

小径間伐材を用いたテンセグリティ構造の研究

~小径間伐材の需要を促す仮設建築物の提案~

RESEARCH OF SMALL DIAMETER WOOD AND TENSEGRITY SYSTEM

- Proposal for temporary architecture to encourage demand for small diameter thinned wood -

長岡造形大学造形研究科修士課程建築・環境領域

鎌水 栞菜

要旨：日本の林業・木材利用の現状に対し、小径間伐材に焦点を当てた。流通先に制限のある間伐材の付加価値及び需要を向上させるため建材としての利用を提案し、仮設建築物の設計を行った。張力調整により安定するテンセグリティ構造を使うことで、歩留まりを低下させない丸太材での設計を可能にした。原寸大のプロトタイプ制作では、張力制御及び施工を人力で行い、より高い実現性及び展開性を示した。日常的に小径間伐材が積極的に利用されることで、日本人の消費意識を高めることも望める。

キーワード：小径間伐材、テンセグリティ構造、軽量構造、林業、気候変動対策、膜構造

1. はじめに

我が国は、国土の約7割が森林に覆われているものの、令和3年での木材自給率は41.4%であった¹。12年連続の上昇ではあるが、未だ半分にも満たない状況である。

林業循環の中で保育間伐に着目した。保育間伐は、山や木の保育が目的であるため、伐られた木々に流通先がないものも多い。切り捨てと見なされた間伐材²は採算が取れないとし、山に放置される。それらは腐朽後、二酸化炭素を排出し、環境に悪影響を与える。間伐材の流通を途絶えさせず、需要の

向上を目指し、これまで廃棄されてきた間伐材に価値を与える方法を示す必要がある。

加えて、日本の森林をSDGsの観点から調査したところ、森林に対し国や企業が努力を重ねる反面、国民の木材消費意識が変化しているわけではないことが問題視されていた³。気候変動対策に意識的に取り組むことをネガティブに捉える日本人⁴だが、身近な仮設建築物の構造体に小径間伐材を利用することで日常的に身近な存在となり、消費意識及び付加価値向上へつながらずとも狙う。

¹ 林野庁 2023年1月 森林・林業・木材産業の現状と課題

² 切り捨て間伐：伐採した材に使い道がなく山に放置することを前提とした間伐。

³ 一般社団法人サステナブル経営推進機構

令和3年度 CLT・LVL等の建築物への利用環境整備事業報告書

⁴ 気候変動対策の捉え方と脱炭素社会への態度の関係 - 心理的気候パラドックスの支点から現状分析- (木原浩貴、羽原康成、金悠希、松原斎樹 2020年2月)

2. 研究目的

間伐材の建材利用により付加価値を上げ需要向上を目指す。小径間伐丸太材とテンセグリティ構造を使った仮設建築物の提案を行う。日常に間伐材を溶け込ませ、身近な存在とすることで人々の消費意識を高め、気候変動対策への一助とする。

3. 研究手法

- 1) プロトタイプの形状検討と決定
- 2) 構造計算
- 3) 原寸大プロトタイプの制作
- 4)

4. プロトタイプ

1) 形状検討

修士で留学したトリアー応用科学大学で青年スポーツ振興センターを設計する課題に参加した。スタジアムの屋根架構を設計し、プロトタイプ形状検討を行った。その中で検討を行ったアーチ構造は、スタジアム規模での検討は難しいが都市利用される仮設建築規模での成立が見込めたため、アーチ型で検討を進めた。

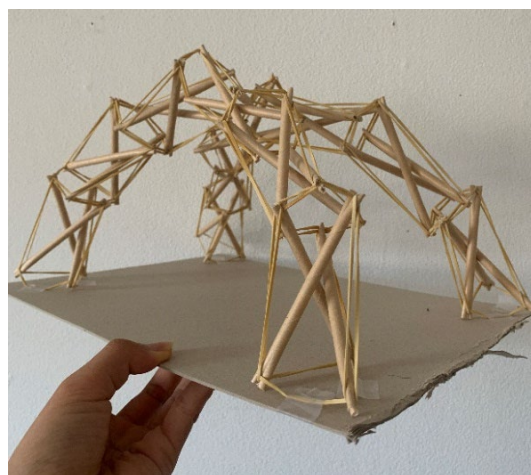


写真 1 アーチ初期案

初めに、テンセグリティ構造の結合方法を検討。圧縮材が3本のテンセグリティユニットを、構造解析ソフトGSA⁵を使用して安定さ把握を確認し、テンセグリティ構造にはねじれる挙動が発生することを把握した。更に、ユニット同士を繋げるのではなく、東京大学ホワイトライノII⁶を参考研究としユニット間に1本挟んだ形でユニットを繋ぎアーチを形成していく。

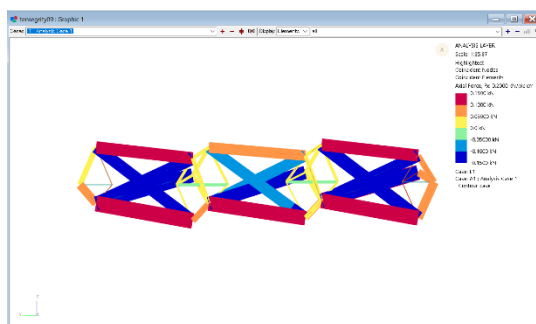


図 2 軸力図

⁵ オーヴ・アラップ・アンド・パートナーズ社が開発・利用している構造解析ソフトウェア。構造工学・地盤工学・歩行者運動シミュレーション用。

⁶ 東京大学川口教授、今井教授を中心に設計されたテンセグリティ柱を持つ建築が東京大学柏キャンパスに竣工。(2017年)アートとしての建築骨組みの実現に成功。

次に、施工性を重視するため3ヒンジアーチとして考える。中央を押し上げることでアーチが完成するようなデザインを行う。ユニット数は偶数にし、頂点部にユニットが来ることや、左右非対称になることを避けた。

3ヒンジアーチとして頂点にピン接合を設けるため、頂点部のデザインを圧縮材の突き合わせにする。様々な長さ・角度調整を行い、アーチの形状模索を始めてから全61回もの解析・検討を経て形状が決定した。構造解析を行うと、最大変位量は0.7mmと多少のねじれや沈み込みはあるものの、安定する形となり、実寸制作を行うアーチの形が決定した。

作成したアーチに空間を持たせるため、空間の作成法を検討する。①アーチの並行配置、②半アーチを1つのユニットとしたドーム型の2つがある。本研究では空間の作りやすさ及びアーチの美しさを考慮し、②での空間構築の提案を行う。

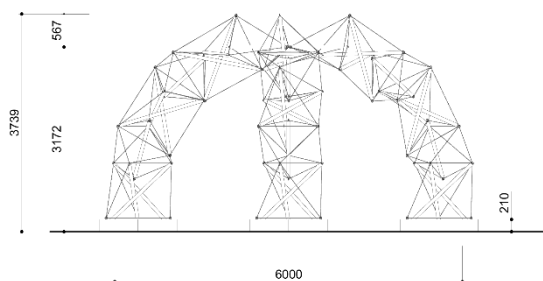


図3 側面図

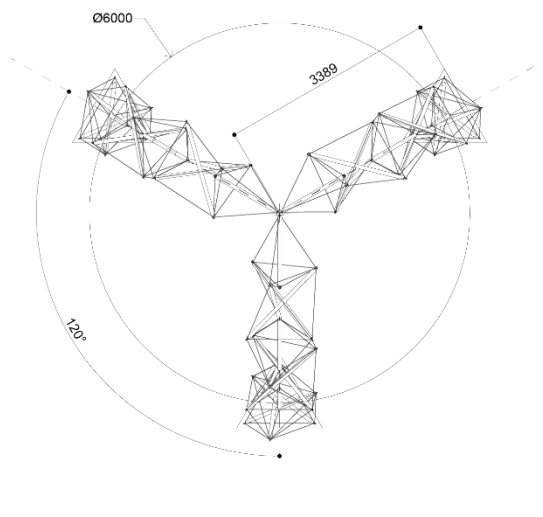


図4 上面図

自重に荷重を加え、圧縮材をΦ100のストリ、引張材をワイヤーに設定し、原寸大制作に向けた具体的な構造解析を開始した。

2) 構造計算

①プレストレス量の検討

始めに、ワイヤーにどのくらいの軸力が発生するのかを把握する。結果、ワイヤーには最大0.2kNの軸力がかかることがわかった。結果より、ワイヤーには0.5kNの初期張力(プレストレス、以下PS)を導入することとした。自重は解析モデルで自動計算。

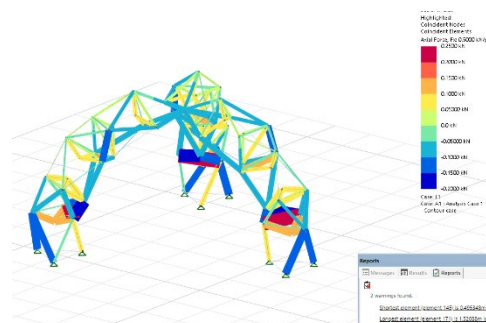


図5 自重+PS500N時(長期)の軸力図

②荷重ケース

- Case1 自重+PS500N(長期)
- Case2 集中荷重(短期)
- Case3 風荷重+Y
- Case4 風荷重-Y

を行った。尚、建物が軽量で風荷重が支配的となるため、地震時の検討は省略する。

風荷重は、本研究では、あらゆる状況に備え、基準風速が 30m/s 想定で検討を行った。風上最大値の 0.9, 風下最大値の -1.5 で計算を行った。

1. 風上+ : 70N の力の発生、変位 125mm

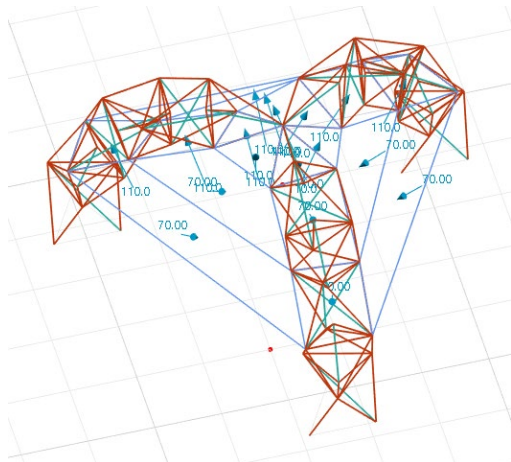


図 6 風力図

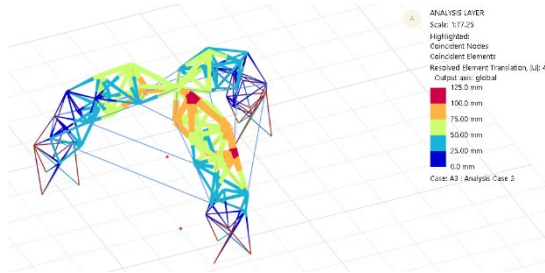


図 7 変位量図

2. 風下- : 110N の力の発生、変位 200mm

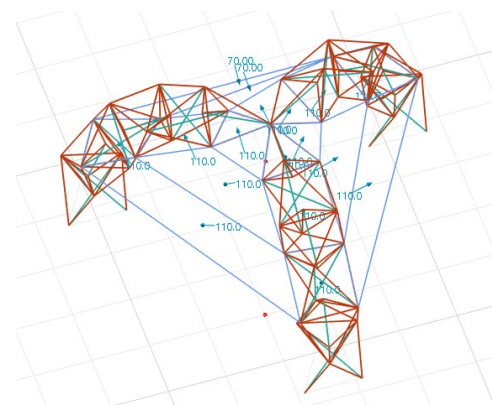


図 8 風力図

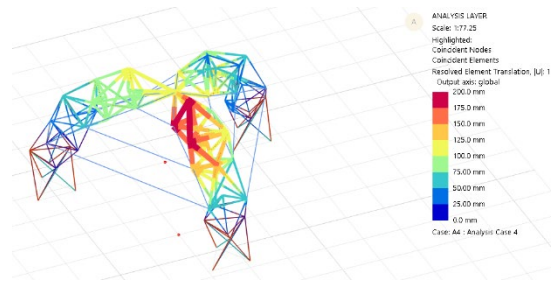


図 9 変位量図

②応力図・断面算定

1. 圧縮材：対象とした木径は $\Phi 50$, $\Phi 60$, $\Phi 75$, $\Phi 100$ の 4 種類。小径木の樹種はスギ材。圧縮材にかかる軸力最大値は 8152N だったため、計算結果をもとに $\Phi 60$ を採用。

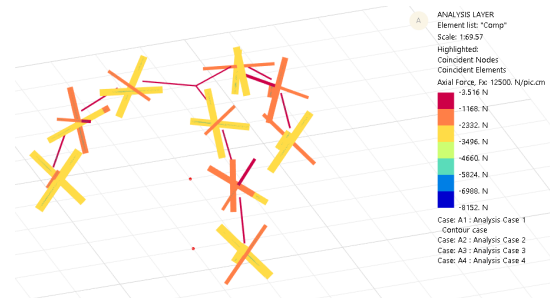


図 10 圧縮材軸力図

2. 引張材：構造用ロープで最小径である、ストランドロープ 6mm で計算を行った。引張材にかかる軸力最大値は 5554N だったため、計算結果から 6mm のワイヤーロープを採用する。

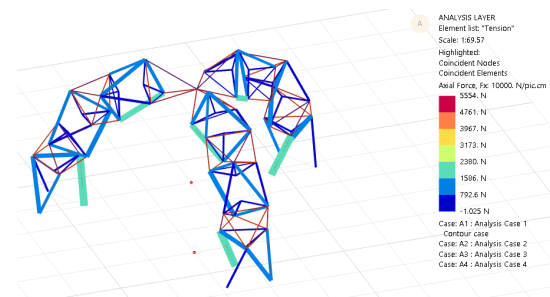


図 11 引張材軸力図

3) 原寸大プロトタイプ制作

①接合部

「テンセグリティ構造を利用した構造システムの接合部」を独自に制作する場合、都市利用させる際、その金物が必要になり、コストもかかる。そこで今回は既存の金物を利用した検討を行った。

検討の末、アイボルトを採用した。

次に頂部のピン接合、接合部の検討。3ヒンジアーチへの対策として、頂部を持ち上げる前に接合部下部を配置しアイボルトを通しておく。頂部を持ち上げ頂点へ達した後、上から蓋をする形で3つを結束させる。

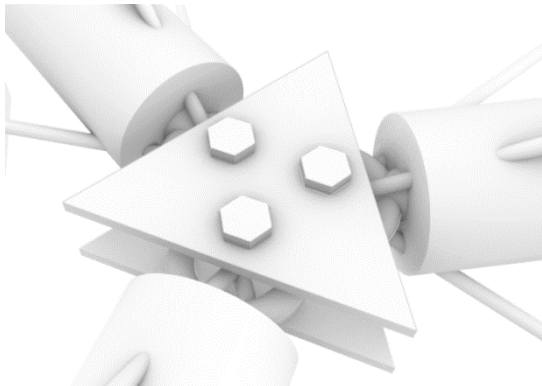


図 5 頂部接合部

②膜

本研究ではマグネットによる屋根形成の検討を行う。マグネットを利用することで様々なデザインに変えることができ、利用者が望む屋根を架構することが可能になる。

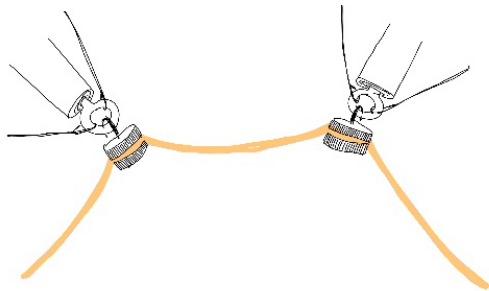


図 6

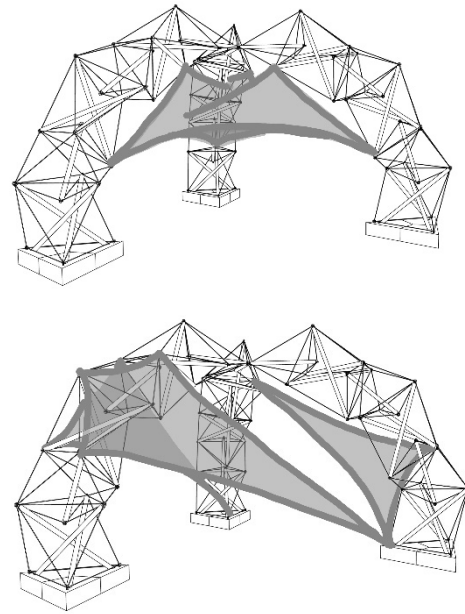


図 7 屋根のデザイン案

制作手順

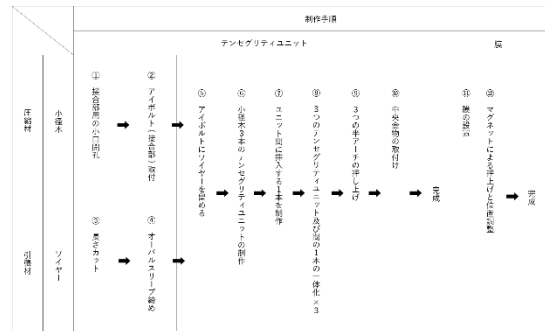


図 9

完成写真



写真 2

5. まとめ

以上の実証結果より、小径間伐材が空間を構築する建材になりうること及び、テンセグリティ構造の架構体が建築的利用を可能にする一端を示すことができた。本研究では、小径間伐丸太材を利用した仮設建築物の構築により、間伐材の付加価値及び、需要の向上を図った。新たな流通先の提案により、廃棄される間伐材が有効利用されること、また仮設建築物の構築のために積極的な保育間伐が推奨されることになるだろう。

また、日常に展開される仮設建築物が、空間を作るとともに小径間伐材の利用を促進し、環境に配慮したシステムとして価値のある建築の姿を提示した。加えて、それらは人々に間伐材が日常的に使われていることを更に意識させることが期待でき、消費意識を高めることができる。

6.参考文献

林野庁 「令和3年木材需給表」の公表について

林野庁 森林・林業・木材産業の現状と課題 2023年1月

林野庁 令和五年林業の取り組み、林野庁 第1部 第3章 第2節 木材利用の動向(1):大熊幹章(2003)地球環境保全と木材利用、一般社団法人全国林業改良普及協会:54、岡崎泰男、大熊幹章(1998) 木材工業、Vol.53-No.4:161-163

JABS 建築雑誌 特集 04 山を考える建築・森と街をつなぎ直す

文部科学省・農林水産省 こうやってつくる木の学校～木材利用の進め方のポイント・工夫事例

田中淳夫 絶望の林業

Wikipedia”間伐材”

村山道隆 建築用材としての小径木の利用促進に関する研究～栃木県産材～

大林組公式ホームページ

技術開発成果報告書

長谷川建築オフィス

株式会社アスマーク

SDGs media

一般社団法人サステナブル経営推進機構 令和3年度 CLT・LVL等の建築物への利用環境整備事業報告書

株式会社アイセン所属木村はるな ドイツと比較した日本のエコ意識・行動とそれに関する企業の役割について

木原浩貴、松原齋樹、京都府地球温暖化防止活動推進センター、京都府立大学 2020年12月欧州における気候コミュニケーション-「生活の質」の観点から、木原浩貴、羽原康成、金悠希

松原齋樹 2020年2月 気候変動対策の捉え方と脱炭素社会への態度の関係 -心理的気候パラドックスの支点から現状分析-

生産技術研究所 川口健一(2010年11月6日) 東京大学公開講座「ホネ」:テンセグリティ「細胞と建築をつなぐ骨組み」

WITO*

Parametrichouse

Association of Collegiate school of Architecture

東京大学大学院工学系研究科建築学専攻ホームページ

C+A シーラカンスアンドアソシエイツ

WeWantToLearn.net Diploma Studio 10 at Westminster University School of Architecture

太陽工業株式会社公式ホームページ

MakMax SHADE・AZUL

一般社団法人日本膜構造協会

Hochschule Trier 公式ホームページ