

## ラチス梁に関する研究 (第2報)

- ラチス梁の曲げ性能について -

小松 幸平 堀江 秀夫  
倉田 久敬

### 1. はじめに

カラマツ間伐木の構造的利用法の1つとして、住宅用床梁を目指したラチス梁の製造を計画した。まず、研究の第1段階として、製材直後の未乾燥材を用いたラチス梁を試作し、天然乾燥に伴う狂いと欠点の発生状況を観察した。その結果は第1報<sup>1)</sup>で報告したように、一部の型式の梁について実現の可能性が見い出された。

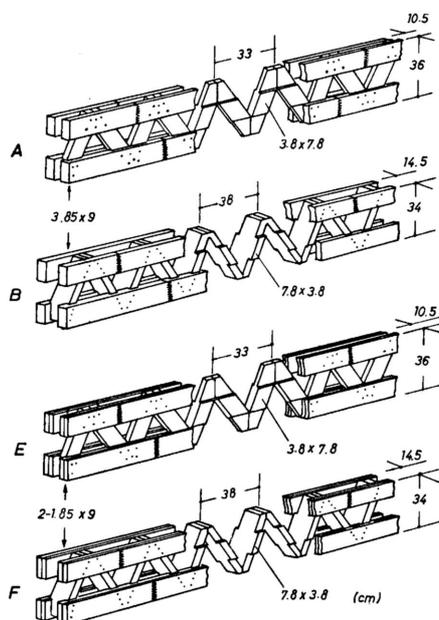
本報告は、その第2段階としてラチス梁の曲げ性能について報告するものである。研究の流れとしては、生材で試作したラチス梁そのものについて実験する方が望ましかったのであるが、狂いの大きかったものが多く、またその観察を継続中であったこと、更に、材料定数を測定していなかったこと等の理由から、新しく気乾カラマツ材を用いて生材試作梁と同型の実大モデルを製作し、それらについて曲げ試験を実施した。したがって、今回の実験からは生材ラチス梁の性能を直接評価し得るデータは得られなかったものの、少なくとも、ラチス梁というものの力学的挙動について知る所が多く、今後の設計計算に有益と思われる幾つかの知見が得られたという点で有意義であった。

なお、本報告は第29回日本木材学会大会(昭和54年7月、札幌市)において発表したものである。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試ラチス梁の型式

供試梁の型式は第1図に示すA, B, E, Fの4種類で、すべて釘着ラチス梁である。ラチス梁の製作手順は基本的には前回<sup>1)</sup>と同じであるが、断面寸法が少し変わったことの外に、連続ラチスの接着にレゾルシノール樹脂接着剤を用いたこと、更に乾材と腹材との接



第1図 供試ラチス梁の型式と特徴

合にCN65を用いたこと等が生材ラチス梁の場合と異なる。なお、供試梁は各型式3体づつ、合計12体製作した。

#### 2.2 供試材料

##### 2.2.1 弦材

梁型式方, Fタイプの弦材(断面: 1.85 × 9.0cm, 2枚合わせ)は約半年間天然乾燥された10.5cm正角材から採材した。この正角材は生材ラチス梁用に購入した士別市上士別町(以下上士別と略)産カラマツ(径級13~16cm, 本数26本)より製材されたものである。

一方、梁型式A, Bタイプの弦材(断面: 3.85 × 9.0cm)は人工乾燥された枠組壁工法用カラマツ210材から採材した。いずれのカラマツ乾燥材ともねじれ狂いが著しかったため、12mmフィンガージョイントにより3.65m縦接合材に仕上げ直した。

2.2.2 腹材

腹材は約半年間天然乾燥しておいた9cm押角材から採材した。この押角材も上土別産カラマツ(径級10~11cm, 本数40本)より製材されたもので、公称断面3.8×7.8cmに仕上げた。

2.2.3 基礎材質

第1表はこれら供試材料の基礎材質を原木のグループ別に示したものである。ここで、210材の値は実際にラチス梁の弦材に使用した材についての測定値であるが、上土別産カラマツの方は腹材用1.2m短尺材についての値である。なお、上土別産カラマツによる弦材の材質はヤング係数のみを測定し第2表に示した。

2.3 組み立てたラチス梁の性質

ラチス梁の組み立てにあたっては、弦材のヤング係数により組み合わせを決定し、ヤング係数の大きい材を上弦材に使うように心掛けた。第2表は組み立て

てられたラチス梁の諸性質を示したものである。

2.4 曲げ試験要項

ラチス梁の4点曲げ試験の方法と測定隣器類の位置

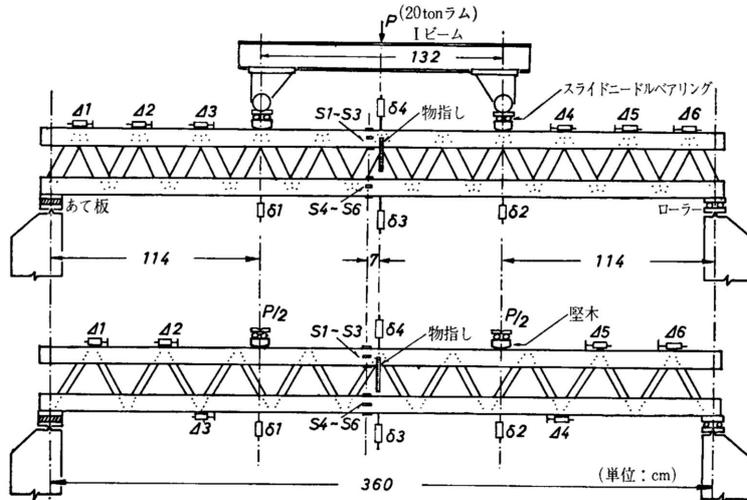
第1表 供試材料の基礎材質

グループ	項目	比重 $\rho_u$	平均年輪幅数 $R_w(\text{mm})$	曲げヤング係数 $E$		縦圧縮強度 $F_c$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	材質指標 $F_c/E$
				( $10^3\text{kg}/\text{cm}^2$ )	( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )		
枠組壁工法用 カラマツ210材 (平均含水率 10.2%)	平均値	0.51	5.1	80.3	391.0	0.0049	
	最小値	0.44	1.3	64.1	271.4	0.0034	
	最大値	0.58	8.4	112.4	547.3	0.0073	
	変動係数(%)	8.1	34.7	24.3	19.2	20.7	
	測定数	28	28	30	27	27	
上土別産 小径カラマツ (平均含水率 12.5%)	平均値	0.47	4.6	86.0	323.6	0.0041	
	最小値	0.40	2.8	53.6	217.5	0.0032	
	最大値	0.55	7.4	101.5	441.1	0.0058	
	変動係数(%)	10.7	22.6	13.9	15.1	13.1	
	測定数	50	50	53	53	53	

第2表 組み立てたラチス梁の性質

No.	平均ヤング係数			ラチス梁		弦材		腹材	
	上弦材 ( $E_T$ )	下弦材 ( $E_B$ )	腹材 ( $E_W$ )	重量	梁せい	材せい	総幅	材せい	幅
	(10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )			(kg)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
A1	90.0	84.6	90.5	35.80					
A2	93.6	92.4	81.9	35.32	36	10.5	9	7.7	7.8
A3	111.4	102.5	86.0	36.26					
B1	64.5	61.4	90.3	34.60					
B2	68.6	66.2	83.7	34.61	34	14.5	9	7.7	3.8
B3	79.1	71.7	90.0	36.12					
E1	87.8	85.9	85.0	31.93					
E2	95.1	91.1	87.1	33.76	36	10.5	9	7.4	7.8
E3	104.1	100.5	88.6	33.32					
F1	66.1	62.9	87.2	32.59					
F2	79.1	75.4	87.2	31.90	34	14.5	9	7.4	3.8
F3	83.8	91.4	89.9	32.55					

注) 使用釘はCN65 (d=0.33cm) で、各接合部にm=12本(片面6本)を使用した。



第2図 ラチス梁の4点曲げ試験方法と測定隣器類の取り付け位置

関係を第2図に示す。図中の  $\delta_1 \sim \delta_4$  はたわみ測定用の、また  $\delta_1 \sim \delta_6$  は釘のすべり量測定用の摺動型変位計(感度: 200  $\mu$  / mm)である。一方、 $S_1 \sim S_6$  は弦材

のひずみ測定用のペーパーストレインゲージ(ゲージ長20mm)で、温度補償用の結線法は2ゲージコモンダミー法である。なお、すべてのデータはデジタル式多点ひずみ計により印字出力させた。

次に、剛性試験で与えるべき荷重であるが、住宅用床梁の最大モーメントに等しくなるように、4点曲げ荷重の合力を以下の条件からPd = 1000kgと算定した。

設計条件：固定荷重50kg/m<sup>2</sup>、積載荷重130kg/m<sup>2</sup>、梁間隔(標準)1.82m、ラチス梁自重(第2表より)0.094kg/cm

実験条件：スパンL = 360cm、一定せん断力長さl = 114cm。

剛性試験は、この荷重Pdの1/2、2/2、3/2のレベルまで繰り返し、4回目に破壊させた。すべてのデータは負荷時には荷重刻み50kgごとに、また除荷時には原則として100kgおきに集録した。使用した試験機は縦型油圧式材料試験機(曲げ容量20TON)で、試験条件は温度 - 4 ~ 15℃、湿度45 ~ 71%であった。

### 3. 曲げ性能の予測計算

供試ラチス梁は若干特殊な構造であるため、その曲げ性能の計算には以下の諸式を用いた。なお、式の誘導等については別に報告する予定である。

〔ラチス梁の最大たわみ  $\delta_b$ 〕

$$\delta_b = b + s \quad (\text{全たわみ}) \quad \dots\dots (1)$$

$$\delta_b = \frac{P(3IL^2 - 4l^3)}{48(EI)_L} \quad (\text{曲げたわみ}) \quad \dots\dots (2)$$

$$\delta_s = \frac{Pl}{2(\Gamma_w g^2)} \quad (\text{せん断たわみ}) \quad \dots\dots (3)$$

$$(EI)_L = E_T(I_T + A_T g_T^2) + E_B(I_B + A_B g_B^2) + E_w I_w e_f \cos \varphi \quad \dots\dots (4)$$

$$\frac{1}{(\Gamma_w g^2)} = \frac{a}{g^2} \left( \frac{1}{2\eta} + \frac{1}{m_T K_{S-T}} + \frac{1}{m_B K_{S-B}} \right) \quad \dots\dots (5)$$

$$\eta = \frac{E_w A_w}{\lambda_w} \left\{ \cos^2 \varphi + \left( \frac{h_w}{\lambda_w} \right)^2 e_f \cdot \sin^2 \varphi \right\} \quad \dots\dots (6)$$

$$\lambda_w = \frac{g}{\sin \varphi} \quad \dots\dots (7)$$

$$K_{s-i} = \frac{4.5064 k_{oi}^{0.75} d^{1.75}}{(1 + \omega_i)(1 + \omega_i^2)} \quad (\text{弾性床理論式})^2 \dots\dots (8)$$

$$k_{oi} = \frac{E_i}{7.2d + 1.1} \quad (\text{実験式})^3 \dots\dots (9)$$

$$\omega_i = \left( \frac{k_{oi}}{k_{ow}} \right)^{0.25} \quad \dots\dots (10)$$

〔ラチス梁の比例限度荷重  $P_p$ 〕

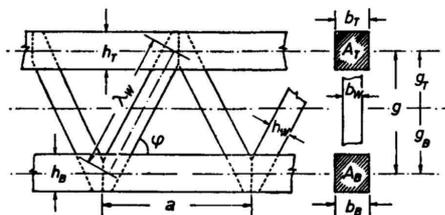
$$P_p = s P \cdot \left( \frac{2 m_i g}{a} \right) \quad \dots\dots (11)$$

$$s P = F_c \cdot \gamma_i \quad \dots\dots (12)$$

$$\gamma_i = 2.253 d^{1.75} k_{oi}^{-0.25} \quad (\text{弾性床理論式})^4 \dots\dots (13)$$

$$F_c = 0.004 E_i \quad (\text{第1表の平均値より}) \dots\dots (14)$$

以上の諸式に使われている記号や添字の意味については第3図並びに第3表に示した。



第3図 ラチス梁各部寸法と記号の説明図 (記号の説明は第3表)

第3表 計算式に使われている記号とその意味

記号	意味	記号	意味
$L$	ラチス梁のスパン (cm)	$I$	部材図心に関する断面2次モーメント (cm <sup>4</sup> )
$l$	一定せん断力長さ (cm)	$d$	釘の直径 (cm)
$a$	腹材節点間路離 (cm)	$m$	1接合部あたりの1面せん断釘の本数
$\lambda_w$	針材長さ (cm)	$e_f$	コーナーフィンガージョイントの剛性接合効率
$g$	上下弦材間の心々梁せい (cm)	$K_s$	釘のすべり係数 (kg/cm)
$h$	部材のせい (cm)	$k_o$	"bearing constant" (床係数) (Ton/cm <sup>2</sup> )
$b$	部材の幅(総幅) (cm)	$F_c$	木材の縦圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
$\varphi$	斜材と弦材のなす角度 (rad.)	添字	意味
$(EI)_L$	ラチス梁の曲げ剛性 (kgcm <sup>2</sup> )	( )T	上弦材 (Top Chord)
$(\Gamma_w g^2)$	ラチス梁のせん断剛性 (kg)	( )B	下弦材 (Bottom Chord)
$E$	ヤング係数 (kg/cm <sup>2</sup> )	( )W	腹材 (Web)
$A$	断面積 (cm <sup>2</sup> )	( )i	一般型 i = T, B, W, etc.

4. 結果及び考察

4.1 たわみ及び比例限度荷重

第4表は供試ラチス梁のたわみ及び比例限度荷重に対する予測計算値と実測値、並びにその適合性を示したものである。また第4図は供試ラチス梁の荷重-たわみ関係図の代表例を示したものである。まず、たわみであるが、計算値と実測値との一致は

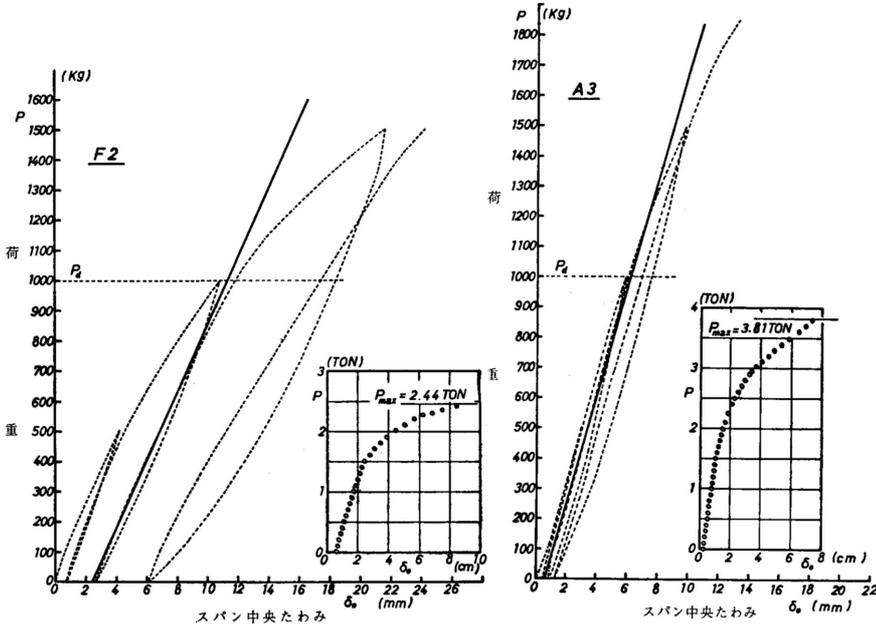
一応良好であったと言える。ここで実測値とは、剛性試験3回目負荷時(0.3P<sub>d</sub>/2)の弾性域において、上弦材、下弦材につき荷重50kgおきに δ<sub>o</sub>/Pを計算し、それらを平均化したものである。

たわみの計算値において注目すべき点は、全たわみ δ<sub>o</sub>に対するせん断たわみ δ<sub>s</sub>の割合が平均46%と非常に大きいことである。これは、言うまでもなく、弦材

第4表 ラチス梁のたわみ及び比例限度荷重の計算値と実測値

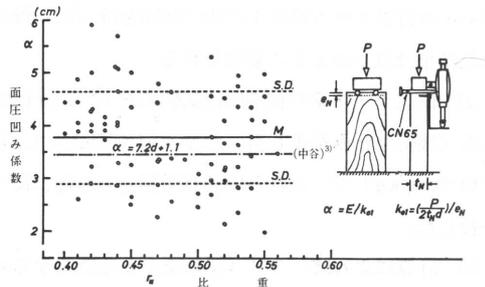
No.	計 算 値							実測値並びに計算値との比較				
	*1 曲げ剛性 (EI) <sub>L</sub>	*2 せん断剛性 (Γwg <sup>2</sup> )	*3 せん断力耐 sP	*4 曲げたわみ δ <sub>b</sub> /P	*5 せん断たわみ δ <sub>s</sub> /P	*6 全たわみ δ <sub>o</sub> /P	*7 せん断たわみの割合 100 × δ <sub>s</sub> /δ <sub>o</sub>	比例限度荷重 P <sub>p</sub>	たわみ δ <sub>o</sub> /P	比例限度荷重 P <sub>p</sub>	比例限度荷重 P <sub>p</sub> (計) P <sub>p</sub> (実)	
	10 <sup>8</sup> kg·cm <sup>2</sup>	10 <sup>8</sup> kg	kg	10 <sup>-3</sup> cm/kg	10 <sup>-3</sup> cm/kg	10 <sup>-3</sup> cm/kg	%	kg	10 <sup>-3</sup> cm/kg	kg	kg	
A1	2290	201.7	49.4	0.349	0.284	0.633	45	972	0.552	1.147	1000	0.972
A2	2458	194.4	48.2	0.326	0.293	0.619	47	948	0.553	1.119	900	1.053
A3	2802	206.4	49.9	0.286	0.276	0.562	49	980	0.535	1.650	1000	0.980
B1	1422	133.0	38.8	0.562	0.429	0.991	43	614	0.952	1.041	600	1.023
B2	1523	132.8	41.0	0.525	0.429	0.954	45	649	0.947	1.007	600	1.082
B3	1701	141.4	43.6	0.470	0.403	0.873	46	690	0.917	0.952	550	1.255
E1	2191	194.6	49.6	0.365	0.293	0.658	45	975	0.656	1.003	950	1.026
E2	2348	198.8	50.5	0.340	0.287	0.627	46	993	0.644	0.974	900	1.103
E3	2580	207.7	51.0	0.310	0.274	0.584	47	1002	0.541	1.070	950	1.055
F1	1401	131.4	39.5	0.571	0.434	1.005	43	624	1.147	0.876	650	0.960
F2	1677	139.4	45.2	0.477	0.408	0.886	46	715	0.908	0.976	700	1.021
F3	1794	140.9	47.9	0.446	0.404	0.850	48	757	0.956	0.889	600	1.262
平均値							46			1.009		1.066
変動係数(%)							3.8			7.9		8.9

\*1式(4), \*2式(5), \*3式(12), \*4式(2), \*5式(3), \*6式(1), \*7式(11)



第4図 荷重-中央たわみ図の代表例

と腹材との間の釘のすべりに起因するものであり、この種の釘着構造部材で最も注意を払わねばならない問題である。今回の計算では、釘のすべり係数K<sub>s</sub>を沢田の弾性床理論式<sup>2)</sup>で計算したが、その算定にあたって重要な因子である面圧凹み係数<sup>5)</sup>値については、中谷のエゾ・



第5図 カラマツ-CN65系における釘面圧試験法  
図において、 $M$ (平均値) $=3.85$   $S.D.$ (標準偏差) $=0.92$ (cm)  
測定数  $n=70$ 。(試片は両グループ混み)

にして、第5図に示すような釘の面圧実験(3回繰り返し負荷)を行った。その結果、CN65 - カラマツの系において、2回目の負荷時に得られる値に対し、上記実験式がパラッキの範囲内で十分適用可能であることを確認した。

次に、比例限度荷重の計算であるが、沢田らの論文<sup>2)</sup>に従い、釘の短期1面せん断耐力 $sP$ を釘着梁の比例限度を支配する臨界値と易なし、弾性床理論式<sup>4)</sup>により $sP$ を算出した。なお、 $sP$ 算出の基礎となる縦圧縮強度 $F_c$ は第1表に示した材質指標 $F_c/E = 0.004$ より決定したが、 $E$ の値としては、 $E_T, E_B, E_w$ のう

トドマツに関する実験式<sup>3)</sup>をそのまま適用した。なお、この式の適用にあたっては、中谷の実験<sup>6)</sup>を参考

第5表 ラチス梁の終局耐力と破損状況

No.	$P_p$ (計)	$2P_p$ (計)	$3\frac{1}{2}P_p$ (計)	$P_{max}$ (実測)	$3\frac{1}{2}P_p$ (計)	破 損 状 況 (写真参照)
	kg	kg	kg	kg	$P_{max}$ (実)	
A1	972	1944	3402	3550	0.972	一定せん断力領域 下弦材引張破壊
A2	948	1896	3318	3670	0.904	" 上下弦材同時破壊
A3	980	1960	3430	3810	0.900	" 下弦材節からの破壊
B1	614	1228	2149	1850	1.162	一定モーメント領域 下弦材アテ材部での破壊
B2	649	1298	2272	2180	1.042	一定せん断力領域 下弦材引張破壊、釘の引抜け有り
B3	690	1380	2415	2530	0.955	一定モーメント領域 下弦材ぶち切れ型破壊
E1	975	—	—	2780	—	上弦材座屈 部材は非破壊
E2	993	—	—	2690	—	" " "
E3	1002	—	—	3140	—	" " "
F1	624	1248	2184	2360	0.925	一定せん断力領域腹材-弦材間の面外はく離
F2	715	1430	2503	2440	1.026	荷重点直下、上下弦材の折れ型破壊
F3	757	1514	2650	2330	1.152	一定せん断力領域F Jからの引張破壊
平均					1.004	
変動係数					9.9%	

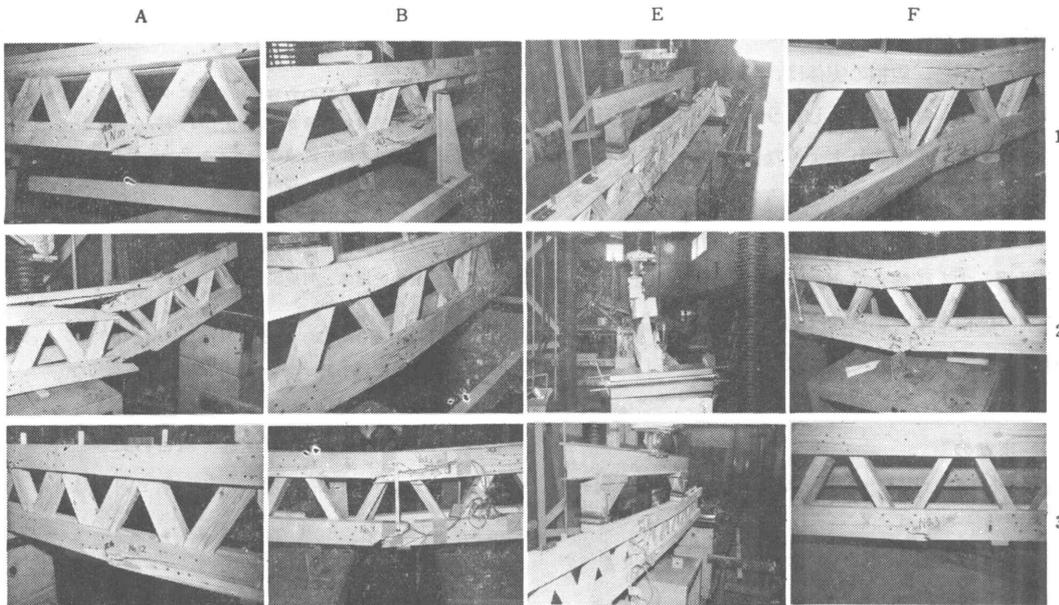


写真 ラチス梁の破損形態

ち最小のものを用いた。第4表に示したように、 $P_p$ の計算予測は若干危険側のようであるが、比例限度荷重の実測値自体の不正確さを考慮すれば、一応妥当なものであったと考えられる。

#### 4.2 ラチス梁の終局耐力と破損状況

釘着構造物の終局耐力を支配する因子は非常に複雑であるが、それらの中にあつて、釘の最大耐力が最も支配的であることは確かなのである。

上述した沢田らの論文<sup>2)</sup>では、釘着透し梁の降伏条件に対し、釘の短期1面せん断耐力 $sP$ の2倍の値が臨界値として採用されている。これは、我が国の木構造設計規準<sup>7)</sup>において、 $sP$ が釘の最大耐力 $P_{10}$ (10mm変位時の耐力)の1/2と定められていることから逆算されたものである。そこで今回の実験に対しても、この考え方に従い、まず $2sP$ を臨界値としてラチス梁の終局耐力 $P_{max}$ を算出してみた( $2P_p \rightarrow P_{max}$ )。しかし、第5表に示すように、供試梁の終局耐力の予測値としては、かなり安全側過ぎるように思われた。

一方、米国のWood handbook<sup>8)</sup>では、釘の終局耐力の目安として、1面せん断耐力 $P_{0.015}$ (変位0.015インチ $\approx$ 0.038cm)の耐力の $3\frac{1}{2}$ 倍の値を見越んでいる。この関係を今回の結果にそのまま適用してみると( $3.5P_p \rightarrow P_{max}$ )、第5表に示すように、かなり実測値に近い終局耐力が計算されることが分った。

しかしながら、破損の実体は、釘がずるずると引き抜けて材同士がはく離してしまうといった、いかにも釘の最大耐力に支配されたような形態ではなく、写真に示すように、部材の破断を伴うものが大部分であった。したがって、今回の実験では、木材の破断ひずみを臨界値とする破壊条件と、釘の最大耐力を臨界値とする別の破損条件とが、ほぼ同時に現れるような境界条件(広い意味での)であったと推定される。

#### 5. まとめ

カラマツ気乾材を用いたスパン3.6m、梁せい34~

36cmの釘着ラチス梁の4点曲げ試験を行った。得られた結果は以下のように要約される。

(1) 供試ラチス梁の初期剛性試験における弾性たわみ(残留たわみを差し引いた値)は0.552~1.147(10<sup>-3</sup>cm/kg)で、これらは計算予測とおおむね良く一致した。

(2) 計算によれば、ラチス梁の全たわみに対するせん断たわみの割合は平均46%と非常に大きく、釘のすべりがその主因と考えられた。したがって、弦材と腹材との接合の強化が今後の課題である。

(3) 供試ラチス梁の比例限度荷重については、釘の短期1面せん断耐力を臨界値として計算すれば、実測値と比較的良好一致した。

(4) 供試ラチス梁の終局耐力については、釘の短期1面せん断耐力の $3\frac{1}{2}$ (3.5倍)の値を臨界値として計算すれば、実測値と良く一致した。なお、この考え方は、米国のWood handbookによるものである。

#### 文 献

- 1) 小松幸平ほか2名：ラチス梁に関する研究(第1報)，林産試月報，330，1(1979)。
- 2) 沢田 稔，山田順治：木造釘着組立梁の腹材有効剛比，北大農学部演習林研報，Vol. 35，No.1，pp. 123~138，(1978)。
- 3) 中谷 浩，沢田 稔，吉田 亘：木材の釘面圧特性に関する研究(2)，第28回日本木材学会大会要旨集，p. 256，(1978)。
- 4) 沢田 稔：釘着材の許容剪断耐力について，木材学会北海道支部講演集，第8号，pp. 33~35，(1976)。
- 5) 原田正道：木船の縦強度，東大生産技術研報，Vol. 2，No. 3，p. 102，(1951)。
- 6) 中谷 浩：木材の釘面圧特性に関する研究，北大農学部林産学科昭和51年度修士論文。
- 7) 木構造設計規準・同解説(1973改)：日本建築学会 丸善，(1973)。
- 8) Wood handbook：U.S. Department of Agriculture，Forest Products Laboratory p. 7-6，(1974)。

—試験部 複合材試験科—

(原稿受理 昭和54年9月13日)