

軟質木材の高度利用研究（第1報） 積層圧縮技術を利用した接合部の強度性能

長谷川 良一^{*1}

The Study of High Utilization for Soft Wood (I) Strength Properties of Joints with Laminating Compression

Ryoichi HASEGAWA^{*1}

既存の接合部の強度および軟質材の強度性能を向上するために、単板の積層接着と横圧縮技術を利用した接合部の製造方法および性能について検討した。また、その接合部の応用として、3次元形状の曲げ加工を行った。その結果

- (1) 既存の方法によるホゾ、ダボ接合では、初期剛性に大きな差は見られないものの、最大荷重においては、ホゾ接合はダボ接合よりも大きな値を示した。
- (2) スギを用いた木質T字型接合は、薄板の積層数を増やし、かつ圧縮率を大きくする製造は可能であった。その接合強度は、積層数の増加とともに、初期剛性が増し、かつ最大荷重も増加した。
- (3) 木質T字型接合の3プライ積層におけるヒノキとアカマツは、ほぼ同様な荷重変位曲線が得られ、初期剛性もほぼ同じであった。
- (4) スギを用いた鳥の羽型の3次元形状のT字型接合部材は、重量、形状変化とも少なく安定した接合部であった。

1. 緒言

一般的に国産のスギ、ヒノキ、アカマツ等の針葉樹材は、広葉樹材に比べ軟質であるため表面に傷がつきやすく、また曲げやせん断力に対する強度が小さいため、接合部の強度が十分得られず、これまで高品質なフローリング材や家具としての利用は少ない状況にある。しかし、近年、優良材の資源不足、環境問題から、国内産の木材を利用することが見直されています。そこで我々は、広葉樹材に比べ軟質なスギ、ヒノキ、アカマツの高度利用を目指すため、①接合部の強度増加 ②表面の硬さ向上¹⁾ ③環境負荷の少ない新たな表面処理（塗装）を本研究の課題として、種々の手法を検討した。今回は、接合部の強度を増すために、

薄板を用いた単板の積層接着と横圧縮技術を応用した木質T字型接合部を提案²⁾し、その製造方法および性能について検討したので報告する。

2. 実験

2.1 供試木材

軟質木材は、飛騨高山森林組合、清見工場より入手した岐阜県内産のスギ（*Cryptomeria japonica* D.Don）ヒノキ（*Chamaecyparis obtusa* Endl）アカマツ（*Pinus densiflora* Sieb.et Zucc）を用いた。対照材として、飛騨地域における最も一般的な家具材料であるナラ（*Fagaceae Quercus crispula* Blume）、ブナ（*Fagaceae Fagus crenata* Blume）を用いた。

2.2 一般的なホゾ、ダボ接合

現在、木製椅子の後脚と側貫との接合部は、ホ

^{*1} 試験研究部（木質材料研究室）

ゾもしくはダボにより接合されている。飛騨地域で生産された木製椅子を無作為に20脚抽出し、その後脚と側貫の寸法を調査した（表1、図1）。その結果から基本的な接合部形状を図2にとし、接合部材の作成を家具メーカーに依頼した。ホゾは楕円形状、ダボは、ブナ材の径10mm、長さ40mmであった。

2.3 単板積層による接合部材の製造

本方法は、図3に示すように、接合箇所では単板を直交させて交互に積層する方法である²⁾。圧縮力を高めることにより、材を同時に圧縮するため、密度増加による高強度化効果も期待できる。試験に供した単板の寸法は、50（幅）、300（長さ）、3.4mm（厚さ）とした。接着は、水性高分子イソシアネート系接着剤（大鹿ピーアイボンドTP-111）を両面塗布し、これを所定の厚さまで積層方向に加熱圧縮（180℃・60min）し、その後50℃以下に冷却してから取り出した。

また、比較およびホゾ接合の強化のため、約3plyの厚さ（10mm）のホゾ接合（3分の2挿入、貫通ホゾの2種類）部材も作成した。

2.4 接合部の強度試験

2.2および2.3の方法により作成した接合部材を写真1に示す治具に固定し、万能試験機（株式会社島津製作所UH-100KNC）を用いて、破壊荷重を求め、接合箇所の破壊形態を調べた。荷重速度は、毎分5mmとした。荷重は、接合点から150mmの位置とした。

2.5 単板積層による接合材の曲げ加工

写真2に示す鳥の羽型の治具を試作し、3次元形状のT字型接合部を製造した。製造方法は、2.3と同様であるが、圧縮は、コールドプレスを用いた。

3. 結果と考察

3.1 ホゾ、ダボの接合強度

飛騨地域で生産される木製椅子は、後脚と側貫とはホゾにより接合し、また後脚と後貫はダボを用いた接合を採用するケースが多い。側貫の幅は、50～65mm、厚さは15～20mmと比較的大きな材料を使用しているが、ホゾの長さは後脚幅の2分の1以下で、理想的な長さ³⁾とされている3分の2まで挿入されていない。これは、後貫との位置関係や、後脚材の形状、孔欠損による強度低下によると考えられる。

表2、図4にホゾ、ダボによる接合部材の強度結

果を示す。ホゾ、ダボ接合とも初期剛性に大きな差は見られないものの、最大荷重において、ホゾ接合はダボ接合より平均35kgfも大きな値を示した。破壊の形態は、ホゾ接合では、使用材料の木目にもかなり影響されるが、ホゾ孔部材の割れが多かった。一方ダボ接合では、ダボ抜けが多かった、これらの改善策としては、接着剤の種類の変更や材表面の濡れ性の改善などが考えられる。

ホゾ接合の強度を増すために、加工的には難しいが、厚さ10mmの薄い材を用いて、貫通ホゾと3分の2挿入のホゾ部材を作成し接合強度を調べた。その結果を表3、図5に示す。ブナ、ナラ材とも部材寸法が小さいにもかかわらず、現状の接合より初期剛性、最大荷重とも大きくなった。とくに貫通ホゾは、初期剛性が2倍以上に増加した。ホゾの厚さが薄かったため、早い段階から亀裂音が発生していたことは留意しなければならないが、ホゾの長さを大きくすることにより、初期剛性が増し、強固な接合部を形成することにつながる。

3.2 積層圧縮接合の強度

今回製造した構成パターンと結果を表4に示す。スギ材では、薄板の積層数を増やし、かつ圧縮率を大きくする製造は可能であった。ヒノキ、アカマツの積層数は5枚まで製造出来た。スギとヒノキは、積層時に同時に圧縮処理は可能であるが、アカマツでは材破壊が発生するため、今回の製造条件ではアカマツ材の圧縮処理は適さなかった。今後、材の含水率、圧縮温度等の調整が必要である。

図6に3プライ積層における軟質木材の荷重変位を比較した。ヒノキとアカマツでは、ほぼ同様な荷重変位曲線が得られ、初期剛性もほぼ同じであった。ただし最大荷重は、若干ヒノキが大きかった。これはアカマツがほとんど圧縮することが出来ず密度増加がなかったためと考えられる。一方スギ材は、ヒノキ、アカマツほどの初期剛性は得られなかったものの、大きな最大荷重が得られた。アカマツ以外は、現状の広葉樹ダボを用いた接合と同等以上の強度は得られた。

図7にスギの接合強度を示す。積層数の増加とともに、傾きが大きくなった。つまり初期剛性が増し、かつ最大荷重も増加した。ただし、破壊時の変位が大きくなっていないことから、ねばりの増加は見られなかった。

図 8 に材密度と初期剛性を示す。スギ、ヒノキとも圧縮による密度増加と初期剛性との間には比例の関係が見られた。軟質材においても密度を増すことにより、接合強さの増加が期待出来る。スギ、ヒノキを 5 プライで積層圧縮した接合は、ブナ、ナラの貫通ホゾ以上の接合強度が得られた。

3.3 曲げ接合材の形状変化

曲げ治具を用い作成した接合部材の寸法安定性を評価した。形状変化は、乾湿繰り返し試験により部材の重量と湾曲部の頂点高さを測定した。図9、10に各樹種の3個体の平均値を示す。

条件：[(40℃・90%RH × 24h) + (40℃・30%RH × 24h)] を6サイクル実施した。

乾湿時の重量変動が少ないのは、スギ<ヒノキ<アカマツ<ナラ<ブナの順であった。形状変化は、アカマツのみが異常に大きく、またブナの変化も大きい点は今後の検討が必要である。スギは、重量、形状変化とも少なく安定した湾曲した接合部材を製造する可能性があると考ええる。

4. まとめ

既存の接合部の強度および軟質材の強度性能を向上するための積層圧縮による接合部の強度性能を検討した結果、次の知見を得た。

- (1) 既存のホゾ、ダボ接合では、初期剛性に大きな差は見られないものの、最大荷重において、ホゾ接合はダボ接合より平均 35kgf も大きな値を示した。ホゾ長さを大きくすることにより、初期剛性が増し、強固な接合部を形成は可能であった。
- (2) スギ材を用いた木質 T 字型接合は、薄板の積層数を増やし、かつ圧縮率を大きくする製造は可能であった。その接合強度は、積層数の増加とともに、初期剛性が増し、かつ最大荷重も増加した。
- (3) 木質 T 字型接合の 3 プライ積層におけるヒノキとアカマツは、ほぼ同様な荷重変位曲線が得られ、初期剛性もほぼ同じであった。ただし、アカマツでは、圧縮を伴う積層は材破壊が発生するため、今回の製造条件では困難であった。
- (4) スギ、ヒノキを用いた木質 T 字型接合は、既存のダボ接合と同等以上の接合強度が得られた。
- (5) 横圧縮に伴う密度増加により、初期剛性が大きくなった。
- (6) スギを用いた鳥の羽型の 3 次元形状の T 字型接合部材は、重量、形状変化とも少なく安定した

接合部を製造する可能性が示唆された。

謝辞

本研究は、東京大学アジア生物資源循環環境センター 井上雅文及び、柏木工(株)、(株)イバタインテリアとの共同・協力により行われたものである。ここに感謝の意を表します。

文献

- 1) 児玉順一、長谷川良一、井上雅文：日本加工技術協会第 22 回年次大会講演要旨集、p73-74、(2004)
- 2) 井上雅文、長谷川良一、日比野秀紀：第 54 回日本木材学会大会研究発表要旨集、(2004)
- 3) 宇川暹：家具 SANGYO

表 1 木製椅子の接合部寸法

NO.	樹種	側貫寸法 (mm)		後脚寸法 (mm)	
		幅	厚さ	幅	厚さ
1	ナラ	53	35	36	36
2	スギ	70	22	55	26
3	ナラ	60	23	55	29
4	ナラ	50	20	27	27
5	ブナ	60	20	32	32
6	ナラ	70	20	φ 44	
7	スギ	80	30	40	30
8	ナラ	68	20	40	36
9	ブナ	85	21	75	21
10	ブナ	43	22	φ 35	
11	ブナ	51	23	φ 40	
12	ナラ	70	21	23	56
13	ナラ	61	22	33	43
14	サクラ	46	35	35	35
15	ブナ	55	25	50	25
16	ナラ	50	15	30	30
17	ナラ	60	20	50	25
18	ナラ	90	20	36	25
19	ブナ	60	25	45	25
20	ナラ	35	30	65	20
平均		61	23	43	31

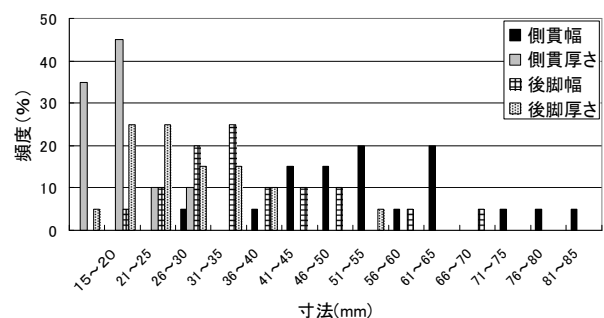


図 1 接合部の寸法分布

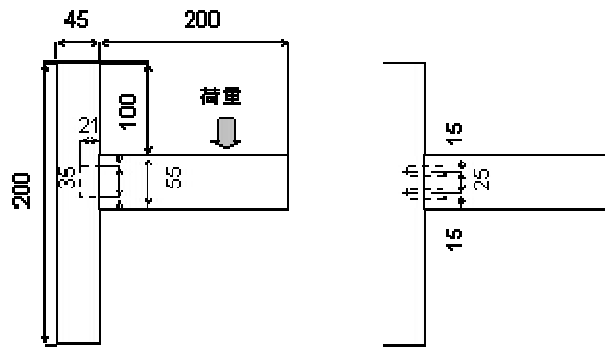


図 2 既往の接合部試験体

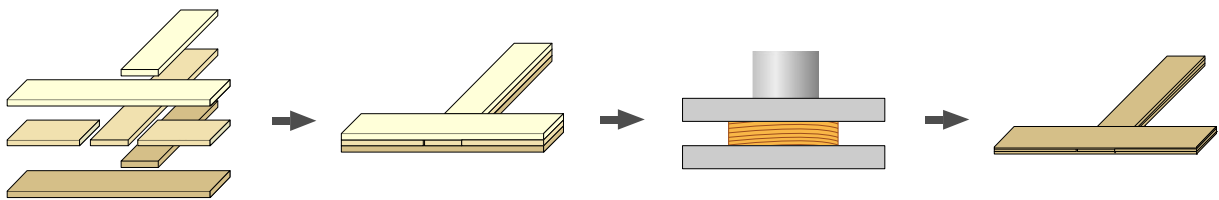


図 3 接合部の製造フロー



写真 1 接合部の強度試験状況



写真 2 曲げ接合部成型治具

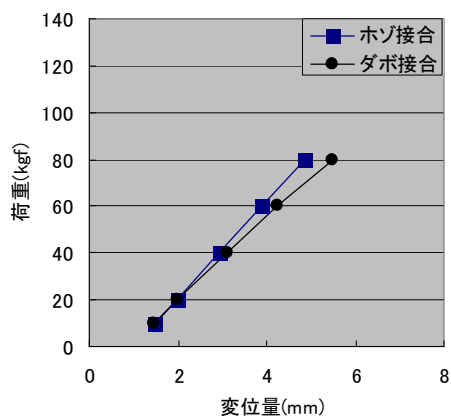


図 4 既存接合の荷重変位

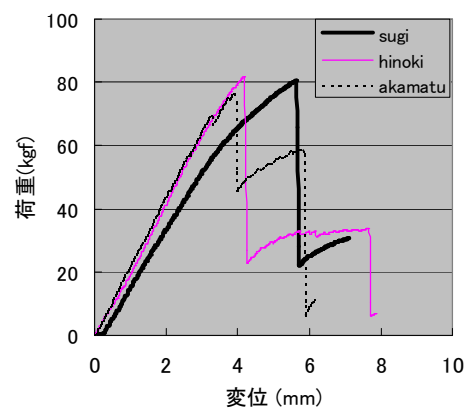


図 6 軟質木材の積層接合による強度 (3 プライの場合)

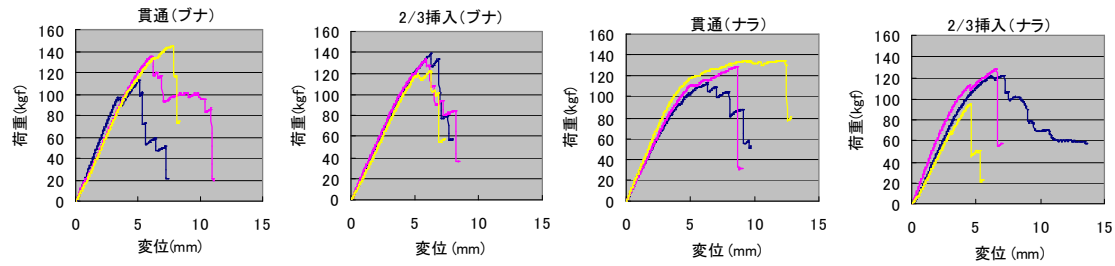


図 5 貫通、3 分 2 挿入したホゾ接合の荷重変位

表 2 既存接合部材の強度性能

試験体 No.	接合方法	最大荷重 kgf	最大荷重 厚さ mm	初期剛性 kg/cm ²	破壊箇所	密度 g/cm ³
1	ホゾ	131.3	13.13	1.82	脚割れ	0.62
2		114.2	11.42	1.84	"	0.62
3		129.4	12.94	1.87	"	0.62
4		105.7	10.57	2.00	ホゾ抜け	0.62
5		101.4	10.14	2.21	脚割れ	0.62
	平均	116.4	11.64	1.95		0.62
6	ダボ	74.8	7.48	2.34	貫板割れ	0.62
7		92.9	9.29	2.07	ダボ抜け	0.62
8		69.7	6.97	1.76	"	0.62
9		91.5	9.15	1.96	"	0.62
10		76.2	7.62	1.80	"	0.62
	平均	81.02	8.10	1.99		0.62

表 3 貫通及び 3 分の 2 挿入したホゾの接合強度

樹 種	接合方法	NO.	最大点荷重 (kgf)	初期剛性 (kgf/cm ²)	亀裂音発生 (kgf)	破断状況
ブ ナ	貫通ホゾ	1	113.1	5.39	95.0	ほぞ切れ
		2	135.8	5.88	破壊と同時	〃
		3	145.1	4.57	100.0	〃
		AV.	131.3	5.28		
	3分2挿入	1	138.8	4.74	95.0	ほぞ切れ
		2	133.4	5.36	破壊と同時	〃
		3	122.0	4.40	36.0	〃
		AV.	131.4	4.83		
ナ ラ	貫通ホゾ	1	113.5	5.41	60.0	ほぞ切れ(少々抜け有り)
		2	129.2	5.14	70.0	〃
		3	135.1	6.20	70.0	ほぞ切れと材割れ
		AV.	125.9	5.59		
	3分2挿入	1	122.4	3.74	90.0	ほぞ抜け
		2	128.2	6.16	100.0	ほぞ切れ
		3	95.2	3.44	70.0	〃
		AV.	115.3	4.45		

表 4 積層圧縮接合の強度性能

樹種	NO.	積層数 (枚)	ほぞ数 (枚)	仕上り厚 (mm)	最大荷重 (kgf)	初期剛性 (kgf/cm ²)	亀裂音発生 (kgf)	破断状況	密度 (g/cm ³)	密度増加割合 (%)
スギ	S1	3	1	7.7	—	—	—	ほぞ切れ	0.47	38
	S2	3	1	8.8	80.6	2.7	54.0	"	0.45	33
	AV.				80.6	2.7			0.46	35
	S3	5	2	8.6	128.2	5.0	120.0	"	0.69	101
	S4	5	2	8.0	122.4	7.1	100.0	"	0.79	129
	AV.				125.3	6.0			0.74	115
ヒノキ	S5	7	3	12.0	194.8	5.2	160.0	"	0.63	85
	H1	3	1	7.0	79.8	4.0	破壊と同時	ほぞ切れ	0.65	48
	H2	3	1	8.0	81.9	3.6	"	"	0.56	28
	H3	3	1	7.2	117.9	2.9	85.0	"	0.64	45
	AV.				93.2	3.5			0.62	40
	H4	5	2	10.1	152.8	5.7	116.0	"	0.77	75
アカマツ	A1	3	1	7.9	66.3	2.3	破壊と同時	ほぞ切れ	0.62	24
	A2	3	1	7.8	76.5	3.9	68.0	"	0.55	9
	A3	3	1	9.5	55.8	4.3	42.0	"	0.52	4
	A4	3	1	10.1	104.5	3.9	86.0	"	0.48	-4
	AV.				75.8	3.6			0.54	8
	A5	5	2	8.0	143.7	5.0	破壊と同時	"	0.93	84
ブナ	B2	3	1	10.2	33.7	3.2	33.0	ほぞ抜け	0.78	2
	B4	3	1	10.5	63.5	1.6	50.0	"	0.75	-1
	B6	3	1	10.0	83.5	4.0	45.0	"	0.74	-3
	AV.				60.2	2.9			0.76	0
	N1	3	1	10.0	115.9	6.0	94.0	ほぞ切れ	0.68	-2
ナラ	N3	3	1	10.1	107.3	4.0	100.0	"	0.71	3
	N5	3	1	9.9	61.3	5.4	50.0	"	0.70	1
	AV.				94.9	5.1			0.70	1

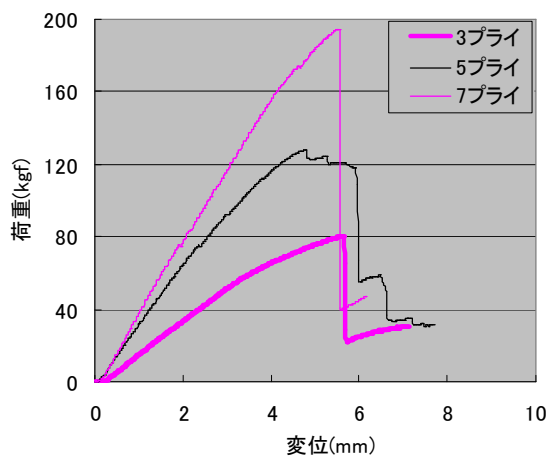


図 7 積層数と接合強度 (スギ)

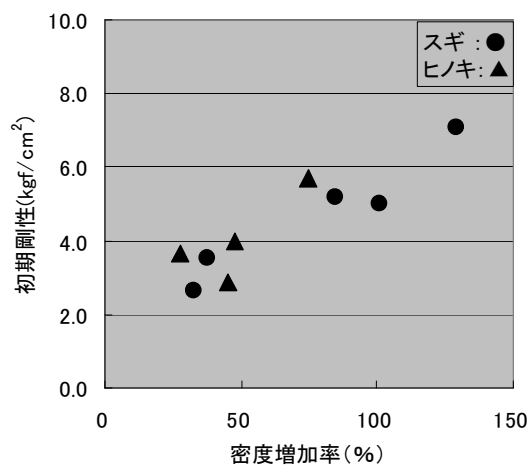


図 8 材密度と初期剛性

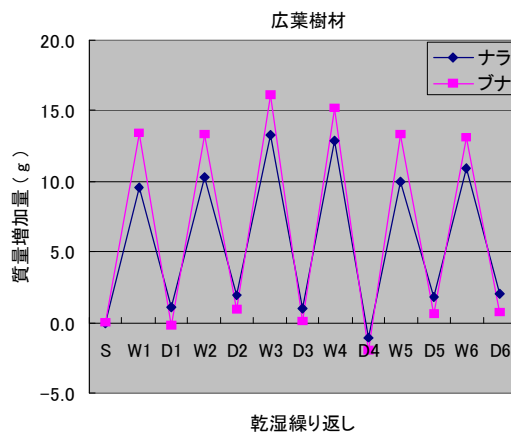
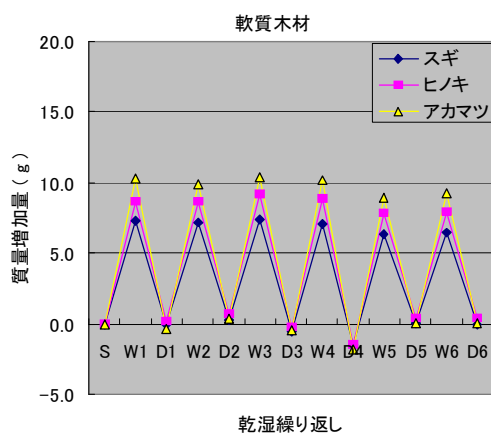


図 9 曲げ接合部材の重量変化

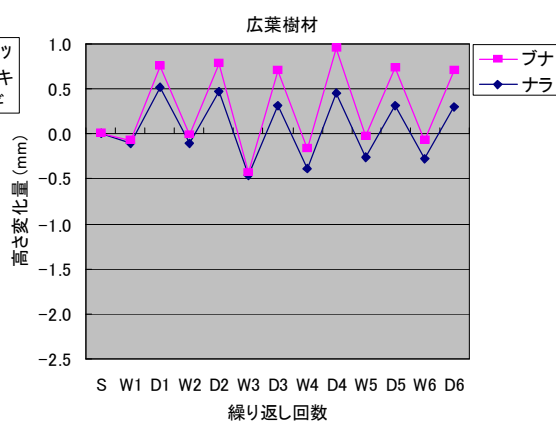
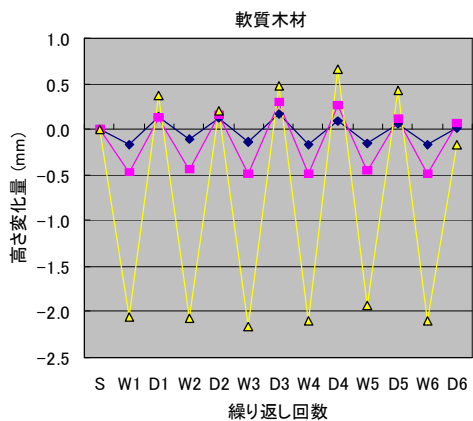


図 10 曲げ接合部材の形状変化