

## 審査の結果の要旨

氏名 渡部 昌弘

### 「繊維系結束構法を用いた屋根架構の構造性能評価に関する研究」

本研究は、伝統的な木造建築の茅葺屋根に代表される繊維系結束構法を対象とし、調査・実験を通じてその構造的な性能を明らかにすることを目的としている。本研究で対象としている繊維系結束構法とは即ち、精巧な大工道具や高い加工技術、熟練の職人による施工精度がなくとも構造的に成立しうる「縛る」構法である。これは、先史時代より接合部の構成方法として用いられてきたが、構造性能、特にその剛性が施工精度に大きく依存するため、大工道具および木質構造（主に接合部）の加工技術の発達に伴い軸組み部分（軸部）では次第に用いられなくなった。現在では、主に伝統的な木造建築の茅葺屋根の接合方法として用いられているが、その構造性能に関する研究は極めて少なく、定量的な評価は困難であることが知られている。また、過去の地震などによる茅葺屋根を持つ伝統的な木造建築の被災事例では、被害は主に軸部に集中しており、小屋組や屋根構面（併せて以降、屋根架構と称す）の被害は少ないため、現状では屋根架構は剛床仮定としてモデル化されることが多い。しかし、既存木造建築の地震等による挙動を正確に推定するためにはもちろんのこと、軸部に構造補強を行った場合などでは、軸部と屋根架構の剛性が相対的に近い値となるため、その剛床仮定の可否については精査が必要である。そのためには、茅葺屋根の屋根架構の剛性・耐力などの定量的なデータが必要であるが、前述のとおり構造性能を決定づけている接合部を「縛る」構法（「繊維系結束構法」）に関する既往の実験的な研究は大変少ない。また、繊維系結束構法は母材を加工せずに用いることができるため、文化財建造物の補強や修復にも適用することが期待され、実際に一部では利用されている。しかし、現状では「縛る」だけではその構造的な性能が担保できないため、接着剤を母材と結束材に塗布して緊結するため、本来の特徴である母材を傷めない、という利点が活かされているとはいえない。

本研究は、以上の背景のもと伝統的な茅葺屋根の屋根架構の主要な構造要素であると同時に、文化財建造物等の補強・修復構法として利用することが期待される繊維系結束構法の構造性能を定量的に評価するための基礎的な資料を提供し、その評価方法を確立するための端緒となるものである。

論文は全7章で構成されている。第1章は序論であり、既往の研究から繊維系結束構法に関する研究課題を明らかにし、研究の方針を示している。

第2章では、伝統的な木造建築の屋根架構で用いられる繊維系結束構法の構法・材料的な分類と基礎的な性能に関して述べられている。ここでは、茅葺屋根をもつ国宝・重要文化財建造物の住宅建築（155件）を対象に、屋根構面の層構成に着目し屋中・垂木・下地に用いられる材料およびそれらを結束する材料（結束材）の材料等の文献調査を行っている。その結果、架構・層構成の分類では、竹のみによる組み合わせと丸太のみを用いた組み合わせが主流であること、葺材の葺厚と層構成に一定の関連性があることなどを明らかにしている。更に葺材の保水性能に着目し、5種類の葺材を対象として比重計測および散水実験を行っている。その結果、降水時の葺材の荷重増加は凡そ1.25~1.76倍になると推定している。

第3章は2011年東北地方太平洋沖地震による茅葺屋根の民家建築を対象とした被害調査の結果である。宮城県・福島県で現地調査を行った結果、屋根面の被害はほぼみられなかったが下部構造の土壁の被害は多くみられた。更に水平構面の剛性が低いことに起因すると想定される下部構造の被害が観察されたことなどが指摘されている。

第4章は、炭素繊維・アラミド繊維・ガラス繊維など現代的な繊維系結束構法に関する文献調査の結果である。これらの繊維系結束構法は、文化財建造物の補強でも用いられており、既存躯体を傷つけずに補強する構法として今後も需要が高まることが期待される。その一方で接着剤の性能や紫外線などによる性能低下、更に結束の施工精度の影響など構造性能として不確定な要因が多いことも指摘されている。

第5章では、第2章で分類・整理した伝統的屋根架構および第4章で述べた現代的な結束構法を対象とした実験結果である。第2章の屋根構面の分析より、茅葺屋根架構は叉首と屋中をネソまたは鼓状縄搦で結束した第1層、屋中と垂木をネソまたは縄搦で結束した第2層、垂木と小舞を縄搦で結束した第3層によって構成されていることを明らかにした。本章では、この3層の部材を結束した単位要素をそれぞれ独立に静的水平加力試験（部材回転方向）を行うと同時に、現代的な繊維系結束材であるSRFについても同様の実験を行い比較検討を行っている。その結果、試験体どうしで剛性のバラツキは顕著であるものの、いずれの試験体でもその荷重変形関係は変形角が、約 $1/500\text{rad}$ 、約 $1/10\text{rad}$ 、

で剛性に変化がみられることを明らかにした。また、各層の平均値を比較すると結束材が締まる方向（回転拘束方向）では特定変位時の耐力は第 1 層 > 第 2 層 > 第 3 層となっているが、回転開放方向ではこのような大小関係は見いだせないこと、などを明らかにしている。

第 6 章では実験結果に基づき、要素の回転に対する抵抗機構の解明および既往の屋根架構を対象とした実大実験の結果との比較を行っている。その結果、第 5 章で示した荷重変形関係の初期剛性の範囲での主要な抵抗要素は静止摩擦力、第 2 剛性の範囲でのそれは動摩擦力であることを示している。また、第 3 剛性の範囲では結束材の引張力により剛性が上昇していると推定している。更に、第 5 章で示した各層の要素実験の平均値の重ね合わせで実大の構面の荷重変形関係を変形角  $1/10\text{rad}$ . までは比較的良く推定することが可能であることを示している。

第 7 章は本論文のまとめと結論である。文献調査より茅葺屋根架構の層構成を明らかにし、この分析結果に基づいた各層の単位要素を対象とした実験を行った。既往の実物大の茅葺屋根架構の実験結果と比較検討した結果、各層の単位要素の実験結果の重ね合わせで屋根架構の挙動を推定し得ることを示している。

実験結果の誤差評価や結束材による抵抗機構の解明、更に本実験では 1 種類の屋根架構を対象としているため、得られた結果の一般化など今後の課題は残るものの、繊維系結束構法を用いた屋根架構の構造性能評価のために必要な一定の知見は得られている。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。