

B-36

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

-パネルの接合方法とCLTの繊維方向が五角錐ユニットの力学性状に及ぼす影響-

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

-Effect of Both Panel Joining Method and Fiber Direction of CLT Panel on Property of Pentagonal Pyramid Unit-

○福壽谷宗一郎³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Soichiro Fukujutani³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract: The Cross Laminated Timber (CLT) is woody material in which wood is laminated and adhered such that fiber directions are orthogonal. The CLT is material that can form planar materials. The CLT is characterized by having anisotropy depending on the configuration of the laminated member. In the previous report, a geodesic dome using a CLT was proposed and numerical analysis and experiments were conducted. And it was reported that the unstable phenomenon with local buckling occurs. Based on the above, this paper examines the effect of the CLT panel joining method and wood fiber direction on the rigidity of the pentagonal pyramid unit.

1. はじめに

直交集成板(Cross Laminated Timber, 以下「CLT」と称す)は、ひき板(ラミナ)を横に並べた後、その繊維方向が直交するように積層接着させた木質材料である(Fig.1). 集成材との大きな違いは、材幅に制限がないことであり、壁や床などの面材として利用が可能である。また、CLTは構成方法から、最外層ラミナの材軸方向がスパン方向と平行になる「強軸(平行層)」と直交する「弱軸(直交層)」が存在し、異方性を有する材料である(Fig.2).

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^[1]では、CLTで構成されたドーム構造(Fig.3)(以下、「CLTドーム」)の簡易実験及び数値解析が行われ、局所的な座屈によるCLTドームの不安定挙動について報告されている。本論では、ドーム頂点部の五角錐ユニットを対象にして、パネル同士の実際の接合方法を踏まえた詳細モデルを用いて数値解析的検討を行い、実挙動の把握を試みる。

2. CLTパネルの接合部曲げ試験

2-1. 試験概要

接合部の数値解析におけるモデル化を目的として、接合部を含むCLTパネルの曲げ試験を行った(Fig.4). 試験体は、100mm×450mmの規模で、3層3プライのCLTパネル(t=30mm)を用いて、アルミプレート(t=6mm)をビス(φ=4.2mm)にて接合した。接合位置は片側(上, 下), 両側, 接合なし(1枚のCLTパネル)の4ケースとし、CLTパネルの軸方向(弱軸:Minor, 強弱軸:Intermediate)の異なる2ケースを組み合わせた、計8ケースに対して、各3体の試験を行った。境界条件は単純支持とした。载荷はアムスラー万能試験機を用い、鉛直下向きに载荷速度が一定となるよう、3等分点载荷を行

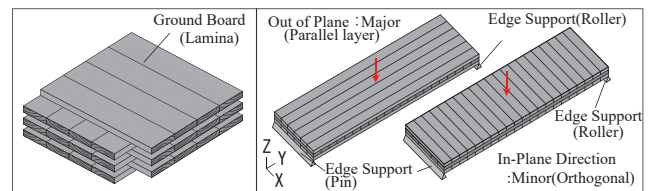


Fig.1 Configuration of CLT

Fig.2 Concept of Anisotropy

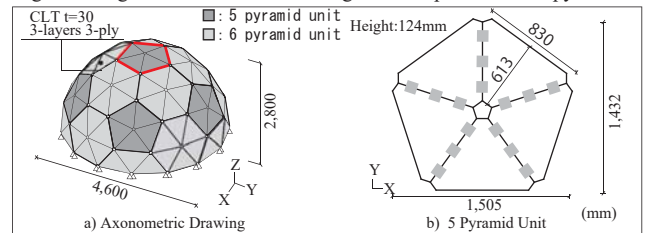


Fig.3 Outline of Proposed Model

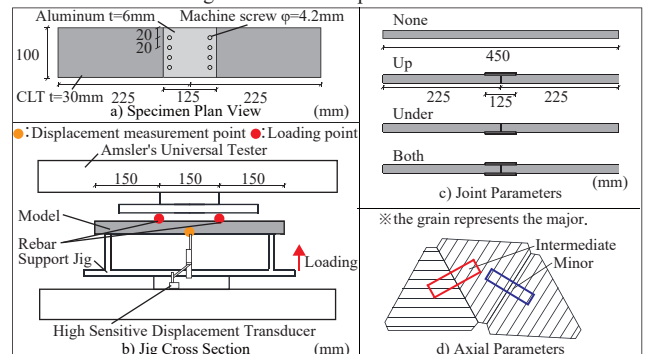


Fig.4 Outline of Experiment

い、試験体が破壊するまで荷重を加えた。また、試験体中央の鉛直変位を高感度変位計により測定した。

2-2. 試験結果

荷重-鉛直変位関係をFig.5に、曲げ剛性の比較をFig.6に示す。なお、曲げ剛性はFig.7の算定方法^[2]を用いて、1次剛性と2次剛性を算出した。また、最大荷重は、3体の試験体で破壊荷重にばらつきが生じたため、最も破壊荷重の小さい試験体の値を用いた。Fig.5より、強弱軸の接合部なしのみ、線形挙動となり、他のケースは非線形挙動を示した。これより、接合

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

部を設けることで、剛性は低下するものの靱性が高くなることが示唆された。Fig. 6より、各モデルの1次剛性を比較すると、強弱軸では、上側<下側<両側<なしの順で大きくなる傾向を示した。しかし、弱軸では、上側<なし<下側<両側の順となった。これは、CLTの弱軸の曲げ強度が強弱軸と比べ著しく低く、引張側(下側)のCLT表面に高剛性のアルミ金物を取り付けたことにより、接合部なしに比べ、下側、両側接合の剛性が大きくなったと考えられる。

2-3. 数値解析モデルの検証

数値解析モデルの妥当性を検証するため、試験を模擬した数値解析と試験結果の比較を行う。構造諸元・材料諸元をTable 1に示す。CLTパネルにはShell要素を用い、面内方向の異方性を考慮した。また、接合部はBeam要素を用い(Fig. 8)、試験から求めた回転剛性(Fig. 9)を、面外方向の曲げ剛性として設定した。境界条件は単純支持とし、荷重は試験と同じ三等分点荷重にて、破壊まで荷重を加えた。検討対象は、強弱軸の片側(上, 下)と両側の3ケースとした。

2-4. 数値解析結果及び考察

Fig. 10より、数値解析結果と試験結果は、概ね同様の傾向を示した。上側接合の解析結果の履歴は、試験結果よりやや大きな値を示している。これは、試験結果の非線形性が強く、曲げ剛性算定の際に、剛性が試験結果より大きく算出されたことが要因として考えられる。

3. 五角錐パネルに対する検討

3-1. 数値解析概要

数値解析モデルの概要をFig. 11に示す。CLTドーム頂部の五角錐ユニットを対象とし、5枚の三角形パネルを組み合わせたサイズ124mmの扁平シェルである。また、材料諸元及び構造諸元は、前章と同様とした。検討は、接合部の箇所数が3ヶ所と5ヶ所の2ケース、施工性を考慮して上または下の片側のみ接合する2ケース、さらに五角錐の中心にパネルの強軸が向く「Arch方向」と円周方向に向く「Hoop方向」の2ケースとし、これらを組み合わせた8ケースを対象とした。荷重は、積雪荷重を想定し、全面載荷($w=3,000\text{N/m}^2$)及び半面載荷($w=6,000\text{N/m}^2$)を鉛直下向きに載荷した。なお、境界条件は、単純支持とした。

3-2. 数値解析結果及び考察

荷重-鉛直変位関係をFig. 12に示す。全面、半面載荷共に、接合方向による大きな差は生じていない。これは、検討モデルが扁平なシェル形状のため、パネルの面内応力が支配的となっていることが要因と考えられる。また、接合部の箇所数の多いモデルの方が大きな剛性を示した。しかし、接合部3ヶ所の場合でも、大幅な剛性低下は確認されず、鉛直荷重に対して、十分な剛性を確保可能であることが示唆された。全面載荷の同一接合数におけるArch/Hoopの最大変位を比較すると、5ヶ所所で0.86倍、3ヶ所所で0.84倍となり、パネルの軸方向が剛性に影響を及ぼすことが把握された。

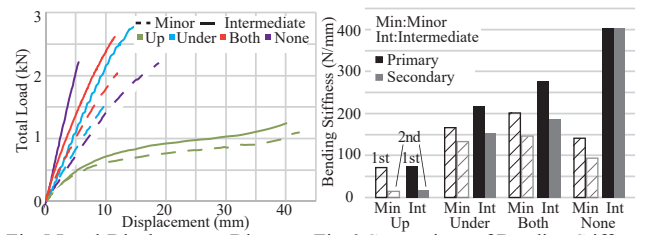


Fig.5 Load-Displacement Diagram Fig.6 Comparison of Bending Stiffness

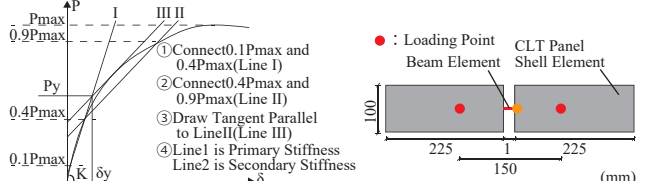


Fig.7 Rigidity Calculation Method Fig.8 Analysis Model

Table 1 Structural Parameters・Material Specification

Lamina Composition : S60 3-layers 3-ply(Cross Section:30mm)	
Young's Coefficient	E=4,000N/mm ² (Major・In-plane Direction)
	E=2,000N/mm ² (Minor・In-plane Direction)
	E=3,000N/mm ² (Major・Out of Plane Direction)
Shear Coefficient	G=500N/mm ² (In-Plane Direction)
	G=45.4N/mm ² (Major・Out of Plane Direction)
Poisson's Ratio	ν=0.4(Cedar Wood) Mass : 400N/mm ³ (Cedar Wood)
Boundary Condition : Pin-Roller Support	
Parameters Analysis Model①: Up, Under, Both	
Parameters Analysis Model②: Up, Under/5pes, 3pes/Arch, Hoop	

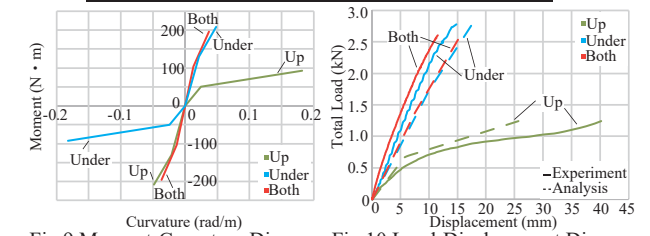


Fig.9 Moment-Curvature Diagram Fig.10 Load-Displacement Diagram

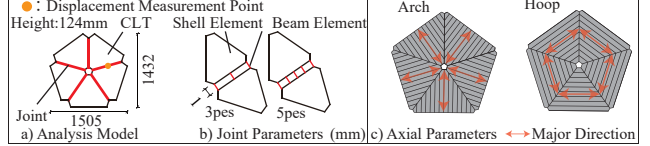


Fig.11 Outline of Analysis Model of Pentagonal Pyramid Panel

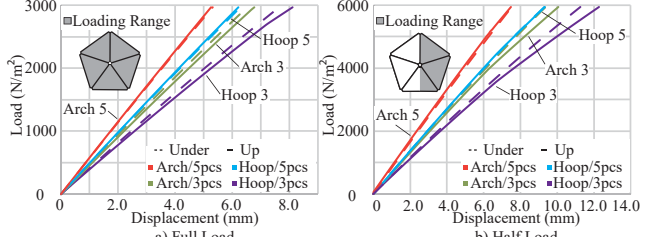


Fig.12 Load-Displacement Diagram

4. まとめ

本報ではCLTドームの検討として、接合部の曲げ試験及びドーム頂部の五角錐ユニットの力学性状の把握を行った。今後、五角錐ユニットの実規模試験による不安定挙動の把握と共に、全体モデルの構造挙動の検討を行う予定である。

5. 参考文献

[1] 吉橋集太, 他: 「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」 AIJ大会(金沢), 構造I, pp. 953, 954, 2019. 9
 [2] 木質構造接合部設計マニュアル, 丸善, 2009. 11
 [3] 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