

# カラマツ接着ラチス梁の曲げ性能

前田 典昭 小松 幸平\*  
長原 芳男 北村 維朗

## The Bending Quality of Larch Glued Girders

Noriaki MAEDA  
Yoshio NAGAHARA

Kohei KOMATSU  
Tadao KITAMURA

When lattice girders were used at the " '84 Otaru Expo ", glued lattice girders were developed and tested at the Hokkaido Forest Products Research Institute . As a result , it was found that by using dried wood and adopting Panel points for gluing between a chord and a web , it was possible to provide the girders with additional flexural rigidity and good appearance . Moreover , the change from semirigid points to rigid ones made it possible to apply FEM (Finite Element Method) to estimating the stresses of girder members . The suitability of this application was confirmed by comparing the stresses estimated in the method with actual strain distributions observed in bending tests . It was also found that when the stresses estimated in FEM were compared with the stresses calculated upon the basis of the assumption that an open web was a continuous web , the calculation performed thus was able to give valid approximate stress values . Those approximate values made it easy to design the strength of the girders .

ラチス梁の“ '84小樽博 ”での採用を機に、林産試験場では、接着ラチス梁を開発し、試験を実施した。

乾燥材の使用及び弦材 - 腹材間に接着節点を採用することにより、梁の曲げ剛性と意匠性とに付加価値をもたらすことが明らかとなった。それと同時に、節点の半剛節から剛節への変更に伴い、梁部材の応力算定に有限要素法 ( F E M ) を適用することが可能となった。この適合性は、梁の曲げ試験における部材のひずみ分布の実測値との比較により確認された。また、F E M による部材応力算定値と腹材の連続体仮定に基づく解析法とのそれとの対比により、後者が有効な近似値を与えることが確認された。この結果、ラチス梁の強度設計が簡便に行えることとなった。

### 1. はじめに

カラマツラチス梁は、これまで部材として生材を使用し、節点接合として釘打ち工法を採用したものを絞って一連の研究・開発が進められてきたが、ねじれ<sup>1)</sup>や曲げ強度性能<sup>2)3)</sup>に問題があり、実用化さ

れるには至らなかった。一方、「 '84小樽博」でのサブテーマ館にラチス梁が採用されることが決定し、これを機に、乾燥材及び接合部への接着工法の適用という新たな形態が、ラチス梁の強度性能、意匠性に大きな付加価値をもたらすことが明らかとなり、開発過程

は大きな変遷を遂げた。

接合法の釘着から接着への転換に伴って、有限要素法の適用が可能となり、理論的には内部応力の厳密解が容易に得られることとなった。また一方、梁の強度設計の立場から考えれば、釘着ラチス梁で実験的にも確認されている腹材の連続体仮定による解析手法が接着ラチス梁にも適用可能なら、梁の設計段階がかなり簡便となる。ここでは、実大ラチス梁による曲げ試験を実施して、各部材のひずみ分布を測定し、これらの解析手法の適合性を検討した。

本稿は、先の日本木材学会北海道支部第16回研究発表会（昭和59年11月、旭川市）の発表<sup>4)</sup>で触れなかった上記の点を含め報告するものである。

## 2. 実験

### 2.1 供試ラチス梁

試験に供したラチス梁は、スパン3480mm、5800mmの2種類で、各4、2体の計6体である。材料として、弦材、腹材ともカラマツ乾燥材（含水率はそれぞれ平均8.9%、11.8%）を用いた。弦材は、節などの欠点を除いた短尺材をミニフィンガジョイントで縦継で断面16mm×50mmに仕上げた材を3層積層（レゾルシノール樹脂接着剤を使用）したもの、また、腹材は両端に深さ3mmの弦材受け用の欠き込み加工を施した単一の短尺材（釘着ラチス梁のように腹材相互の接合は行っていない）である。この腹材の両側に弦材を配して、両者の節点接合部は、ねじクランプを用いて圧縮接着（水性ビニルウレタン樹脂接着剤を使用）により行った（写真1参照）。供試ラチス梁の外観を写真2に、構成を第1表に示す。

### 2.2 曲げ試験方法

曲げスパンの異なる2種の梁で、負荷方法及び測定項目に相違がある。

<Beam No.1> 短スパンラチス梁であるBeam No.1は、スパン3480mmで上弦材の各節点上に位置する荷重ブロックに接続されたローラをスチールワイヤを介して電動ウインチにより引き下げて、多点の曲げ負荷を与えた（第1図参照）。載荷量は、荷重ブロッ

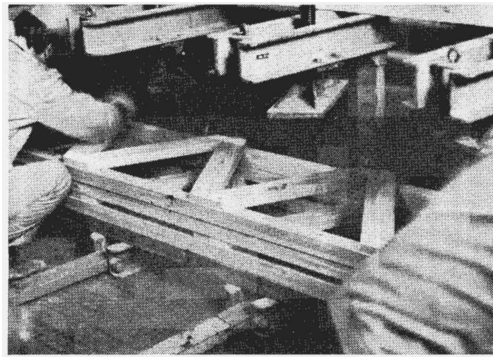


写真1 接着工法によるラチス梁製造

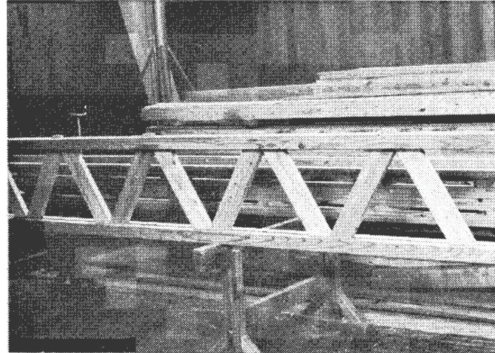


写真2 接着ラチス梁の外観

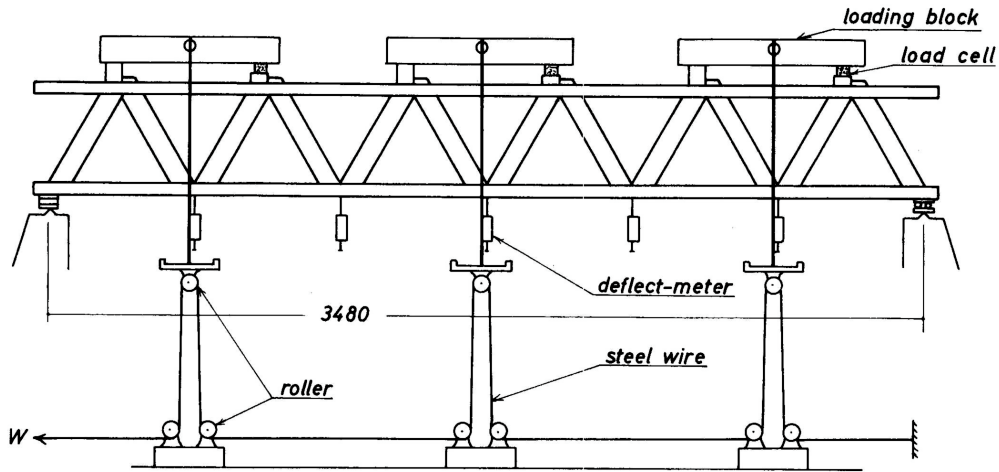
第1表 供試ラチス梁の構成

ラチス梁	梁せい：450mm	梁幅：120mm
	節点間距離：580mm	腹材角度：60°
弦材	材せい：50mm	材幅：48mm×2
腹材	材せい：83mm	材幅：30mm

クと梁節点間に容量1000kgfのロードセルをはさみ込んで検出した（3点の測定負荷量は、ワイヤの摩擦等の影響で、ワイヤ固定端へ向かう程順次1割程度減少する傾向が見られた）。測定は、下弦材各節点下のたわみを1/100mm精度変位計で、また、上・下弦材の節点間中央部の上縁及び下縁ひずみをゲージ長20mmのペーパーベースワイヤストレインゲージで22点について行った。

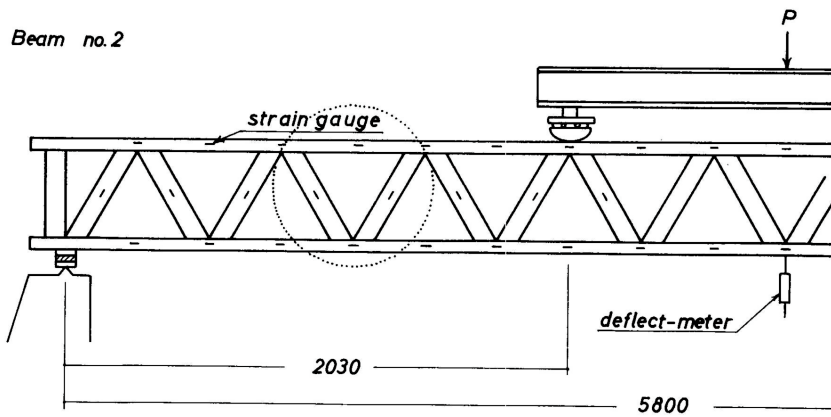
<Beam No.2> 長スパンラチス梁であるBeam No.2は、曲げスパン5800mm、せん断スパン2030mmの4点曲げ方式により負荷した（第2図参照）。たわ

Beam no.1



第1図 Beam No. 1の曲げ試験方法

Beam no.2



第2図 Beam No. 2の曲げ試験方法

みの測定は、精度 1 / 100mmの変位計によりスパン中央部についてのみ行った。また、ひずみの測定は、先と同様なストレインゲージにより、BeamNo. 2 - 1については、第2図に示すように梁の片側の面において全スパンにわたって54点、BeamNo. 2 - 2については、第2図に示す円内で弦材及び腹材のひずみを両面の各対称位置を含め48点について（第3図参照）行った。

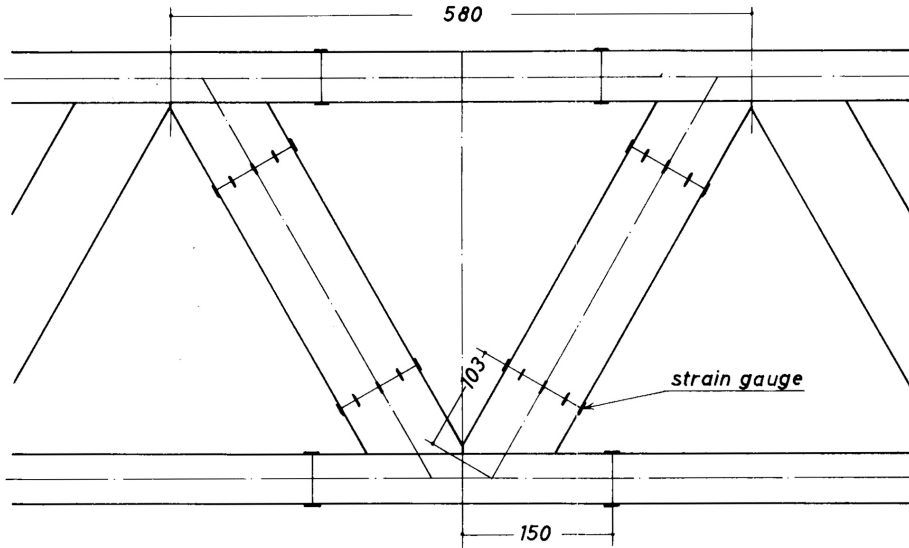
### 3. 有限要素法による算定の妥当性

接着ラチス梁の部材応力及び節点変位の計算は、第4図に示すように、梁の各部材を軸要素とした変位

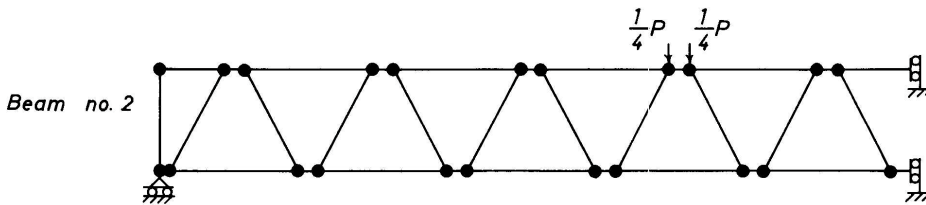
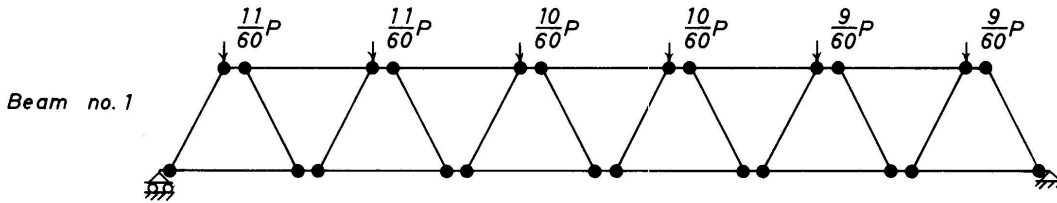
法による有限要素法<sup>1)</sup>により行った。なお、節点はすべて剛節と仮定し、部材のヤング係数はいずれも $90 \times 10^3 \text{ kgf / cm}^2$ として算定した。

第2表に、曲げ試験におけるスパン中央たわみの実測値と計算値を、また、第5～8図に実測されたひずみ（黒丸）と応力計算により算定されたひずみ分布（実線）を対比する。木材のような低弾性材のひずみをストレインゲージで測定した場合、一般に理想的な状態での測定値よりも低い実測値が得られることを考慮に入れば、両者のひずみ分布形態は、荷重点付近を除き良く近似しており、また、中央たわみの実測値との適合度から判断し、接着ラチス梁の曲げ特性を推

Beam no.2-2



第3図 Beam No. 2-2のひずみ測定方法



第4図 有限要素法による計算

第2表 ラチス梁のスパン中央たわみ (mm)

Beam No.	実測値	計算値	計算/実測
1-1	1.74	1.53	0.88
2	1.70	1.53	0.90
3	1.74	1.53	0.88
4	1.43	1.53	1.07
2-1	11.10	12.34	1.11
2	10.82	12.34	1.14
平均			1.00

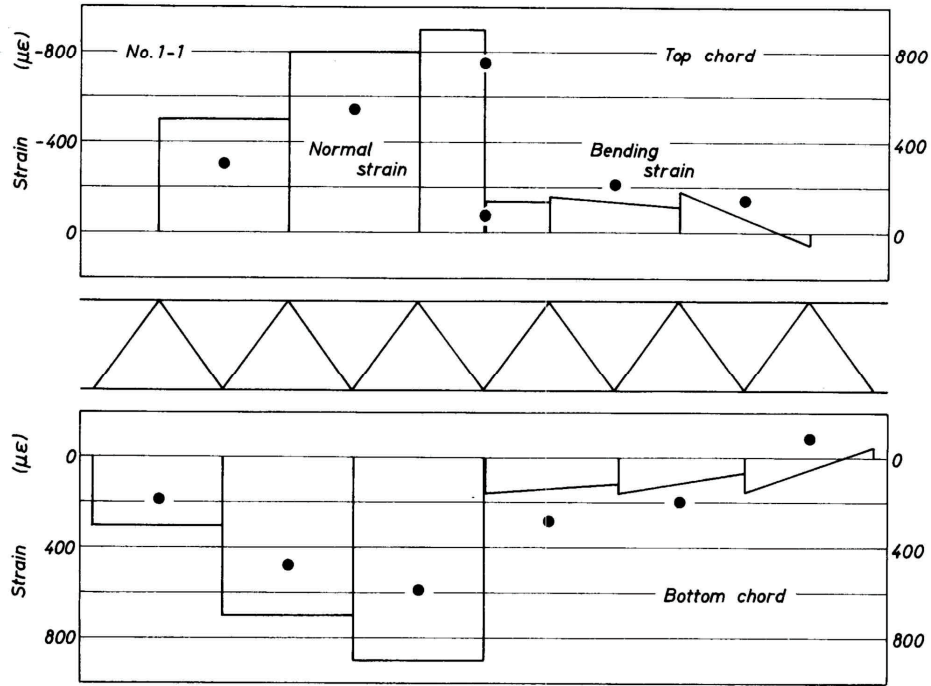
P = 600kgf

P = 1000kgf

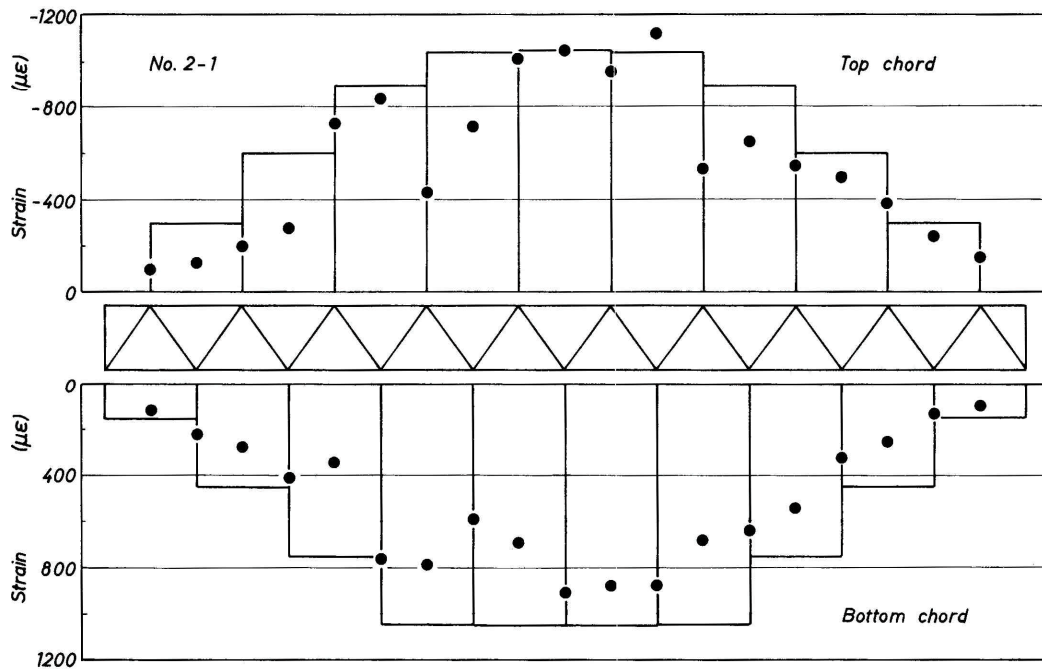
定する手法として有限要素法を適用することが十分可能と考えられる。

#### 4. 接着ラチス梁の構造設計

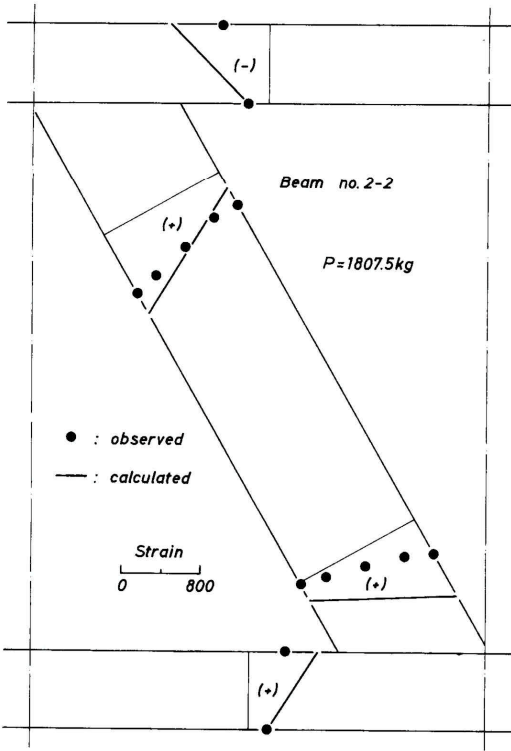
接着ラチス梁を建築物に組み込み、全体の構造計算を行うような場合、ラチス梁を構成するすべての節点間部材(弦材・腹材)をそれぞれ1要素として考えると特にラチス梁が長スパンとなった場合には、全体と



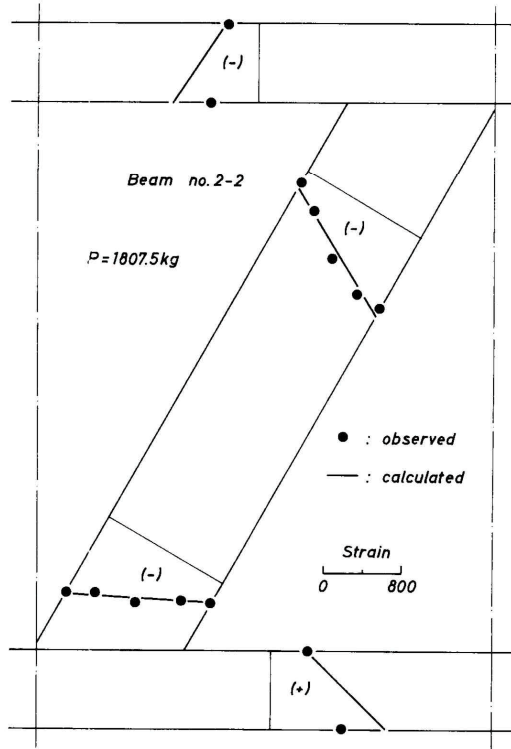
第5図 ひずみの分布 ( Beam No. 1弦材部 )



第6図 ひずみの分布 ( Beam No. 2弦材部 )



第7図 ひずみの分布 ( Beam No. 2 腹材部引張り )



第8図 ひずみの分布 ( Beam No. 2 腹材部圧縮 )

しての節点数が膨大なものとなって、有限要素法の適用は現実的ではない。したがって、ラチス梁をそれと等価な剛性を有する単一の部材に置きかえてから適用することが要求される。一方、こうしてラチス梁等価材に作用する部材力（軸力、せん断力、曲げモーメント）が算定された後、ラチス梁を構成する元の部材要素の応力度検定を行う場合、釘着ラチス梁で用いた腹材の連続体仮定に基づくラチス梁部材の応力算定法が適用し得るなら検定が容易である。

#### 4.1 ラチス梁と剛性等価な単一材

ラチス梁の節点変位から導かれる剛性方程式と単一梁の同様な方程式を等価として見掛けの剛性を求める手法<sup>6)</sup>を適用する。

$$E_e = \frac{2}{H^2} \ell \left( 2 \cdot \frac{EA}{\ell} + \frac{E' A'}{2 \ell'} \cos^2 \theta \right)$$

$$E_b = \frac{12}{H^4} \ell^2 \frac{(C_1 - C_2)}{(C_1 + C_2)} C_3$$

$$G = \frac{6}{H^2} k \frac{(C_1 - C_2)}{(C_1 + 2 C_2)} C_3$$

ただし、

$$C_1 = \left( \frac{H^2}{2} + 2 \alpha^2 \right) \frac{EA}{\ell} + \left( \frac{5}{4} H^2 + \alpha^2 - \alpha H \right) \times \frac{E' A'}{2 \ell'} \cos^2 \theta$$

$$C_2 = - \left( \frac{H^2}{2} + 2 \alpha^2 \right) \frac{EA}{\ell} + \left( \frac{3}{4} H^2 - \alpha + \alpha H \right) \times \frac{E' A'}{2 \ell'} \cos^2 \theta$$

$$C_3 = H \frac{E' A'}{2 \ell'} \sin \theta \cos \theta$$

$$\alpha = \frac{H}{2} \cdot \frac{E' A'}{2 \ell'} \cos^2 \theta / \left( 2 \frac{EA}{\ell} + \frac{E' A'}{2 \ell'} \cos^2 \theta \right)$$

ここに、H：等価材材せい（材幅H/2と仮定）  
Ee, Eb, G：等価材の引張り、曲げヤング係数及びせん断係数

第3表 連続体仮定及び有限要素法による応力度の比較

負荷条件	曲げスパン (mm)	連続体仮定による		有限要素法による		N'c/Nc	τ'R/τR
		Nc(kgf)	τR(kgf/cm <sup>2</sup> )	N'c(kgf)	τ'R(kgf/cm <sup>2</sup> )		
4点曲げ	5800	2537.5	8.605	2506.3	8.539	0.99	0.99
多点曲げ	5800	8881.3	38.72	8734.7	37.52	0.98	0.97
多点曲げ	8120	17581.3	55.93	17316.2	55.40	0.99	0.98
平均						0.99	0.98

EA, E A' : 弦材及び腹材の引張り剛性

l : ラチス梁の節点間距離

l', : 腹材の材長及び弦材となす角度

4.2 等価材部材力からラチス梁要素の部材力算定  
腹材の連続体仮定に基づくラチス梁要素の応力計算  
法<sup>7)</sup>を節点接合を剛節として適用する。

引張り側弦材軸力N<sub>t</sub>は、

$$N_t = \frac{M_e}{g} \text{ or } \frac{M_e}{g} + N_e \quad (N_e > 0 \text{ のとき})$$

圧縮側弦材軸力N<sub>c</sub>は、

$$N_c = -\frac{M_e}{g} \text{ or } -\frac{M_e}{g} + N_e \quad (N_e < 0 \text{ のとき})$$

腹材軸力N<sub>w</sub>及びねじりモーメントM<sub>w</sub>は、

$$N_w = Q_e / \sin \theta$$

$$M_w = \frac{l \cdot Q_e}{8hw^2} \cdot \frac{1}{Cl'^2 \cos^2 \theta + hw^2 \sin^2 \theta}$$

ただし、

N<sub>e</sub>, Q<sub>e</sub>, M<sub>e</sub> : 等価材の軸力, せん断力及び曲  
げモーメント

g : ラチス梁上下弦材の心々距離

hw : 腹材の材せい

#### 4.3 等価材適用によるラチス梁応力度と有限要素法による応力度との比較

上記4.1, 4.2の適用による弦材応力度及び節点せん断応力度の算定値と有限要素法によるそれとを第3表に対比する。なお、節点せん断応力度の算出は節点部断面の2次極モーメント<sup>8)</sup>に基づき行った(計算対象としたラチス梁は断面構成等前述のもの若干異なる)。両者の比較で明らかのように、その差はいずれも小さく、十分な確度でラチス梁構成部材及び接合部の応力度が算定可能である。

[林産試月報 No.413 1986年 6月号]

## 5. おわりに

乾燥材を用い、かつ接着工法を適用することによりラチス梁の性能の一層の向上がはかれると同時に、部材応力の算定に有限要素法の適用の妥当性が見いだされた。また、等価梁及び腹材の連続体仮定による解析法の採用により、多数の小要素から構成されるカラマツ接着ラチス梁を単一部材から構成される梁と同等の設計手法の適用が可能となる。このことは建築構造物の設計に際して、設計計算過程が大幅に簡略化されることを意味している。そして、ラチス梁の応力度検定に当たっては、応力が最大となる部分についてのみ、もとの複合梁状態での応力分布に近似的に展開すればよく、ラチス梁を含む構造の設計計算の自動化が容易に実現し得ることが明らかとなった。

## 文献

- 1) 小松幸平ほか1名: 林産試月報, 368, 8 (1982)
- 2) 前田典昭ほか1名: 同上, 389, 1 (1984)
- 3) 小松幸平ほか2名: 同上, 391, 5 (1984)
- 4) 前田典昭ほか3名: 日本木材学会北海道支部講演集, 第16号, 21 (1984)
- 5) 西澤英和編: BASICによる建築構造計算, 学芸出版社 (1982)
- 6) 倉田博ほか: 平行弦トラスの剛性評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1980)
- 7) 小松幸平: 林産試研報, 70, 131 (1981)
- 8) 小松幸平ほか3名: 林産試月報, 403, 10 (1985)

一試験部 複合材試験科 -  
- \*農林水産省 林業試験場 -  
(前試験部 複合材試験科)  
(原稿受理 昭61.4.23)