

B-32

CLTパネルで構成されたジオデシックドームの基本的力学性状に関する研究

-接合部を考慮したモデルを用いた静的解析による接合部剛性と初期不整量の影響-

Study on Basic Mechanical Property of Geodesic Dome Made of CLT Panels

-Effect of Joint Rigidity and Initial Imperfection by Static Analysis Using Model That Considers Joint-

○太田駿<sup>3</sup>, 岡田章<sup>1</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 廣石秀造<sup>2</sup>  
 \*Shun Ota<sup>3</sup>, Akira Okada<sup>1</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Shuzo Hiroishi<sup>2</sup>

Abstract : Cross Laminated Timber (CLT) is a wood-based material in which laminas are arranged side by side and then laminated and bonded so that their fiber directions are orthogonal to each other. Currently, CLT is being promoted mainly as walls and floors, but since face materials can be constructed, it is considered to be effective for use in axial resistance systems such as dome structures. In this report, for the purpose of understanding the detailed structural behavior of CLT dome, the authors compare the analysis model considering the joint with the previously reported model and examine the influence of the bending rigidity of the joint in this structure and initial imperfection.

1. はじめに

直交集成材 (Cross Laminated Timber, 以下「CLT」と称す) は、繊維方向が直交するようにひき板 (ラミナ) を積層接着させた木質材料である。現在、CLTは主に壁や床として普及促進が行われているが、面材が構成可能なことから、ドーム構造などの軸力抵抗系での利用も有効であると考えられる。既報<sup>[1]</sup>では、CLTで構成された五角錐と六角錐のユニットによるドーム構造 (Fig.1) (以下「CLTドーム」) を対象として、頂点五角錐ユニットの部分モデルを用いた载荷実験およびパネル同士を剛接合とした簡易的な数値解析モデルを用いた構造挙動について報告している。しかし、接合部剛性を考慮したドーム全体の解析モデルによる詳細な構造挙動は未検討となっている。以上を踏まえ、本報ではCLTドームの詳細な構造挙動の把握と、構造計画に有用な基本的知見の蓄積を目的として、CLTドームの初期不整量、接合部の曲げ剛性が及ぼす影響について接合部剛性を考慮した数値解析モデルを用いて検討を行う。

2. 数値解析概要

鉛直载荷時の座屈挙動の把握を目的として、CLTドームを対象として幾何学的非線形を考慮した弧長増分解析を行った。解析概要をFig.2, CLTパネルの構造諸元・材料諸元をTable1に示す。検討モデルは五角錐および六角錐ユニット内での繊維方向を変化させ、アーチ方向 (以下「arch」) とフープ方向 (以下「hoop」) の2ケース (Fig.2-b) とした。また、各モデルに対して、パネル間での接合条件は剛接合 (以下「R-joint」), および実際の接合条件として想定した鋼板添え板ビス接合 (以下「S-joint」) の2ケース (fig.2-c) を設定して、繊維方向と組み合わせた計4ケースで検討を行った。なお、各モデルの呼称は、接合条件の呼称の頭文字 (R, S) と arch, hoop を組み合わせたものとする (例「R-arch」)。なお、S-jointはパネル

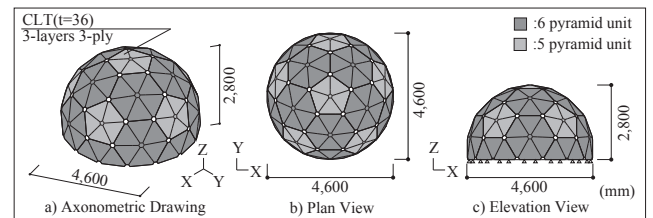


Fig.1 Outline of Proposed Model

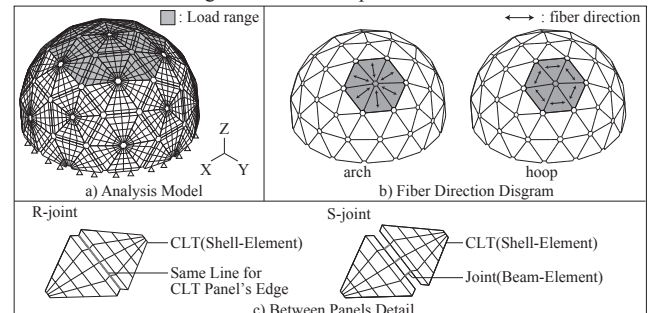


Fig.2 Outline of Analysis

Table 1 Structural Specifications & Material Specifications

Lamina Composition	: S60 3-Layers 3-Ply (Cross Section : t=36mm)
Young's Coefficient <sup>[2]</sup>	: E=4,000 N/mm <sup>2</sup> (Major : In-Plane Direction) E=2,000 N/mm <sup>2</sup> (Minor : In-Plane Direction) E=3,000 N/mm <sup>2</sup> (Major : Out of Plane Direction)
Shear Coefficient <sup>[2]</sup>	: G=500 N/mm <sup>2</sup> (In-Plane Direction) G=45.4 N/mm <sup>2</sup> (Major : Out of Plane Direction)
Poisson's Ratio	: $\nu=0.4$ (Cedar Wood)
Boundary Condition	: Pin Support

間に仮想材として梁要素を設定した。また、梁要素の各剛性は架構全体に大きく影響を及ぼすと想定される「回転剛性」 (以下「接合部剛性」) のみを考慮し、回転剛性は既報<sup>[1]</sup>の値 ( $EI=3.51 \times 10^8 \text{ Nmm}^2$ ) を用いた。荷重は積雪荷重を想定し、Fig.2-a)に示す箇所に鉛直等分布载荷として加えた。

3. 数値解析結果及び考察

3-1. パネル接合条件による比較

パネルの接合条件による座屈性状の比較をFig.4に示す。測定点は頂点5点の平均および各モデルの最大荷重時の最大鉛直変位である。なお、初期不整は線形座屈固有値解析に基づいた1次の座屈モード

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・院 (前) ・建築

(Fig. 3)を参考にして、不整量がドームスパンの1/1000となるように形状不整として与えた。

Fig. 4より座屈荷重はR-archで138.5kN/m<sup>2</sup>, S-archで85.96kN/m<sup>2</sup>, R-hoopで173.1kN/m<sup>2</sup>, S-hoopで116.2kN/m<sup>2</sup>となった。R-jointに対するS-jointの座屈荷重の比(S/R)は、archで0.62, hoopで0.67となった。以上から、hoopに比べarchの方が接合条件による影響が比較的大きいことが確認された。arch, hoopともにR-jointに比べS-jointの方が座屈荷重が小さいことから接合部剛性を適切に評価する必要があると考えられる。

Fig. 5に最大変位点を含んだ変形性状を示す。R-jointでは、繊維方向による性状の違いはみられなかった。しかし、S-jointではarchで局所的に変形が生じ、hoopでは脚部近傍でドームの外側に広がる様に変形する性状が確認された。これは、hoopではユニット内のフープ方向の拘束力が大きく、archに比べてフープ方向に大きな応力が生じたことが要因と考えられる。

### 3-2. 初期不整量による影響

数値解析における初期不整量の設定量の指標を示すことを目的として初期不整量ごとの弧長増分解析を行った。初期不整は、前項と同じく線形座屈固有値解析に基づいた1次の座屈モードを形状不整として与えた。なお、初期不整量はドームスパンLを基準とし、ドームスパンLに対する比により初期不整量を示している。

初期不整量と座屈荷重の関係をFig. 6に示す。図より、arch, hoopどちらも初期不整量が $1.0 \times 10^{-3} (\times L)$ 以上で座屈荷重が急激に低下する性状が見られた。本構造における初期不整の影響はCLTパネルの繊維方向に依存しないことが示唆された。また、初期不整量が $1.0 \times 10^{-2} (\times L)$ 以上でばらつきが生じた。これは初期不整量が大きくなることにより異なる座屈モードに移行したり、荷重抵抗メカニズムが、軸力抵抗系ではなくなることが要因であると考えられる。

### 3-3. 接合部剛性による影響

構造計画で接合部剛性を検討する際の指標を示すことを目的として、接合部剛性をパラメータとして弧長増分解析を行った。接合部剛性と座屈荷重の関係をFig. 7、頂点の最大変位時の変位、荷重および荷重/変位の値をTable2に示す。Fig. 7から、hoopは接合部剛性の増加に伴い、座屈荷重も緩やかに増加しているが、archは接合部剛性が $6.0 \times 10^7$  (Nmm<sup>2</sup>)以上では座屈荷重に差異はみられない。また、Table2の荷重/変位の値をみると、接合部剛性が $1.0 \times 10^6$  (Nmm<sup>2</sup>)と $1.0 \times 10^8$  (Nmm<sup>2</sup>)の差は、archで1.65 (N/mm $\times 10^3$ )、hoopで2.03 (N/mm $\times 10^3$ )となった。以上より、接合部剛性が与える影響は、archに比べhoopの方が大きいことが確認された。このことからCLTパネルの繊維方向により、接合部剛性が及ぼすCLTドームの剛性および耐力には、差が生じることが示唆された。

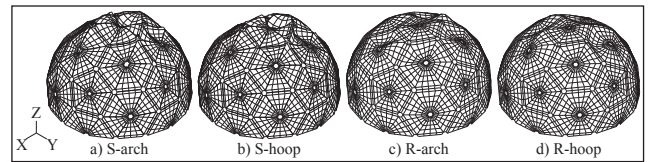


Fig.3 Primary buckling mode

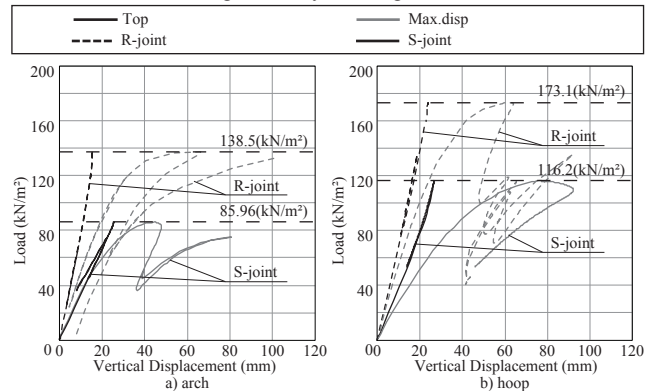


Fig.4 Analysis result (Load-displacement)

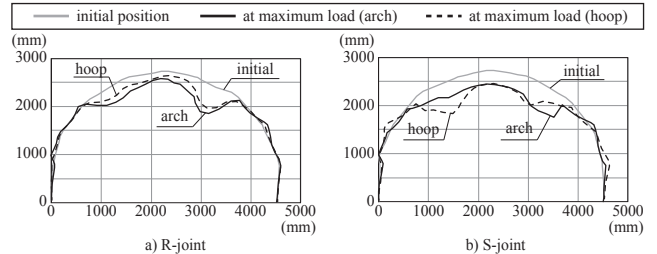


Fig.5 Transformation Diagram (Deformation Magnification 10)

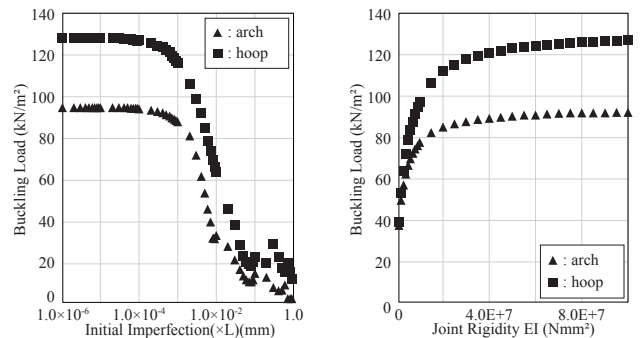


Fig.6 Initial Imperfection-Buckling Load

Fig.7 Buckling Load-Joint Rigidity

Table 2 Pressure & Top displacement by joint rigidity

Joint Rigidity EI [Nmm <sup>2</sup> ]	pressure [kN/m <sup>2</sup> ]		top-displacement [mm]		pressure/displacement [N/mm $\times 10^3$ ]	
	arch	hoop	arch	hoop	arch	hoop
$1.0 \times 10^6$	34.63	37.68	18.82	22.11	1.84	1.70
$1.0 \times 10^8$	91.02	118.10	26.05	31.64	3.49	3.73

## 4. まとめ

本報では接合部剛性を考慮した場合の座屈挙動にCLTパネルの繊維方向、初期不整量、接合部の曲げ剛性が影響することを示した。今後はCLTドームに開口部を設けた場合の構造挙動と、実施設計を想定した積雪荷重、風荷重および地震荷重時の挙動の把握を行う予定である。

## 5. 参考文献

[1] 福寿谷宗一郎, 他: CLTパネルで構成されたジオシックドームの基本的力学性状に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, 構造, pp273-276, 2020.3  
 [2] 国土交通省国土技術政策総合研究所監修: CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル, 公益財団法人日本住宅・木材技術センター, 2016.10