

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：24201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21285

研究課題名(和文) 張力膜と竹による大災害時の応急仮設シェルター利用を目的とした展開構造の開発

研究課題名(英文) study on deployable structure using tensioned membrane and bamboo for emergency temporary shelter

研究代表者

永井 拓生(Nagai, Takuo)

滋賀県立大学・環境科学部・助教

研究者番号：60434297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：ロープと布テープを用いた丸竹同士の接合法を示し、接合部単体試験の結果より復元力特性のモデル化を行った。また、実大トラスの実験と数値解析を通じ、弾性限内でのモデルの有効性を確認した。弾性限を超える荷重レベルについては、試験体を改善し再度実験を行う予定である。

また、扇形の展開機構を有するドーム型展開構造を提案し、小型模型の載荷実験を通じ、本システムの実現可能性を確認した。骨組みをヒンジアーチとした場合においても、初期張力により安定した構造を得られることが確認できた。ヒンジアーチの場合は、部分的な座屈により耐力が急激に低下するため、接合部を半剛接とする等の工夫が必要と考えられる。

研究成果の概要(英文)：We proposed a method to join round bamboos by using rope and cloth tape and used the joint unit test results to perform modeling of the restoring force properties. In addition, we conducted a full-scale truss test and numerical analysis to confirm the validity of the model within elasticity limit. Regarding the load level above the elasticity limit, we plan to improve and implement the test body.

We also proposed a model of temporary dome with deployable system like circular sector, and confirmed the feasibility of the system by conducting the loading test of miniature model. It was confirmed that a stable structure can be obtained by the pre-tension even when each frame is hinged arch. In such case, since the dome strength sharply decreases due to partial buckling, it is considered necessary to devise measures such as making the joint part semi-rigid.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：展開構造 竹 膜 人力施工 復元力特性 仮設建築

### 1. 研究開始当初の背景

地震や津波等の大災害からの復興においては、まずは被災直後に人々の寝食の環境を確保することが、その後の速やかな復旧の基盤となる。東日本大震災では、被災各地で避難所が不足し、また都心では帰宅困難者が一時的に避難できるような施設、設備の不足が顕著となった。本研究は、大災害直後～数日間、雨風を防ぎ人々の生活環境を確保するための応急的なシェルター設備の充実を目的とし、それに適した仮設建築の手法として、展開構造の提案を行う。

展開構造とは、保管時や運搬の際には、骨組みが小さく折り畳まれており、建設現場で骨組みを展開し、空間を形作るような構造であり、施工が簡易に素早く行える事が特徴である。したがって、災害直後の資材不足や建設行為の困難な状況において、特に有効な構造である。

一方で、展開構造の利用・開発を妨げる要因として、高価格である点があげられる。丈夫で軽量の骨組みの材料として、一般的にアルミニウム合金やカーボンファイバー複合材料が選択されるが、このことが高コスト化の1つの要因となっている。また、スムーズな展開・収納を実現するため、可動部も特殊な加工、技術が必要となる場合が多い。

### 2. 研究の目的

上記を背景として、本研究では展開構造の軽量化、低コスト化を目的とし、竹と張力の導入された膜を組み合わせた展開構造の提案を目的とした研究を行う。多くの地域で安価で手に入る竹を骨組みとして使用し、簡易な接合方式で膜と組み合わせることで、数人で運搬できるほど軽量であり、かつ低コストの展開構造の基本モデルを提案する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 竹同士の接合部のモデル化

竹は広い地域で調達が可能であり、軽量でありながら強度が高いため、自然災害等の被災地における応急的な仮設建築物の構造材料として有効な材料と考えられる。こうした目的で竹を構造材料として使用するには、住民の手作業で施工が可能であり、かつ十分な強度を有する接合法の開発が重要な課題となる。

本研究では、研究代表者が関わった、竹を構造材料として用いた仮設建築物の設計(引用文献①)において開発した接合法について、詳細な検討を行った。具体的には、復元力特性のモデル化の方法を示し、単純な形状の実大トラスの載荷試験と数値解析の結果を比較することで、モデルの有効性を検証した。

#### (2) 展開構造の基本モデル作成

展開構造は、①軽量かつコンパクトに収納できること、②展開後の容積がなるべく大き

いこと、③展開過程が非可逆的で、展開と同時に構造安定性が得られること、④風雨や強い日差しを遮るための膜等の面材が取付けられていることが理想的であると考えられる。そこで、展開が単純で、かつ膜を外皮として有するドーム状の展開システム提案し、小型模型の載荷実験を通じ、実現性の確認を行った。

本研究で提案したモデルは、図1のように、扇形に展開するドーム型の構造である。平面アーチの両端部が扇状に開くように接合されており、それら各アーチの間に膜が取り付けられている。膜を目標形状に対し緯線方向に小さく作っておくことで、展開と同時に初期張力が導入される仕組みとなっている。

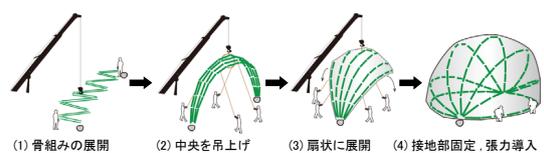


図1 扇形展開ドーム

### 4. 研究成果

#### 研究方法(1)について

ロープと布テープを用いた丸竹同士の接合法を示し、接合部単体試験の結果より復元力特性のモデル化を行った。また、実大トラスの実験と数値解析を通じ、弾性限内でのモデルの有効性を確認した。

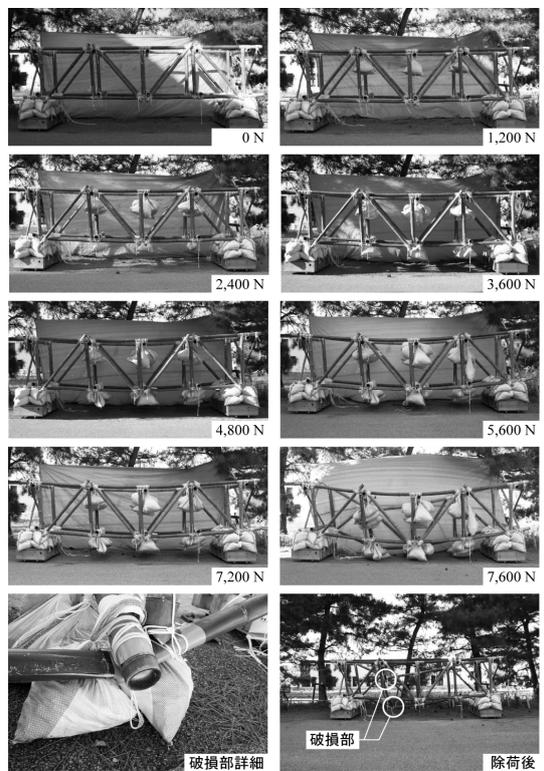


図2 実大竹トラスの載荷実験

接合部の復元力特性は縦材直径に大きく依存する。この理由は横材と接触する幅が縦材直径により異なるためと推察されるが、実

証は今後の課題である。また、本研究期間における実大試験では、ロープ接合部の応力が降伏耐力に達する以前に弦材の局部的な破壊により試験終了となったため、接合部の降伏後の挙動を追跡できていない。弾性限を超える荷重レベルについては、試験体を改善し再度実験を行う予定である。

上記の成果は、雑誌論文①～③および学会発表②～⑤として報告している。

#### 研究方法(2)について

扇形の展開機構を有するドーム型展開構造を提案し、小型模型の载荷実験を通じ、本システムの実現可能性を確認した。また、骨組みをヒンジアーチとした場合においても、初期張力により安定した構造を得られることが確認できた。ただし、部分的な座屈により耐力が急激に低下するため、骨組みのヒンジ接合部は補強を行い、半剛接とする等の工夫が必要と考えられる。

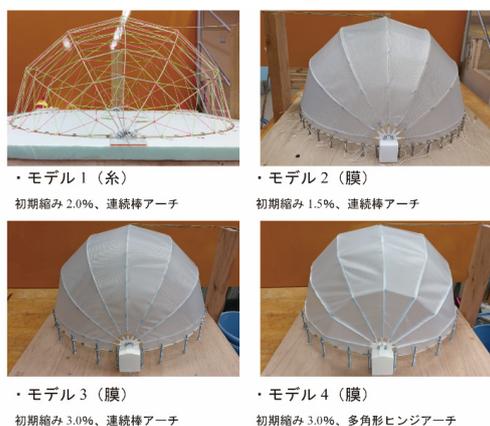


図3 小型ドームの载荷実験用模型

今後は、実大規模のモデルを試験的に建設し、施工性と外力に対する挙動について実証を行う予定である。

上記の成果は、学会発表①において報告している。

#### <引用文献>

- ① 陶器浩一、永井拓生：竹を構造材料として用いた空間構造の設計および施工—竹を構造材料として用いた応急仮設建築物の設計・施工の実例 その1—、日本建築学会技術報告集 第21巻 第49号、pp.1007~1012、2015.10

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 永井拓生、堀江健太、後藤優治：ロープ接合法を用いた竹トラス構造の実大試験と数値解析—竹を構造材料として用いた仮設建築物の設計に関する研究—、日本建築学会技術報告集、vol.23、No.53、pp.99~102、2017.2 (査読有)  
DOI <http://doi.org/10.3130/aijt.23.99>

[http](http://doi.org/10.3130/aijt.22.925)

- ② 永井拓生、陶器浩一：竹の設計強度の算定および人力施工が可能な接合法の開発—竹を構造材料として用いた応急仮設建築物の設計・施工の実例 その2—、日本建築学会技術報告集、vol.22、No.52、pp.952~958、2016.10 (査読有)  
DOI <http://doi.org/10.3130/aijt.22.925>
- ③ Takuo NAGAI : Analysis of bamboo truss structure with hand-made rope joint, Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2016 Tokyo, Program & Short Abstract p.127, 2016.9 (Full paper in USB, CS8D-2, ID 1227) (査読有)

〔学会発表〕(計5件)

- ① 木原湧、永井拓生：扇形の展開機構を有する仮設ドームの設計に関する基礎的研究、その1 小型模型の载荷試験、日本建築学会大会(東北) 学術講演梗概集(構造I)、2018.9 (投稿済み)
- ② 堀江健太、後藤優治、永井拓生：ロープ接合法を用いた竹トラス構造の挙動評価その1 接合部の単体試験と復元力特性のモデル化、日本建築学会大会(九州) 学術講演梗概集(構造I)、pp.899~900、2016.8
- ③ 後藤優治、堀江健太、永井拓生：ロープ接合法を用いた竹トラス構造の挙動評価その2 実大トラスの载荷試験および数値解析、日本建築学会大会(九州) 学術講演梗概集(構造I)、pp.901~902、2016.8
- ④ 永井拓生、後藤優治、陶器浩一：竹と張力膜を用いた竹構造物の微振動特性の経年変化、コロキウム構造形態の解析と創生 2015、日本建築学会、pp.85~88、2015.10
- ⑤ 後藤優治、永井拓生、陶器浩一：ロープ接合部を有する竹トラス構造のモデル化、コロキウム構造形態の解析と創生 2015、日本建築学会、pp.101~104、2015.10

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

永井 拓生 (Takuo Nagai)

滋賀県立大学・環境科学部・助教

研究者番号：60434297

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

稲垣 淳哉 (Junya Inagaki)

早稲田大学芸術学校・特任准教授

佐野 哲史 (Satoshi Sano)

一級建築士事務所 Eureka・主宰

堀英 英佑 (Eisuke Hori)

近畿大学・講師