

ラミナのヤング係数を考慮した集成材の曲げ耐荷力分布について

函館工業高等専門学校 正員 平沢秀之
 (独)森林総合研究所 宮武 敦
 新潟大学農学部 中村 昇

1. はじめに

橋梁に使用される構造材料を環境負荷の観点から見た場合、木材は著しい省エネルギー性、資源の循環活用、温暖化防止効果の面で非常に有利な材料と言える¹⁾。資源の持続的循環を可能とする社会を形成するために、橋梁の材料として木材を使用することは有効な方法の一つとなりうる。しかし、木材は生物材料であるため樹種毎に品質のばらつきが見られ、節などの欠点が存在することもある。一方、木材を加工し積層接着した集成材は、強度のばらつきが減少し、大断面部材も製作可能であるため、構造材料として優れている。集成材は日本農林規格(JAS)により強度等級が規定されており²⁾、ラミナの配置による断面構成から、所定の強度を有する部材を製作することができる。日本では、この集成材を橋梁に使用したいいわゆる近代木橋³⁾が、この17、8年の間に建設されるようになった。

集成材の強度は、一般に製材の強度よりばらつきが小さいが、断面を構成する各ラミナの強度とヤング係数に依存するため、その値は変動する。木橋を合理的に設計するには、集成材の耐荷力の分布を把握する必要がある。本研究は曲げ荷重を受ける集成材の耐荷力の確率分布を求め、木橋の限界状態設計法確立のための基礎資料を提示することを目的としている。集成材の曲げ耐荷力分布はモンテカルロシミュレーション⁴⁾により算定している。

2. ラミナ構成とヤング係数分布

本研究では集成材の積層数を10層とし、強度等級がE95-F270のカラマツ集成材を対象とする。この強度等級の性能を発現させるための各ラミナの条件は、JASにより図-1のように規定されている。図中のL100とは、ラミナの繊維方向ヤング係数が $100[\text{tf}/\text{cm}^2](=9800[\text{N}/\text{mm}^2])$ であることを意味する。これらの値は通常下限値であり、基準値を超えていれば強度等級を満たしていることになる。従って、ラミナのヤング係数は、図-1のようなばらつきを持った値となる。例えば、L100のラミナはヤング係数が $100 \sim 110[\text{tf}/\text{cm}^2]$ のみではなく、 $110[\text{tf}/\text{cm}^2]$ 以上のラミナが含まれていることもある。

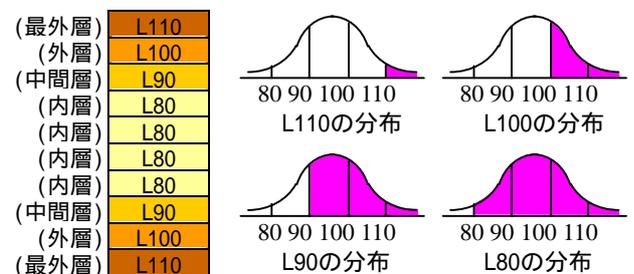


図-1 集成材のラミナ構成とヤング係数の分布

3. ヤング係数の実測データ

集成材7体のラミナのヤング係数実測データが得られている⁵⁾。集成材の寸法は幅150[mm]、桁高350[mm]、全長4600[mm]であり、厚さ35[mm]のラミナ10層から成るものである。従って、全70枚のラミナのヤング係数が測定され、これらのデータから平均値 μ_{E_t} と標準偏差 σ_{E_t} を求めると、 $\mu_{E_t} = 8858[\text{N}/\text{mm}^2]$ 、 $\sigma_{E_t} = 1905[\text{N}/\text{mm}^2]$ となった。図-2はヤング係数分布をヒストグラムとして表したものである。これらの分布を正規分布と仮定し、更にヤング係数の値が小さくて使用されなかったラミナ(図-2の左端の領域)も考慮して確率密度関数を描くと、図-2の実線のグラフのようになる。ここで確率密度関数の平均値を8400、標準偏差を2100と仮定した。

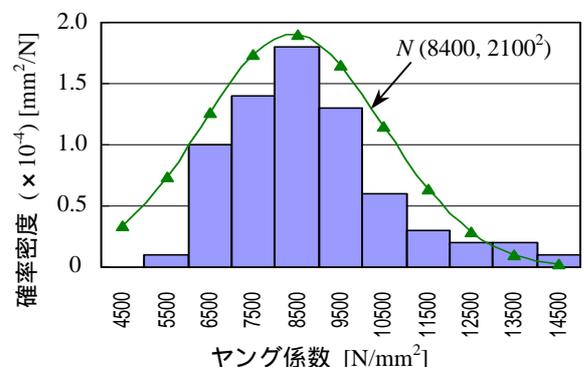


図-2 供試体ラミナのヤング係数分布

4. 集成材の終局曲げモーメント

強度等級がE95-F270の集成材の曲げ耐荷力を基準曲げ耐荷力 M_0 とする。集成材の終局状態は、桁断面の引張縁部が曲げ強度 σ_b に達したときと仮定する。図-3(a)のように、ヤング係数がE95($=9310[\text{N}/\text{mm}^2]$)である均一断面の M_0 を求める。曲げ強度F270($=27[\text{N}/\text{mm}^2]$)は、基準曲げ強度の5%下限値($33.9[\text{N}/\text{mm}^2]$)に各種の調整係数をかけて得られたものである²⁾。そこで、ここでは σ_b の値として調整係数をかける前の $33.9[\text{N}/\text{mm}^2]$ を採用するものとする。集成材断面の高さ h と幅 b をそれぞれ350[mm]、150[mm]として、 M_0 を求めると、以下のようなになる。

$$M_0 = \left\{ \frac{1}{2} \sigma_b \left(\frac{h}{2} \right) b \frac{2}{3} \left(\frac{h}{2} \right) \right\} \times 2 = \frac{1}{6} b h^2 \sigma_b = 1.038 \times 10^8 [\text{Nmm}] \quad (1)$$

上式は断面が均一なものとして計算した曲げモーメントである。断面内の各ラミナのヤング係数が異なることを考慮した場合は、断面が上下非対称となり、応力分布は図-3(b)のようになる。中立軸の位置 y_1, y_2 は、10種類の異

キーワード：集成材、ラミナ、木橋、シミュレーション、耐荷力

連絡先：〒042-8501 函館市戸倉町14-1、TEL&FAX 0138-59-6390

なるヤング係数から成る合成断面と見なして算定することができる。桁断面の引張縁部が曲げ強度 σ_b に達するときの曲げモーメント M は次式ようになる。

$$M = \frac{\sigma_b I_v}{y_2} \quad (2)$$

ここで、 I_v はラミナのヤング係数を考慮した合成断面としての断面2次モーメントである。

5. 曲げ耐荷力の算定手順

以下の手順に従って、集成材の曲げ耐荷力を推定する。(1)150枚のラミナのヤング係数と曲げ強度を疑似乱数により決定する。(2)ヤング係数 E_1, E_2, \dots, E_{150} を大きい順に並べ替え、最初の20枚をL110用に、次の20枚をL100用に、以下同様にして100枚のラミナの配置を割り当てる。ここで、L110の20枚は、集成材10本に対してランダムに割り当てるものとする。L100, L90, L80も同様である。(3)集成材10本の断面が決定する。(4)(1)~(3)を1000回繰り返し、集成材を1万本作製する。(5)集成材1本について、断面計算を行い、中立軸の位置と断面2次モーメントを算出する。(6)その集成材の終局曲げモーメント M 、及びその無次元化量 M/M_0 を計算する。(7)(5)~(6)を1万回繰り返す。(8) M/M_0 のヒストグラムを作成し、確率分布を求める。

6. 耐荷力シミュレーション

曲げ耐荷力の算定手順(1)において、ラミナのヤング係数と曲げ強度の2変数を、多変量相関乱数により決定する。このとき、ヤング係数は図-2より正規分布 $N(8400, 2100^2)$ に従うと仮定し、ヤング係数と曲げ強度の相関係数 r は、 $r = 0.74$ と仮定した⁶⁾。これらの条件の下で、150本 \times 1000回=15万本分のラミナに関するシミュレーションを行った。図-4は、このうち1万本分のラミナに関するヤング係数と曲げ強度の分布を表したものである。なお、15万本のうち集成材に使用されるのは、歩留まりを考慮して、ここでは10万本としている。曲げ耐荷力の算定手順(5)~(7)に従って集成材1万本分の終局曲げモーメントを計算した。終局曲げモーメントの無次元化量 M/M_0 の平均値及び標準偏差はそれぞれ1.48, 0.17となった。

集成材1万本に関して、 M/M_0 のヒストグラムを作成すると、図-5が得られる。図中の曲線は、対数正規分布 $LN(0.386, 0.114^2)$ の確率密度関数を表している。シミュレーションにより得られたヒストグラムは、対数正規分布に非常によくフィットしている。曲げ耐荷力は基準値の1.48倍となり、かなり高い値を示している。

7. あとがき

集成材を構成するラミナには、ヤング係数と曲げ強度のばらつきが存在することを考慮して、集成材の曲げ耐荷力をモンテカルロシミュレーションにより算定した。その結果、強度等級で示される曲げ強度から求めた基準耐荷力よりかなり高い値を示した。また、耐荷力の分布は対数正規分布に非常によく一致する結果となった。今後はラミナの実測データの数を増やし、より実際の状態に近いシミュレーションを行う予定である。また、カラマツ以外の樹種や他の強度等級の集成材についても検討したいと考えている。今回は集成材1本の曲げ耐荷力を対象としたが、今後更に橋梁全体としての終局耐力を算定したいと考えている。

参考文献

- 1)有馬孝礼：なぜ、いま木材か、木橋か、土木学会平成16年度全国大会研究討論会研-7資料, pp.2-6, 2004.
- 2)構造用集成材の日本農林規格：平成15年2月27日農林水産省告示第235号.
- 3)林野庁：近代木橋の時代, 龍源社, 1995.
- 4)星谷勝, 石井清：構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986.
- 5)平沢秀之, 及川昭夫, 小林朗, 入江康孝：炭素繊維プレートによる集成材の性能向上と橋梁への適用について, 第3回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp. 155-160, 2004.
- 6)(社)日本建築学会：木質構造設計規準・同解説, pp.165, 1995.

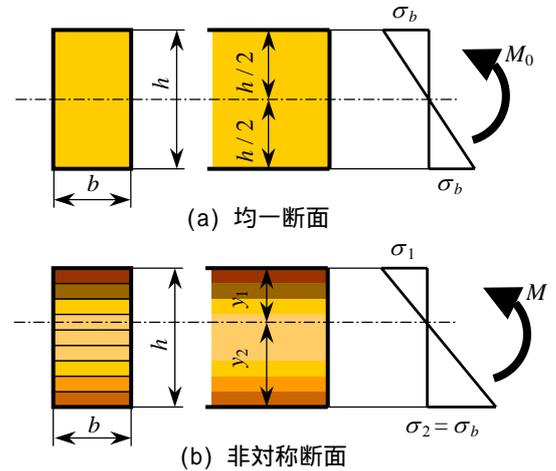


図-3 桁断面の曲げ応力分布

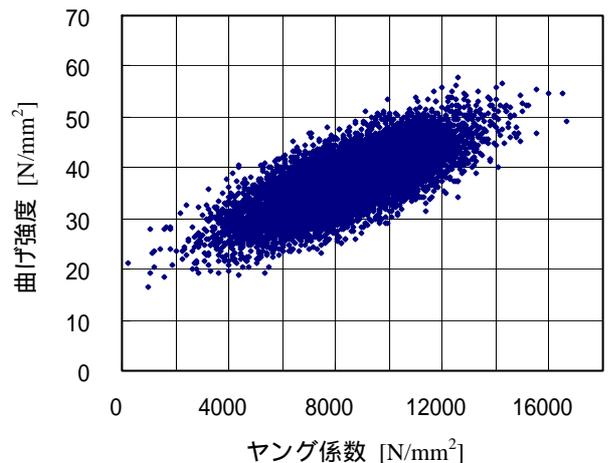


図-4 シミュレーション結果

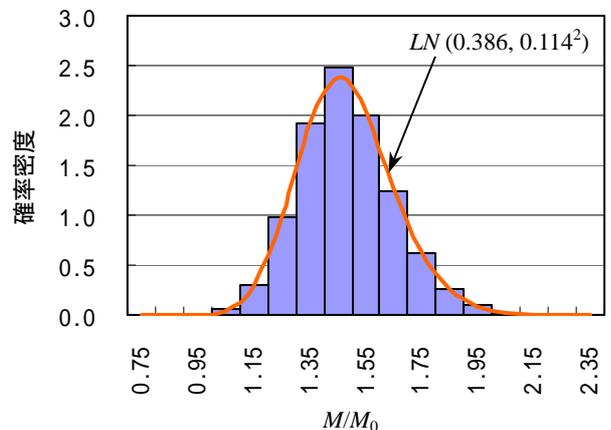


図-5 ヒストグラムと確率密度関数