

## 「論文の内容の要旨」

### 引張、曲げ荷重及び熱負荷を受ける鎌継手の 応力解析及び形状最適化に関する研究

中村 匠

木材を利用することにより、二酸化炭素を半永久的に固定化することができ、循環型の社会の構築に貢献することができる。木材の固定には、古くから継手が広く利用されているが、継手の形状は経験的に決定されて来ている。本論文ではその点に着目し、鎌継手が引張、曲げ荷重を受ける場合について、詳細な応力解析を行なっている。

本論文は6章よりなり、1章では研究背景に関する概要や従来の研究を俯瞰している。

2章では、継手の応力集中係数の計算式の提案に必要な応力集中の理論及び計算式について説明している。

3章では、鎌継手に引張荷重が作用したときの継手内の応力解析を行い継手部の応力分布及び応力集中を明らかにし、解析結果を基に継手の応力集中係数計算式を提案している。応力解析は、継手の引張試験を行ったときのひずみ分布をデジタル画像相関法(DIC)により測定し応力分布を計算する方法、FEMによる接触弾性解析による方法より行っている。DIC及びFEMの結果を比較することで、両解析の妥当性を検証するとともに、任意の寸法形状について寸法パラメータから応力集中係数を求める計算式を導出する方法を説明している。さらに、計算式から継手応力集中係数を最小にする形状を提案している。

4章では、鎌継手に曲げ荷重が作用したときの継手内の応力解析を行い継手部の応力分布及び応力集中を明らかにし、解析結果を基に継手の応力集中係数計算式を提案している。計算式から継手応力集中係数を最小にする形状を提案するとともに、得られた最適形状について引張荷重下での最適形状との比較を行っている。

5章では、継手に熱負荷が作用した時の継手内に生じる熱応力分布をDICおよびFEMでの応力解析により明らかにしている。FEM及びDICによる熱応力解析を比較することで、両解析の妥当性を検証している。

6章では、本研究の総括および研究から得られた成果及び今後の展望について論じている。

以上より、本論文で得られた成果は、鎌継手の有効利用のみならず、継手全般の安全性や有効利用のために多くの示唆を与えるものである。

## 「論文審査の結果の要旨」

### I. 論文の主題

引張、曲げ荷重及び熱負荷を受ける鎌継手の応力解析及び形状最適化に関する研究

### II. 当該研究分野における位置づけ

木材を利用することにより、二酸化炭素を半永久的に固定化することができ、循環型の社会の構築に貢献することができる。木材の固定には、古くから継手が広く利用されている。しかし、鎌継手の形状は経験的に決定されて来ている。本論文ではその点に着目し、鎌継手が引張、曲げ荷重を受ける場合について、詳細な応力解析を行なっている。本論文で行なっている鎌継手の応力解析についての研究はあまり行われて来ていない。継手の安全性や効率化を図るためには欠かせない課題である。

### III. 論文の構成(目次と各章の概要)

本論文の目次は以下のようになっている、

#### 1章 緒論

- 1.1 研究の背景
- 1.2 木造建築の継手
- 1.3 既往の研究
- 1.4 研究の目的と構成

#### 2章 応力集中の理論

- 2.1 緒論
- 2.2 代表的な形状における応力集中係数
- 2.3 等価楕円の概念
- 2.4 ノイバーの三角則
- 2.5 任意の切り欠き深さにおける応力集中係数計算式
- 2.6 本章のまとめ

#### 3章 一軸引張荷重下における継手応力解析

- 3.1 緒論
- 3.2 継手モデル
- 3.3 解析方法
- 3.4 解析結果
- 3.5 継手応力集中係数計算式
- 3.6 継手応力集中係数を最小とする形状
- 3.7 本章のまとめ

4 章	曲げ荷重下における継手応力解析
4.1	緒論
4.2	継手モデル
4.3	解析方法
4.4	解析結果
4.5	継手応力集中係数計算式
4.6	継手応力集中係数を最小とする形状
4.7	本章のまとめ
5 章	熱負荷を受けるときの鎌継手の熱応力解析
5.1	緒論
5.2	DIC による熱応力解析
5.3	FEM 解析による熱応力解析
5.4	解析結果
5.5	本章のまとめ
6 章	結言

1 章では研究背景に関する概要や従来の研究を俯瞰している。

2 章では、継手の応力集中係数の計算式の提案に必要な応力集中の理論及び計算式について説明している。

3 章では、鎌継手に引張荷重が作用したときの継手内の応力解析を行い継手部の応力分布及び応力集中を明らかにし、解析結果を基に継手の応力集中係数計算式を提案している。応力解析は、継手の引張試験を行ったときのひずみ分布をデジタル画像相関法 (DIC) により測定し応力分布を計算する方法、FEM による接触弾性解析による方法により行っている。DIC 及び FEM の結果を比較することで、両解析の妥当性を検証するとともに、任意の寸法形状について寸法パラメータから応力集中係数を求める計算式を導出する方法を説明している。さらに、計算式から継手応力集中係数を最小にする鎌継手の寸法形状を提案している。

4 章では、鎌継手に曲げ荷重が作用したときの継手内の応力解析を行い、継手部の応力分布及び応力集中を明らかにし、解析結果を基に継手の応力集中係数計算式を提案している。応力解析は、FEM による接触弾性解析による方法により行っている。試験片の材質は等方性材料としてアクリル材を、直交異方性材料としてアガチス材 (南方針葉樹林材) を選定している。提案した計算式を基に、計算式から継手応力集中係数を最小にする形状を提案するとともに、得られた最適形状について引張荷重下での最適形状との比較を行っている。

5 章では、継手に熱負荷が作用した時の継手内に生じる熱応力分布を DIC および FEM での応力解析により継手内の熱応力の発生及び分布について明らかにしている。応力解析は、デジタル画像相関法 (DIC) およびサーモグラフィにより温度分布によりひずみ分布・温度分布を同時測定し応力分布を計算する方法、FEM による構造解析と熱伝導解析の連成

解析による方法により行っている。FEM 及び DIC による熱応力解析を比較することで、両解析の妥当性を検証している。さらに、継手部の加熱範囲を変えて解析を行い、加熱範囲の変化が熱応力に与える影響を明らかにしている。

6 章では、本研究の総括および研究から得られた成果及び今後の展望について論じている。

#### IV. 論文の独自性や成果

本論文で得られた結果を以下に列挙する

- 引張、曲げを受ける鎌継手に生じる応力分布を、実験、理論、シミュレーションの 3 種類の手法により明らかにした。
- 引張、曲げを受ける鎌継手の最大主応力（応力集中）を算出する簡便な計算式を求め、その有効性を示した。
- 引張、曲げを受ける鎌継手に生じる最大主応力を最小にする形状パラメーターを求めた。
- 鎌継手に熱負荷を与えた時の熱応力分布を実験およびシミュレーションにより明らかにした。

#### V. 論文の課題

弾性範囲内における 2 次元の鎌継手において、主応力を最小にする寸法形状を求めることはできた。しかし、木材のはり等に実際に用いられ継手は、3 次元構造であるとともに、継手の破壊を考慮した寸法形状を考える必要がある。今後は、3 次元のシミュレーション、主せん断応力、および、破壊に至るまでのエネルギーを考慮し、より実用性の高い継手構造を考える必要がある。

#### VI. 論文の評価

本論文で得られた成果は、鎌継手の有効利用のみならず、継手全般の安全性や有効利用のために多くの示唆を与えると考えられる。

以上より本論文は博士(工学)の学位を授与する十分な水準に達しているものと評価する。