

研 究 報 告

令和 7 年 3 月 31 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 滋賀県立大学 環境科学部

環境科学研究科

氏 名 : 陶器 浩一

研究課題名 : 竹集成材を用いた建築構造部材及び接合部の構造性能に関する基礎的研究

助成金額 : 100 万円

研究実施期間 : 自 令和 5 年 4 月 1 日 ~ 至 令和 6 年 1 0 月 3 1 日

竹集成材を用いた建築構造部材及び接合部の構造性能に関する基礎的研究

Fundamental Study on Structural Performance of Building Structural Members and Joints Using Glued-Laminated Bamboo

滋賀県立大学 教授 陶器浩一

（研究計画ないし研究手法の概略）

1. 背景

竹は極めて強い繁殖力を有し、古来より生活の様々なところで用いられてきた。しかしながら、工業製品の普及に伴って竹材の利用が減り、管理されなくなった竹林の荒廃と拡大が各地で問題になっている。一方、近年では SDGs など環境意識の高まりに伴い、その有効活用に関して様々な取り組みがされている。

竹は鉄の 1/3 という高い引張強度があり、自然素材としては極めて強度の高い材料特性を有している。構造材料として竹を有効活用することは、放置竹林問題など環境問題解決につながるのみではなく、竹という素材の特徴を活かした新たな建築空間を実現可能にする。

竹は高い強度と可撓性を持った自然素材であり、持続的な再生可能資源としての有力性がある素材であるにも関わらず、建築基準法で竹構造は認められておらず、この特性を活かした建築はほとんどない。また、集成断面としての竹材の建築的技術開発も確立されていない。

本研究は竹の特徴を最大限活かしたシステムの開発のための基礎的研究であり、我が国で恒久的な竹構造建築を実現し、国内の竹建築普及の基礎となることを目標とする。

2. 研究概要

1) プロトタイプの考案

本研究では竹の材料特性を活かした建築架構のプロトタイプの試設計を行う。試設計にあたり、今まで行ってきた研究を基に材料特性を活かした架構及び空間を設計する。

プロトタイプは①竹のしなりを活かした薄板材によるレシプロカル構造と②一定の間隔で相欠き加工を施した角材を三方向に組み上げる三方格子システムを用いて設計を行う。

2) 部材の試作、試験及び構造解析

1) で考案した架構システムに対し、予備解析を実施して部材断面および架構形状を検討する。計算にあたっては我々が行ってきた竹部材実験の結果を参考に設計基準強度を設定し、解析および断面決定を行う。

3) 架構を用いた空間の実設計・展示計画

1) 2) から得られた結果を統合し、架構システムを用いた空間の実大構築物を設計する。設計対象は、屋内の展示空間であり、竹・竹集成材に関する研究成果を展示・活用する空間とする。

4) 架構システムの実大施工

素人でも施工可能な実大建築の施工方法で施工を行い、実際の施工における課題や改良点を抽出し、今後の設計・施工技術向上への知見とする。

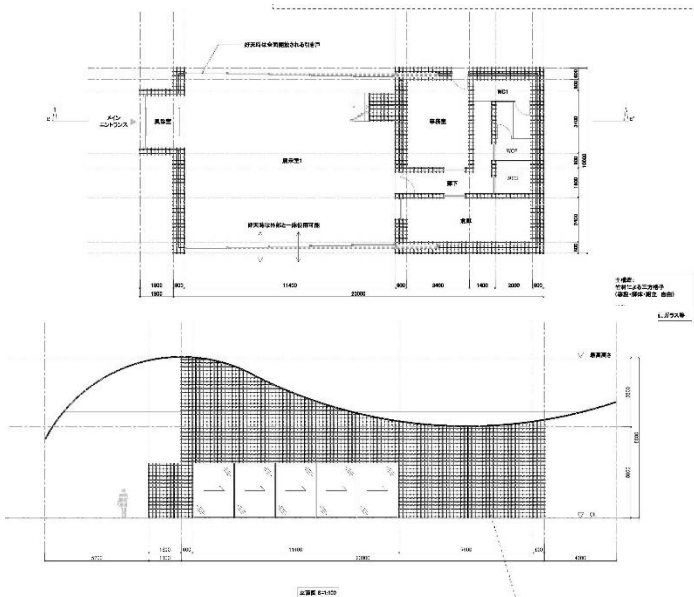
（実験調査によって得られた新しい知見）

1) プロトタイプのコ案

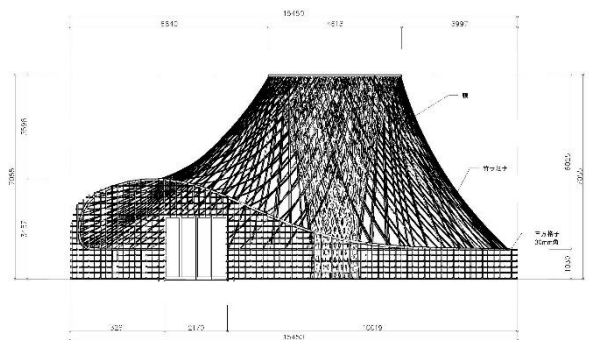
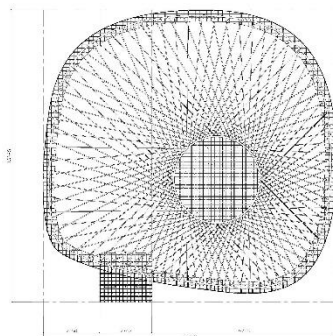
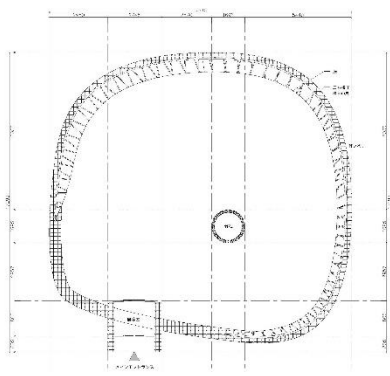
本研究では、竹の材料特性を活かした薄板編み込み構造と三方格子システムを組み合わせた空間構成を設計した。薄板編み込み構造では、竹集成材を用いた薄板材を編み込むように組んだ後、全体を曲げて曲面形状をつくる方法とした。竹の持つ高い強度としなりを活かすことで、極めて薄い断面で開放的な空間を確保することで屋根面を構成する。竹の柔軟性が全体の構造安定性に寄与する点は、他の木材構法には見られない特徴であり、竹独自の構法として高い可能性を示す。また、壁面を構成する「三方格子」は、竹集成材に施された相欠きを $1/2$ ずつずらして三方向に組み合わせることで、金物を用いず、手作業のみで組むことができる構法である。同じシステムを連結させることで可変性の高い空間をつくることのできる。そして解体や移設、別の作品への転用も簡単にできる。

これらの構法を活用したプロトタイプの設計には、形態モデリングソフト (Grasshopper) によるパラメトリックデザインを導入し、部材の配置や角度、構造全体の曲率、三方格子のピッチや配置などを調整した。2つの構法には、共通する特徴として設計の柔軟性と拡張性があることに着目した。パラメトリック手法による設計で、多様な空間展開に柔軟に対応でき、逆レシプロカル構造などの3次元展開する構法の設計システムとして設計物を可視化できる有効な手法であることが確認できた。

①プロトタイプ1：三方格子で鉛直面を構成し、薄板で構成した屋根を掛け渡すタイプ



②プロトタイプ2：建物中央に丸竹を組んだ主塔を立て、そこから周囲に薄板で構成した吊屋根を掛け渡すタイプ。周囲の壁は三方格子で構成している。





プロトタイプ 1, 2
イメージパース

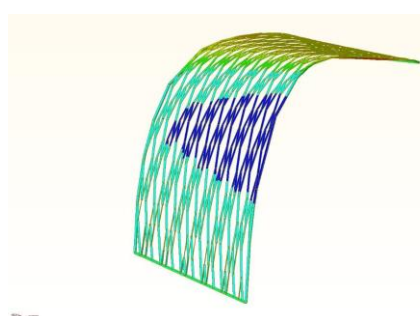
2) 縮小モデルの試作及び構造解析

上記プロトタイプで用いた構法の施工および構造性能を把握するため、縮小モデルを用いて実施工および解析、実験を行った。屋根構造は、厚さ 4 mm 幅 30 mm を用いており、縮小モデルではこれらをレシプロカルに組んだ後、全体を曲げて曲面形状をつくる方法とした。三方格子システムは、竹集成材原版（マザーボード）を 18mm 角の棒状に切断し、相欠き加工を施した角材を使用することとした。

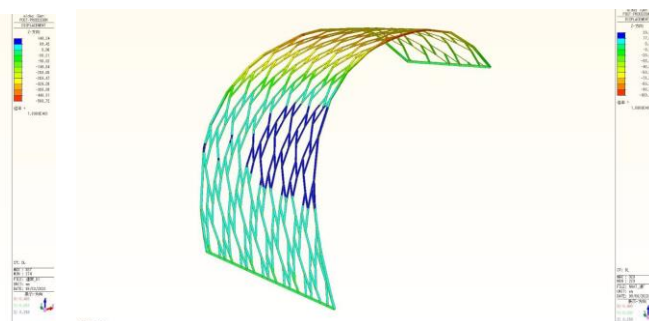
部材の検討においては、これまでに実施してきた竹材の基礎的な物性試験（引張、曲げ試験等）の結果をもとに、竹材の強度特性を数値化し、竹ラミナの弾性係数 11000N/mm²、ポアソン比 0.2、単位体積重量 0.7 g/cm³ を設計用の設計基準強度として設定した。構造解析には汎用構造解析ソフト（Midas iGEN）を使用し、架構全体における応力分布や変形の傾向を把握した。形状の決定にあたっては、施工の容易な形状を基本に、構造解析と形態パラメトリックデザインを反復させて収斂していった。

具体的には、施工性の面から、可展可能な曲面形状を採用し、構造と意匠を両立させるために、アーチを傾けた円錐形状の一部を切り取ったような架構とした。この形状により、レシプロカル部分のピッチも大きくすることができ、構造体としての軽量性と剛性のバランスを確保した設計が実現した。

屋根形状スタディの一例



当初モデリング形状
鉛直変位(最大 509mm)

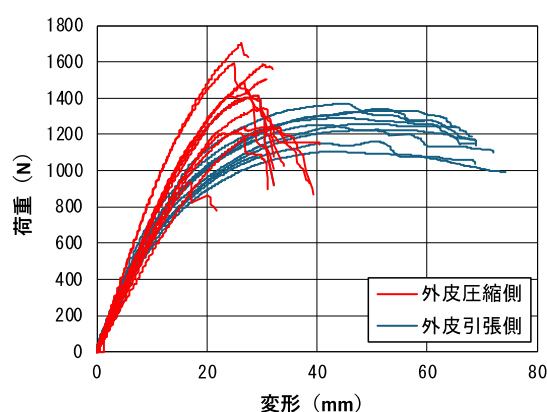


施工性と構造剛性を検討し修正した案
鉛直変位(最大 109mm)

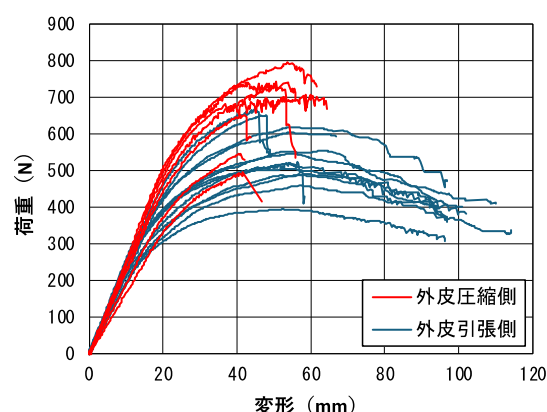
部材試験では、乾溜割竹（割竹に乾溜処理を施したもの）と一次加工材（乾溜割竹にプレーナー加工を施したもの）の 2 種類の板材の曲げ試験を行った。

・試験結果より荷重-変形関係を確認すると、2 種類の板材の曲げ試験で、竹の外皮が試験体梁の圧縮側か引張側かによって、異なる強度と性質が確認できた。竹の外皮を梁の圧縮側にした場合、最大耐力は約 1.25 倍の曲げ強度を示し、脆性的な破壊性状を示した。これに対し、外皮を梁の引張側にした場合には、やや強度は劣るものの、破壊までの過程において約 2 倍の粘り強さを示すことが確認できた。しかし、竹の外

皮が試験体梁の圧縮側か引張側かによって、初期剛性に大きな差は見られなかった。



乾溜割竹曲げ試験結果
(荷重-変形関係)



一次加工材曲げ試験結果
(荷重-変形関係)

3) 縮小モデルの施工

縮小モデルの施工は、学生により行った。これは、本構法の汎用性や施工の容易さを実証する目的も兼ねている。三方格子壁の施工では、接合には釘や金物を一切使用せず、相欠き加工された竹材をゴムハンマーで打ち込むのみという簡易な方法で施工した。



1. 基礎設置



2. 三方格子壁-組立



3. 三方格子壁-結合



4. 屋根接合



5. 屋根縁材取り付け



6. アーチ形状固定



7. 屋根ユニット結合

屋根架構の施工では、竹薄板材に一定間隔であらかじめ穴を開け、ボルト接合を用いた。まず、地面に水糸を用いて完成形状の墨出しを行い、それに沿って部材を配置。さらに、曲面を形成するための縁材を取り付けた後、端部をワイヤーでテンション固定し、実際のアーチ形状にしながら、縁材補強を行った。屋根面は支保工を用いて一定の高さに保持しながら最終的に結合するという手順で組み立てを行った。これにより、現場での施工精度を高め、構造全体の安全性を確保しながら施工を進めることが可能となった。

本研究では、薄板を用いたレシプロカル構造と三方格子システムを組み合わせた架構システムによる竹集成材を用いた建築構造部材及び接合部の構造性能に関する基礎的研究を通じて、持続可能な自然素材としての竹集成材の新たな建築的可能性を提示した。縮小モデルの制作では、非専門者でも施工可能な簡易性と、十分な構造的安定性を兼ね備えており、教育的・社会的にも意義のある成果となった。

今後は竹構法の規格化や実用化に向けた発展的な研究を継続していきたい。