

カラマツ釘着ラチス梁の製造実験

小松幸平 倉田久敬

1. はじめに

カラマツ釘着ラチス梁の研究は、生材で作った梁のねじれ狂いを、製品自身の剛性をたよりに抑制できないかという発想の基に開始された。

最初の段階では、とにかく幾つかの梁を試作してみ、どのような形状のものが狂い易いかを観察した^{1),2)}。

次に、ラチス梁の曲げ性能に関して理論的、実験的検討を加え、ラチス梁を設計していくうえで有益と思われる幾つかの知見を得た^{3),4),5)}。そして、それらの結果を基に、カラマツ小径・間伐木を原材料とするラチス梁の設計計算法について、一つの提案を試みた⁶⁾。

今回は、次の段階として、ラチス梁製造上程の机上試算を作成するうえでの参考資料を収集する目的で、小規模な製造実験を行った。また、製造した梁については、気乾状態に達するまで屋内に放置し、適時狂いの発現状況を観察した。そして、狂いの小さかったものについては、4点曲げによる強度試験を実施し、床梁としての利用適性を確かめた。

本資料は、これら一連の実験のうち、梁の製造に関する部分について取りまとめたものである。

2. 実験方法

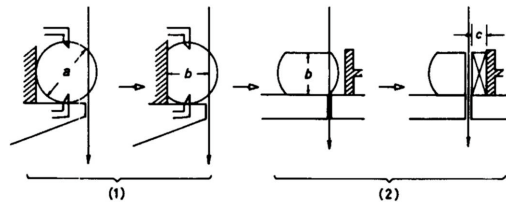
2.1 供試材料

2.1.1 原木及び製材法

供試原木はカラマツ集荷業者から購入したもので、材長3.7m前後、末口径9~14cm、本数は合計273本である。すべての原木は所定の調査終了後、当场製材試験科において製材された。

製材材種は、弦材に用いる板、腹材に用いる正角、そして、梁両端のエンドブロックに用いる板、の3種類である。

第1図に製材方法の概要を示す。



	a	b	c
弦材	13-14	10	2.5
腹材	9-11	8	8
エンドブロック	12	9	2.3 (cm)

第1図 ラチス梁に使用する部材の製材木取りと方法を示す概念図*

図中：(1)全自動送材車付帯鋸盤
(2)テーブル帯鋸盤

2.1.2 製材品の加工

各製材品は、生材の状態では、以下の断面に加工された。なお、加工には、リッパー及び(若しくは)モルダー(8軸)を用いた。

(1) 弦材用の板

断面2.5×10.0 (cm)の板を丸身に依じて、2.3×9.6 (cm)の板(これを板-と定義)と、2.3×8.0 (cm)の板(これを板-と定義)に加工した。この加工を経てもなお丸身の残った製品は、格外品と見なし、歩留りの計算から除外した。

(2) 腹材用の正角

後述するラチス梁の型式に依じて、一辺8cmの正角を一辺7.8cmの正角、及び、それを二つに挽き割った3.7×7.8 (cm)の平割、の2種類に加工した。なお、腹材に限ってすべての丸身を許容した。

(3) エンドブロック用の板

断面2.3×9.0 (cm)の板を最初2.1×8.4 (cm)に鉋削し、積層接着に備えてビニールに包んで堆積保

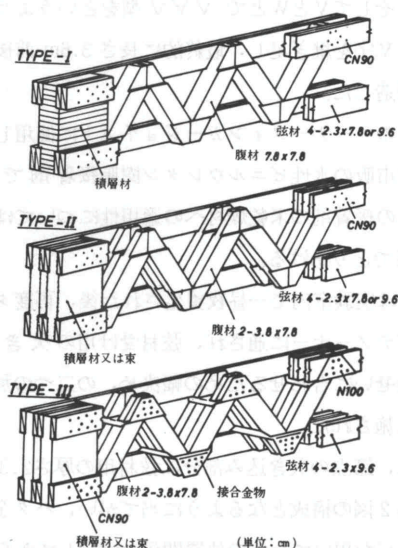
*この概念図は、加藤幸一：カラマツ中小径材の製材，林産試月報，10月号pp.1~6，1978.，のオリジナルを参考にしたものである。

管した。しかし、カビの発生が著しく、それを除去するために、その後板の幅広の面を軽く鉋削した。したがって、結果的に、2.0×8.4 (cm)の未乾燥ラミナに加工された。さらに、これらのラミナを丸身に応じて以下の4グループに分類し、そのうち、 CN90 、 N100 のラミナのみを実際に使用した。

- ：丸身なし
- ：丸身20%以下
- ：丸身50%以下
- ：格外（歩留りゼロ）

2.2 梁型式

今回製作した梁の型式は第2図に示す3種類である。



第2図 ラチス梁の型式とその構造の特徴

TYPE - I では、腹材に7.8cm心持角を使用しているのが特徴である。これは、既往の実験結果^{(1),(2)}に基づいて以下の3つの理由が考えられたからである。

その第一点は、梁幅を広くすることがねじれ抑制に効果的と思われたこと。

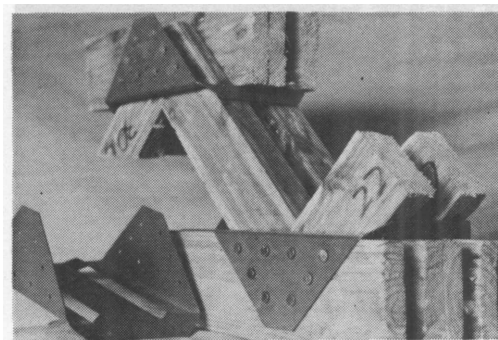
第二点は、梁幅を広くすると同時に、節点での釘打ち面積を大きくするためには正方形断面が適していると思われたこと。

そして、第三点は、ねじれ狂いに対し、腹材の影響は小さかったという結果^{(1),(2)}から、腹材に限って心持角を採用しても大丈夫であろうとの推測が働いたから

である。（なお、この結果については次報で報告する。）

これに対し、TYPE - II では、心掛り平割材で二重の腹材を構成した。この腹材構成によって、TYPE - I と同等の梁幅と釘打ち面積が確保された。しかも、釘が2面せん断として効くため、梁のせん断性能の大幅向上という面にも期待が掛けられた。TYPE - II はTYPE - I よりも時間的に遅れて考案された型式で、言わば、TYPE - I の改良型である。

TYPE - III はTYPE - I の接合部を更に強化するため、第3図に示す特殊な金物を節点に取り付けたものである。TYPE - III の構造は、金物を使用したことと、接合に用いた釘が異なる以外、TYPE - I と全く同じである。



第3図 TYPE - III に使用した接合金物

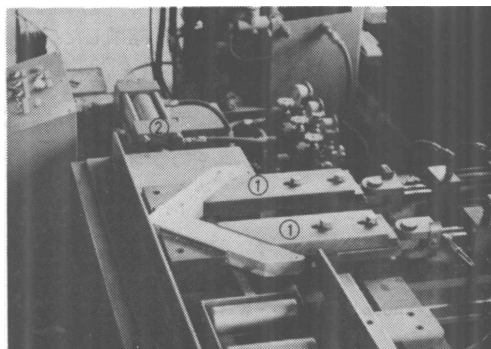
すべての梁型式を通じて、弦材には厚さ2.3cmの板を4枚合せて使用した。その理由は、既往の結果^{(1),(2)}から、材を薄く挽き割って元の年輪構成を崩すように配列し直した方が、ねじれ狂いを小さくできるという傾向をつかんだからである。

今回の実験では、予備的な試みとして、一部の梁の両端に、未乾燥ラミナを積層接着した積層ブロックを「エンドブロック」と仮称して取り付けられた。また、積層ブロックを用いなかった梁には、腹材と同断面の束を立て「エンドブロック」の代用とした。「エンドブロック」を取り付けた理由は、他部材との接合になにかと便利であろうということと、せん断力が最大となる梁の両端部を補強するためである。

2.3 腹材の製造と梁の組立て

ラチス梁の製造手順は基本的には前回^{1),2)}と同じである。ただ、今回は角度付きのフィンガー切削の方法と、その接合工程、並びに釘打ちの方法に若干の改良を加えた。

まず、既製のダブルエンドテナー（菊川製：片側5軸）の材料送り出し側縦刃物軸にフィンガーカッター用の延長軸を取り付けてフィンガー切削軸とした。次に、材送り用キャタピラの要所要所に所定の角度が付くようにストッパーの役割を果たす爪を付け、角度を付けて材料を送れるようにした。第4図は連続的に材料を供給し、角度付きのフィンガー切削を行っている様子を示す。切削の条件等は第1表に示す。本実験では、1回の送りによって材料の両端を同時に切



第5図 コーナージョイントプレス(試作嵌合機)
写真は Z字型を作っているところ

に嵌合した後、全く同じ要領で と を嵌合してW字型を、そして とWとで 型をとるように、次々と 字を継ぎ足し、最終的に長さ3.6m前後の腹材を製造した。

腹材のコーナーフィンガージョイントに使用した接着剤は市販の水性ビニルウレタン樹脂接着剤であるが、この接着剤の未乾燥材への適用性については、第2.4節でとりあげる。

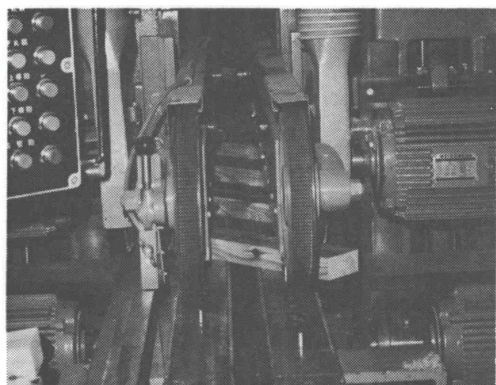
腹材は実験室内で一昼夜養生された後、再度ダブルエンドテナーに通され、弦材受け用の欠き込みと、梁せいに合わせるための幅決め、の二つの加工が同時に施された。

次に、節点の欠き込み部分に弦材用の厚さ2.3cmの板を第2図の構成となるように当てがい、ハタ金並びにクサビを用いて全体の位置関係を固定してから、腹材と弦材とをエアネイラーで釘着した。使用したネイラーには枠組壁工法用に認定された釘が打てるもの（MAX：スティックネイラーKN-80）で、エアネイラー専用のCN90相当釘（MAX：KC90×1）を1節点の片面につき8本ずつ打った。ただし、TY PE- については、ネイラーが使えないので、CN90とほぼ同じ釘径のN100を同じ数だけ手打ちした。

2.4 未乾燥製材の接着に関する予備的試み

2.4.1 角度を付けてフィンガー切削された平割材の縦接合強度実験

水性ビニルウレタン樹脂接着剤は、性能が優れている割には値段が安い、耐水性が良い、刃物を痛めにく



第4図 ダブルエンドテナーによる角度付きフィンガー切削
写真は、材料供給側から見たところ

第1表 角度付きフィンガー切削の条件

モーター回転数	2850rpm	フィンガー長さ	12mm	公称
送材速度	3.2m/分	ピッチ	4mm	
斜材角度	45度	フィンガー底部幅	0.4mm	
		カッターの配置	らせん状	

削することはできなかった。これは、斜材の長さ、使用したダブルエンドテナーの寸法が合わなかったため、将来、工場生産を考える場合には、両端を同時に切削できる専用機を開発する必要がある。

材両端のフィンガー切削を終えた斜材は第5図に示す試作嵌合機（コーナージョイントプレス）によって、まず Z字型に嵌合された。すべての斜材を Z字型

い、その他の理由で最近かなり使われるようになってきた。市販品の詳しい組成は明らかでないが、酢ビ系の主剤にイソシアネート等を架橋剤として添加するのが基本的な使い方である^{7),8)}。

この接着剤に関する既往の研究例を見ても、特に高含水率材に適用できるという指摘は見られない。逆に、含水率の影響を受け易いという話を耳にすることさえある。

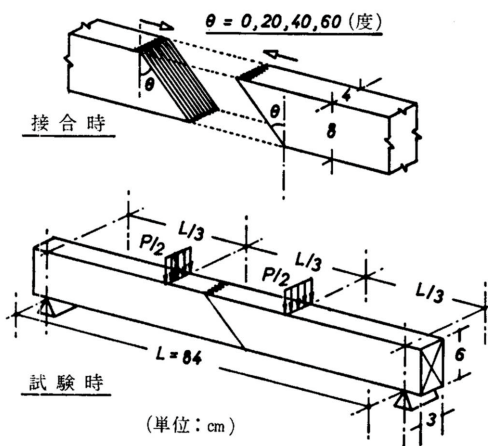
しかし、中村らの研究⁹⁾によると、実験室で合成された酢酸ビニル樹脂エマルジョン (PVAc) に、市販の芳香族ジイソシアネートのポリマー (MDI) を添加した接着剤の場合、その縦継材を乾燥後に使うという条件を付けるならば、高含水率材の縦接合にも使えそうだという結果が得られている。したがって(いささか短縮していることは承知のうえで)、組成的に大体同じであろうと推定される市販の水性ビニルウレタン樹脂接着剤でも、やりようによっては高含水材に適用可能ではないかと考えた。なお、この接着剤に関しては、MDIの添加量を増やした方が、接着性能に良い結果が表われる場合が多いので⁹⁾、以下の実験、並びに、ラチス梁の腹材製造には、メーカー指定量の2倍、すなわち、主剤100部に対し、架橋剤を30部添加したものを使用した。

高含水率縦接合の実験に用いた材料は、腹材用の断面3.7×7.8 (cm) の平割材で、第1表と同じ条件で角度付きのフィンガー切削を行った。切削の角度は第6図に示すように、 $\theta = 0$ 度(従来通りのフィンガージョイント)、20, 40, 60度の4種類である。

上記配合比の接着剤を両方のフィンガーにブラシで塗布した後、通常型のアッセンブラー(嵌合機)で縦接合を行ない、通直な曲げ試験体を作った。全試験体は集成材用門型プレスで固定され、狂いを拘束されつつ約4週間養生された。そして、4面を所定寸法に鉋削した後、第6図の要領で4点曲げ試験を行った。

2.4.2 エンドブロック用積層材の製造

「ラチス梁はすべて未乾燥カラマツ製材で作



第6図 角度を付けてフィンガー切削された高含水率縦接合材の4点曲げ試験の概要
ただし、嵌合は材料の長手軸に平行に行った

る」という方針に沿って、カラマツ未乾燥ラミナによるエンドブロックの製造というかなり危険な試みを行った。もちろん、接着には前記水性ビニルウレタン樹脂接着剤を用いた。第2表に未乾燥材の接着条件等を示す。

すべての積層ブロックは、何の拘束も与えずに自然のまま放置されたが、4か月間の養生期間を終えて

第2表 エンドブロック用積層材の接着条件

1. 樹種	: カラマツ	8. 圧縮歪力: 9~18(kg/cm ²) (材の反りに応じて加減)
2. 原木末口径	: 12cm	9. 接着時の環境
3. ラミナ厚さ	: 2.0又は2.1cm (鉋削後)	季節 : 9月~10月 温度 ^{b)} : 7.1~19.2 (°C) 湿度 ^{b)} : 73~ 98 (%)
4. ラミナ長さ	: 100及び 150cm	10. 接着前のラミナの状態
5. 積層枚数	: 厚さ2.1cm-15枚 厚さ2.0cm-16枚	防カビ剤(塩素化フェノール誘導体)を噴霧した後、ビニールに包んで堆積保管。 カビや反りの発生したものが少なくなかった。
6. 接着時含水率 ^{a)}	平均値 : 40.2% 最小値 : 11.8% 最大値 : 165.4% 標準偏差 : 22.3% 測定数 : 469	11. 製造数: 長さ 1m-18個 長さ 1.5m-12個
7. 接着剤	: 市販水性ビニルウレタン樹脂接着剤(K社)	12. 養生期間
主剤 100部 架橋剤 30部		風通しのない屋内にて 4ヶ月間(11月~2月)

注) a) 絶乾法 b) 当場木材部乾燥科測定値(百葉箱内)

も、ほとんど狂いの発生は認められなかった。外観のチェックを終えた後、すべての積層ブロックを鉋削し、長さ30cmに分割した。分割された短尺ブロック114個について、全接着層のはく離状況を肉眼で観察した。そして、はく離の少なかったものから順に56個のブロックを選別し、ラチス梁に取り付けるための欠き込みをダブルエンドテナーで加工した。

ラチス梁の製造数はTYPE - がそれぞれ17体ずつ、TYPE - が3体である。TYPE - の17体には、すべて積層材によるエンドブロックを取り付けた。一方、TYPE - については、20体中11体に積層材によるエンドブロックを取り付け、残り9体には腹材と同じ平割材で束を立て、エンドブロックの代用が可能なかを検討した。TYPE - の場合、ブロックを2つに挽割って取り付けたため、梁としての木口面には、第2図に示すような空間ができた。したがって、その部分には所定寸法の材をそう入し、釘でブロックと固定した。なお、弦材とエンドブ

ロック若しくは束との接合にはすべてエアネイラー専用のCN90相当釘を用い、弦材の片面あたり9~10本ずつ打った。

3. 結果及び考察

3.1 歩留り

第3表 - (a), (b), (c) に製品別の歩留りを示す。腹材以外は個々の原木ごとの歩留りを最後まで追跡できたが、腹材については鉋削段階で原木番号を削ってしまったため、個々の原木からのデータは得られなかった。

3.2 製造工程上の問題点

今回の製造実験では、製造工程上に特に重大な欠陥は認められなかったが、今後の課題として、直しておいた方が望ましかろうといった程度の問題点が試作嵌合機に認められた。

コーナージョイントプレスの圧入機構は、第5図の示す1対の油圧プレスで斜材を固定した後、に

第3表 製材及び加工歩留り

(a) 弦材		製材及び加工歩留り																
原木		製材								鉋削加工								
末口径	本数	生産枚数				製材歩留(製材/原木)				歩留(鉋削材/製材)				歩留(鉋削材/原木)				
		Ⅰ*	Ⅱ*	Ⅲ*	除外*	合計	平均	最小	最大	S.D.	平均	最小	最大	S.D.	平均	最小	最大	S.D.
13cm	39本	112	28	16		156枚	46	26	51	8	86	81	88	3	39	23	45	7
		72	18	10	100%	(%)												
14cm	61本	157	59	31		247枚	51	30	60	8	84	74	88	3	43	22	52	7
		64	24	12	100%	(%)												

(b) 腹材		加工歩留(2つ割, 鉋削)								
末口径	本数	製材歩正角(平均)	平割				正角			
			(鉋削材/製材)		(鉋削材/原木)		(鉋削材/製材)		(鉋削材/原木)	
9	4	79	58				60			
10	30	64	47				49			
11cm	46本	53%	39%				40%			

(c) エンドブロック		製材及び加工歩留り																
原木		製材								鉋削加工								
末口径	本数	生産枚数				製材歩留(製材/原木)				歩留(鉋削材/製材)				歩留(鉋削材/原木)				
		Ⅰ*	Ⅱ*	Ⅲ*	除外*	合計	平均	最小	最大	S.D.	平均	最小	最大	S.D.	平均	最小	最大	S.D.
12cm	57本	80	64	42	30	216枚	47	29	58	7	68	34	89	12	31	15	51	6
		37	30	19	14	100%												

注)* : 本文 2.1.2 節参照

S.D. は標準偏差。但し、標本数は原木本数に一致。

示す主プレスで嵌合を完了する。その際、字型が所定の角度より若干開き気味となり、3.6m前後に連結すると、全体としてやや縦反りの腹材が完成する傾向が認められた。むしろ、この欠点はダブルエンドコーナーで幅決めする際に、ある程度は隠れてしまうが、基本的には望ましい傾向とは言えない。

この原因としては、固定プレスの位置と反力壁の位置、そして、斜材角度の3者の関係から、斜材を外側に曲げるような力が働いているためではないかと推察された。しかも、材料が生材で変形し易いことがこの傾向を助長しているようにも思われた。

この欠点を是正するためには、斜材の変形を強制的に阻止するように、斜材固定部分の面積を増大させる必要がある。

3.3 角度付きフィンガージョイント材の曲げ強度

第4表に角度付きフィンガージョイント材の曲げ強度試験結果を示す。試験時の含水率が比較的高かったため、本実験における強度の絶対値は比較的低かった。しかし、同一ロットから採った実大材（コントロール材）の強さを基に評価すれば、0.64~0.84の強度効率を得られており、まずまずの結果と言えよう。

一方、ヤング係数については、接合材の方が若干低下するものの、コントロール材を基にした剛性効率はほぼ1に近く、この点でも気乾材の縦接合とほぼ同じ程度の性能と言える。

既報^{4),5)}で報告したように、ラチス梁における腹材コーナーフィンガージョイント（CFJ）の存在は、ラチス梁の性能を一定程度向上させる効果を持っている。しかし、設計計算では念のためその耐力を無視している⁶⁾。その意味から言えば、この接着は安全率のプラスアルファという性格を持っている。したがって、従来の気乾材縦接合と大体同程度の性能を発揮すると予想される水性ビニルウレタン樹脂接着剤による未乾燥材のCFJは、ラチス梁の腹材製造に限って、一応使えるのではないかと考えられた。

3.4 エンドブロック用積層材の接着不良

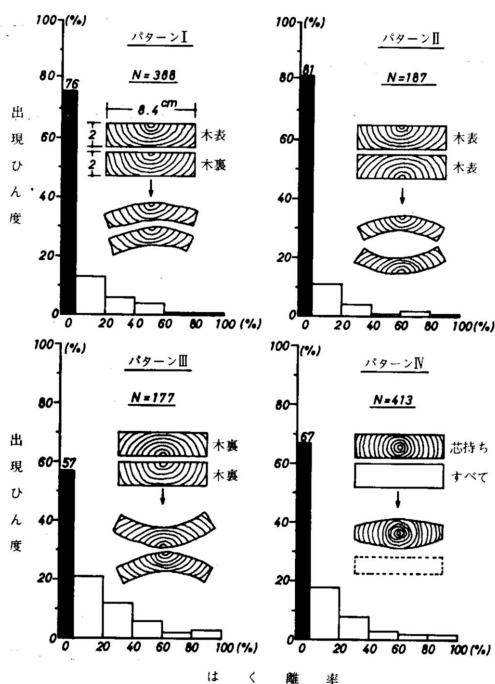
本実験では、積層ブロック（高さ30cm×幅8.4cm×長さ30cm）の接着不良をブロック側面でのほく離率で評価した。なお、ほく離率は次式で算出した。

$$\text{ほく離率} = \frac{\text{一接着層あたりのほく離長さの合計}}{30\text{cm} \times 2} \times 100 \quad (\text{表裏})$$

第4表 角度を付けてフィンガー切削され、高含水率時に縦接合された平割材の曲げ強度試験結果

切削の角度 θ (度)	項目	試験時 比重 ru-t a)	平均 年輪幅 Rw (mm)	試験時 含水率 Ut b) (%)	接合時 含水率 Ug c) (%)	曲げ強度 $F_{b-\theta}$ (kg/cm ²)	ヤング係数 $E_{b-\theta}$ d) (t/cm ²)	強度接合効率 $F_{b-\theta}/F_{b-c}$	剛性接合効率 $E_{b-\theta}/E_{b-c}$
0	平均値	0.48	5.5	19	44.6	259	55.7	0.75	0.97
	最小値	0.40	3.6	15	28.0	180	49.6		
	最大値	0.55	7.6	26	73.0	333	72.5	(259/346)	(55.7/57.3)
	S. D.	0.05	1.3	4	11.5	54	6.6		
	測定数	11	21	11	22	11	11		
20	平均値	0.47	5.0	19	46.2	290	56.4	0.84	0.98
	最小値	0.42	3.5	13	28.7	226	47.0		
	最大値	0.57	6.6	24	81.6	372	77.9	(290/346)	(56.4/57.3)
	S. D.	0.05	0.9	3	17.0	52	10.3		
	測定数	11	18	11	20	11	11		
40	平均値	0.47	5.2	24	57.7	223	55.4	0.64	0.97
	最小値	0.43	4.0	18	36.5	64	44.5		
	最大値	0.54	7.8	30	84.4	314	69.7	(223/346)	(55.4/57.3)
	S. D.	0.04	1.2	4	15.4	68	8.6		
	測定数	10	20	10	22	10	10		
60	平均値	0.49	5.5	23	64.4	250	51.4	0.72	0.90
	最小値	0.45	3.5	15	27.1	157	35.7		
	最大値	0.57	7.5	29	107.2	358	64.5	(250/346)	(51.4/57.3)
	S. D.	0.04	1.3	4	21.9	64	7.3		
	測定数	11	22	11	22	11	11		
コントロール (無接合) C	平均値	0.45	5.3	16	—	346	57.3		
	最小値	0.41	3.6	12	—	226	41.4		
	最大値	0.53	6.6	21	—	421	69.1		
	S. D.	0.03	0.9	2	—	53	9.6		
	測定数	11	11	11	—	11	11		

注) a) 含水率 Ut 時の重量と体積で計算, b) 電気抵抗式水分計を使用, c) 絶乾法, d) セン断たわみの影響を含む。



第7図 カラマツ未乾燥ラミナの積層接着におけるはく離率とラミナ組合せの関係
備考: Nは測定数

小径木から採材した未乾燥ラミナを積層接着する場合、ラミナの木取りによる乾燥後の変形の相違が、はく離の起こり易さに関係するのではないかと考えられた。そこで、第7図に示すように、接着層をはさむ隣接2枚のラミナの組合せを4つのパターンに分類し、そのパターン別にはく離率の出現ひん度を求めた。

第7図から、木裏-木裏の組合せ、あるいは、心持ち材を含む組合せにおいて、はく離が幾分多くなる傾向がうかがえる。逆に、本実験の範囲内で最良と言える組合せは、木表-木表の接着であるが、この組合せは、積層数が多くなると、必ずなんらかの望ましくない組合せを伴うため、結果的には、従来から推奨されている木表-木裏の繰り返しパターンで接着するのが無難であると言えよう。

板目又は柃目面の接着は木口面の接着よりも容易であり、カラマツ乾燥材の場合、適正な接着を行うなら者沸はく離試験にも充分耐えるものを得ることができ。良い接着とは、少なくとも素材自身と同じ強さが発揮され、しかも接着層で破壊してはならないもので

ある。いわんや、力も受けていないのに接着層がはく離するなどということは絶対にあってはならないことである。

未乾燥材でエンドブロックを作るという試みは、研究として興味深いものである。しかし、今回の実験で、はく離が少しでも存在したという事実は、上述の積層接着に要求される性能から言えば基本的に認められないものである。したがって、現時点では束によって梁の両端部を補強する方法が現実的であると判断される。

4. おわりに

カラマツ釘着ラチス梁の開発は、いくつかの新しい試みが合わさったものである。本資料は、製品開発という一つの大きな流れの中で行った「個別的な試み」を一つの報告としてまとめたものである。そのため、全体的に見て、内容が散漫となった点は否めない。

別報にて報告する予定であるが、本実験で製造した梁は、未だ十分満足できる性能のものではない。更に若干の改良が必要である。しかし、少なくとも、梁の製造に関しては、本実験によってその基本的な方針が一段と明確なものとなった。

長尺化、コスト試算、実際建築物への試用等が、我々のサイドにおける今後の課題である。

文献

- 1) 小松ほか2名：日本木材学会北海道支部講演集，第10号，pp.8~12 (1978)
- 2) 小松ほか2名：林産試月報，No.311 (7月号)，pp.1~6 (1979)
- 3) 小松ほか2名；林産試月報，No.314，(10月号)，pp.11~16 (1979)
- 4) 小松幸平：日本木材学会北海道支部講演集，第12号，pp.17~22 (1980)
- 5) 小松幸平，倉田久敬：林産試月報，No.350，(3月号)，pp.5~13 (1981)
- 6) 小松幸平：林産試研報，第70号，pp.131~197 (1981)
- 7) 恩田重治：接着，Vol.23，No.6，pp.26~35 (1979)
- 8) 桜田ほか2名：接着，Vol.23，No.6，pp.6~15 (1979)
- 9) 中村ほか2名：林産試研報，第68号，pp.146~175 (1979)

- 試験部 複合材試験科 -
(原稿受理 昭56.6.18)