木質集成材はりの積層効果

指導教官　井戸田秀樹　助教授　　竹山　篤

１．序論

集成材の曲げ破壊は、最下層ラミナに存在する節や縦継ぎなどの欠点を起因とした破壊が多いことが既往の研究により明らかにされており[1),2),3)]、欠点を考慮した最下層ラミナの引張強度による曲げ耐力評価が行われている[4)]。しかし、集成材はラミナを積層することによって隣接する層の欠点を補強する積層効果があり、最下層ラミナの欠点による強度低下だけを考慮した曲げ耐力は、実験値よりも低めに評価されることが報告されている。

そこで、本研究は、積層効果を説明する力学モデルを提示し、実験結果との対応からその妥当性を示すとともに、それに基づいて積層数や節径比が積層効果におよぼす影響を検討するものである。

２．曲げを受ける集成材の積層効果

本研究では、最下層ラミナに欠点を持つ集成材が曲げを受けたときの積層効果を次のようなモデルにより提案する。なおここでは、欠点として節のみを対象とし、はり断面の平面保持を仮定する。

集成材が曲げを受けたとき引張を受ける最下層ラミナの節は、その周辺母材との一体性が失われている。そこで、最下層ラミナの節を含んだ断面の軸方向ヤング率E_1は、最下層ラミナの節を含まない断面の軸方向ヤング率E_bから節の大きさに応じて低下していると考え、次式で与える。

$$E_1 = E_b\left(1 - k\cdot\frac{d}{D}\right) \tag{1}$$

ここに、Dははり幅、dは材長直角方向の節径（以下d/Dを節径比という）、kは節径比がヤング率の低下に与える影響を表す係数である。

最下層ラミナの節を含む断面において、曲げ歪$\varepsilon(y)$は次式で表すことができる。

$$\varepsilon(y) = a\cdot y \tag{2}$$

ここに、yは中立軸からの距離、aは中立軸から単位長さ離れた場所での歪の大きさを表す。

このとき、集成材外縁の曲げ応力度が最下層ラミナの引張強度に達したとき破壊が起こるとすると、最下層破壊時の単位長さ位置での歪a_0は次式で表すことができる。

$$a_0 = \frac{\sigma_T}{E_1\left(\frac{h}{2}+\Delta_y\right)} \tag{3}$$

ここに、σ_Tは有節ラミナの縦引張強度[5)]、hははりせい、Δ_yは断面中央位置と中立軸との距離を表す。

したがって、最下層節破壊時の歪分布ε_0(y)は、

$$\varepsilon_0(y) = \frac{\sigma_T y}{E_1\left(\frac{h}{2}+\Delta_y\right)} \tag{4}$$

となる。このε_0(y)を用い，最下層ラミナ破壊時にi層ラミナに生ずる曲げ応力度σ_iは、

$$\sigma_i = \int_{y_i-\frac{t_i}{2}}^{y_i+\frac{t_i}{2}} E_i\cdot\varepsilon_0(y)dy \tag{5}$$

と表すことができる。ここに、y_iは中立軸からi層ラミナに生ずる応力の重心までの距離、t_iはi層ラミナの厚さ、E_iはi層ラミナの軸方向ヤング率である。(5)式より、はりの曲げ耐力Mは次式となる。

$$M = \sum_{i=1}^{N}\left(\sigma_i\cdot y_i\right) \tag{6}$$

ここに、Nはラミナの積層数である。このMを用い、集成材の曲げ強度σ_pは、

$$\sigma_p = \frac{12M}{Dh^3}\left(\frac{h}{2}+\Delta_y\right) \tag{7}$$

と定義することができる。

積層効果λ_rは、(7)式で定義した曲げ強度σ_pと有節ラミナの縦引張強度σ_Tとの比として次式で定義する。

$$\lambda_r = \frac{\sigma_p}{\sigma_T} \tag{8}$$

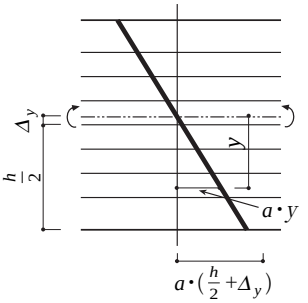

図１　歪分布

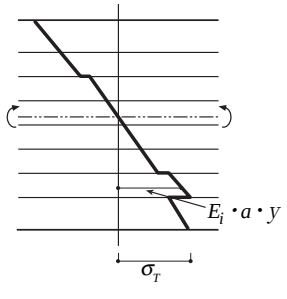

図２　応力分布

３．木質集成材はりの曲げ実験

積層効果の実データを得るため、実大集成材の曲げ実験を行った。表１に試験体一覧を示す。

試験体はべいまつで、外側２層のラミナの曲げヤング率$E_{(外層)}$を130～135t/cm^2、その他のラミナの曲げヤング率$E_{(内層)}$を90～105t/cm^{2}としたラミナで構成された集成材である。比重、含水率は0.50g/cm^3、11.7%、変動係数は0.10、0.04である。曲げ実験は中央集中載荷単純梁形式で行い(図３参照)、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歪度について測定を行った。

どの試験体も、ほぼ弾性範囲内で脆性的に破壊し、大半の試験体が最下層ラミナの載荷点付近に存在す

る節を起因として破壊した。図４は、曲げ強度の実験値σ_Yとσ_Tとの対応を示したものである。積層効果によって、σ_Yはσ_Tよりも全体的に向上していることがわかる。

４．積層効果モデルの検証

前章で得られた実験結果に基づき、本章では２章で提示した積層効果モデルの検証を行う。

図５は、σ_Yとσ_Tの比から得られる積層効果λ_e（$=\sigma_Y/\sigma_T$）とd/Dの関係をプロットで示したものである。また、図中の各線は(8)式で定義した積層効果の理論値λ_rを係数k=0.9，1.0，1.1，1.2の場合について示したものである。d/Dは積層効果に強く影響しており、d/Dが大きいほど積層効果が上がるという傾向においてはλ_eとλ_rは良い対応を示している。

実験との対応から最適なkの値を得るため、λ_eとλ_rの差の自乗和sとkの関係を示したのが図６である。放物線回帰の結果、

$$s = 124(k-1.08)^2 + 6.30 \qquad (9)$$

が得られ、(1)式における節径比の影響係数kはk=1.08となった。kは樹種ごとに異なることが予想され、今後の実験データ蓄積が望まれる。

５．積層効果の特徴に関する考察

２章で提示した解析モデルに基づき、本章では集成材の各ラミナのヤング率比と積層数Nが積層効果λ_rに及ぼす影響について考察する。

図７は、内、外層ラミナのヤング率比と積層効果の関係を考察するため、λ_rを$E_{(内層)}/E_{(外層)}$との関係で整理したものである。ここでは、N=10と設定している。d/Dにかかわらず、$E_{(内層)}/E_{(外層)}$が大きいほどλ_rも大きくなる傾向が見られた。これは、$E_{(外層)}$によってE_1さらにa_0が変わり、これに伴ってσ_iおよびMが変化するためと考えられる。また、$E_{(内層)}$はそのままσ_iに関わるため、λ_rに影響が現れている。

図８は、積層数Nと積層効果の関係を考察するため、$E_{(外層)}$に対するλ_rをNとの関係で整理したものである。ここでは、$E_{(内層)}$=90と設定している。N=10程度まではNの増加に伴ってλ_rも上昇しているが、N>20ではほとんどNの影響は見られなかった。これはNが増えると、ラミナ厚さが減少し、はり材全体の耐力に与える最下層ラミナだけの耐力低下による影響が低下するためと考えられる。なお、Nを一定としたときはhおよびt_iが変化しても、はり材全体に対する最下層の有節ラミナの割合は一定であるため、λ_rに影響を与えない。

６．結論

以上、最下層ラミナに欠点のある集成材の積層効果の解析モデルを掲示し、実物大集成材曲げ実験により、本モデルの妥当性を検証した。さらに、積層効果に影響を及ぼす因子の考察を行い、内、外層ラミナのヤング率比が積層効果に及ぼすことを示した。また積層数が一定のとき、はりせい、ラミナ厚さが積層効果に及ぼす影響はみられなかった。

表１　曲げ実験試験体一覧

積層数N (層)	ラミナ厚i ≠1,N　、i =1,N　(cm)	はりせいh (cm)	スパンL (cm)	各体数(体)
8	3.2、2.8	25	300、400	3、6
9	3.45、2.9	30	300、400	6、3
11	3.2、3.1	35	300、400	4、5

はり幅 D5.00cm　　計27体

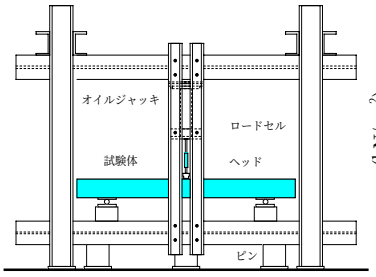

図３　実験装置図

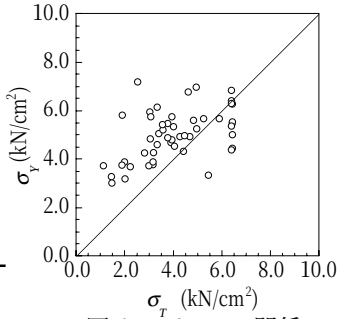

図４　σ_Tとσ_Yの関係

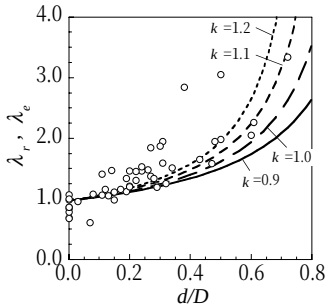

図５　d/Dとλ_r、λ_eの関係

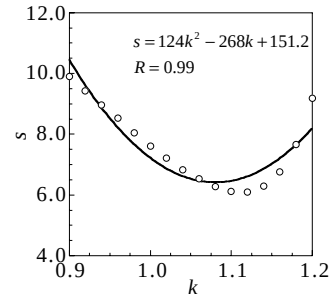

図６　kとsの関係

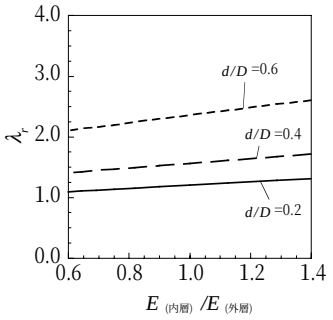

図７　$E_{(内層)}/E_{(外層)}$とλ_rの関係

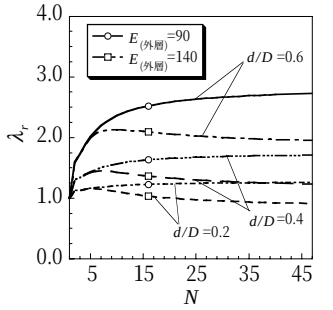

図８　Nとλ_rの関係

参考文献

1) 大嶌宗憲：節を考慮した集成材梁の曲げ耐力実験、名工大卒業論文、1999年
2) 五十田博、森拓朗、笹川明；「曲げを受ける集成材はりの抵抗形態と破壊過程の解明」、日本建築学会構造系論文集、第529号、p.13-20、2000年
3) 三橋博三、板垣直行、伊藤彦紀、鈴木登：「スギ集成材の力学性能設計のための解析モデル（第１報）積層による補強効果及び塑性領域を考慮した集成材の曲げ予測モデル」、木材学会誌Vol.42,No.2, p.122-129（一般論文）、1996年
4) 堀内宏樹、井戸田秀樹：「節位置と強度のランダム性を考慮したべいまつ集成材の曲げ耐力」、日本建築学会大会学術講演梗概集、p.223-224、2000年
5) 堀内宏樹、井戸田秀樹：「有節ラミナの縦引張強度における寸法効果」、日本建築学会東海支部研究報告集、第38号、p.253-256、2000年