

## CLT 材の重ね梁曲げ試験

## その2 曲げ弾性係数とせん断弾性係数の比較

## The bending experiment of layered beam, CLT

## Part2: Compare bending and shear elastic modulus

秦 一平<sup>1</sup>, 廣石秀造<sup>2</sup>, ○高鹿雅樹<sup>3</sup>, 溝口晴紀<sup>4</sup>Ipppei Hata<sup>1</sup>, Shuzo Hiroishi<sup>2</sup>, \*Masaki Koroku<sup>3</sup>, Harunori Mizoguchi<sup>4</sup>

Abstract: This paper shows calculation method of elastic modulus, and consider about bending and shear elastic modulus difference by load span.

## 1. はじめに

前報では、試験概要と荷重-中央変位関係の試験結果を示した。本報では、曲げ弾性係数およびせん断弾性係数を算出し、重ね梁による各弾性係数への影響について考察する。

## 2. 見掛けの曲げ弾性係数と真の曲げ弾性係数の算出

(1)(2)式を用いて見掛けの曲げ弾性係数 $E_m$ 、真の曲げ弾性係数 $E_b$ を求める。断面二次モーメントには、文献<sup>[2]</sup>より(3)式より求めた等価断面二次モーメント $I_A$ を用いる。また、O3D、O6Dの重ね試験体の断面二次モーメントは、 $2I_A$ として計算する。

$$E_m = \frac{\Delta P}{\Delta \delta_c} \cdot \frac{l_1(3L^2 - 4l_1^2)}{48I_A} \quad (1)$$

$$E_b = \frac{\Delta P}{\Delta \delta} \cdot \frac{l_1 l_2^2}{16I_A} \quad (2)$$

$$I_A = \frac{\sum(E_i I_i + E_i A_i Z_i^2)}{E_0} \quad (3)$$

ここで、 $E_m$ :見掛けの曲げ弾性係数[kN/mm<sup>2</sup>],  $E_b$ :真の曲げ弾性係数[kN/mm<sup>2</sup>],  $I_A$ :等価断面二次モーメント[mm<sup>4</sup>],  $\Delta P$ :降伏荷重の10%から40%に相当する変化量[kN],  $\Delta \delta_c$ : $\Delta P$ に対応する中央変位の変化量[mm],  $\Delta \delta$ : $\Delta P$ に対応する加力点間変化量(中央変位と加力点変位の差分)[mm],  $l_1$ :支点-加力点間距離[mm],  $l_2$ :加力点間距離[mm],  $L$ :支点間距離(スパン)[mm],  $E_i$ : $i$ 番目の層に使用するラミナの曲げ弾性係数[kN/mm<sup>2</sup>],  $I_i$ : $i$ 番目の層の断面二次モーメント[mm<sup>4</sup>],  $A_i$ : $i$ 番目の層の断面積[mm<sup>2</sup>],  $Z_i$ :直交集成板の中立軸と $i$ 番目の層のラミナの重心との距離[mm],  $E_0$ :外層に使用するラミナの曲げ弾性係数(=6.0)[kN/mm<sup>2</sup>]

## 3. せん断弾性係数の算出

(4)(5)式を用いてせん断弾性係数に対する真の曲げ弾性係数の比率 $\alpha$ からせん断弾性係数 $G$ を概算する。

1:日大理工・教員・建築 2:日大短大・教員・建築 3:日大理工・院(前)・建築 4:日大理工・学部・建築

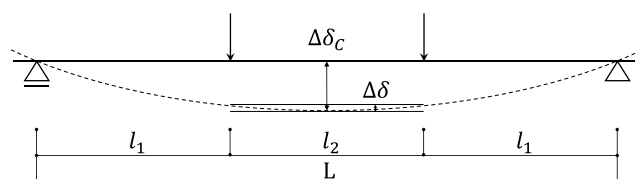


Figure1. Calculation parameters

(4)式では、各試験体について $E_{app} = E_m$ とすることで $\alpha$ からせん断弾性係数 $G$ を逆算することができる。また、同一試験体に対する計算につき、 $h_0 = h$ ,  $L_0 = L$ ,  $a_0 = a$ である。

$$E_{app} = E_b \cdot \frac{1 + \frac{2.4h_0^2}{3L_0^2 - 4a_0^2}}{1 + \frac{2.4h^2\alpha}{3L^2 - 4a^2}} \quad (4)$$

$$G = \frac{E_b}{\alpha} \quad (5)$$

ここで、 $E_{app}$ :見掛けの曲げ弾性係数[kN/mm<sup>2</sup>],  $\alpha$ :せん断弾性係数に対する真の曲げ弾性係数の比率,  $h_0$ ,  $L_0$ ,  $a_0$ :標準試験における梁せい, 支点間距離, 支点-加力点間距離[mm],  $h$ ,  $L$ ,  $a$ :設計条件における梁せい, 支点間距離, 支点-加力点間距離[mm]

## 4. 真の曲げ弾性係数についての比較

2項, 3項にて算出した結果をTable1.に示す。

「O3S」「O3D」を比較すると、全体的に「O3D」の曲げ弾性係数は、低減している傾向がある。これは、「O3D」のスパン高さ比 $L/h$ が小さく、せん断破壊していることが起因していると考えられる。

「O3S」:「O3D」, 「O3S」:「O6D」をそれぞれ $E_D/E_S$ とし、重ね試験体のスパンについて比較すると「O3D」が0.95, 「O6D」が1.15となる。「O3D」では、前述のとおりせん断破壊の影響で低減しているが、「O6D」では、向上している。これは、断面の中立軸の移動による断面二次モーメントの向上と考えている。前報に記

載した下端試験片に集中する破壊性状 (Picture1. c)) から, 下端試験片のみが曲げ剛性を負担していると仮定し, (6)式より実験で得られた曲げ剛性 $E_b I$ , 「O3S」の曲げ弾性係数 $E_s$ を用いて断面二次モーメント  $I$  を算出すると, 中立軸 $y_0$ が約 78[mm]下端方向に移動していると推測できる (Table2.). つまり, CLT は曲げが先行するスパン/高さ比では, 重ねることによって断面二次モーメントが向上し, 曲げ剛性も 15%程度向上すると言える.

なお, 「O6D」について, 等価断面二次モーメント $I_A$ および断面積  $A$  は, 下端試験片の断面のみを考慮し算出している.

$$I = y_0^2 \cdot A + I_A = \frac{E_b I}{E_s} \quad (6)$$

ここで,  $I$ :中立軸を考慮する断面二次モーメント[mm<sup>4</sup>],  $y_0$ :中立軸からの距離[mm],  $A$ :強軸層の全断面積[mm<sup>2</sup>],  $I_A$ :等価断面二次モーメント[mm<sup>4</sup>],  $E_b I$ :曲げ剛性[kN・mm<sup>2</sup>],  $E_s$ :O3S の曲げ弾性係数[kN/mm<sup>2</sup>]

### 5. せん断弾性係数についての比較

せん断弾性係数について, 理論値と「O3S」を比較すると 10 倍程度の差異が生じている. しかし他の文献の結果<sup>5)</sup>を参照すると, 文献では, たわみ振動法を用いており, 算出方法に違いはあるものの本試験の結果と概ね一致していることが確認できた.

また, 重ねることによってせん断弾性係数は向上し, 「O3S」に対して, 「O3D」で 2.9 倍, 「O6D」で 2.8 倍とスパンによって然程違いは確認できなかった. 重ねることによるせん断弾性係数の向上は, スパンには依存せず断面や重ねる層数によって変化すると考えられる.

理論値の算出過程については, 今後も追及の必要がある.

### 6. まとめ

本試験にて得られた知見を以下に示す.

- CLT は, 曲げが先行するスパン/高さ比では, 重ねることによって断面の中立軸がずれ, 断面二次モーメントの向上に伴い, 曲げ剛性が向上すると考えられる.
- スパン/高さ比が不十分な場合, せん断破壊が先行し, 曲げ弾性係数が低減する.
- せん断弾性係数は, 断面や重ねる層数によって向上し, スパンによる依存性はないと言える. 理論値の算出過程については今後の検討が必要である.
- 今後は, 本試験で得られたデータを用いて有限要素解析に必要な諸元を構築し, より効果的な免震架台の構成について検討する.

### 7. 参考文献

- [1](公財)日本住宅・木材技術センター, 2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル, 2016
- [2](公財)日本住宅・木材技術センター, 2016 年公布・施行 CLT 関連告示等解説書, 2016
- [3]秦一平他, 建築学会学術講演梗概集 2017, 22068 「CLT 材の重ね梁試験その 1 単純曲げ試験結果」, 2017
- [4]秦一平他, 建築学会学術講演梗概集 2017, 22068 「CLT 材の重ね梁試験その 2 断面二次モーメントの評価に関する検討」, 2017
- [5](独)森林総合研究所, CLT 等新製品・新技術利用促進事業のうち CLT 実用化促進(強度データの収集・分析)成果報告書, P.4~P.27, 2015

Table2. Second moment of area and neutral axis

| Specimen | $E_b I$            | $E_s$              | $I$                 | $y_0$ |
|----------|--------------------|--------------------|---------------------|-------|
|          | kN・mm <sup>2</sup> | kN/mm <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup>     | mm    |
| O3S      | 1359131636         | 8.07               | 149546250 ( $I_A$ ) | 0     |
| O6D      | 2788294863         |                    | 345326203           | 78.84 |

Table1. Bending and shear elastic modulus

|         | $E_m$              | $E_b$              | $E_b/\text{theory}$ | $E_b/E_m$ | $G$                | $G/\text{theory}$ | Yield load | Center displacement | Destruction mode |
|---------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------|--------------------|-------------------|------------|---------------------|------------------|
|         | kN/mm <sup>2</sup> | kN/mm <sup>2</sup> |                     |           | kN/mm <sup>2</sup> |                   | kN         | mm                  |                  |
| theory  | 5.53               |                    |                     |           | 0.029              |                   |            |                     |                  |
| O3S-1   | 7.15               | 8.04               | 1.453               | 1.124     | 0.29               | 9.875             | 67.87      | 28.93               | B                |
| O3S-2   | 7.29               | 8.29               | 1.499               | 1.137     | 0.27               | 9.231             | 90.23      | 37.72               | B                |
| O3S-3   | 7.22               | 7.89               | 1.428               | 1.094     | 0.37               | 12.633            | 84.02      | 35.48               | B                |
| average | 7.22               | 8.07               | 1.460               | 1.118     | 0.31               | 10.580            | 80.71      | 34.04               |                  |
| O3D-1   | 6.52               | 8.10               | 1.465               | 1.243     | 0.56               | 19.301            | 163.79     | 38.31               | S                |
| O3D-2   | 6.66               | 7.42               | 1.341               | 1.113     | 1.02               | 35.283            | 168.04     | 37.81               | S                |
| O3D-3   | 6.86               | 7.60               | 1.374               | 1.107     | 1.09               | 37.736            | 173.40     | 38.50               | S-B              |
| average | 6.68               | 7.71               | 1.393               | 1.153     | 0.89               | 30.774            | 168.41     | 38.21               |                  |
| O6D-1   | 9.07               | 9.47               | 1.713               | 1.044     | 0.89               | 30.738            | 81.38      | 114.95              | B                |
| O6D-2   | 8.76               | 9.17               | 1.658               | 1.047     | 0.82               | 28.342            | 91.81      | 134.28              | B                |
| average | 8.92               | 9.32               | 1.686               | 1.045     | 0.86               | 29.540            | 86.59      | 124.61              |                  |