

## 1. はじめに

我国の伝統的木造建築では、金具を用いずに木材を接合する木組み<sup>1)</sup>が発達した。木組みは熟練の職人技であり、誰でもマニュアル通りに作れば一定の強度が得られることが期待されるような工学的構造物には馴染みにくい。しかし、金具を用いない接合方法は、現場で木材だけで組み立てられるという意味で、応急橋の観点からも期待される。仮に強度の面で木組みが一般の歩道橋等の用途には向かないとしても、木組みを利用した橋梁構造が可能となれば、木製内装のホールにおける渡り廊下等、金具により木製の内装景観を壊したくない小規模木製構造の自由度が大きく広がることが期待できる。木組み接合部では、凹部に押し込まれた凸部が膨張しようとすることによる応力が発生した状態で一体化されており、こうした状態を考慮して応力等の挙動を解析することは、一般に難しい。そこで本研究では、接触解析を用いずに比較的簡単に木組み部の応力状態をモデル化するため、凸部と凹部の間に柔らかい部材を介して一体化させた上で、凸部に熱応力を与えて膨張させることで、木組み部の応力挙動を解析する手法を提案する。

## 2. 中央部に木組みを有する梁モデル

まず、基本的なモデルで木組み部の応力状態を調べるため、図-1のような100mm×100mm×500mmの2本の角材の端部の凹部材と凸部材が接合されたモデルを考え、Salome-Mecaの4面体要素を用いた有限要素解析を行う。

凹部と凸部の角材は杉を想定し、材料諸元はそれぞれヤング率  $E:7\text{GPa}$ 、ポアソン比  $\nu:0.3$ 、線膨張係数  $\alpha:9.8 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$  とする。木組み接合面には、

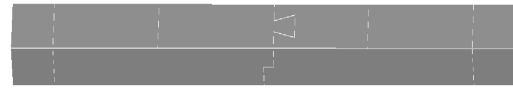


図-1 梁モデル

0.1mmの隙間を明け、そこにヤング率700MPaの柔らかい材料を挿入して連結している。

## 3. 曲げを受ける場合

まず、曲げによる木組み部の影響を調べるため、木組みのある中央部が純曲げ状態となる4点曲げ載荷を行う。

接合部がなかった場合に部材の引張部が杉の引張強度16.2MPaに達する荷重を算定して図-2のように2箇所108N/mmの線荷重を与える。

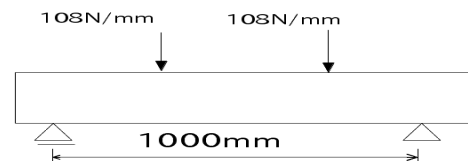


図-2 4点曲げ載荷

まず、ほぞ部が見える面を上面として載荷してみる。図-3に、凸部に熱応力を与えずに接合された梁の軸方向応力分布を示す。接合部に残留応力が入っていないため、桁高方向に引張側から圧縮側まで応力がきれいに三角形分布をしていることがわかる。

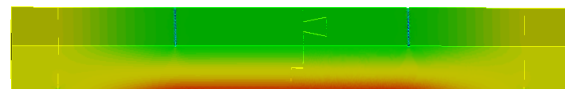


図-3 軸方向応力分布(熱応力なし)

つづいて、凸部材に熱応力を与え接合部に残留応力が生じた状態での結果を同様に図-4に示す。木組みのほぞ部分には残留応力ぶんの応力増加は認められるものの、その範囲は接合面近傍に限られる。一方、ほぞ部以外の接合部つきあわせ面では、応力

の緩和が見られる。

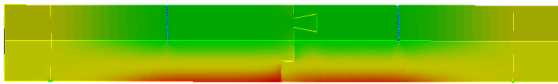


図-4 軸方向応力分布（熱応力あり）

次に、ほぞ部が見える面を側面にして図-2のように4点曲げを与えてみる。図-5にほぞ部が見える面を側面にして残留応力を与えた結果を示す。ほぞ部下側で引張応力が增大され、ほぞ部が見える面を上面としたときの同じ箇所よりも引張応力が大きくなっている。そのため、ほぞ部が見える面を側面にした場合の方が破壊強度に達しやすくなることがわかる。

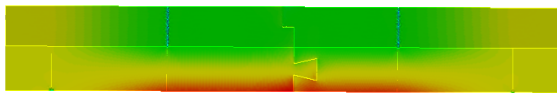


図-5 ほぞ部側面の軸方向応力分布（熱応力あり）

#### 4. せん断を受ける場合

曲げを受ける場合につづいて、せん断による木組み部の影響を調べるため、木組み部にせん断応力が発生するように片持ち梁で载荷を行う。

曲げを受ける場合と同様に部材の引張部が引張強度に達する荷重を算定して図-6のように27N/mmの線荷重で与えた。



図-6 片持ち梁载荷

曲げを受ける場合と同様に、ほぞ部が見える面を上面として载荷してみる。図-7に、凸部に熱応力を与えずに接合された梁のせん断応力分布を示す。接合部に残留応力が入っていないため、中央部が最大になる分布になっていることが確認できる。



図-7 せん断応力分布（熱応力なし）

つづいて、凸部部材に熱応力を与えた接合部に残留応力が生じた状態での結果を同様に図-8に示す。

残留応力の影響により、ほぞ部のつきあわせ面でせん断応力が大きくなっていることがわかる。特に、ほぞ部側面での隅部分でせん断応力が増加している。その結果として、せん断強度に達しやすくなっていることが確認できる。

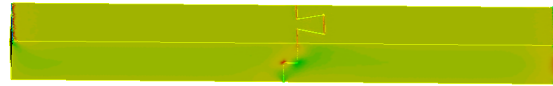


図-8 せん断応力分布（熱応力あり）

次に、ほぞ部が見える面を側面にして図-6のようにせん断を与えてみる。図-9にほぞ部が見える面を側面にして残留応力を与えた結果を示す。残留応力の影響により、ほぞ部にせん断応力が集中することが確認できる。ほぞ部が見える面を上面にした場合と比べてせん断応力が大きく集中し、曲げを受ける場合と同様に、ほぞ部が見える面を側面にした場合の方がせん断強度に達しやすくなるという結果となった。

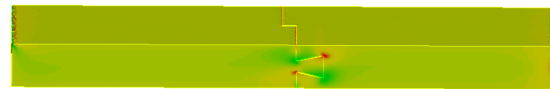


図-9 ほぞ部側面のせん断応力分布（熱応力あり）

#### 5. まとめ

まず、木組み接合はほぞ部が見える面を上面とすると、上下方向から曲げやせん断を受けた場合と比べて、側面方向から曲げやせん断を受けた場合の方が、ほぞ部に応力が集中して破壊強度に達する危険性が高くなり、ほぞ部の残留応力が、その傾向を大きくすることがわかった。次に曲げを受ける場合と比べてせん断を受ける場合はほぞ部の隅部分で、応力が集中しやすくなることが確認できた。この梁モデルではほぞ部が見える面を上面として、上下方向に载荷したときが一番有効であるが、想定外の方向から力が加わると破壊強度に達しやすくなることがわかる。

#### 参考文献

- 1) 住吉 虎七, 松井 源吾: WOOD JOINTS IN CLASSICAL JAPANESE ARCHITECTURE, 鹿島出版会, 1991.