

節を考慮した集成木材梁の曲げ耐力実験

指導教官 井戸田 秀樹 助教授

大島 宗憲

1. 序論

集成材の曲げ耐力は曲げヤング率との相関性が比較的高く、曲げヤング率を用いた耐力の推定が従来から行われている。しかし、実際に曲げ破壊の状態をみると、最外層の節や目切れ等が破壊に関与しているものも少なくない。現在までに、節などの欠点を考慮した曲げ耐力の解析的な評価はいくつか報告されている¹⁾²⁾が、実大材の曲げ実験に基づき節などの欠点を考慮した曲げ耐力の評価は行われていない。

そこで、本研究は集成材の曲げ実験に基づいて節と曲げ耐力の相関関係を明らかにし、集成材の曲げヤング率と節の両方を考慮した曲げ耐力の推定を行うことを目的とする。

2. 節を考慮した梁の耐荷力

集成材の曲げ耐力は最外層ラミナの引張強度で決まる。ここでは曲げ耐力を決定する際に、曲げ耐力を低下させる欠点の因子として、最外層ラミナの節のみを考慮する場合を想定している。

単純梁で中央集中荷重 P を想定した場合、最外層に節のないときの最外層ラミナの引張強度 σ_b と耐荷力 P_0 の関係は、断面係数 Z とスパン L を用いて、(1) 式のように表せる。

$$P_0 = \frac{4Z}{L} \sigma_b \quad (1)$$

一方、最外層の引張側ラミナに節が n 個存在する場合、図1に示すように最外層ラミナにおいて支点から x_i の距離にある節強度 σ_{bi} で決まる耐荷力 P_i' は(2) 式となる。よって、節部分での破壊を仮定したときの耐荷力は $P_1' \sim P_n'$ のうちの最小のもので与えられるため、(3) 式により節が原因となって破壊するときの耐荷力 P' が決まる。

$$P_i' = \frac{2Z}{x_i} \sigma_{bi} \quad (2)$$

$$P' = \min(P_1', P_2', \dots, P_n') \quad (3)$$

以上より、節部分の耐力低下を考慮した集成材の耐荷力 P は次式で表される。

$$P = \min(P_0, P') \quad (4)$$

3. 曲げ実験概要および実験結果

3.1 試験体概要 表1に試験体一覧を示す。試験体はベイマツで、積層数は8～11、ラミナ厚は3.2～3.45cmで、ヤング率が外側2層は130～135t/cm²、他は90～105t/cm²のラミナで構成されている。スパン

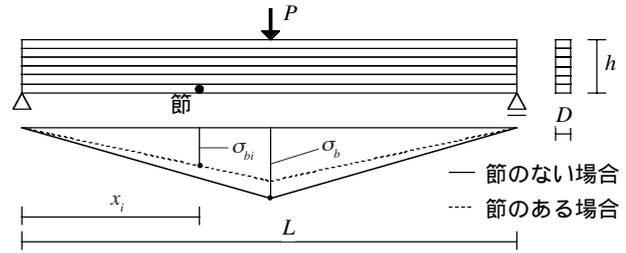


図1 最外層の曲げ応力図

表1 曲げ試験体一覧

試験体名	L (cm)	D (cm)	h (cm)	積層数	ラミナ厚(cm)	試験体数
B25-300	300	5	25	8	3.20	各3体
B30-300	300	5	30	9	3.45	
B35-300	300	5	35	11	3.20	
B25-200	200	5	25	8	3.20	
B30-200	200	5	30	9	3.45	
B35-200	200	5	35	11	3.20	
B25-100	100	5	25	8	3.20	
B30-100	100	5	30	9	3.45	
B25-500	500	5	25	8	3.20	

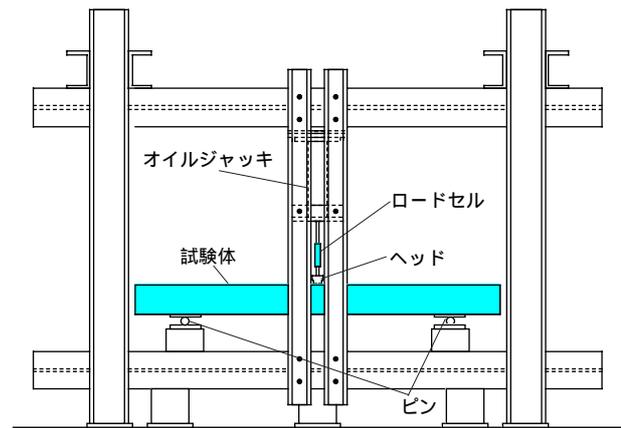


図2 実験装置概要

$L=100 \sim 500$ cm, 幅 $D=5$ cm, せい $h=25 \sim 35$ cm で変化させた9種類, 各3本ずつの計27本を用意した。比重, 含水率はそれぞれ0.50, 11.7%で, 変動係数はそれぞれ0.10, 0.04である。

3.2 実験方法 図2に実験装置概要を示す。両端ピンで支持し, オイルジャッキで中央に単調荷重をし, 曲げ実験を行った。変位量の測定については, ヘッドの移動量と試験体下端の中央の変形量, ラミナ中央における曲げひずみ度について測定を行った。

3.3 実験結果 $L=300$ cm, $h=25, 30, 35$ cmの試験体各一本ずつの試験体下端における変位と荷重の関係を図3に示す。どの試験体も, ほぼ弾性範囲内で脆性的に破壊した。

4. 節を考慮した曲げ耐力の評価

まず, 曲げヤング率と曲げ耐力との関係を考察す

るために、図4に試験体別の面内曲げヤング率 E_x と実験で得られた曲げ耐力 σ_{ex} との関係を示す。ここで、図中の○は最外層ラミナの節部分で破壊したものの、●は母材で破壊したものを示している。なお、 E_x は耐荷力の1/10と4/10の間を弾性挙動と仮定して求め、 σ_{ex} は載荷点のめり込み量を考慮した Z を用いて算出している。 E_x と σ_{ex} の間には概ね比例関係が認められ、直線回帰することで(5)式を得た。

$$\sigma_1 = 3.48 \times 10^{-3} E_x + 0.073 \quad (5)$$

(5)式を下回る曲げ耐力の試験体は、節部分から破壊したもののみであった。

次に、節と曲げ耐力との関係を考察する。有節ラミナの引張強度は節径比 d/D (d : 節径, D : ラミナ幅)と指数関数の関係にあることが報告されている³⁾が、集成材の曲げ耐力の場合、積層による補強効果や応力度分布の影響も考えられる。そこで、節径比と曲げ耐力は比例関係にあると仮定し、2章で示した節位置の関係を考慮して節に関するパラメータ $\alpha=(d/D)(x/l)$ を導入して曲げ耐力の整理を行う。ここで、 $l=L/2$ である。図5に α と σ_{ex} の関係を示す。母材で破壊したものは $\alpha=0$ で、 α が大きくなると σ_{ex} が低下する傾向があり、直線回帰させると(6)式の関係が得られた。

$$\sigma_2 = -0.328\alpha + 0.552 \quad (6)$$

以上のことより、曲げヤング率のみでなく、節径、節位置も曲げ耐力を評価する因子となりうると思われる。そこで E_x と α を軸に持つ3次元の座標上に(5),(6)式を含む平面として(7)式の関係を得る。

$$\sigma_3 = 3.48 \times 10^{-3} E_x - 0.339\alpha + 0.121 \quad (7)$$

ここで、 σ_3 は E_x 、 α を考慮に入れて算出した曲げ耐力である。なお、(5),(6)式の交点は実験値の E_x 、 α の平均値とその時の曲げ耐力としている。 $\sigma_1 \sim \sigma_3$ と σ_{ex} を比較したものが図7であり、 σ_3 が全体的に最も σ_{ex} に対応している。また、(5)~(7)式の評価精度を見るために、 σ_{ex}/σ_1 、 σ_{ex}/σ_2 、 σ_{ex}/σ_3 の平均値、標準偏差及び、変動係数を比較したものが表2である。(5),(6)式で評価したときより、(7)式で評価した方が変動係数が小さくなっている。よって、集成材の曲げ耐力は曲げヤング率、節の両方を考慮することでより精度の高い評価ができるといえる。

5. 結論

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 1) 集成木材梁で最外層の節が起因となって破壊するときの曲げ耐力は、その節径比、節位置に関するパラメータ α にほぼ比例して低下する。
- 2) ベイマツ集成材の曲げ耐力は、曲げヤング率だけでなく最外層ラミナの節を考慮に加えることにより、(7)式でさらに精度の高い推定ができる。

<参考文献>

- 1) I.Czmoch : " Lengthwise variability of bending strength of timber beams ", Structural Safety & Reliability, Proc. of ICOSSAR,93, Vol. 1, pp.569-576, 1993
- 2) Hideki Idota, Tetsuro Ono : " Reliability of glue-laminated wood beams ", Structural Safety & Reliability, Proc. of ICOSSAR,97, Vol. 1, pp.97-103, 1997
- 3) 井戸田秀樹: 有節ラミナの縦引張強度に関する統計論的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第509号, pp.113-118, 1998年7月

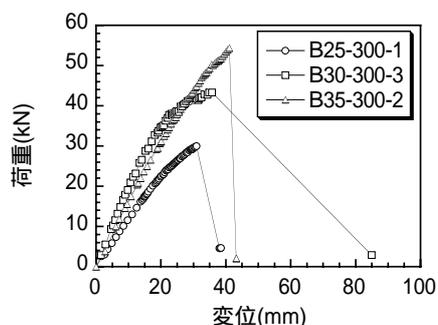


図3 変位と荷重の関係

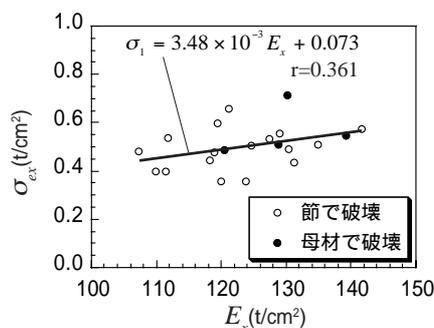


図4 $E_x - \sigma_{ex}$ 関係

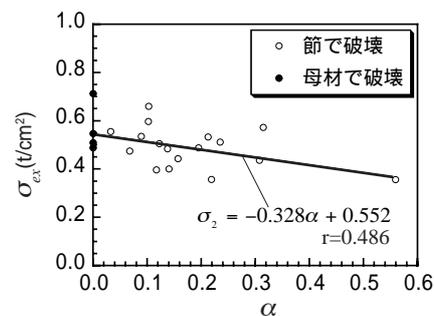


図5 $\alpha - \sigma_{ex}$ 関係

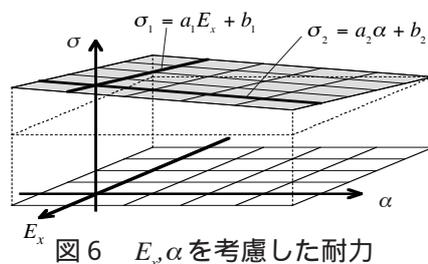


図6 E_x, α を考慮した耐力

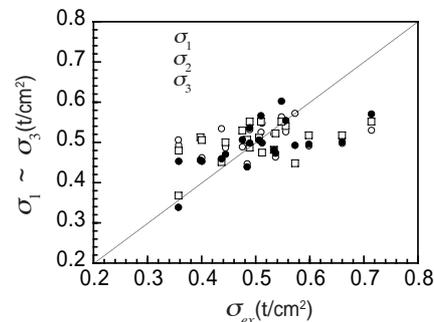


図7 $\sigma_{ex} - \sigma_1 \sim \sigma_3$ の比較

表2 各計算値のばらつき比較

	σ_{ex}/σ_1	σ_{ex}/σ_2	σ_{ex}/σ_3
平均値	0.992	1.000	1.002
標準偏差	0.167	0.156	0.135
変動係数	0.168	0.156	0.135