

## 論文の内容の要旨

論文題目 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

氏名 渡部 昌弘

(本文)

本研究は、我が国の伝統的かつ原始的ともいえる屋根構法のひとつである茅葺を主な対象とし、繊維系材料を用いた構法を繊維系結束構法と定義し対象を拡張することで、繊維系結束構法の構造性能を明らかにしたものである。更に、本研究により、繊維系材料を用いた構法の構造解析において多様な層構成に対応できるような茅葺屋根架構の構造特性のひとつの評価手法を提案する。

本研究では、植物または植物繊維、合成樹脂等の繊維を原材料とし、それを加工した材を結束材として用いた繊維系結束構法を研究対象とした。

### [第1章]

茅葺建築物の構造解析に用いる構造要素や耐震改修の方針の判断材料となり得る研究成果を得るために、既往研究から繊維系結束構法を用いた屋根構面に着目し、研究の方針・方法を示した。研究方法・方針の骨子は、「伝統的な繊維系結束構法の把握」、「現代における繊維系結束構法の把握」、「要素実験による繊維系結束構法の構造性能評価」の3つからなる。

第一の「伝統的な繊維系結束構法の把握」では次の手順を採用した。伝統的な繊維系結束構法としての茅葺建築物の構法の基本的な特徴を把握し、また屋根構面の特徴を可能な限り正確に把握するため、国指定重要文化財修理工事報告書から層構成と層構成部材について包括的な分類を行うこととした。更に、地震力などの水平力に対する構造性能を考えるため、2011年東北地方太平洋沖地震による振動被害から被害の傾向を把握することを加えた。

第二の「現代における繊維系結束構法の把握」に関しては、現代における繊維系結束構法の概要を把握し、現代的な繊維系結束構法を用いた事例を調べ、構法的な側面から分類を行った。

第三の「要素実験による繊維系結束構法の構造性能評価」に関しては、屋根構面の各層間の接合部について要素実験を行ない、構造性能を明らかにした。更に、要素実験の結果を既往研究の試験体に適用し、整合性と適用範囲を検討した。

### [第2章]

本章では、繊維系結束構法のうち、伝統構法における茅葺屋根を対象とした文献調査を行った。それは層構成の類型から構成毎の構面剛性のデータベースを構築するためである。これに

より、ミクロな個別の要素に着目し、要素の積み重ねからマクロな屋根架構の構面剛性を推定することが可能になる。この結果は、第3章において、積層された構面の基本的な構造性能を明らかにする際に用いる。

構面の層構成を把握するため、重要文化財修理工事報告書に着目する。この資料をもとに、国指定重要文化財（住宅）に用いられる繊維系結束構法の層構成や構法の分布を把握する。

国指定重要文化財のうち、主な用途が住宅であり、修理工事報告書があるものを対象とした。抽出の結果、修理工事後の葺材が茅としている155件を研究対象とした。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が分かった。又首部材の加工方法の地域性に着目し、分布を考察した。

更に葺材に着目し、材種・構法による分類を行った。その結果、葺厚と層構成に一定の関連性が見いだされた。

これに加えて、葺材の物性として保水性能に着目し、5種類の葺材を対象に、小試験片、1束（把）それぞれが雨水などの水分を十分に含んだ状態でどの程度まで重量が増加し得るのかを調べた。

小試験片に着目して、木質化した細胞壁内に強制的に水を供給するとどのようになるか考察した。重量は室内環境下の場合と比較すると2.5～3.6倍に増加するという結果を得た。葺材の束単位の重量計測では、採取地付近の気象庁気象台の月最大24時間降水量を基に降雨時の水量を算定した。これを基に1束（把）単位での重量増加の計測を行った。その結果、材種毎の形状や組織の配置・密度に左右されることが分かった。1束（把）単位で計測すると高降水量での屋根面荷重は材種によって異なるが、1.25倍～1.74倍になった。

### [第3章]

2011年東北地方太平洋沖地震による茅葺建築物の振動被害を調査した。調査対象の被災状況は土壁などに被害が出ているものの、被害状況はいずれも軽微で、全壊・半壊の被害はなかった。損壊部分は弱軸方向の振動が大きかったと考えられ、梁間方向の構面で土壁に亀裂または土壁の表層の剥落（小舞等の露出なし）などの壁面の被害がみられた。

### [第4章]

現代的な繊維系結束材の固定方法を対象にその特徴を把握した。その結果、繊維系結束材は、その柔軟性を利用して、多様な部位に採用されている。ただし、材の固定には接着剤を使用する場合が大半であった。そのため、伝統木造建築への応用に当たっては、構造部材に接着剤が付着するのを許容するか、付着しにくい構法を考える必要があるという結論となった。

### [第5章]

伝統的・現代的な繊維系結束構法の水平力に対する変形抵抗性能を明らかにするため、繊維系の結束を施した接合部の要素実験を行った。試験体は層の接合部を模しており、上層の荷重

を吊り下げたものである。伝統的構法については第1～3層の回転拘束・開放方向それぞれについて6体ずつ合計30体、現代的構法については第1～3層の回転拘束のみ4体ずつ合計12体の試験体を用いた。部材径は文献調査の結果を基に平均的と考えられるモデルで行った。計測の主な対象は、上部材の端部に水平力を加えた時の接合部の抵抗及び、上部材の水平変位である。

実験の結果、微小変形領域の初期の勾配では、降伏変形角にばらつきが生じた。第2勾配は、結束材の拘束効果の有無で傾き（剛性）が異なる。結束材の拘束効果がある場合、更に0.1radから傾きが増加し第3勾配に転じた。一般に0.1radでは軸部は倒壊する可能性が高いとされるが、地震による振動被害を考察すると、軸部の損傷が大きくとも屋根架構の被害は軽微であるのは、このような結束材を用いた接合部の効果であると推定した。

## [第6章]

要素実験結果を基に、層構成の要素の評価手法と検証を、既往研究との比較を通して行った。ここでは0.2radまでの大変形領域までを考察の対象とした。2物体が接触する際の局部的・局所的に生じる変形を扱うHertzの接触理論を基に第1層の接合部の変形を木材同士の接触面に生じる静止摩擦力の降伏と仮定して静止摩擦力を計算した。結果として、圧力分布により、0.29、0.46の2つの静止摩擦係数を得た。これらを文献の木材の静止摩擦係数と比較すると、木材の静止摩擦係数の範囲内にあることが分かった。これにより初期の最大荷重は静止摩擦抵抗によるものと推定した。

また荷重変形曲線の第2勾配は、Hertzの接触理論を基にすると、接触面周縁部の材は咬み合うように接するため、この接触部分双方の衝突によるものと推測できる。

実験結果と既往研究の比較するにあたり、接合部の荷重変形関係の荷重を変形角毎に積算した。これを用いて既往研究の結果と比較・分析し、更にエネルギー吸収能力に着目した考察を行った。

積算した荷重変形曲線からは、0.1radまでは第3層が支配的であり、0.1rad以降は第2層が支配的であることを明らかにした。以上から、結束材による接合部を用いた構面は、建築物では想定しない大変形時であっても破断せず、エネルギーを吸収し続ける構造であると考えられる。

更に、現代的な繊維系結束材に置き換えた場合についても検証を行った。初期の最大荷重は比較的lowになるが、初期の微小変形で既往研究を大幅に上回った。

エネルギー吸収能力に着目した比較においては、微小変形から0.1radの大変形までの範囲では、エネルギー吸収能力は既往研究と概ね一致したことから、このような変形角の範囲では荷重変形関係は追跡可能であると考えられる。

以上から、現代的な結束材を用いる構法は、伝統的な結束材よりもエネルギー吸収能力が高いことを示した。また、接着剤が用いられるが、大変形でも破断しないという構造特性は、伝

統的な結束材を用いた構法のそれと非常に近く、適用範囲を広めることができることも明らかにした。

次に部材の寸法・配置に関する考察も行った。ここでは単純梁のたわみ計算により、各層の部材に生じるたわみを検証した。屋中は材種（丸太・丸竹）によって、生じ得るたわみの範囲がことなり、丸竹はたわみ 10%近傍に分布する傾向にあり、比較的たわみやすい傾向にあるという結果を得た。

## [第7章]

第7章では、各章のまとめと得られた知見について述べた。実験結果により、層構成の各要素に着目した要素実験の積み上げ、即ちミクロからマクロへの積算で、層全体の構造性能を把握できることを明らかにした。この結果は、構面全体の実大水平加力試験の代替になり得ることを示している。本研究で用いた要素実験の方法は、多様な層構成にも応用可能であることが確認できた。積み上げに際しては、層の接合部や仕上げについて、いくつかの仮定を行ったため、正確さについては検討の余地があるものの、その仮定の下にあっても、誤差は許容でき得る範囲内にあると推定されるので、より精度を上げていくことにより、応用性が高まると考える。

本研究での実験方法によって、繊維系結束構法を用いた構面全体の把握ができるので、より細部の機構を把握できるものと考ええる。本実験での実験方法は、比較的安価に、多くの試験体を用いた水平加力試験ができるため、現存する伝統的な繊維系結束構法、例えば茅葺建築物の構面剛性をより容易に把握できることを示している。本論文によって結束材を用いた構面の構造特性についてのひとつの評価方法を提示し得たものと考ええる。