に揃えるように取り上げた。

第1表 試験条件
Table 1. Experimental conditions.

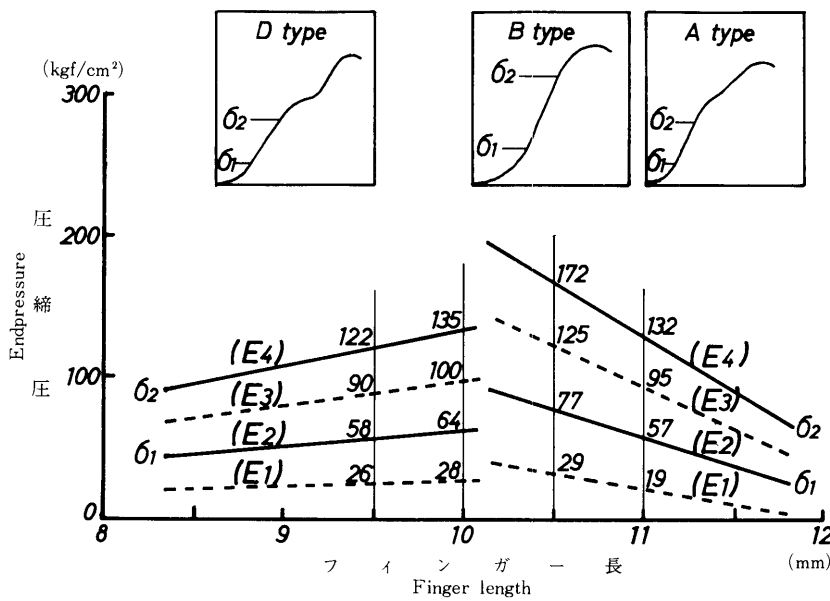
因子 Factor	水準 Level			
	1	2	3	4
隣接カッター刃先位置 A. Position of knife edge	交互 Alternate	そろい Even		
送材速度 C. Feeding speed (m/min)	8	16		
フィンガー長 D. Finger length (mm)	設定値 A set point : 11.0	10.5	10.0	9.5
	実測値 A measured point: (10.93~11.08)	(10.48~10.63)	(9.96~10.22)	(9.44~9.57)
圧縮圧 (第2図参照) E. Endpressure (See fig. 2)	E1	E2	E3	E4
圧入速度 F. Inserting speed (mm/min)	2	6		
圧縮圧継続時間 G. Time for holding endpressure (sec)	10	0		
スカーフ面の木目 H. Grain of scarf surface	柁目 LR	板目 LT		
接着剤 J. Glue	レゾルシノール Resorcinol	水性ビニルウレタン Aqueous vinylurethane		
カッター Cutter	12mm finger cutter			
カッター回転数 Revolution of cutter	5000 rpm			
カッター切刃の鋭利度 Sharpness of knife edge	鋭利 sharp			
予備切削 Precutting	なし Non-exist			
切削方法 Cutting method	上向き切削 Up milling			
樹種 Species	エゾマツ Ezomatsu (<i>Picea jezoensis</i> Carr.)			
平均年輪幅 Width of annual ring (W. R.)	1.3 (0.6~2.0) mm			
比重 Specific gravity (S. G.)	0.38 (0.35~0.44)			
含水率 Moisture content (M. C.)	10.2 (9.1~11.7) %			

第2表 試験因子の水準
Table 2. Levels of experimental factors .

Specimen No.	Factors							
	A	C	D	E	F	G	H	J
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	1	1	2	2	2	2
3	2	2	1	2	1	2	1	1
4	1	1	1	2	2	1	2	2
5	1	1	1	3	1	2	2	2
6	2	2	1	3	2	1	1	1
7	2	2	1	4	1	1	2	2
8	1	1	1	4	2	2	1	1
9	1	2	2	1	2	1	1	2
10	2	1	2	1	1	2	2	1
11	2	1	2	2	2	2	1	2
12	1	2	2	2	1	1	2	1
13	1	2	2	3	2	2	2	1
14	2	1	2	3	1	1	1	2
15	2	1	2	4	2	1	2	1
16	1	2	2	4	1	2	1	2
17	2	1	3	1	2	1	2	1
18	1	2	3	1	1	2	1	2
19	1	2	3	2	2	2	2	1
20	2	1	3	2	1	1	1	2
21	2	1	3	3	2	2	1	2
22	1	2	3	3	1	1	2	1
23	1	2	3	4	2	1	1	2
24	2	1	3	4	1	2	2	1
25	2	2	4	1	1	1	2	2
26	1	1	4	1	2	2	1	1
27	1	1	4	2	1	2	2	2
28	2	2	4	2	2	1	1	1
29	2	2	4	3	1	2	1	1
30	1	1	4	3	2	1	2	2
31	1	1	4	4	1	1	1	1
32	2	2	4	4	2	2	2	2



第1図 L₃₂直交表の線点図への実験因子の割付け
Fig. 1. Assignment for experimental factors to L₃₂ Orthogonal array .



第2図 圧縮圧 (因子E) 4水準の決定方法
Fig. 2. 4 levels of endpressure (factor E)

また、圧縮圧の水準は、前報で行った嵌合縦圧縮試験結果から第2図に示す方法により、フィンガー長の水準ごとに求めた。

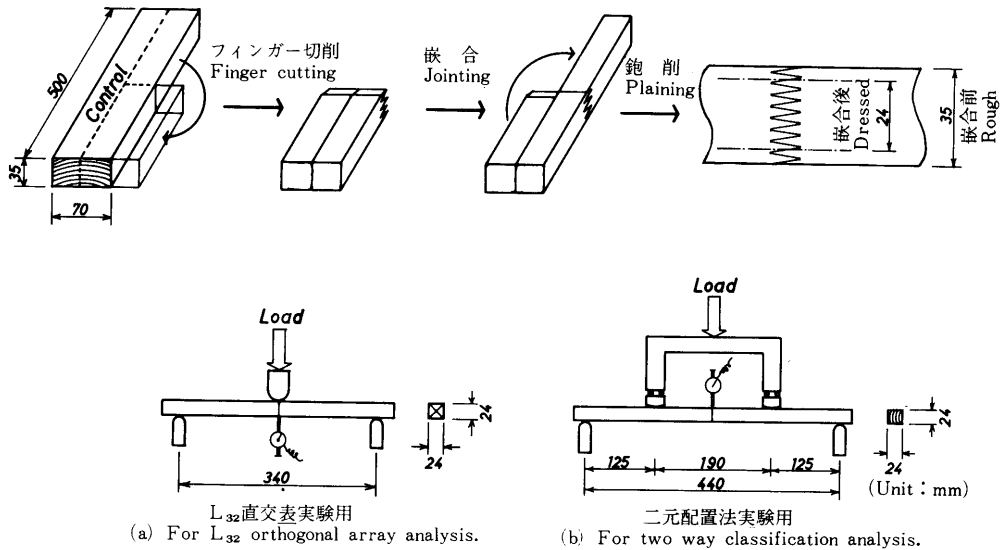
3.1.2 材料と試験方法

断面寸法35mm×70mm、長さ500mm、正板目のエゾマツ無欠点材を供試材とした。用いたカッター及び接着剤は、前報と同一のものである。具体的には、公称長さ12mm、ピッチ4mm、フィンガー底部幅0.4mm、スカーフ傾斜比1：7.5のミニフィンガーカッター（兼房刃物社製 市販品）、及び、レゾルシノール樹脂系接着剤（大日本インキ プライオーフェン 6000、主100：硬15：増10）と水性ビニルウレタン系接着剤（光洋産業 KR - 120、主100：硬15）である。

試験手順を第3図に示す。図のように、所定の寸法に仕上げられた正板目の供試材を二分し、一方をコントロール、他方をジョイント材とした。

この試験ではフィンガー長を因子の一つとして取り上げたが、使用したフィンガーシェーパーの構造が原因で、設定したフィンガー長をいつも正確に成形するのは困難でかつ熟練を要した。したがって、特に相互に嵌合される供試材のフィンガー長を揃えるため、この試験ではジョイント材を長さ方向に二分した後、一時的に仮接着して同時に成形切削し、嵌合されるフィンガー長が正確に同一になるようにした。また、仮接着にあたっては、フィンガー形状が柁目面に現れるか板目面に現れるか（これはスカーフ面の木目が板目か柁目かを意味する）を因子として取り上げたので、柁目同士又は板目同士が接するようにし、柁目と板目が接することのないようにした。

フィンガー切削後、供試材を仮接着面でひき割り、前報と同様にして万能投影機により10倍に拡大したフィンガー形状からフィンガー長を測定した。その後、ブラシを使って接着剤を十分に塗布し、カッター切り込み側と切り出し側の面が同一面となるように嵌合した。嵌合は、5 tonオルゼン型強度試験機を用い、座屈のような現象は起きなかったため特に治具など用いずに行った。試験機の都合で、圧入速度の水準を正確に設定することが出来なかったため、水準とした設定値は圧入時の平均荷重速度である。



第3図 試験片の木取りと曲げ試験方法

Fig. 3. Preparation of specimens and method of bending tests.

ジョイント材は接着剤硬化後、両材縁から1.25ピッチ（5mm）ずつ鉋削し、24mm角に仕上げた。また、コントロールもジョイント材と同一断面に仕上げた。

ジョイント材及びコントロールの強度試験は、第3図（a）に示した方法で、スパン340mmの中央集中荷重で行った。ジョイント材はフィンガー形状が現れた面が負荷面となる垂直フィンガー形式で曲げ強度試験を行い、コントロールは対応するジョイント材と同じ木目を負荷面とした。試験には、10tonアムスラー型油圧強度試験機を用い、ロードセルによる荷重値と電気式変位計による撓みから、X-Yレコーダーに荷重-撓み曲線を記録した。

なお、1条件当たり2体の試験片としたのでデータの繰り返し数は2である。曲げ強度試験の順番は無作為に行った。

3.1.3 結果と考察

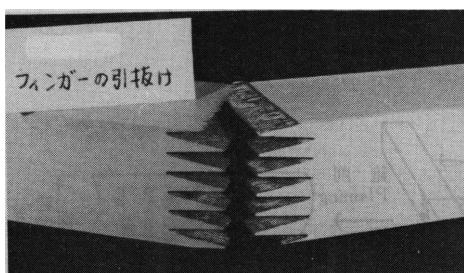
曲げ強度試験結果を第3表に示す。

フィンガージョイント材の製造条件と強度性能の関係を考察するため、曲げ強度に対する接合効率に着目する。理論上、接合効率は0～100%の範囲にあり、存在範囲に限界がある。さらに、今回の試験結果では、52～96%の範囲にあって、分布がはずんでいる。そこで接合効率の値に

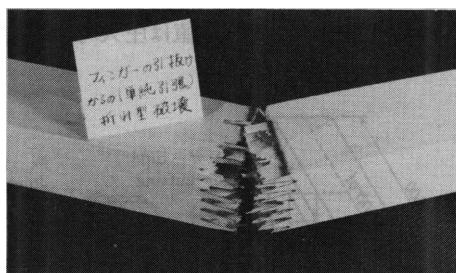
$$= \log_e [1 / (b / b_0) - 1]$$

b / b_0 : 接合効率（小数で示した値）
: 変換値

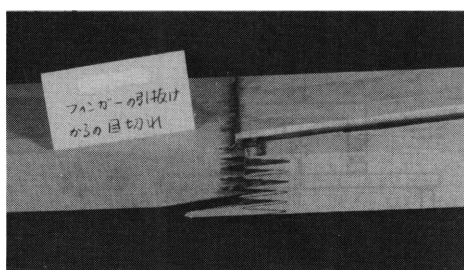
で示されるオメガ変換²⁶⁾の処置を施し、この変換した接合効率 について分散分析を行った。ジョイント材の曲げ破壊形態の代表例を、写真1に示す。



Pull out of finger



Simple tension



Cross-grain tension



Brash tension

写真1 フィンガージョイント材の破壊形態
Photo. 1. Types of failure of jointed specimens.

第3表 曲げ強度試験結果

Table3 .Results of bending test .

Specimen No.	W.R. (mm)	S.G.	Jointed specimens				Control			Joining efficiency		
			E (tonf/cm ²)	σ_p (kgf/cm ²)	σ_b	W.F. (%)	E _o (tonf/cm ²)	σ_{po} (kgf/cm ²)	σ_{bo}	E _o	σ_{po}	σ_{bo}
1	1.4	0.36	87	398	538	80	77	350	678	1.13	1.14	0.79
	1.8	0.37	98	369	596	80	93	387	752	1.05	0.95	0.79
2	1.6	0.35	75	335	520	90	80	390	670	0.94	0.86	0.78
	1.5	0.39	111	393	596	80	109	403	812	1.02	0.98	0.73
3	1.8	0.39	93	409	613	90	90	424	688	1.03	0.96	0.89
	1.5	0.40	102	383	625	70	98	372	736	1.04	1.03	0.85
4	1.8	0.38	71	236	357*	60	74	344	644	0.96	0.69	0.55
	1.0	0.35	102	415	625	80	96	468	746	1.06	0.89	0.84
5	1.1	0.39	101	436	600	50	103	448	808	0.99	0.97	0.74
	0.8	0.40	101	393	567	40	107	408	780	0.95	0.96	0.73
6	1.7	0.41	100	435	726	90	106	409	803	0.94	1.07	0.90
	0.8	0.42	99	455	741	70	106	222	346*	0.94	2.05	2.14
7	1.0	0.41	103	487	658	70	114	471	876	0.91	1.03	0.75
	1.0	0.39	109	385	673	60	109	444	825	1.00	0.87	0.82
8	1.8	0.38	86	368	620	90	85	359	700	1.01	1.02	0.89
	1.0	0.35	70	332	541*	100	73	296	543*	0.95	1.12	1.00
9	0.9	0.40	102	414	537	30	106	481	867	0.96	0.86	0.62
	0.9	0.40	103	377	526	30	110	437	838	0.94	0.86	0.63
10	1.2	0.37	94	400	629	50	95	412	764	0.99	0.97	0.82
	1.9	0.37	97	355	583	70	99	410	757	0.98	0.87	0.77
11	1.7	0.44	102	402	540	10	114	474	915	0.89	0.85	0.59
	1.5	0.37	90	334	486	30	94	306	703	0.96	1.09	0.69
12	1.1	0.36	82	376	589*	80	79	405	696	1.04	0.93	0.85
	2.0	0.38	95	362	645	70	99	446	750	0.96	0.81	0.86
13	1.3	0.36	82	369	589	60	84	344	629*	0.98	1.07	0.94
	1.8	0.37	88	398	622	80	92	373	757	0.95	1.07	0.82
14	1.3	0.37	81	332	506	30	77	278	523*	1.05	1.20	0.97
	1.0	0.39	98	390	571	20	105	410	805	0.94	0.95	0.71
15	1.5	0.37	94	361	608	70	113	457	821	0.83	0.79	0.74
	0.7	0.35	81	352	614	90	78	329	699	1.04	1.07	0.88
16	1.7	0.38	95	288	399	20	97	416	774	0.98	0.69	0.52
	1.4	0.40	98	310	504	20	106	367	790	0.92	0.84	0.64
17	1.1	0.41	73	325	484	80	80	353	639	0.92	0.92	0.76
	0.8	0.35	108	441	672	70	107	502	860	1.01	0.88	0.78
18	1.1	0.40	100	377	537	30	103	438	800	0.97	0.86	0.67
	1.0	0.43	109	348	523	30	109	404	841	1.00	0.86	0.62
19	1.7	0.36	83	377	572	70	84	399	721	0.98	0.94	0.79
	1.4	0.38	98	398	614	50	110	389	816	0.89	1.02	0.75
20	0.9	0.40	101	385	621	60	108	438	862	0.93	0.88	0.72
	2.0	0.36	83	305	494	90	91	346	714	0.91	0.88	0.69
21	1.9	0.37	87	370	552	70	92	403	765	0.95	0.92	0.72
	1.2	0.37	85	341	577	90	87	351	699	0.98	0.97	0.83
22	0.8	0.43	122	468	777	70	128	492	944	0.95	0.95	0.82
	1.0	0.36	84	327	578	80	97	366	750	0.87	0.89	0.77
23	1.0	0.35	72	341	490*	100	79	340	593*	0.91	1.00	0.83
	0.8	0.40	98	382	599	60	102	389	810	0.96	0.98	0.74
24	1.4	0.40	104	364	691	40	93	395	717	1.12	0.92	0.96
	1.5	0.37	83	364	542	90	93	381	703	0.89	0.96	0.77
25	0.9	0.41	104	422	527	50	106	439	893	0.98	0.96	0.59
	1.7	0.38	93	341	494	50	101	403	768	0.92	0.85	0.64
26	1.1	0.36	72	304	491*	100	83	394	683*	0.87	0.77	0.72
	0.6	0.35	70	354	484	90	81	345	669	0.87	1.03	0.72
27	1.7	0.39	97	334	533	50	95	404	794	1.02	0.83	0.67
	1.2	0.38	92	385	524	50	95	375	761	0.97	1.03	0.69
28	1.0	0.35	72	304	510	90	79	381	651	0.91	0.80	0.78
	1.5	0.38	93	348	566	90	103	412	757	0.90	0.87	0.75
29	1.3	0.38	93	341	602	70	94	403	783	1.00	0.85	0.77
	0.7	0.43	118	346	591	50	122	482	935	0.97	0.72	0.63
30	1.8	0.36	96	370	566	80	96	464	714	1.00	0.80	0.79
	1.2	0.42	104	370	599	40	110	424	831	0.95	0.87	0.72
31	0.8	0.44	122	382	707	40	100	493	898	1.22	0.78	0.79
	1.8	0.37	90	375	595	90	96	397	742	0.94	0.95	0.80
32	1.0	0.41	108	400	618	30	107	478	860	1.01	0.84	0.72
	0.9	0.36	68	276	513	60	69	331	610*	0.99	0.84	0.84

Footnote E : Modulus of elasticity.

: Bending stress.

Subscripts p and b indicate each values at proportional limit and at maximum, and subscript o means the value of control.

W.F.: Wood failure.

* : Type of failure is cross of grain.

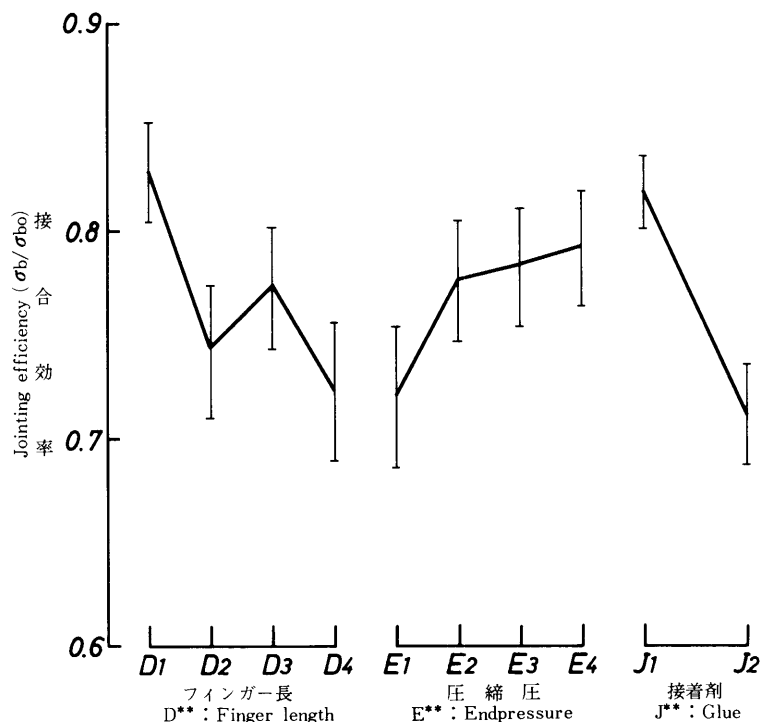
分散分析の結果を第4表に示す。この分析では、目切れ破壊した試験片を欠側値として扱った。フィンガー長、圧縮圧、接着剤が危険率1%で有意、圧縮圧と圧入速度の交互作用が危険率5%で有意であった。心配していたフィンガー長と圧縮圧の交互作用は有意とはならなかった。今回、圧縮圧と圧入速度の交互作用が有意となったことに対しては、試験装置の都合から圧入速度を正確に制御出来なかったため、明確な判断は下せない。現実問題として嵌合装置ごとに固有な圧入速度を制御するのは不可能である。さらに、寄与率も小さいことから、圧縮圧と圧入速度の交互作用は無視する。つまり、構造用フィンガージョイント材の製造条件の中で重要なのは、カッターの種類を固定した場合、フィンガー長、圧縮圧、接着剤の3条件である。

有意となった因子の効果グラフを第4図に示す。この効果グラフから、フィンガー長については11.0mmが最適、9.5~10.5mmは同じ程度ということが分かる。フィンガー長11.0mmは、

第4表 接合効率の分散分析
Table4. Variance analysis of jointing efficiency .

因子 Factor	平方和 s. s.	自由度 d. f.	分散 m. s.	分散比 F ₀	寄与率 r (%)
隣接カッター刃先位置 A. Position of knife edge	0.1087	1	0.1087	—	—
送材速度 C. Feeding speed	0.1904	1	0.1904	1.6931	0.42
フィンガー長 D. Finger length	3.5362	3	1.1787	10.4828**	17.16
圧縮圧 E. Endpressure	1.4889	3	0.4963	4.4138**	6.18
圧入速度 F. Inserting speed	0.1686	1	0.1686	1.4991	0.30
圧縮圧継続時間 G. Time for holding endpressure	0.0791	1	0.0791	—	—
スカーフ面の木目 H. Grain of scarf surface	0.4436	1	0.4436	3.9455	1.78
接着剤 J. Glue	5.9159	1	5.9159	52.6125**	31.13
D × E.	1.1107	9	0.1234	1.0975	0.53
E × G.	0.5215	3	0.1738	1.5459	0.99
E × F.	0.9917	3	0.3306	2.9398*	3.51
e 1	0.4526	4	0.1131		
e 2	3.6325	32	0.1135		
e	4.2729	38	0.1124		34.49
Total	18.6403	63			100.00

Footnote = $\log_e \left[\frac{1}{(b/b_0) - 1} \right]$
 b, b₀ ; M.O.R. of finger jointed specimens and control .
 * ; Significant at 95% level .
 ** ; Significant at 99% level .



第4図 有意になった因子の効果グラフ
Fig. 4. Effect graph of significant factors.

嵌合縦圧縮試験時の荷重 - 変位曲線型にしてB型からA型に変わる長さである。以前の試験結果¹²⁾とあまりフィンガー長が長くなるとスカーフ面の圧縮が行われない危険があることを考え合わせると、今回用いた長さ12mmミニフィンガーカッターに関しては、荷重 - 変位曲線型にしてB型の現れる10.5 ~ 11.0mmのフィンガー長が適正範囲と思われる。

圧縮圧については、荷重 - 変位曲線の直線部分に相当する水準E₂, E₃, E₄が同程度で、直線部分に相当する圧縮圧以下の水準E₁は劣ることが分かる。

接着剤については、前報と同様、レゾルシノール樹脂の方が水性ビニルウレタンよりも明らかに優れていることが分かる。

以上のことから、接着剤にはレゾルシノール樹脂系接着剤、フィンガー長は嵌合縦圧縮試験時の荷重 - 変位曲線型でB型の現れる10.5 ~ 11.0mm、圧縮圧はB型の曲線型の直線部分に相当する80 ~ 130kgf / cm² が適正製造条件であると思われる。この事を確認するため、次節において二元配置法による確認試験を行った。なお、適正製造条件での接合効率についての工程平均及び95%信頼限界を推定すると、0.88 (0.85 ~ 0.91) となる。

3.2 二元配置法による適正製造条件の検討

3.2.1 試験に取り上げた因子と水準

前節でのL₃₂直交表による試験結果から、フィンガー長は10.5 ~ 11.0mm、圧縮圧は80 ~ 130kgf / cm²が適正製造条件と判断され、この確認のため二元配置法による試験を行い、フィンガー長と圧縮圧の適正範囲を決定した。

この試験で取り上げた因子を第5表に示す。フィンガー長と圧縮圧以外の条件は適正条件に固定し、フィンガー長は、前節で適正な範囲と判断された10.5mmと11.0mmの2水準、圧縮

第5表 試験条件
Table 5. Experimental conditions.

因子 Factor	水準 Level												
フィンガー長 D. Finger length (mm)	実測値 (A measured point) D ₁ : 11.0 (11.02~11.09) D ₂ : 10.5 (10.55~10.60)												
圧縮圧 E. Endpressure (kgf/cm ²)	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>E₂</th> <th>E₃</th> <th>E₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D₁</td> <td>I (57)</td> <td>II (95)</td> <td>III (132)</td> </tr> <tr> <td>D₂</td> <td>IV (77)</td> <td>V (125)</td> <td>VI (172)</td> </tr> </tbody> </table>		E ₂	E ₃	E ₄	D ₁	I (57)	II (95)	III (132)	D ₂	IV (77)	V (125)	VI (172)
	E ₂	E ₃	E ₄										
D ₁	I (57)	II (95)	III (132)										
D ₂	IV (77)	V (125)	VI (172)										
カッター Cutter	12mm finger cutter												
カッター回転数 Revolution of cutter	5000 rpm												
カッター切刃の鋭利度 Sharpness of knife edge	鋭利 Sharp												
予備切削 Precutting	なし Non-exist												
切削方法 Cutting method	上向き切削 Up milling												
隣接カッター刃先位置 Position of knife edge	交互 Alternate												
送材速度 Feeding speed	8 m/min												
圧入速度 Inserting speed	6 mm/min												
圧縮圧継続時間 Time for holding endpressure	10 sec												
スカーフ面の木目 Grain of scarf surface	板目 LT												
接着剤 Glue	レゾルシノール Resorcinol												
樹種 Species	エゾマツ Ezomatsu												
平均年輪幅 Width of annual ring (W. R.)	1.2 (0.8~1.5) mm												
比重 Specific gravity (S. G.)	0.40 (0.36~0.46)												
含水率 Moisture content (M. C.)	11.5 (10.0~12.6) %												

圧はE₂とE₃とE₄の3水準とした。

3.2.2 材料と試験方法

この試験で用いた材料、カッター、接着剤は、前節と同一のものである。具体的には、エゾマツ無欠点材、公称長さ12mmミニフィンガーカッター、レゾルシノール樹脂系接着剤である。

試験手順も前節と同様で、第3図に示したとおりである。ジョイント材及びコントロールの曲げ強度試験は、第3図(b)に示した方法で、スパン440mmの2点荷重で行った。ジョイント材はフィンガー形状が現れた面(柱目面)が負荷面となる垂直フィンガー形式で曲げ強度試験を行い、コントロールは対応するジョイント材と同じ木目を負荷面とした。試験には、10ton アムスラー型油圧強度試験機を用い、ロードセルによる荷重値と電気式変位計による撓みから、X-Yレコーダーに荷重-撓み曲線を記録した。

なお、1条件当たり3体の試験片としたのでデータの繰り返し数は3である。曲げ強度試験の順番は無作為に行った。

3.2.3 結果と考察

曲げ強度試験結果を第6表に、オメガ変換した曲げ強度に対する接合効率 について行っ

第6表 曲げ試験結果
Table 6. Results of bending tests.

Specimen	Jointed specimens						Control			Joining efficiency		
	No.	W. R. (mm)	S. G.	E	σ_p	σ_b	E ₀ (tonf/cm ²)	σ_{p0} (kgf/cm ²)	σ_{b0}	E	σ_p	σ_b
				(tonf/cm ²)	(kgf/cm ²)	E ₀				σ_{p0}	σ_{b0}	
I-1	1.3	0.40	99	348	571	97	365	627	1.01	0.95	0.91	
2	1.2	0.40	105	382	606	87	366	689	1.20	1.04	0.88	
3	0.9	0.38	93	329	559	98	343	676	0.95	0.96	0.83	
II-1	1.2	0.46	105	402	641	130	527	1018	0.80	0.76	0.63	
2	1.1	0.37	85	333	582	102	398	778	0.83	0.84	0.75	
3	1.3	0.36	93	425	650	91	374	667	1.03	1.14	0.98	
III-1	0.9	0.44	122	438	732	115	376	798	1.06	1.17	0.92	
2	1.2	0.39	98	398	612	104	397	705	0.94	1.00	0.87	
3	1.0	0.38	74	316	—*	96	368	666	0.77	0.86	1.00*	
IV-1	1.5	0.39	97	298	541	93	389	679	1.04	0.77	0.80	
2	1.2	0.38	103	387	621	96	402	718	1.08	0.96	0.87	
3	0.8	0.39	94	398	632	89	402	676	1.06	0.99	0.94	
V-1	1.1	0.46	120	412	611	123	446	817	0.98	0.92	0.75	
2	1.2	0.38	95	348	596	85	368	614	1.11	0.95	0.97	
3	1.4	0.38	98	396	599	99	378	704	0.99	1.05	0.85	
VI-1	1.2	0.44	131	447	700	133	456	856	0.99	0.98	0.82	
2	1.0	0.38	78	336	510	97	345	671	0.80	0.97	0.76	
3	1.3	0.38	92	382	580	95	343	657	0.97	1.11	0.88	
mean	1.2	0.40	99	376	608	102	391	723	0.98	0.97	0.85	
min.	0.8	0.36	74	298	510	85	343	614	0.77	0.76	0.63	
max.	1.5	0.46	131	447	732	133	527	1018	1.20	1.17	1.00	
S. D.	0.177	0.0297	14.024	41.983	52.587	13.805	44.623	95.732	0.1134	0.1098	0.0919	
n	18	18	18	18	17	18	18	18	18	18	18	

Footnote *: The -destruction of this jointed specimen occurred at non-finger jointed part .

第7表 接合効率 の分散分析
Table7 .Variance analysis of jointing efficiency

因子 Factor	平方和 s. s.	自由度 d. f.	分散 m. s.	分散比 F ₀
フィンガー長 D. Finger length	0.4898	1	0.4898	0.8749
圧縮圧 E. Endpressure	0.6474	2	0.3237	0.5782
D × E.	1.5087	2	0.7543	1.3475
e	6.7176	12	0.5598	
Total	9.3634	17		

Footnote ; For explanation see table 4 .

た分散分析の結果を第7表に示す。ここで、接合効率の値が1.00以上の場合には0.9975としてオメガ変換した。

予想どおり、フィンガー長については嵌合縦圧縮試験時の荷重 - 変位曲線型でB型の現れる10.5 ~ 11.0mmの間で有意な差はなく、圧縮圧についてもB型の曲線型の直線部分に相当する60 ~ 170 kgf / cm² の間で有意差はなかった。今回の全試験片の接合効率の平均0.85と前節の試験結果から求めた最適製造条件での工程平均0.88 (0.85 ~ 0.91) がほぼ重なることは、今回設定したフィンガー長と圧縮圧の範囲が、適正な範囲であることを裏付けるものである。

3.3 まとめ

前報及び本章における試験結果を総合すると、下記のこと結論される。

構造用フィンガージョイント材の製造条件の中で、カッターの種類を固定すると、最も強度性能に影響を与えるのは接着剤の種類、フィンガー長、圧縮圧の3条件である。構造用接着剤であるレゾルシノール樹脂系接着剤と水性ビニルウレタン系接着剤を比較した場合、レゾルシノール樹脂系接着剤の方が明らかに優れている。フィンガー長は、長さ12mmカッターの場合、嵌合縦圧縮試験時の荷重 - 変位曲線型のB型の現れる10.5 ~ 11.0mmが適正範囲である。圧縮圧は、B型の曲線型の直線部分に相当する80 ~ 130kgf / cm² が適正範囲であり、実用的には、80kgf / cm²前後が適正值である。

使用するカッターに関する適正製造条件決定法は、前報で示した嵌合縦圧縮試験を行い、その時の荷重 - 変位曲線型がB型となるフィンガー長を求め、このB型曲線型の直線部分に相当する圧縮圧を求めることである。このようにして求めたフィンガー長と圧縮圧が、適正製造条件である。

4. 3種類のカッターで製造したフィンガージョイント材の曲げ強度試験

前報及び前章までは、カッターの種類を長さ12mmミニフィンガーカッターに固定して各試験を行ってきた。しかし、構造用フィンガージョイント材の利用を考える上で、適正な、つまり最も強いカッター形状を選定することも重要なことである。また、今までに行われたカッター形状とフィンガージョイント材の強度性能の関係を調べた研究³⁾⁴⁾⁵⁾²⁰⁾²¹⁾では、比較的小さな断面の供試材を用いているため、大断面集成材のラミナや枠組壁工法用のラフター及びジョイントなどの大断面材のフィンガージョイントに適したカッターについては、なお検討の余地が残っている。

そこで、この章では、トドマツ208材と3種類のカッターを用いて、カッターごとにフィンガージョイント材の強度性能を統計的に比較し、どのカッターが比較的大きな断面のフィンガージョイントに適しているかを検討した。この章で使用したカッターは、すくい角を20°に固定したリード角なしのウイングカッターで、フィンガー長にしておおよそ10mm、20mm、30mmの3段階となるようにした市販品と試作品である。

前章で確立した適正製造条件決定法に従って嵌合縦圧縮試験を行い、カッターごとの適正製造条件を求めた。次に、その適正製造条件によりフィンガージョイント材を製造し、その

強度試験を行ってカッター間の強度性能差を比較した。

4.1 カッターごとの嵌合縦圧縮試験

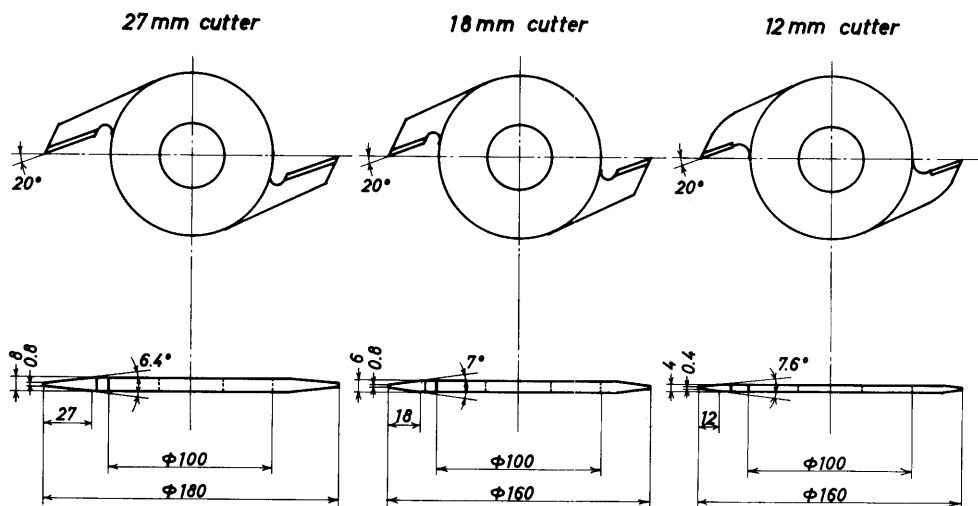
4.1.1 材料と試験方法

本章で用いた3種類のカッターの公称寸法を第5図に示す。それぞれのカッターで切削された木材(トドマツ)に対するフィンガー形状測定結果を第6図に示す。切削条件は、第8表のとおりである。フィンガー形状の測定方法は、前報と同様で、フィンガー切削された被削材の表面1mmを鉋削した後、万能投影器を用いてフィンガー根元から一定距離ごとにスクーフ面の位置を1/100mm精度で測定した。この測定結果から、今後それぞれのカッターを長さ12mmカッター(傾斜1:8.491, ピッチ4.00mm, 根元厚3.44mm, 谷部幅0.56mm), 長さ18mmカッター(傾斜1:8.140, ピッチ7.01mm, 根元厚5.19mm, 谷部幅0.82mm), 長さ27mmカッター(傾斜1:8.187, ピッチ7.99mm, 根元厚7.30mm, 谷部幅0.69mm)と呼ぶこととする。長さ12mmカッターは、現在最も普及しているもので、兼房刃物社製市販品であり、長さ18mmと27mmカッターは木村刃物社製試作品である。いずれのカッターも購入直後の状態で今回の試験に供した。

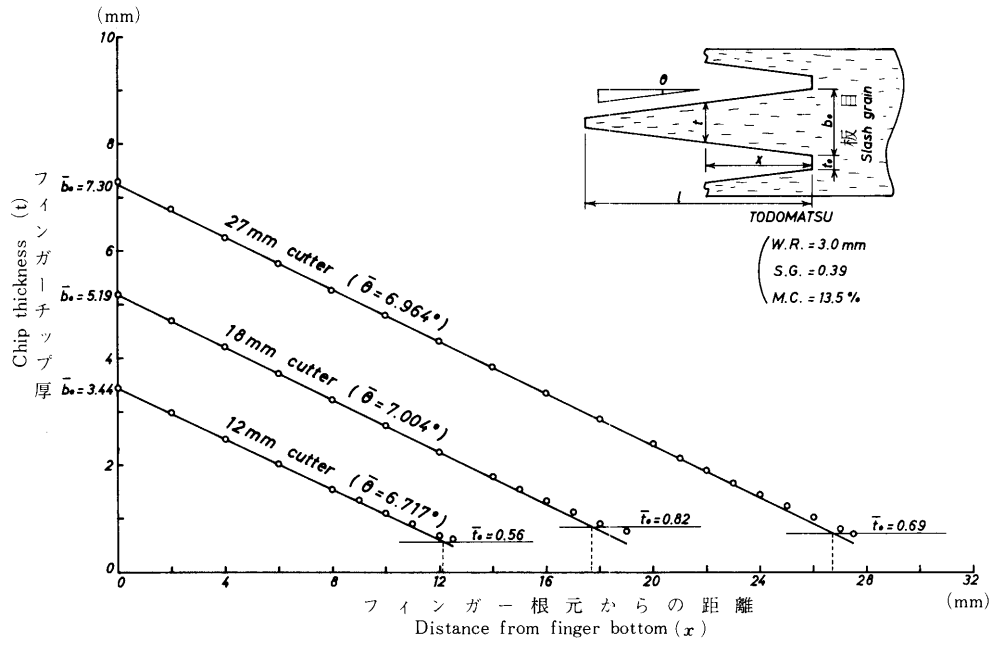
なお、長さ12mmカッターは、前報及び前章までの試験に供したカッターとは別物である。

供試材には鉋削された正板目のトドマツ208無欠点材を、接着剤にはレゾルシノール樹脂系接着剤(アイカ・ネオレジンPR-20)を用いた。

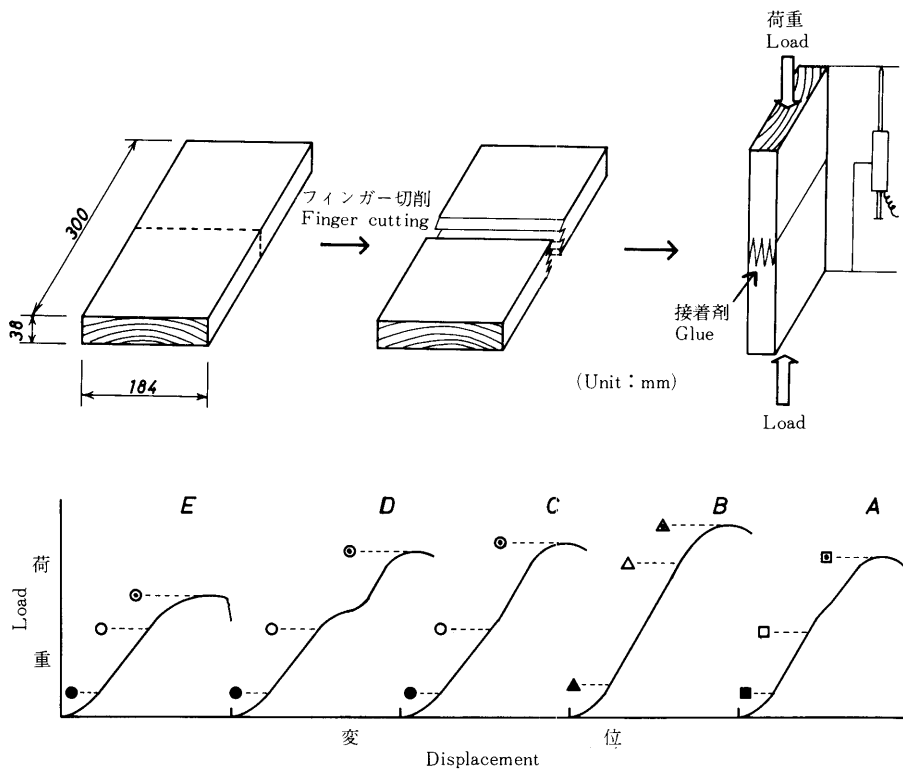
カッターごとの嵌合縦圧縮試験手順と試験条件を、第7図と第8表に示す。設定した切削条件で供試材の両木口をフィンガー切削した後、中央部を鋸断して1組の嵌合縦圧縮試験片を作成した。今回使用したフィンガーシェーバーは、前章までのものとは異なり、設定どおりのフィンガー長に切削可能な機種である。フィンガー長の測定は、フィンガー長設定時のみダミーの材料を用いて行った。次に、フィンガー部に接着剤の主剤のみをブラシで十分に塗布した後、カッター切り込み側と切り出し側の面が同一面となるように、100ton油圧強度試験機を用いて嵌合縦圧縮試験を行った。このとき、座屈のような現象は起きなかったため、特に治具などは用いなかった。そして、荷重200kgfごとの変位を電気式変位計で記録して荷重-変位曲線を作図した。



第5図 本章で使用したカッターの公称寸法
Fig. 5. Nominal size of finger cutters used in this chapter.



第6図 フィンガー形状の測定結果
Fig. 6. Measuring data for finger shapes.



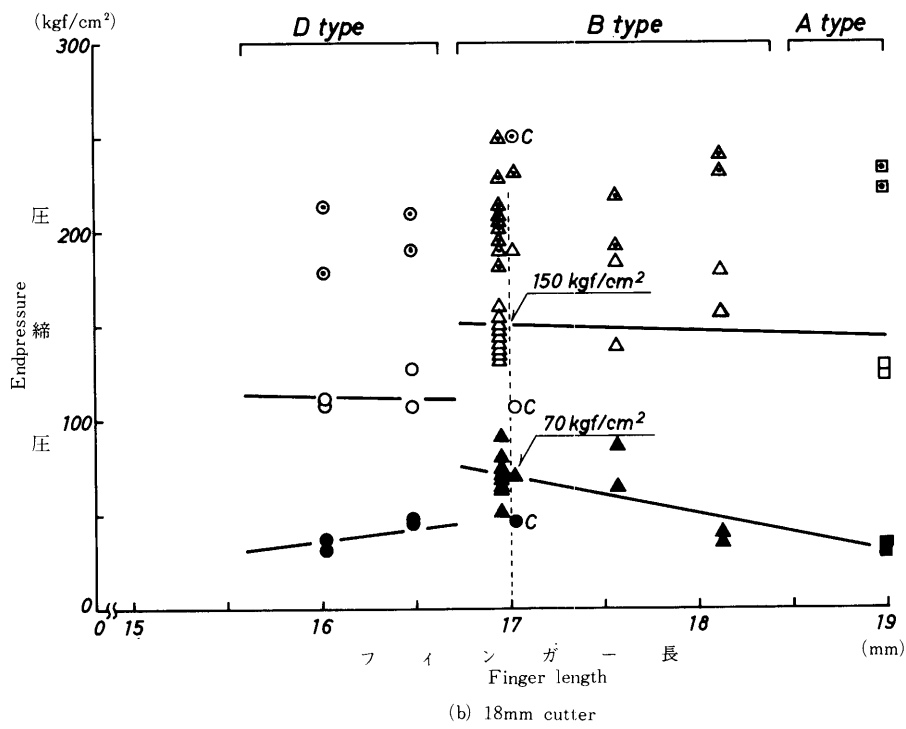
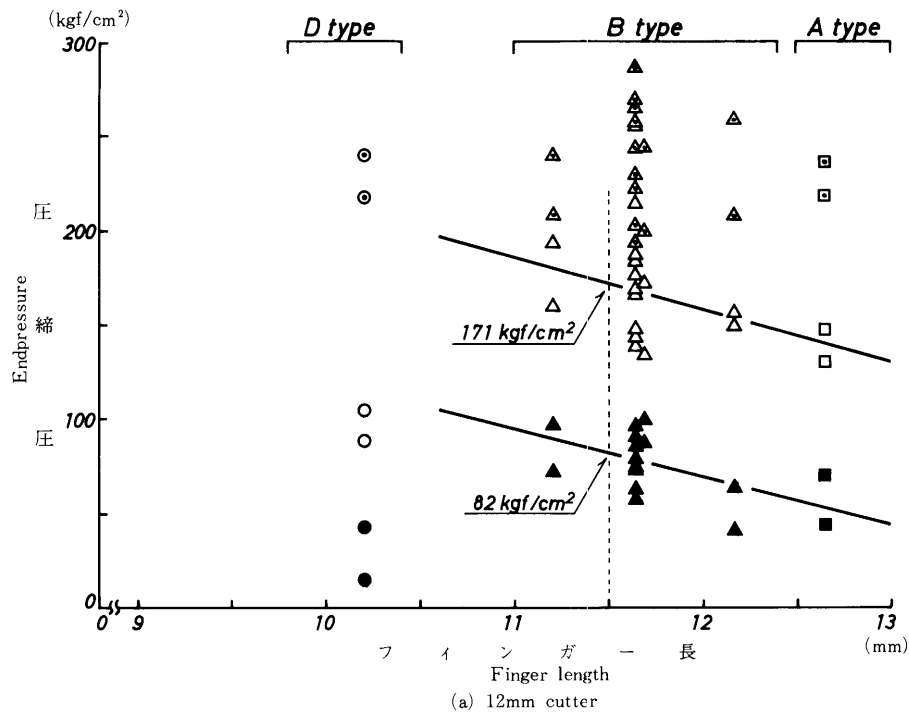
第7図 嵌合縦圧縮試験の手順と荷重 - 変位曲線型
Fig. 7. Method of inserting test and types of load-displacement curve.

第8表 試験条件
Table 8. Experimental conditions.

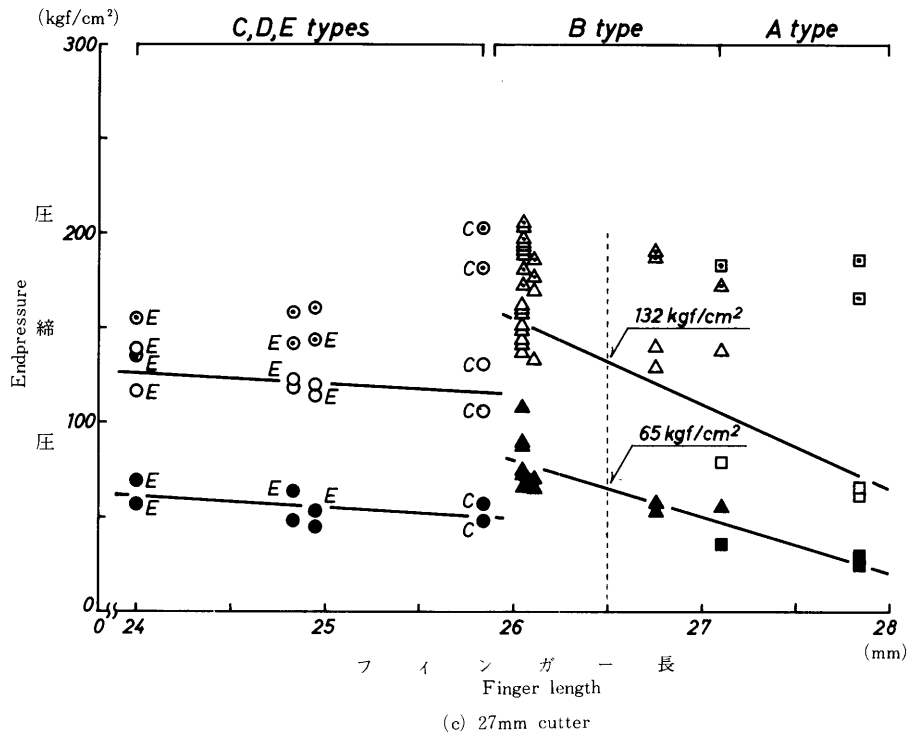
カッター Cutter	3 types (12mm & 18mm & 27mm finger cutter)										
カッター回転数 Revolution of cutter	1800 rpm										
カッター切刃の鋭利度 Sharpness of knife edge	鋭利 Sharp										
予備切削 Precutting	なし Non-exist										
切削方法 Cutting method	上向き切削 Up milling										
隣接カッター刃先位置 Position of knife edge	交互 Alternate										
送材速度 Feeding speed	10 m/min										
スカーフ面の木目 Grain of scarf surface	板目 LT										
フィンガー長 Finger length (mm)	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Cutter</th> <th>設定値</th> </tr> <tr> <th>A set point</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12mm</td> <td>10.0~12.5</td> </tr> <tr> <td>18mm</td> <td>16.0~19.0</td> </tr> <tr> <td>27mm</td> <td>24.0~28.0</td> </tr> </tbody> </table>		Cutter	設定値	A set point	12mm	10.0~12.5	18mm	16.0~19.0	27mm	24.0~28.0
Cutter	設定値										
	A set point										
12mm	10.0~12.5										
18mm	16.0~19.0										
27mm	24.0~28.0										
接着剤 Glue	レゾルシノール (硬化剤なし) Resorcinol (non-hardner)										
樹種 Species	トドマツ Todomatsu (<i>Abies sachalinensis</i>)										
平均年輪幅 Width of annual ring (W. R.)	2.5 (1.4~4.5) mm										
比重 Specific gravity (S. G.)	0.39 (0.35~0.43)										
含水率 Moisture content (M. C.)	12.4 (9.9~15.4) %										

4.1.2 結果と考察

全試験片の荷重 - 変位曲線を整理すると、第7図に示したようなA, B, C, D, Eと名付けた5つの曲線型に分類出来た。5曲線型とも1個ないし2個の直線部分が存在し、最初に現れる直線を第1直線、次に現れる直線を第2直線と呼ぶことにする。前章までの結果から、B型の曲線型が現れるフィンガー長及びそのB型の第1直線に相当する圧縮圧が適正値であることが分かっている。圧縮圧に対するこの第1直線の上下限值及び最大値を求めフィンガー長ごとに図示したのが第8図である。A, B型とC, D, E型の曲線型について、フィンガー長に対する第1直線の上下限値の回帰直線を求め、図中に記入した。



第8図 嵌合縦圧縮試験時におけるフィンガー長と圧入時応力の関係
 Fig. 8. Relationship between endpressure and finger length for inserting test.



第8図(つづき)
Fig.8 (continued)

この図から、長さ12mmカッターの適正製造条件は、フィンガー長11.5mm、圧縮圧127kgf / cm² [= (82 + 171) / 2] , 長さ18mmカッターはフィンガ長17.0mm、圧縮圧110kgf / cm² [= (70 + 150) / 2] , 長さ27mmカッターはフィンガー長26.5mm圧縮圧99kgf / cm² [= (65 + 132) / 2] と決定した。

4.2 カッターごとのフィンガージョイント材の曲げ強度試験

4.2.1 材料と試験方法

供試材及び接着剤には、前節同様、鉋削された正板目トドマツ208無欠点材及びビゾルシノール樹脂系接着剤(アイカ・ネオレジンPR-20、主100:硬15)を用いた。前節で求めたカッターごとの適正製造条件に従い、第9表に示す製造条件及び第9図に示す手順でフィンガージョイント材(通常型)を各12体ずつ製造した。このとき、接着剤の主剤のみを塗布したフィンガージョイント材(無硬化剤型)も、カッターごとに3体製造した。

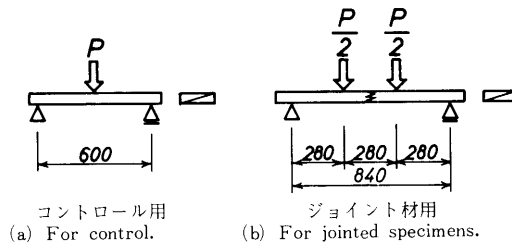
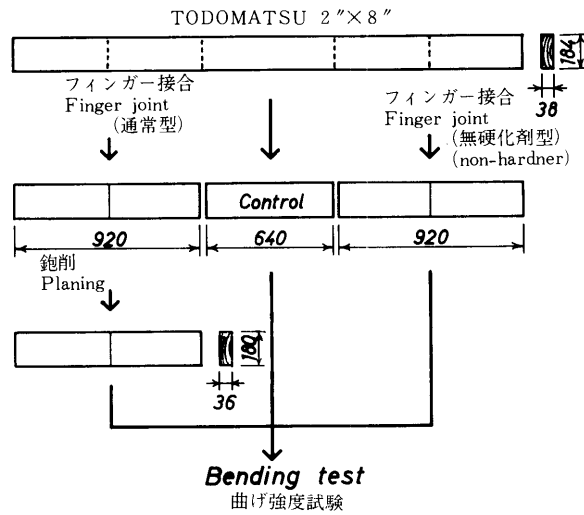
1枚の208材を長さ方向に3分し、両端の材料をフィンガージョイント用に、中央の材料をコントロールとした。最初に、コントロールの曲げ強度試験を行い、コントロールの曲げ強度の大きさに順に、それと対となるフィンガージョイント用の材に順番を付けた。この順番に従って材料を3種類のカッターに振り分けた。例えば、長さ12mmカッターに用いた材料は順番が1, 4, 7,長さ18mmカッターに用いた材料は順番が2, 5, 8,といった具合である。このようにしてカッター間の材料強度が、一様にばらつくよう配慮した。

フィンガージョイント用の材は、材中央部を鋸断して狭い幅の面にフィンガー形状が現れるよう所定のフィンガー長に切削した。フィンガー長の測定は、フィンガー長設定時のみ行っ

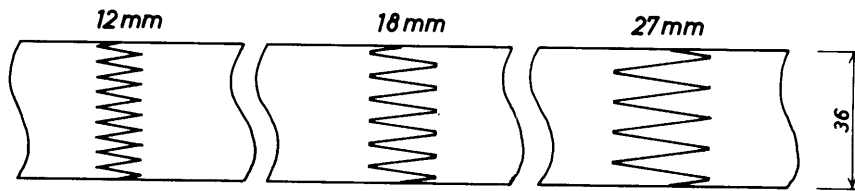
第9表 フィンガージョイント材の製造条件
Table9 . Manufacture conditions of finger jointed specimens .

カッター Cutter	3 types (12mm & 18mm & 27mm finger cutter)		
カッター回転数 Revolution of cutter	1800 rpm		
カッター切刃の鋭利度 Sharpness of knife edge	鋭利 Sharp		
予備切削 Precutting	なし Non-exist		
切削方法 Cutting method	上向き切削 Up milling		
隣接カッター刃先位置 Position of knife edge	交互 Alternate		
送材速度 Feeding speed	10 m/min		
スカーフ面の木目 Grain of scarf surface	板目 LT		
フィンガー長 Finger length (mm)		設定値 A set point	実測値 A measured point
	Cutter		
	12mm	11.50	11.63
	18mm	17.00	16.87
	27mm	26.50	26.06
圧縮圧 Endpressure (kgf/cm ²)		設定値 A set point	実測値 A measured point
	Cutter		
	12mm	127	125
	18mm	110	106
	27mm	99	80
接着剤 Glue	レゾルシノール Resorcinol	硬化剤 : あり hardner : exist	なし non-exist
樹種 Species	トドマツ Todomatsu		
比重 Specific gravity (S. G.)	0.39 (0.35~0.44)		
含水率 Moisture content (M. C.)	11.2 (10.0~13.4) %		

た。その後、フィンガー部に接着剤をブラシで十分に塗布し、カッター切り込み側と切り出し側の面が同一面となるように、100ton 油圧強度試験機と治具を用いて所定の圧縮圧で嵌合した。硬化剤の入った通常の接着剤で製造したフィンガージョイント材（通常型）は、十分な養生後、鉋削を行って断面寸法 36mm×180mm に仕上げた後、曲げ強度試験に供した。硬化剤の入らない接着剤で製造したフィンガージョイント材（無硬化剤型）は、嵌合後ただちに曲げ強度試験に供した。



(Unit : mm)



ジョイント部のフィンガー形状
(c) Edge views of finger joint pattern.

第9図 試験片の木取りと曲げ試験方法
Fig. 9. Preparation of specimens and method of bending tests.

コントロール及びジョイント材の曲げ強度試験方法は第9図に示すとおりである。コントロールはスパン600mmの中央集中荷重で、ジョイント材は通常型も無硬化剤型もスパン840mmの3等分点2点荷重で曲げ強度試験を行った。ジョイント材はフィンガー形状が現れていない面が負荷面となる水平フィンガー形式とし、コントロールは対応するジョイント材と同じ木目を負荷面とした。試験は、10ton インストロン型試験機を用いて試験スピード5mm/minで行い、ロードセルによる荷重値とクロスヘッドの移動量からチャート紙上に荷重 - 撓み曲線を記録した。

4.2.2 結果と考察

曲げ強度試験結果を第10表に示す。カッター間の接合強度を比較したものが第11表である。まず、カッターごとに、用いた材料の性質にかたよりのあるかどうかを調べるため、コント

第10表 曲げ試験結果
Table 10 . Results of bending tests .

Specimen No.	Jointed specimen						Control		Jointing efficiency		
	Hardner : exist				non-exist		E ₀	σ_{p0}	E	σ_p	σ_b
	S. G.	E (tonf/cm ²)	σ_p (kgf/cm ²)	σ_b	Pyield (kgf)	E ₀ (tonf/cm ²)					
12mm cutter-01	0.39	100	449	576	—	90	404	567	1.11	1.11	1.02
02	0.40	93	434	525	—	73	427	623	1.27	1.02	0.84
03	0.40	98	436	567	159	79	454	637	1.24	0.96	0.89
04	0.37	95	391	535	—	83	365	665	1.14	1.07	0.80
05	0.36	101	325	546	—	89	411	694	1.14	0.79	0.79
06	0.37	103	441	558	—	89	411	694	1.16	1.07	0.80
07	0.37	106	504	575	163	88	439	718	1.20	1.15	0.80
08	0.36	104	435	540	—	88	439	718	1.18	0.99	0.75
09	0.41	84	382	478	181	80	487	734	1.05	0.78	0.65
10	0.41	115	472	588	—	101	373	747	1.13	1.27	0.79
11	0.40	111	462	584	—	91	474	758	1.22	0.97	0.77
12	0.44	129	557	655	—	104	525	880	1.24	1.06	0.74
mean	0.39	103	441	560	168	88	434	703	1.17	1.02	0.80
min.	0.36	84	325	478	159	73	365	567	1.05	0.78	0.65
max.	0.44	129	557	655	181	104	525	880	1.27	1.27	1.02
S. D.	0.0239	10.878	56.596	40.655	9.568	8.341	44.374	75.586	0.0610	0.1328	0.0855
n	12	12	12	12	3	12	12	12	12	12	12
18mm cutter-01	0.37	104	442	464	181	74	413	614	1.40	1.07	0.76
02	0.36	97	438	438	186	84	378	629	1.15	1.16	0.70
03	0.35	94	385	415	—	80	357	644	1.18	1.08	0.64
04	0.36	97	290	415	—	84	445	679	1.15	0.65	0.61
05	0.39	84	405	427	—	62	418	697	1.36	0.97	0.61
06	0.39	96	501	501	—	77	467	725	1.24	1.33	0.69
07	0.41	100	425	425	—	77	467	725	1.30	0.91	0.59
08	0.38	103	411	450	185	90	382	739	1.14	1.08	0.61
09	0.36	104	431	431	—	90	382	739	1.16	1.13	0.58
10	0.37	110	494	494	—	95	436	750	1.16	1.13	0.66
11	0.41	81	384	400	—	83	485	777	0.97	0.79	0.51
12	0.44	135	578	625	—	104	525	880	1.29	1.10	0.71
mean	0.38	100	442	457	184	83	430	717	1.21	1.03	0.64
min.	0.35	81	290	400	181	62	357	614	0.97	0.65	0.51
max.	0.44	135	622	625	186	104	525	880	1.40	1.33	0.76
S. D.	0.0257	13.042	84.692	58.712	2.160	10.355	48.408	69.448	0.1116	0.1728	0.0655
n	12	12	12	12	3	12	12	12	12	12	12
27mm cutter-01	0.37	108	444	444	—	85	380	620	1.27	1.17	0.72
02	0.38	105	441	554	—	90	449	650	1.17	0.98	0.85
03	0.37	107	456	456	—	90	449	650	1.19	1.02	0.70
04	0.42	112	463	489	—	95	450	693	1.17	1.03	0.71
05	0.41	118	435	529	135	95	450	693	1.24	0.97	0.76
06	0.39	106	459	459	144	78	296	704	1.36	1.55	0.65
07	0.38	107	391	512	130	78	296	704	1.38	1.32	0.73
08	0.42	101	449	519	—	92	534	733	1.10	0.84	0.71
09	0.40	113	447	569	—	96	431	743	1.18	1.04	0.77
10	0.41	118	501	543	—	93	476	757	1.27	1.05	0.72
11	0.40	85	398	475	—	83	499	819	1.02	0.80	0.58
12	0.40	88	398	493	—	83	499	819	1.06	0.80	0.60
mean	0.39	106	440	504	136	88	434	715	1.20	1.05	0.71
min.	0.37	85	391	444	130	78	296	620	1.02	0.80	0.58
max.	0.42	118	501	569	144	96	534	819	1.38	1.55	0.85
S. D.	0.0173	9.898	30.232	39.022	5.793	6.256	71.989	59.991	0.1056	0.2080	0.0701
n	12	12	12	12	3	12	12	12	12	12	12

Footnote Pyield ; For explanation see fig. 10

第11表 3種類のフィンガーカッター間の接合強度比較
 Table 11 . Comparison for the size of the joint strengths
 between three cutters .

A kind of cutter		σ_{b0}	σ_b	σ_b
		(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	σ_{b0}
12mm	mean	703	560	0.80
	U. V.	6233	1803	0.00797
18mm	mean	717	457	0.64
	U. V.	5262	3760	0.00468
27mm	mean	715	504	0.71
	U. V.	3926	1661	0.00536

Footnote U. V. ; Unbiased variance .

ロールの曲げ強度 σ_{b0} について検定²⁷⁾した。その結果、危険率5%でカッターごとのコントロールの曲げ強度に有意差はなかった。同様にして、カッターごとの通常型フィンガージョイント材の曲げ強度 σ_b と曲げ強度の接合効率 σ_b / σ_{b0} について検討した結果、それぞれ危険率5%で有意差が現れた。つまり、今回試験した3種類のカッターで製造したフィンガージョイント材には、明らかな強度差があり、その順番は

12mmカッター > 27mmカッター > 18mmカッター

であった。

この結果について、第6図に示されたカッターごとのフィンガー形状と今回の試験での実測フィンガー長から考察してみよう。フィンガージョイント材の有効接着面積は、フィンガーチップのスカーフ部分の面積であるから、

$$\begin{aligned} \text{有効接着面積} &= A \times \{2 \times 1 \times \sec \theta \times (B/p)\} \\ &= 2 \times A \times B \times (1/p) \times \sec \theta \\ &= 2 \times A \times B \times \frac{1}{\cos \theta} \end{aligned}$$

ここに、 $\frac{1}{\cos \theta} = (1/p) \times \sec \theta$

- A : フィンガー形状の現れていない材面の幅
- B : フィンガー形状の現れている材面の幅
- θ : フィンガーの傾斜
- P : フィンガーのピッチ
- l : フィンガー長

という式で表すことが出来る。この $\frac{1}{\cos \theta}$ の値の大小が、最もフィンガージョイント材の強度性能に影響を与えるはずである。よって、 $\frac{1}{\cos \theta}$ 値を求めて比較したのが第12表である。表中には、『構造用たてつき木材の製造基準(案)について』²³⁾の中で示されているフィンガージョイント形状の規制の一つである「フィンガー先端厚さとピッチの比 ($t1/p$)」の値も記入してある。 $\frac{1}{\cos \theta}$ 値では、27mmカッターが最強のはずであるが、今回の曲げ強度試験では、2番目に強い成績であった。この原因は、今回の試験方法が水平フィンガー形式であったため、つ

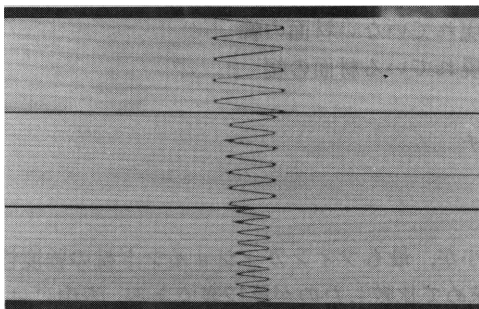
第12表 カッターごとのフィンガー形状の比較
 Table 12. Comparison for the finger profile between three cutters.

	Cutter		
	12mm	18mm	27mm
傾斜 Slope θ	6.717° (1 : 8.491)	7.004° (1 : 8.140)	6.964° (1 : 8.187)
ピッチ Pitch p (mm)	4.00	7.01	7.99
谷部幅 Valley width to (mm)	0.56	0.82	0.69
先端厚 Tip thickness t_1 (mm)	0.70	1.04	0.93
フィンガー長 Finger length l (mm)	11.63	16.87	26.06
$\beta (= (l/p) * \sec \theta)$	2.93	2.42	3.29
t_1/p	0.175	0.148	0.116

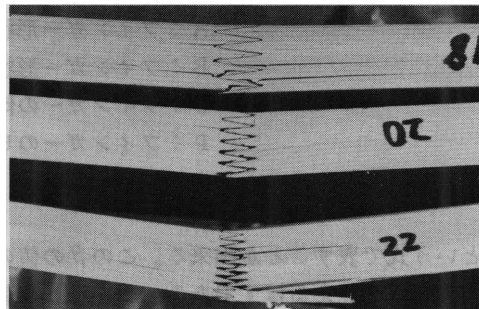
まり試験体の引張側最外部に圧縮圧の十分に加わり難い最外フィンガーチップがきたため、フィンガーピッチの大きな27mmカッターに不利に働いたのかもしれない。また、 t_1/p 値に関しては、接合強度の指標とはならないように思われる。

ジョイント材の曲げ破壊の代表例を写真2に示す。

一方、無硬化剤型フィンガージョイント材の荷重 - 撓み曲線の代表例を第10図に示す。大きな断面の材料をフィンガージョイントする場合、嵌合後の材取り扱い中にフィンガーが引き抜けることがしばしば起こる。このため、接着剤が未硬化状態でのジョイント材の曲げ強度も、カッター選定時の参考になると思われる。今回の試験結果を見ると、18mmカッターが一番引き抜けにくく、次に12mmカッター、27mmカッターの順であった。

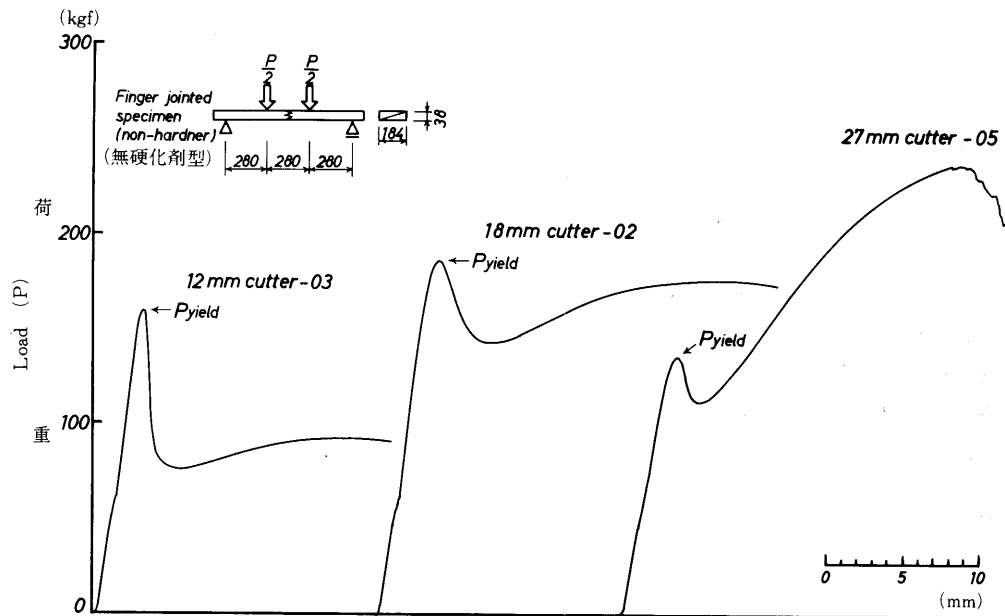


試験前
Before test



試験後
After test

写真2 曲げ強度試験前後の試験片
 Photo . 2 . Jointed specimens of before and after bending test .



荷重点下の撓み
Deflection at loading point

第10図 フィンガージョイント材(無硬化剤)の曲げ試験時の荷重-撓み曲線列

Fig. 10. Examples of load-deflection curve for bending test of finger jointed specimens (non-hardener)

4.3 まとめ

長さ12mm, 18mm, 27mmの3種類の cutter を用い, 前章で確立した適正製造条件決定法に従って嵌合縦圧縮試験を行った。この試験結果から, cutter ごとの適正製造条件を求めた。次に, その適正製造条件によりフィンガージョイント材を製造し, その曲げ強度試験を行って cutter 間の強度性能差を比較した。

その結果, 3種類の cutter で製造されたフィンガージョイント材の曲げ強度性能には, 明らかな強度差があった。その順番は, 12mm cutter > 27mm cutter > 18mm cutter の順であった。この結果から, 現在広く普及している長さ12mmのミニフィンガー cutter は, 比較的大断面の木材のフィンガージョイントにも適していることが分かった。

5. 要 約

本報告は, フィンガージョイント工法による縦継ぎ木材を, 構造用部材として実用化することを目標とした研究の第2報である。内容は, 構造用フィンガージョイント材の適正製造条件について統計的手法により検討したものである

第3章においては, 市販の公称長さ12mmミニフィンガー cutter を用いて, 製造条件を変化させたフィンガージョイント材を製造し, その曲げ強度試験を行った。最初に, L_{32} 直交表による試験を行い, 多くの製造条件の中からフィンガージョイント材の強度性能に影響を与える条件を絞り込んだ。その結果, 最も強度性能に影響を及ぼすのは, 接着剤の種類, フィンガー長, 圧縮圧の3条件であった。レゾルシノール樹脂系接着剤と水性ビニルウレタン系接着剤を比較した場合, レゾルシノール樹脂系接着剤の方が明らかに優れていた。次に, フィンガー長と圧縮圧を因子とした二元配置法による試験を行い, 最終的なフィンガー長と圧縮圧の適正範囲を決定した。フィンガー長は, 長さ12mm cutter の場合, 嵌合縦圧縮試験時の

荷重 - 変位曲線型のB型の現れる10.5 ~ 11.0mmが適正範囲であった。圧縮圧は、B型曲線型の直線部分に相当する80 ~ 130kgf / cm² が適正範囲であり、実的には80kgf / cm² 前後が適正值であった。

使用するカッターに関する適正製造条件決定法は、フィンガージョイント材の嵌合縦圧縮試験を行い、その時の荷重 - 変位曲線型がB型となるフィンガー長を求め、このB型曲線型の直線部分に相当する圧縮圧を求めることである。このようにして求めたフィンガー長と圧縮圧が適正製造条件である。

第4章においては、比較的断面の大きい材料をフィンガージョイントする場合のカッター形状について検討した。最初に、長さ12mm, 18mm, 27mmの3種類のカッターとトドマツ208材を用いて、第3章で確立した適正製造条件決定法に従ってカッターごとの適正製造条件を求めた。次に、その適正製造条件によりフィンガージョイント材を製造し曲げ強度試験を行った。この結果から、統計的検定を行ってカッター間の強度性能の差を比較した結果、明らかな差のあることが判明した。そのフィンガージョイント材の曲げ強度は、12mmカッター > 27mmカッター > 18mmカッターという順であった。このことは、現在広く普及している長さ12mmミニフィンガーカッターは、比較的大断面の木材のフィンガージョイントにも適していることを示している。

6. あとがき

フィンガージョイント材を構造用部材に利用しようとした場合に最も要求されることは、強度性能に対する品質保証である。この保証のための第一歩として、我々は構造用フィンガージョイント材の適正製造条件の確立に取り組んできた。前報と今回の報告により、多くの切削条件及び成合条件の中から最もフィンガージョイント材の強度性能に影響を及ぼす条件を抽出し、その条件の適正範囲を押さえることが出来た。この我々の結論と他の優れた研究の成果²⁰⁾²¹⁾により、構造用フィンガージョイント材の製造条件は確立されたものと信ずる。今後は、構造用フィンガージョイント材の性能試験規格及び許容応力度の確立に向けて努力してゆくつもりである。

今回の試験にあたり、サンモク工業株式会社の御好意により長さ18mmフィンガーカッターを借用させて戴いたことをここに記して、感謝の意を表するものであります。

最後に、試験片の作成と試験の遂行にあたり常にお世話になった当场複合材試験科の皆様と試験を手伝って下さった木材保存科の石村和正氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Seldo, M. L. : Effect of joint geometry on tensile strength of finger joints, F. P. J., Vol.13, No.9, pp.390 ~ 400 (1963)
- 2) 星 通, 森 稔 : ミズナラの縦接ぎ接着有効率, 農林省林業試験場研報 第153号, pp.73 ~ 93 (1963)
- 3) 星 通, 千葉保人 : ミニフィンガージョイントの形状と性能, 木材工業, Vol.28, No.8, pp.335 ~ 357 (1973)
- 4) 星 通, 千葉保人 : ミニフィンガージョイントの形状と性能 (2), 木材工業, Vol.31, No.8, pp.343 ~ 345 (1976)
- 5) 星 通 : ミニフィンガージョイントの形状と性能 (3), 農林省林業試験場木材部資料52-8 (1978)
- 6) 小西千代治, 鈴木藤吉, 栴沢文夫 : フィンガージョインターによるフローリングの縦接合試験 (1), 林産試月報, No.148, pp.4 ~ 15 (1964)
- 7) 小西千代治, 鈴木藤吉, 栴沢文夫 : フィンガージョインターによるフローリングの縦接合試験 (2), 林産試月報, No.150, pp.5 ~ 11 (1964)
- 8) 小西千代治, 吉田直隆, 奈良直哉 : フィンガージョインターによるフローリングの縦接合試験 (3), 林産試月報, No.155, pp.7 ~ 13 (1964)
- 9) 生田晴家, 宮島 寛 : ミニフィンガージョイント接合法の適正圧縮力について, 日本木材学会北海道支部講演集, No.5, pp.8 ~ 10 (1973)
- 10) 倉田久敬, 長原芳男 : 高含水率針葉樹材のミニフィンガー・ジョイント (1), 林産試月報, No.306, pp.7 ~ 10 (1977)
- 11) 倉田久敬, 堀江秀夫, 長原芳男 : 高含水率針葉樹材のミニフィンガー・ジョイント (3), 林産試月報, No.321, pp.11 ~ 15 (1978)
- 12) 倉田久敬, 堀江秀夫 : フィンガージョイントの作業条件について, 林産試月報, No.334, pp.13 ~ 17 (1979)
- 13) 堀江秀夫, 倉田久敬 : フィンガー・ジョイント材 (F・J材) の強度性能 (第2報), 林産試月報, No.356, pp.5 ~ 16 (1981)
- 14) 堀江秀夫, 倉田久敬 : フィンガー・ジョイント材 (F・J材) の強度性能 (第3報), 林産試月報, No.363, pp.1 ~ 7 (1982)
- 15) 堀江秀夫, 倉田久敬 : フィンガー・ジョイント材 (F・J材) の強度性能 (第4報), 林産試月報, No.381, pp.14 ~ 16 (1983)
- 16) 堀江秀夫, 倉田久敬 : 構造用フィンガージョイント材の強度性能 (第1報), 林産試研報 第73号 (1984)
- 17) 日本木材加工技術協会 CL 専門委員会 : 縦つぎ木材の製造基準 (案) - 1, 木材工業, Vol.31, No.10, pp.446 ~ 448 (1976)
- 18) 日本木材加工技術協会 CL 専門委員会 : 造作用縦つぎ木材および化粧ばり造作用縦つぎ木材の製造基準 (案) 解説, 木材工業, Vol.32, No.4, pp.169 ~ 172 (1977)
- 19) たてつぎ木材の性能調査専門委員会 : 市販の造作用たてつぎ木材の性能試験, 木材工業, Vol.34, No.6, pp.258 ~ 262 (1979)
- 20) (財) 日本住宅・木材技術センター : 昭和57年度 技術開発推進事業報告書, 縦接合部材開発 (1983)
- 21) (財) 日本住宅・木材技術センター : 昭和58年度 技術開発推進事業報告書, 縦接合部材開発 (1984)

- 22) 有馬孝礼：フィンガージョイント縦継ぎ木材の現状と技術的課題，木材工業，Vol.39.
No.10，pp.473～478（1984）
- 23)（財）日本住宅・木材技術センター縦継ぎ委員会：構造用たてつぎ木材の製造基準（案）
について，木材工業，Vol.40，No.4，pp.175～181（1985）
- 24) 磯部邦夫：初心者のための直交表の使い方 - 基礎編，日本規格協会（1964）
- 25) 磯部邦夫：初心者のための直交表に使い方 - 計数分類値編，日本規格協会（1964）
- 26) 田口玄一：統計解析，丸善（1966）
- 27) 大崎紘一，菊池 進，緒方正名：ベーシック・プログラムによる統計手法，同文書院（1983）