

フィンガー・ジョイント材 (F・J材) の強度性能 (第2報) *

- F・J材の許容応力度の検討 -

堀 江 秀 夫 倉 田 久 敬

1. はじめに

近年の原木事情の悪化は、今まで利用されなかった材料を積極的に使って行かなければならない状況を生み出している。製材及び加工工場から出る端材や、狂い・節などの欠点を除去したのちの短尺材の有効利用は、木材加工技術の課題である。この課題解決のため、フィンガー・ジョイント工法による縦継ぎ加工が普及しはじめてから既に久しい。当初この工法は、集成材用ラミナの縦継ぎにのみ使用されていたが、近年に至って、素材をフィンガー・ジョイントしただけの縦継ぎ木材 (F・J材) にも造作用として利用されるようになった¹⁾。そして今後は、フィンガー・ジョイント工法の本命である構造用縦継ぎ木材の実用化が望まれている。この実用化のためには、構造用F・J材の製造基準、性能試験規格、許容応力度の確立が必要である。

我々は、F・J材を構造用部材として利用する場合に障害となっている製造基準、性能試験規格、許容応力度について研究を進めている。第1報²⁾では、F・J材の製造工程の中から幾つかの基本的作業条件を取り上げて、曲げ強度性能に対する影響から適正作業条件を求めた。本報告は、前回求めた適正作業条件により製造したF・J材の総合的な強度性能試験を行い、得られた結果から、F・J材の許容応力度について検討したものである。実施した強度試験は、小型試験片の圧縮、引張、曲げ、衝撃曲げ、曲げクリープと実大試験としての204 F・J材の曲げ試験である。

なお、本報告は第31回日本木材学会大会 (昭和56年4月、府中市) において口頭発表を行った。

*本誌 No. 334 (1978) の報告を第1報とする

2. 材料及び試験方法

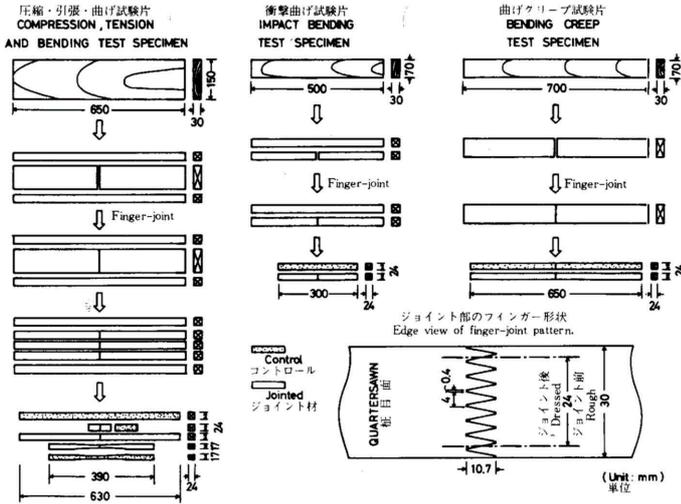
2.1 F・J材の製造条件と試験片の調製

今回の試験で用いた材料、カッター、接着剤は前報と同じものであり、それぞれエゾマツ気乾材、12mmミニフィンガー・カッター (兼房刃物)、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 #6001)、主100:硬15:増5) である。なお、衝撃曲げ試験のみ、水性ビニルウレタン系接着剤 (光洋産業 KR-120、主100:硬15) も使用した。F・J材の製造は第1表に示す条件 (前回求めた適正作業条件) で行った。嵌合装置として、小型試験片のときは生産用ジョインターを用い、204材のときは嵌合用治具を取りつけた100ton油圧式強度試験機を用いた。

第1図に小型試験片の木取り方法を示す。厚さ30

第1表 フィンガー・ジョイント材の製造条件
Table 1. Manufacture conditions of finger-jointed specimens.

切 削 条 件 Shaping	予備切削 Precutting	なし Non-exist
	隣接カッターの刃先位置 Position of knife edge	ずれ Alternate
	送材速度 Feeding speed	8m/min.
嵌 合 条 件 Assembling	フィンガーの長さ Length of finger	10.7mm
	エンドプレッシャー Endpressure	125kg/cm ²
	接着剤 Glue	レゾルシノール樹脂 Resorcinol resin
材 条 件 Work	樹種 Species	エゾマツ Ezomatsu (Picea jezoensis CARR.)
	年輪幅 Width of annual ring	1.6(0.7-2.9)
	含水率 Moisture content	11.7(9.9-14.4)
	フィンガー形状面の木目 Grain of finger shaped surface	柎目 Quartersawn



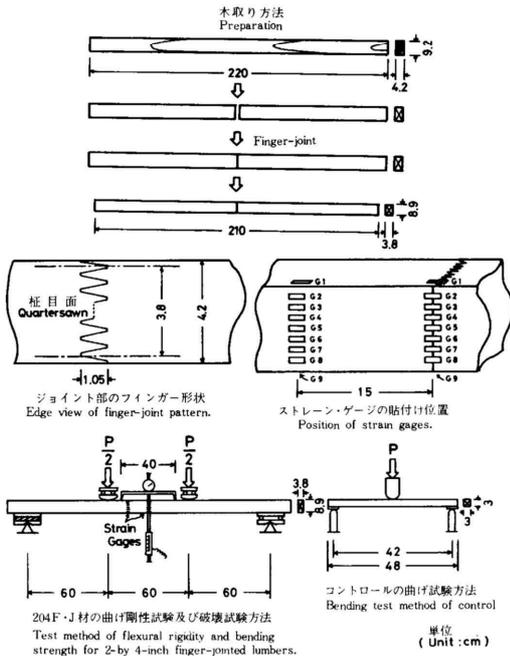
第1図 小型試験片の木取り方法
Figure 1. Preparation of small specimens.

mmの正板目原板から、あらかじめコントロール用の試験片を採取したのち、材中央部鋸断・フィンガー切削・接着剤塗布・嵌合・室内での養生、の順序でF・J材を製造した。フィンガー切削は原板の柁目面(狭い面)にフィンガー形状が表れる様に行い、接着剤の塗

布はブラシで十分に行った。次に、ジョイントされた原板を所定の試験片に加工した。圧縮・引張・曲げ試験片は同一原板から採取した。曲げクリープ試験のコントロールは、クリープ試験用F・J材の静的曲げ最大荷重を推定するためのもので、静的曲げ試験用F・J材である。

第2図に204F・J材の木取り方法を示す。4.2×9.2cm断面の正板目原板を、先に曲げ剛性試験を行ったのち、小型試験片と同様な手順でジョイントし、養生後3.8×8.9cmの204断面に加工した。この場合のコントロールは、曲げ破壊試験後の204F・J材の非破壊部分から採取した無欠点小試験片である。1体の204F・J材から2本の無欠点小試験片を採取して曲げ強度試験を行い、曲げ強度の大きい方をコントロールとした。

全試験片は二方柁の繊維通直材であり、F・J材の場合には柁目面にフィンガー形状が表れている。小型試験片のF・J材とコントロールは同一寸法であり、全試験片ともF・J材とコントロールの加力方向は同一である。以下に各試験片の寸法と個数を示す。



第2図 204F・J材の木取りと曲げ試験方法
Figure 2. Preparation and test method of 2-by-4-inch finger-jointed lumbars.

	寸法 (cm)	個数
圧縮	2.4×2.4× 8	19
引張	2.4×1.7× 39 (中央平行部の厚さ0.5)	17
曲げ	2.4×2.4× 63	19
衝撃曲げ	2.4×2.4× 30	20
曲げクリープ	2.4×2.4× 65	7
204F・J材	4.2×9.2× 220 (ジョイント前)	12
	3.8×8.9× 210 (ジョイント後)	
204F・J材のコントロール	3.0×3.0× 42	12

2.2 小型試験片の試験方法

各試験において、F・J材とコントロールを同時に試

験し、両者の変形形態と強度性能をは握・検討した。ここでいう変形形態とは、応力 - 歪曲線の型及び最大応力に対する比例限度応力の比で表される材料が変形するときの特徴を意味し、以後この意味で用いる。

圧縮試験 5ton オルゼン型強度試験機を用いて、ロードセルと試験片のフィンガー形状面に取り付けたストレインゲージ式伸び計による荷重 - 変位曲線を・Yレコーダーに記録した。これから、圧縮のヤング係数 E 、比例限度応力 p 及びその時の歪 p 、最大応力 m 及びその時の歪 m を求めた。

引張試験 5ton オルゼン型強度試験機を用いて、フィンガー形状面のジョイント部に張り付けたペーパーベースのワイヤーストレインゲージによる歪を、F・J材は荷重20kg刻みで、コントロールは荷重40kg刻みで測定した。これから応力 - 歪曲線を作図し、引張の E 、 p 、 p 、 m 、 m を求めた。

曲げ試験 10ton アムスラー型強度試験機を用いて、スパン52cm、荷重点間距離20cm、フィンガー形状面加力の4点拍げ試験を行った。ロードセルとスパン中央部 (ジョイント部) に取り付けた1/100mm精度のストレインゲージ式ダイヤルゲージによる荷重 - 全体撓み曲線を、・Yレコーダーに記録した。これから、曲げの E 、 p 、 p 、 m 、 m を求めた。また、比例限度荷重 Pp 及びその時の撓み p と最大荷重 Pm 及びその時の撓み m から、粘りの程度を示すヤンカ靱性係数 Z を求めた $[Z = (m - p) / (Pm - Pp)]$ 。

衝撃曲げ試験 シャルピーの衝撃曲げ試験機を用いて、10kg・mの衝撃エネルギーを持った衝撃ハンマーでスパン24cmの中央部 (ジョイント部) フィンガー形状面を衝撃し、衝撃曲げ吸収エネルギーを求めた。この試験にのみ水性ビニルウレタン系接着剤も使用し、試験片数をレゾルシノール10体、水性ビニルウレタン10体とした。

曲げクリープ試験 クリープ試験に先立ってコントロールの静的曲げ試験を行い、得られた曲げ最大荷重に対するクリープ試験時の積載荷重の比を、荷重比とした。コントロールの曲げ試験とクリープ試験の方法は、スパン60cm、荷重点間距離24cm、フィンガー形

状面加力の4点曲げ方式である。クリープ試験は、20・65%RHの恒温恒湿室内で行い、モーメント一定区間の撓みを、長さ15cmのはかまに取り付けた1/1000mm精度のダイヤルゲージで8日間測定した。設定した荷重比は、20、30、40、50、55、60、70%の7段階で、1荷重比1試験片とした。設定荷重比に相当する重りを載荷して10秒後の撓みを初期撓みとし、この初期撓みに対するクリープ撓みの比を曲げクリープ関数とした。あるクリープ経過時間に対する荷重比とクリープ関数の関係から、F・J材のクリープ限度の推定を試みた。

2.3 204F・J材の曲げ試験

第2図に試験方法を示す。204材のジョイント前後の剛性試験及び破壊試験は、2ton オルゼン型強度試験機と100ton油圧式強度試験機を用いて、スパン180cmの3等分点2点荷重方式で行った。撓みは、モーメント、一定区間について、長さ40cmのはかまに取り付けた1/1000mm精度のダイヤルゲージで測定した。剛性試験は、ジョイント前にフラットワイズとエッジワイズの両方向を行い、ジョイント後にフラットワイズ方向を行った。破壊試験は、フィンガー形状面加力のエッジワイズ方向で行い、撓みの測定と同時に、ジョイント部とそこから15cm離れた非ジョイント部に張り付けたそれぞれ9枚のペーパーベースのワイヤーストレインゲージによる歪を、荷重20kg刻みで測定した。これから、剛性試験及び破壊試験時の荷重撓み曲線、荷重 - 歪曲線を作図し、ジョイント前後のフラットワイズとエッジワイズのヤング係数 E_1 、 E_1 、 E_2 、 E_2 、比例限度応力 p 、曲げ破壊係数 m 、及びジョイント部と非ジョイント部の断面内歪分布を求めた。

コントロールの曲げ試験は、5tonインストロン型強度試験機を用いて、スパン42cmの中央集中荷重、柁目面加力で行った。これから、コントロールの比例限度応力 op 、曲げ破壊係数 om を求めた。

204F・J材とコントロールとは断面寸法が異なるため、ASTM - D245³⁾に従い、それぞれの曲げ破壊係数を寸法係数 F で除して2×2インチ断面の値に変

第2表 小型試験片の強度試験結果
Table 2. Results of strength tests for small specimens.

試験項目 Test items	ジョイント材 Jointed specimen							コントロール Control					
	ヤング係数	比例限度歪	最大歪	比例限度歪	最大歪	ヤンカ力	ヤンカ力	ヤング係数	比例限度歪	最大歪	比例限度歪	最大歪	
	E	ϵ_p	ϵ_m	σ_p	σ_m	Z	Z	E_o	ϵ_{op}	ϵ_{om}	σ_{op}	σ_{om}	
	(ton/cm ²)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	($\times 10^{-2}$ cm/kg)	($\times 10^{-2}$ cm/kg)	(ton/cm ²)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	
圧縮 Compression (19*)	mean	117	2080	3690	241	364	0.66	112	2470	3790	274	377	
	min.	95	1280	3040	149	307	0.41	94	1590	3020	191	318	
	max.	134	2480	4550	320	424	0.79	131	3090	5160	353	444	
	S.D.	9	366	398	46	35	0.12	11	371	469	40	37	
引張 Tension (17*)	mean	127	2170	5310	276	616	0.45	130	4750	9120	615	1108	
	min.	108	1230	3950	165	475	0.30	109	3980	6550	491	898	
	max.	147	3840	7050	496	803	0.83	149	5160	12400	729	1329	
	S.D.	8	531	793	66	81	0.11	11	331	1519	59	130	
曲げ Bending (19*)	mean	117			420	686	1.81	0.61	120			436	735
	min.	104			291	548	1.03	0.53	102			272	579
	max.	127			510	799	3.23	0.66	131			520	866
	S.D.	7			54	72	0.56	0.03	8			54	76

脚注) * ; 試験片数 Number of test specimens.

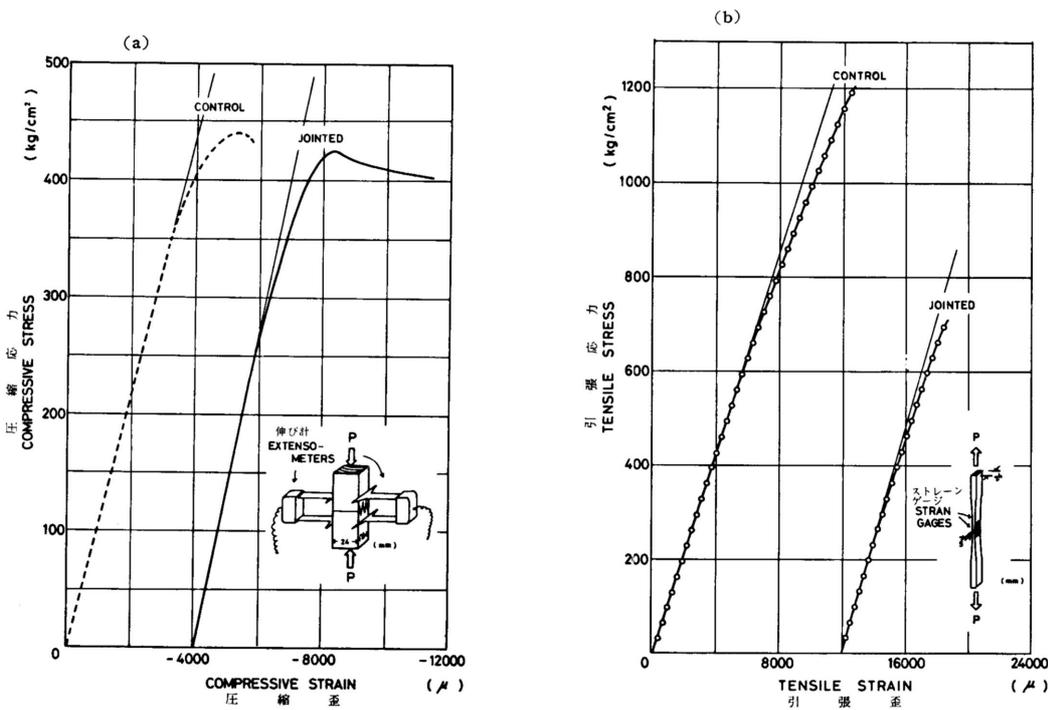
Footnote E ; Modulus of elasticity(M. O. E.).

ϵ ; Fiber strain.

σ ; Fiber stress.

Z ; Modulus of Janka-toughness in bending.

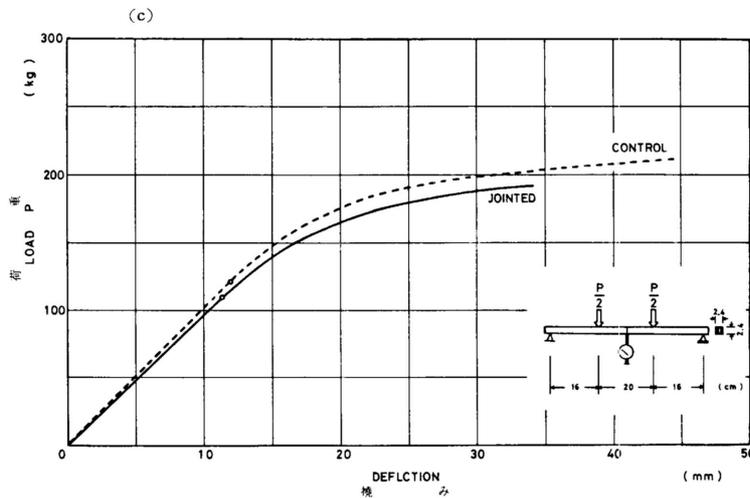
Subscripts p and m indicate each values at proportional limit and at maximum, and subscript o Jointing efficiency is the ratio of finger-jointed properties to control properties.



第3図 小型試験片の応力 - 歪曲線 (a), (b) 及び荷重 - 撓み曲線 (c) の代表例
Figure 3. Typical stress - strain curves (a), (b) and load - deflection curves (c) for small specimens.

接合効率 Jointing efficiency							
ヤング 係数 Z_0 ($\times 10^{-2}$ cm/kg)	σ_{op}/σ_{om}	E/E_0	ϵ_p/ϵ_{op}	ϵ_m/ϵ_{om}	σ_p/σ_{op}	σ_m/σ_{om}	Z/Z_0
0.73	1.05	0.87	0.98	0.90	0.97		
0.55	0.94	0.50	0.79	0.52	0.91		
0.83	1.29	1.56	1.14	1.45	1.01		
0.08	0.09	0.25	0.09	0.23	0.03		
0.56	0.98	0.47	0.61	0.47	0.58		
0.41	0.74	0.30	0.43	0.26	0.36		
0.74	1.19	0.82	0.77	0.75	0.71		
0.07	0.10	0.12	0.09	0.11	0.08		
2.39	0.60	0.98		0.97	0.94	0.75	
1.34	0.39	0.83		0.69	0.75	0.36	
3.50	0.66	1.16		1.26	1.10	1.38	
0.65	0.05	0.08		0.11	0.08	0.22	

means the value of control.



〔林産式月報 1981年9月〕

換して比較した。204F・J材とコントロールの寸法係数FJ, Fcを求めると $[F = (2/h)^{1/9}, h; \text{梁せい, 単位はインチ}]$,
 $FJ = 0.9397, Fc = 1.0597$
 となる。

3. 結果と考察

3.1 小型試験片の試験結果

3.1.1 圧縮・引張・曲げ試験

第2表に試験結果を示す。

ヤング係数の平均接合効率は、圧縮1.05、引張0.98、曲げ0.98とほとんど1.00に近い値を示し、従来からいわれている⁴⁾様にF・J材のヤング係数の低下はみられなかった。また、F・J材について、圧縮ヤング係数Ecを基準として引張及び曲げヤング係数Et, Ebと比較すると、 $E_c : E_t : E_b = 1.00 : 1.09 : 1.00$ となり、素材と同様⁵⁾にF・J材の各ヤング係数間の一致性は良好であった。

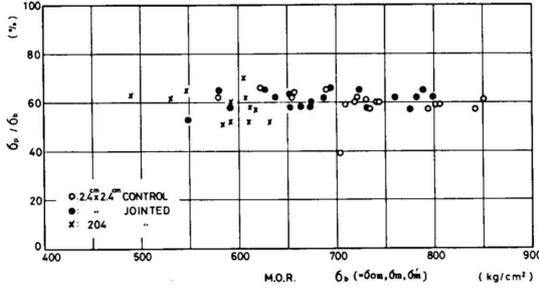
第3表はヤング係数に対する強度の相関を調べたものである。F・J材の曲げに関しては、コントロールと比べて相関は低かった。

第3図は圧縮及び引張の応力 - 歪曲線と曲げの荷重 - 撓み曲線の代表例である。ジョイントしたことによる強度の低下はあるが、F・J材とコントロールの曲線型にはあまり差異がない。第4図には曲げ強度に対する比例限度応力の比を、曲げ強度毎にプロットしたものを示す。この図が

第3表 小型試験片のヤング係数(X)と強度(Y)の関係
Table 3. Relationship between M.O.E.(X) and strength(Y) for small specimens.

試験項目 Test items	ジョイント材 Jointed specimen		コントロール Control	
	回帰直線 Regression line	相関係数 Correlation coefficient	回帰直線 Regression line	相関係数 Correlation coefficient
圧縮 Compression (19)	$Y = 2.44X + 79$	0.65**	$Y = 1.91X + 162$	0.57*
引張 Tension (17)	$Y = 2.29X + 325$	0.24	$Y = 1.04X + 972$	0.09
曲げ Bending (19)	$Y = 5.47X + 49$	0.53*	$Y = 6.92X - 94$	0.77**

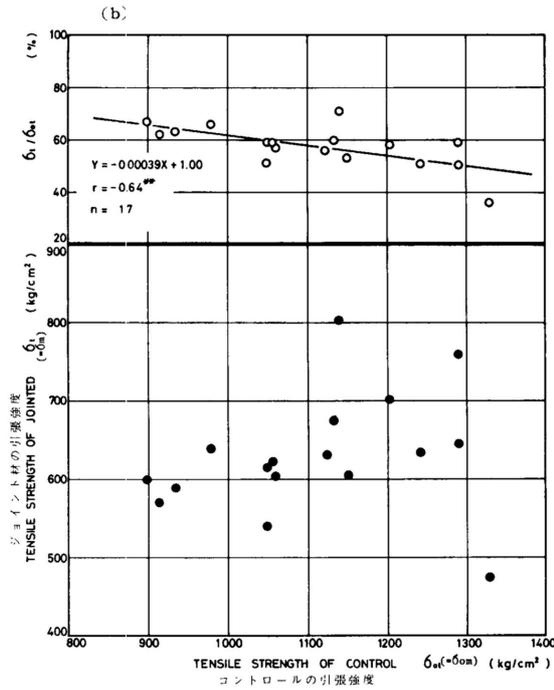
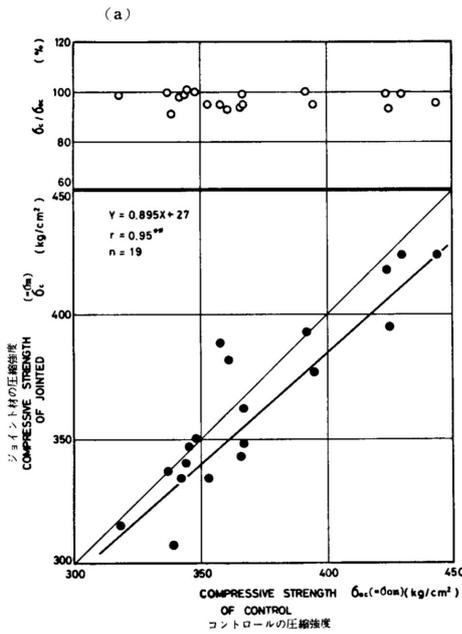
脚注) * ; 有意水準 1% Significant at 99% level
Footnote ** ; 有意水準 5% Significant at 95% level



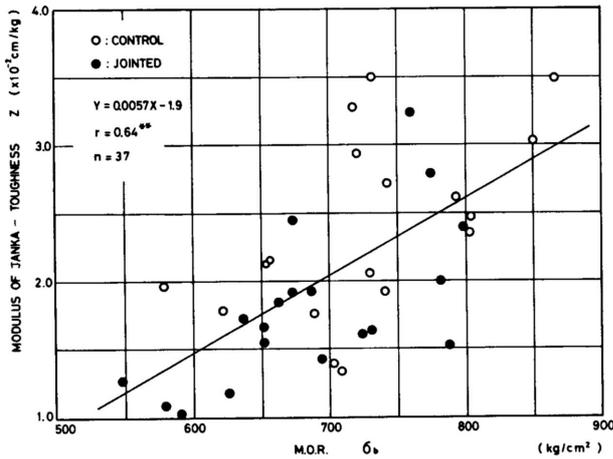
第4図 曲げ強度(σ_b)と曲げ強度に対する比例限度応力の比(σ_p/σ_b)の関係
Figure 4. Relationship between M.O.R.(σ_b) and the ratio of stress at proportional limit(σ_p) to M.O.R.(σ_b).

ら, 曲げ強度に対する比例限度応力の比に関しても, F・J材とコントロールとで差がないことが看取される。この傾向は圧縮及び引張においてもみられ, これらの結果から, F・J材とコントロールとの間の変形形態の差異はないものと思われる。

強度の平均接合効率は, 圧縮0.97, 曲げ0.94, 引張0.58の順で低下し, 引張の低さが目立った。第5図はコントロール強度に対する, F・J材強度又は接合効率の関係を示したものである。図中の回帰直線, 相関係数rからわかる様に, 圧縮と曲げの場合には, コントロール強度とF・J材強度との間に強い正の相関関係がみられ, そして接合効率はコントロール強度とは無関係にほぼ一定となっている。引張の場合には, コントロール強度と接合効率の間に負の相関関係がみられる。しかし, 回帰直線の傾きは緩いので, 引張の場合にも



第5図 圧縮(a), 引張(b), 曲げ(c)におけるコントロール強度(σ_{cm})とジョイント材強度(σ_m)又は接合効
Figure 5. Relationship between control strength (σ_{cm}) and, jointed strength (σ_m) or jointing tension (b) and bending (c).



第6図 小型試験片における曲げ強度とヤンカ靱性係数の関係
Figure 6. Relationship between M.O.R. and Modulus of Janka-toughness for small specimens.

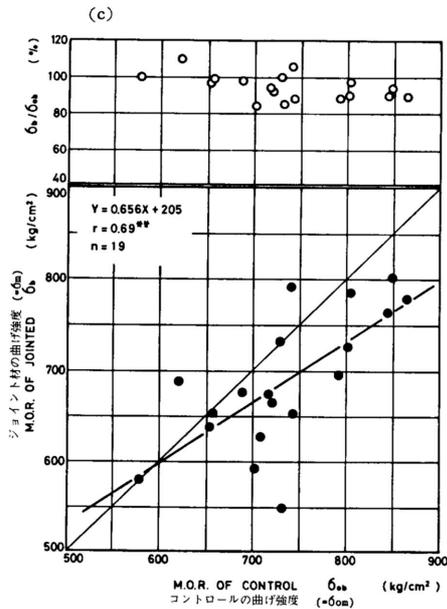
第6図は曲げ強度とヤンカ靱性係数の関係を示したものである。同一原板から採取されたF・J材とコントロールのヤンカ靱性係数を比較すると、その平均接合効率 η は0.75と低い。しかし、曲げ強度に対するヤンカ靱性係数の相関は、F・J材とコントロールとの間で有意な差はみられず、両者を合わせた一本の回帰直線で表すことができた。つまり、同じ曲げ強度をもったF・J材とコントロールを比較すると、ヤンカ靱性係数に関して差異はなかった。このことと、第4図に示した曲げ強度に対する比例限度応力の比の関係を合わせて考えると、F・J材とコントロールとで変形形態の差異は認められず、従来からいわれ

接合効率 η はほぼ一定であると見なすことができる。この様に、圧縮・引張・曲げのそれぞれにおいて、材料強度とF・J材強度との間には正の比例関係が認められ、そのため接合効率 η は材料強度とは無関係にほぼ一定となる、と見なしでも良いと思われる。

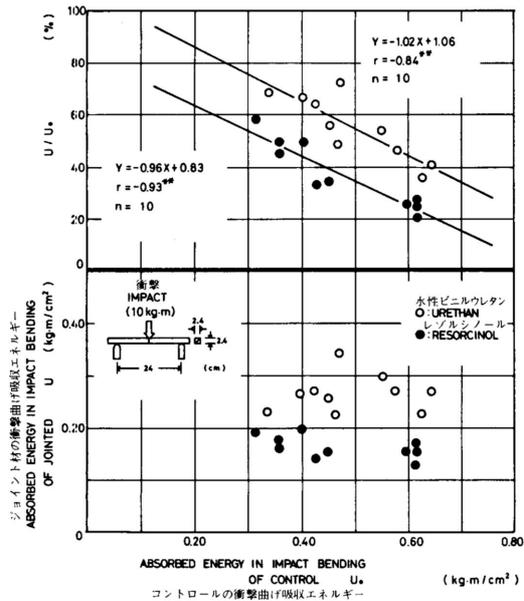
ている粘りの問題⁶⁾は、適正に製造されたF・J材においてはあまり問題とならないと思われる。

3.1.2 衝撃曲げ試験

第4表と第7図に試験結果を示す。衝撃曲げ吸収工



率 (σ_m/σ_{om}) の関係
efficiency (σ_m/σ_{om}) in compression(a),



第7図 小型試験片におけるコントロールの衝撃曲げ吸収エネルギーとジョイント材の衝撃曲げ吸収エネルギー又は接合効率 η の関係
Figure 7. Relationship between control absorbed energy and, jointed absorbed energy in impact bending or jointing efficiency for small specimens.

第4表 小型試験片の衝撃曲げ試験結果
Table 4. Results of impact bending test for small specimens.

		衝撃曲げ吸収エネルギー Absorbed energy in impact bending		接合効率 Joining efficiency
		ジョイント材 Jointed	コントロール Control	U/U ₀
		U (×10 ⁻³ kg·m/cm ²)	U ₀	
レゾルシノール樹脂 Resorcinol resin	mean	1.64	4.75	0.37
	min.	1.30	3.13	0.21
	max.	2.01	6.16	0.59
(10)	S.D.	0.20	1.17	0.12
水性ビニルウレタン Aqueous vinyl urethane	mean	2.67	4.96	0.56
	min.	2.27	3.38	0.36
	max.	3.45	6.44	0.73
(10)	S.D.	0.34	0.56	0.12

エネルギーの平均接合効率は、レゾルシノール0.37、水性ビニルウレタン0.56と他の強度接合効率と比べて極端に低かった。図に示されたコントロールとF・J材の衝撃曲げ吸収エネルギーの関係から、F・J材の衝撃性能は接着剤の性能に強く影響され、材料の強度とはあまり関係がないと思われる。この様な傾向は既往の研究^{7),8)}にもみられ、ジョイント部の衝撃性能は接着剤のフレキシビリティに大きく依存するものと思われる。

第5表 小型試験片の曲げクリープ試験から求めたクリープ関数φの実験式(φ=A・t^B)の係数値
Table 5. Constants A and B of the experimental formulae(φ=A・t^B) in bending creep test for small specimens.

荷重比 Load** ratio (%)	係数 Constants		相関係数 Correlation coefficient
	A	B	
20	2.80	0.237	0.99
30	2.55	0.250	0.99
40	3.58	0.212	0.99
50	2.49	0.263	0.99
55	2.94	0.275	0.99
60	6.10	0.264	0.99
70	17.11	0.214	0.99

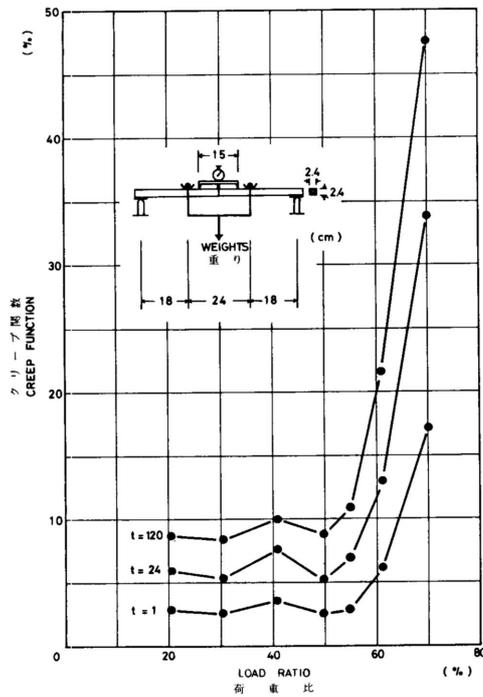
Footnote ** ; Load ratio is the ratio(%) of sustained load to static ultimate load predicted from the static bending test of control.

* ; Creep function φ is the ratio(%) of creep deformation to initial elastic deformation at the moment of application of sustained load.

3.1.3 曲げクリープ試験

第5表に経過時間tとクリープ関数の実験式を荷重比毎に示す。この実験式は、最小自乗法で求めた回帰曲線(ベキ関数; φ = A・t^B A, Bは定数)である。表に示された相関係数がいずれも高いことから、F・J材のクリープ曲線も素材と同様⁹⁾に、ベキ関数の曲線と良く一致することがわかる。

第8図はこの回帰曲線式より求めた荷重比とクリープ関数の関係を、経過時間t = 1, 24, 120時間について示したものである。「ある経過時間における荷重比とクリープ関数の関係をプロットし、傾斜の異なる2つの折線の交点としてクリープ限度を決める」という杉山の提案^{10),11)}に従い、こ



第8図 1, 24, 120時間後のクリープ関数と荷重比の関係
Figure 8. Relationship between creep function and load ratio at 1, 24, 120 hours.

の図からF・J材のクリープ限度を推定すると、荷重比べ約50%、すなわち静的曲げ強度の約1/2となる。

3.2 204F・J材の曲げ試験結果

第6表に曲げ剛性試験結果を示す。フラットワイズ方向のヤング係数の方がエッジワイズ方向のそれよりもわずかに大きかったが、どちらの方向においても、ジョイントしたことによるヤング係数の低下はほとんどなかった。

第9図に断面内歪分布の代表例を示す。破壊直前の圧縮歪に、ジョイント部と非ジョイント部で大きな差が現れている。ジョイント部のフィンガー基部には応力集中のため必ず圧縮破壊線が現れるが、非ジョイント部では現れる位置が不定である。たまたま非ジョイント部のストレインゲージを張った位置に圧縮破壊線が現れなかった場合には、第9図の様にジョイント部と非ジョイント部の違いとなって観察されるが、非ジョイント部のストレインゲージを張った位置に圧縮破壊線が現れた場合に

第6表 204F・J材の曲げ剛性試験結果
Table 6. Results of flexural rigidity test for 2-by 4-inch lumbers.

	ジョイント前 Before jointing		ジョイント後 After jointing		接合効率 Jointing efficiency	
	fE1	eE1	fE2	eE2	fE2/fE1	eE2/eE1
	(ton/cm ²)					
mean	125	122	122	117	0.98	0.96
min.	110	102	108	106	0.93	0.91
max.	136	132	135	128	1.06	1.04
S. D.	7	8	7	6	0.04	0.03

脚注) fE1 & fE2 ジョイント前と後のフラットワイズ方向のヤング係数
Footnote ; M. O. E. in flatwise bending before & after jointing.
eE1 & eE2 ジョイント前と後のエッジワイズ方向のヤング係数
; M. O. E. in edgewise bending before & after jointing.

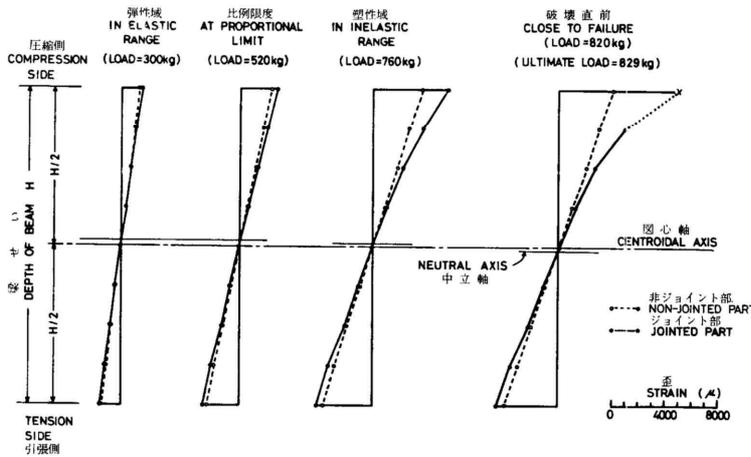


Figure 9. Typical strain distributions across the beam depth of 2-by 4-inch finger-jointed lumber in bending test subjected to third-point loading.

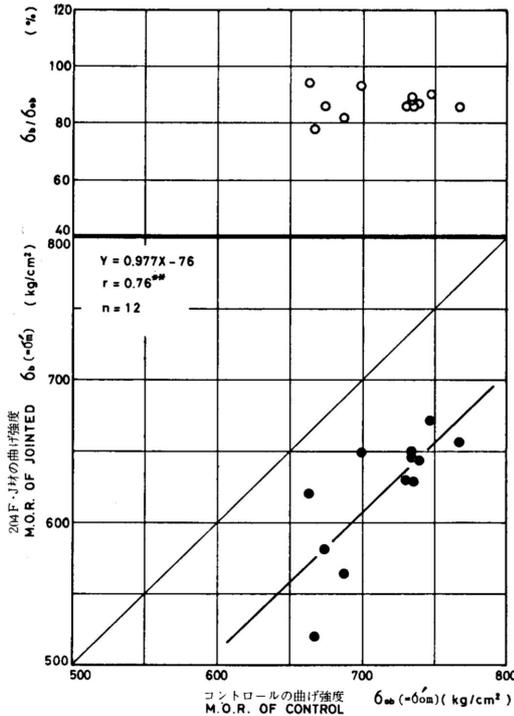
第7表 204 F・J材の曲げ破壊試験結果
Table 7. Results of bending test for 2-by 4-inch jointed lumbers.

	ジョイント材 Jointed lumber				コントロール Control*			接合効率 Jointing efficiency		
	σ_p	σ_m	$\sigma_{m'}$ ($=\sigma_m/F_j$)	σ_p/σ_m	σ_{op}	σ_{om}	$\sigma_{om'}$ ($=\sigma_{om}/F_c$)	σ_p/σ_{op}	σ_m/σ_{om}	$\sigma_{m'}/\sigma_{om'}$
	(kg/cm ²)				(kg/cm ²)					
mean	342	584	622	0.59	422	757	715	0.81	0.77	0.87
min.	295	489	520	0.51	391	702	663	0.71	0.69	0.78
max.	424	631	672	0.70	439	813	767	0.97	0.83	0.94
S. D.	34	40	43	0.06	15	36	33	0.06	0.04	0.04

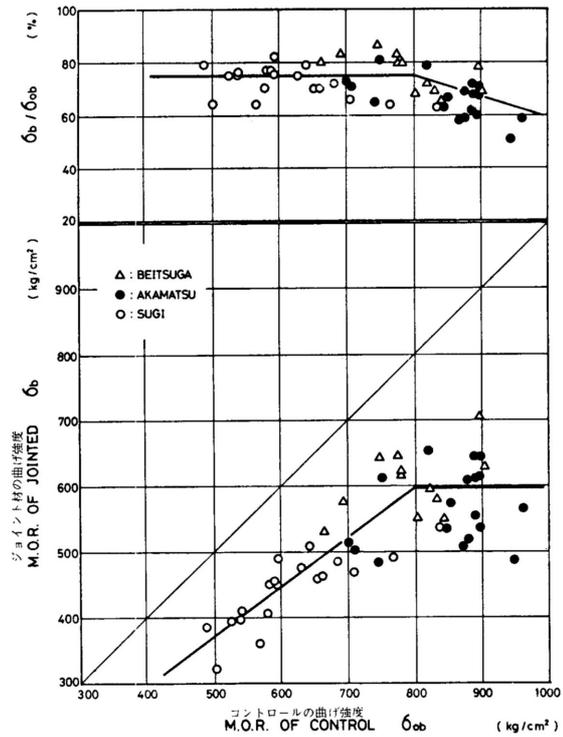
脚注) Fj & Fc; 寸法係数 Size Factor, 0.9397 & 1.0597.
Footnote $\sigma_p, \sigma_m, \sigma_{op}, \sigma_{om}$; 第2表の脚注)を参照せよ。See footnote of Table 2.
*; Control is 3-by 3-cm clear specimen taken from the uninjured portion of the jointed lumber remaining after bending test.

は、それ程の差はないと思われる。また、小型試験片の圧縮試験結果では、ジョイントしたことによる性能低下がほとんどみられなかったことも考慮すると、破壊直前までの圧縮歪も ジョイント部と非ジョイント部で大きな差はなかったものと思われる。一方、204F・J材の曲げ強度に対する比例限度応力の比は、第4図に示されている様に素材との差異はなかった。これらのことから、小型試験片の結果と同様に、実大材としての204F・J材の場合も、ジョイント部と非ジョイント部の変形形態に差異はなかったといえる。しかし、ジョイント部の引張強度が素材と比べて小さいことから、あまり中立軸の移動が起らないうちにジョイント部の脆性的な単純引張破壊を起した。

第7表に204F・J材とコントロールの曲げ破壊試験結果を示す。第10図には2×2インチ断面の



第10図 204F・J材の曲げ試験におけるコントロール強度とジョイント材強度又は接合効率の関係
Figure 10. Relationship between control strength and, jointed strength or jointing efficiency in bending for 2- by 4-inch finger-jointed lumbars.



第11図 他の研究報告6)による204F・J材の曲げ試験におけるコントロール強度とジョイント材強度又は接合効率の関係
Figure 11. Relationship between control strength and, jointed strength or jointing efficiency in other bending test report⁶⁾ for 2- by 4-inch finger-jointed lumbars.

強度に変換した後の、コントロール強度に対する204F・J材強度又は接合効率の関係を示す。この図から、204F・J材の場合にも小型試験片と同様に、コントロール強度とF・J材強度との間には強い正の相関関係がみられ、そして接合効率はほぼ一定であった。

3.3 F・J材の許容応力度の誘導

木材接着における比重と接着力の関係を剪断試験¹²⁾とバットジョイントの引張試験¹³⁾から調べた研究によると、木材比重の増加に伴って接着力も増加するが、比重がある値以上になると逆に接着力は低下すると報告されている。この比重と接着力の関係は、F・J材の材料強度とジョイント強度の関係にも当てはまるものと思われる。つまり、F・J材の材料強度の増加に伴ってジョイント強度も増加し、そのため接合効率はほぼ一定となるが、材料強度がある値以上になると、ジョイント強度は低下し接合効率も落ちることが予想され

る。この予想を確かめるため、既往の研究報告を検討してみた。第11図は枠組壁工法用F・J材の製造条件の標準化と強度等級区分法について検討した研究報告⁶⁾の中から、F・J材の製造条件が一定なデータのみをプロットしたものである。この研究におけるF・J材の製造条件及び試験方法を以下に簡単に示す。

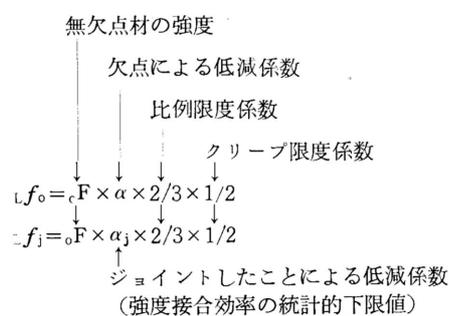
- 材 料 ; アカマツ・スギ・ベイツガの204気乾材
- カッター ; 12mmミニフィンガー・カッター (兼房刃物)
- 接着剤 ; レゾルシノール樹脂 (大日本インキ プライオーフェン #6000)
- エンドプレッシャー ; 50kg / cm²
- フィンガー形状面 ; 材幅の狭い面
- 曲げ試験方法 ; 204F・J材 - スパン240cm, 3等分点2点荷重, エッジワイス加力, コントロール断面2.5×2.5cm, スパン35cm, 中央集中荷重

ほぼ本報告と同じ実験条件である。図中の折れ線は、コントロール強度800kg / cm²を境として、それ以下のときの接合効率は一定、それ以上のときの接合効率は直線的に低下すると仮定して引いたものである。プロットされた点とこの直線と比較したとき、この仮定は妥当なものと思われる。即ち、F・J材の場合にも、予想された材料強度とジョイント強度の関係が成立するものと思われる。

そこで、今回の試験に供したエゾマツ材 (コントロール) の曲げ強度の範囲 (579 ~ 866kg / cm²) と第11図のコントロール強度を比較すると、供試エゾマツ材は接合効率が一定の範囲であることがわかる。このため、今回の試験結果では、コントロール強度に対して接合効率がほぼ一定になったものと思われる。また、今回の供試エゾマツ材は日本産エゾマツの標準的材質であることから、エゾマツ材についてはF・J材の接合効率は常に一定であると見なして差支えないと思われる。つまり、少なくともエゾマツについては、ジョイントしたことによる強度低減率は材料強度にかかわらず一定と見なすことができ、工学的安全性を考慮した強度接合効率は、ばらつきの統計的下限值で表すこ

とが妥当と思われる。

以上までの全試験結果から、ヤング係数、変形形態、クリープ限度のジョイントしたことによる変化はほとんど認められず、ジョイントしたことによる強度低減率は実用的に強度接合効率の統計的下限值で表すことができることを確かめた。よってF・J材の許容応力度の誘導は、木構造設計規準・同解説¹⁴⁾に示されている現行の素材の許容応力度誘導体系に基づいて行うことができると思われる。具体的には、素材の許容応力度誘導式の各係数に、今回の試験から得られた結果を代入したF・J材用の許容応力度誘導式を提案したい。この提案に基づいて、F・J材の長期許容応力度 f_j の誘導式を、素材 f_o の場合と対比して示すと次のようになる。



4. まとめ

今回行った小型試験片の圧縮・引張・曲げ・衝撃曲げ・曲げクリープ試験と204F・J材の曲げ試験から得られた結果をまとめると、次のようになる。

- 1) ジョイントしたことによるヤング係数の低下はわずかで、F・J材の利用上の問題とはならない。
- 2) 強度が等しい素材とF・J材であれば、両者の間に変形形態の差異はなかった。つまり、ヤング係数、比例限度、粘り等の差異は認められなかった。
- 3) ジョイント部の衝撃曲げ性能は、接着剤の性質に大きく影響させ、他の強度性能と比べると極端に弱かった。
- 4) F・J材の曲げクリープ限度は、静的曲げ強度の

約1/2と推定された。

- 5) 木材の強度と、それをジョイントしたF・J材の強度との間には、正の比例関係が存在した。そのため、強度接合効率は、木材の強度にかかわらず、ほぼ一定であった。このことから、F・J材の強度は、木材の強度にジョイントしたことによる強度低減率、すなわち強度接合効率を乗ずることから求められることを確かめた。
- 6) 以上の結果から、F・J材の許容応力度は、現行の素材の許容応力度誘導体系に基づいて誘導できると判断された。具体的には、素材の許容応力度誘導式の各係数に今回の試験結果を代入し、この様にして変換された式をF・J材の許容応力度誘導式とすることを提案したい。すなわち、素材の誘導式における比例限度係数及びクリープ限度係数には素材と同じ2/3及び1/2を代入し、欠点による低減係数にはこれをジョイントしたことによる低減係数と置き換えて、F・J材の強度接合効率の統計的下限値を代入した式をF・J材の誘導式とする。この方法によるF・J材の長期許容応力度 Lf_j の誘導式は次の様になる。

$$Lf_j = \sigma_0 F \times \alpha_j \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2}$$

無欠点材の強度
 ↓
 ジョイントしたことによる低減係数
 ↓
 比例限度係数
 ↓
 クリープ限度係数
 ↓
 $Lf_j = \sigma_0 F \times \alpha_j \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2}$

最後に、今回の試験で調べなかったF・J材の剪断性能について一言触れておく。F・J材の剪断に関する既往の研究として、尿素樹脂接着剤を用いたトドマツ204ミニフィンガー・ジョイント材の振り剪断試験を行った宮島・生田の研究¹⁾がある。この研究によると、「ジョイントしたことによる剪断弾性係数の低下ではなく、剪断強度の接合効率は曲げに対する接合効率とはほぼ同じであった」と報告されていることから、曲げ強度性能が十分なF・J材ならば剪断強度性能も十分であると推察される。そして、剪断強度の接合効率は、曲げ強度の接合効率によって代表できるものと思

われる。

今回のF・J材の許容応力度誘導に対する提案は、限られた条件下での実験室的試験結果から得られたもので、今後は、他の樹種・接着剤・カッター等についての確認、実大F・J材を量産化した場合の確認、節などの欠点除去基準の作成、カッターの摩耗及び材料含水率と強度の関係等の検討が必要である。また、F・J材の強度品質保証のためには、ブルーフローディングの様な検査方法の確立も必要であろう。現在、まだまだ多くの課題を残してはいるが、農林水産省林業試験場を中心に、「縦継ぎ木材の日本農林規格」の制定に向けての努力がなされているところであり、本研究がその一助となれば幸いである。

文 献

- 1) 「市販の造作用たてつき木材の曲げ性能試験」, 農林水産省林試木材部資料, 53-3 (1979)
- 2) 倉田久敬, 堀江秀夫; 林産試月報, No. 334, pp. 12~17 (1979)
- 3) 「1980 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS PART22」, ASTM, pp. 146~169 (1980)
- 4) 宮 島 寛, 生田晴家; 北大報演, Vol. 33, No. 1, pp. 167~200 (1975)
- 5) 沢 田 稔; 農林水産省林試研報, No. 108, pp. 115~224 (1958)
- 6) 「枠組壁工法のための建築用木材の強度等級区分法確立に関する研究」, 農林水産省農林水産技術会議事務局編, 研究成果 111 (1978)
- 7) 生田晴家; 木材学会北海道支部講演集, No. 11, pp. 58~62 (1979)
- 8) 伏谷賢美ほか2名; 木材工業, Vol. 35, No. 10, pp. 461~465 (1980)
- 9) 北原 寛一, 岡部登; 木材学会誌, Vol. 5, No. 1, pp. 12~18 (1959)
- 10) 杉山英男; 木材ばりの曲げクリープ性状の理論的考察(その1), 建築学会論文報告集, No. 155, pp. 9~15 (1969)
- 11) 杉山英男; 「建築構造学大系22 木構造」, 彰国社, p. 31 (1971)
- 12) S. Chow, K. S. Chusi; Adhesion Strength and Wood Failure Relationship in Wood-Glue Bonds, 木材学会誌, Vol. 25, No. 2, pp. 125~131 (1979)
- 13) K. H. Bassett; Effect of Certain Variables on Strength of Glued End Joints, F. P. J., Vol. 10, No. 11, pp. 580~585 (1960)
- 14) 「木構造設計規準・同解説」, 日本建築学会編, 丸善, pp. 117~121 (1974)

—試験部 複合材試験科—

(原稿受理 昭56. 7. 10)