

## 在来軸組 CLT フラットスラブ構法による木造住宅の 構造設計手法の開発

Development of Structural Design Method for Post-and-beam Timber Houses with CLT  
Floor Panel

西日本工業大学 教授 古田 智基

### (研究計画ないし研究手法の概略)

#### 研究背景

日本の小規模戸建住宅のほとんどは木造であり、そのうちの75%（およそ40万戸/年）は在来軸組構法で建設されている。概して、施主の求める間取りと構造安定性とを両立させることは難しく、1階と2階の間取りを独立して設計しても、建物の構造安定性に影響を及ぼさないような構法が開発が求められている。

一方、日本国内のスギやヒノキといった林産資源の需要を増やすには、量を必要とする建築物での利用が有効であるが、国内のCLTの利用はまだ限定的であり、有効にCLTを利用し、伐期を迎えた林産資源を積極的に活用することが望まれている。

#### CLT フラットスラブ構法の概要

CLTの有効活用と在来軸組構法の木造住宅の構造安定性を両立する構法として、図1のような「在来軸組 CLT フラットスラブ構法」を提案した。

これは、在来軸組構法の床や屋根を剛なCLT板に置き換えるものである。これによって、1階と2階は独立した構造と考えることができるようになり、各階の間取りを自由に設定できる。また、床や屋根が剛な一枚板となることで、広いバルコニーが容易に実現できるほか、建物全体としても床の面内せん断剛性が既存の床組の30倍以上となって構造的に安定したものとなる。さらに、現状では外国産材が90%以上である梁材をスギやヒノキなどの国産材に置き換えることで、木造住宅の国産材使用率を向上させることにもつながる。

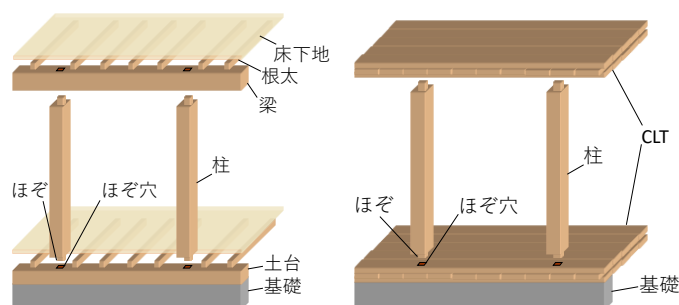


図1 在来軸組構法（左）と本構法（右）の違い

#### CLT フラットスラブ構法を実現するため課題

在来軸組 CLT フラットスラブ構法を実現させるためには、CLT板が既存の在来軸組構法の床や屋根と同等かそれ以上の構造性能を有することを示し、また、本構法の設計法（仕様規定）も確立する必要がある。そのために、まず、CLT床板の面外曲げ実験、CLT床板どうしの接合部の面内せん断実験および引張実験を実施した。

## (実験調査によって得られた新しい知見)

### 【CLT 床板の面外曲げ実験】

#### 実験の概要

CLT の面外への曲げについて、強軸方向、弱軸方向それぞれの方向の曲げヤング係数は、ラミナの曲げヤング係数から集成材と同様の方法で計算することが可能であるが、柱で支持される CLT フラットスラブ構法では二方向の曲げとなり、強軸、弱軸それぞれの曲げヤング係数から手計算でたわみ量を求めることは難しい。従って、設計においては、荷重に対するたわみ量の検定が容易にできない問題がある。そこで、CLT の二方向曲げの性状を把握するため、3,000mm×1,800mm×150mm (5層5プライ) の CLT 板を柱で支持して面外加力実験を行った。

実験に用いた CLT 板は Mx60A-5-5 であり、設計用として文献 1) に示されている強軸方向と弱軸方向の曲げヤング係数は、4,728N/mm<sup>2</sup> と 624N/mm<sup>2</sup> である。また、強軸方向および弱軸方向の設計用曲げ強度は 10.37N/mm<sup>2</sup> と 1.97N/mm<sup>2</sup> である。なお、柱の位置を変えて繰り返し加力を行うため、弾性範囲内の加力にとどめた。CLT 板の面外方向への変位は、載荷点と柱の位置で計測し、載荷点での変位から柱の位置での変位を差し引いた値を CLT 板の変位とした。実験の状況を図 2 に示す。



図 2 実験の状況

#### CLT 板の曲げヤング係数

まず、設計に用いる計算値との差を把握するため、強軸方向と弱軸方向の一方向曲げの実験を行って、それぞれの方向の曲げヤング係数を求めた。

図 3 に実験結果の一例を示す。荷重と載荷点におけるたわみ量との関係は線形であり、弾性範囲内であることが分かる。

表 1 に曲げヤング係数を示す。これより、強軸方向については、実験値は設計用の値の 1.4 倍、弱軸方向については 3.1 倍であり、弱軸方向の面外剛性は計算値よりかなり大きいことが分かった。

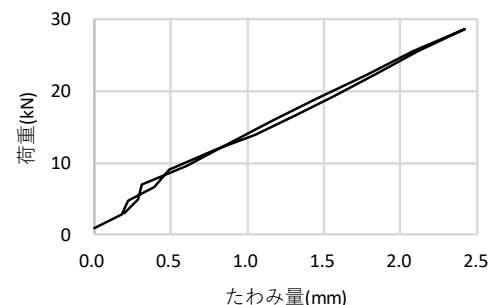


図 3 荷重－たわみ量関係

表 1 曲げヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

	実験	設計値
強軸	6,735	4,728
弱軸	1,927	624

#### 柱を任意の位置に配置した面外曲げ実験

次に、柱を任意の位置に配置して CLT 板の中央を面外方向に加力し、測定したたわみ量から面外剛性を求めた。図 4 に柱配置の一覧を示す。

表 2 に載荷点と柱との距離および面外剛性の一覧を示す。面外剛性は、「載荷した荷重」 / (「載荷点における変位」 - 「柱の位置での変位」とした。

載荷点と柱との距離が大きいほど面外剛性が低いことが分かる。図 5 は、面外剛性と載荷点－柱距離との関係であり、負の相関があることが分かる。最小二乗法による回帰直線としては、 $y = -0.0164x + 31.1$  が得られた。

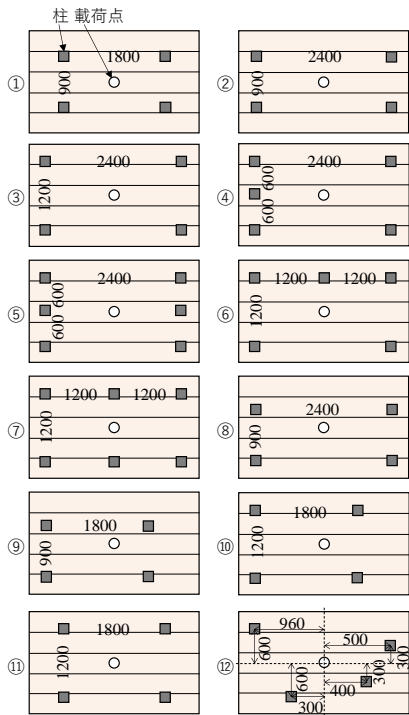


図4 柱配置の一覧  
(図中の数値は柱間の距離(mm))

表2 載荷点と柱との距離および面外剛性

柱配置番号	1	2	3	4	5	6
面外剛性(kN/mm)	17.4	10.0	8.7	9.2	10.5	13.1
載荷点-柱距離(mm)	1006	1282	1342	1271	1200	971
柱配置番号	7	8	9	10	11	12
面外剛性(kN/mm)	19.8	9.7	17.6	14.0	13.3	23.5
載荷点-柱距離(mm)	600	1289	1006	1095	1082	627

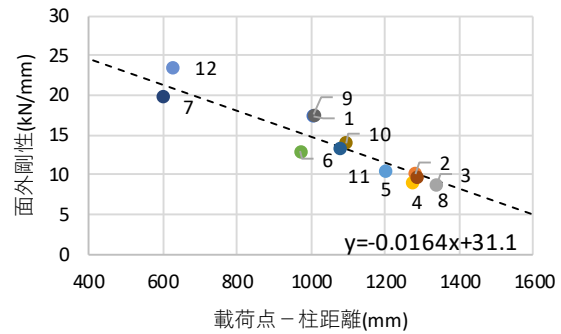


図5 面外剛性と載荷点-柱距離との関係  
(各点の数字は図4における柱配置の番号)

### 【CLT床板どうしの接合部の面内せん断実験】

#### 実験の概要

試験体は図6のような2面せん断とし、図7のような強軸方向、弱軸方向の試験体を各3体とした。試験体のCLTはMx60A-5-5で、厚さは150mmである。スクリーの本数は、強軸1本、弱軸1体については片側に2本(両側で4本)としたが、残りの試験体については治具の剛性不足が判明したため、片側に1本(両側で2本)とした。試験体の両側のパーツを治具に固定し、中央のパーツに対して1mm~30mmで正負3回繰り返し載荷を行った。図8に実験の状況を示す。試験体の密度は0.40~0.46g/cm<sup>3</sup>、含水率は13~18%であった。

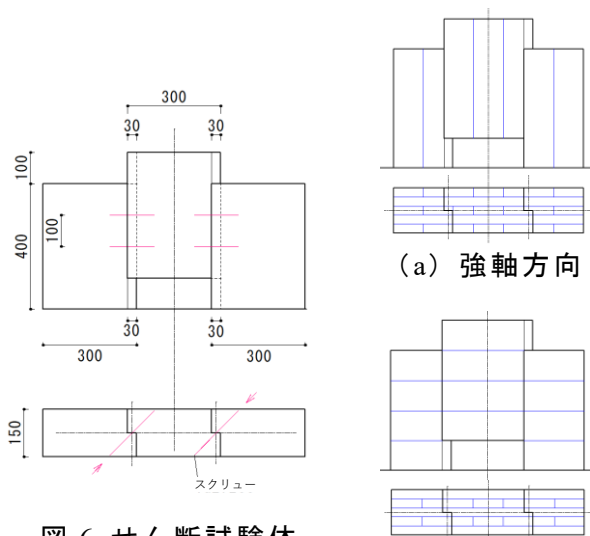
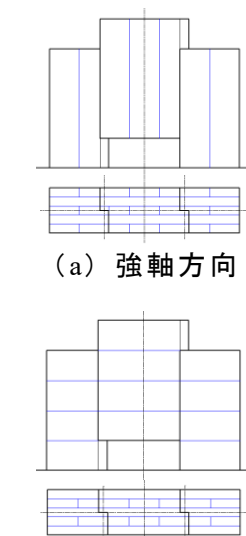


図6 せん断試験体  
(単位: mm)



(a) 強軸方向  
(b) 弱軸方向  
図7 ラミナの方向



図8 実験の状況

## 実験の結果

図9に各試験体のせん断力と変位の関係の一例を示す。縦軸のせん断力は、スクリーの本数で除した1本あたりの平均負担せん断力である。最大のせん断力は20mm前後で約10kNであり、強軸、弱軸の顕著な違いはなかった。図10に、全試験体の正側の包絡線を示す。強軸の方がややばらつきが大きいのが、平均値は弱軸も概ね同程度である。

破壊性状としては、図11のようにスクリーの破断のほか、大きく曲がっているものもあった。

表3に正側の包絡線から求めた許容せん断耐力を示す。許容せん断耐力は、 $P_y$ （降伏せん断力）と $2/3P_{max}$ （最大せん断力の2/3）の小さい方の値とした。許容せん断耐力は、強軸が5.24kN、弱軸が6.65kNであった。強軸では $P_y$ は比較的小さいために許容せん断耐力が低くなっており、包絡線の形状が影響していると考えられる。 $2/3P_{max}$ は強軸と弱軸で同等であるが、包絡線の形状が異なった理由についてはさらに検討が必要である。なお、この許容せん断耐力には、ばらつきなどによる低減率は考慮されていない。

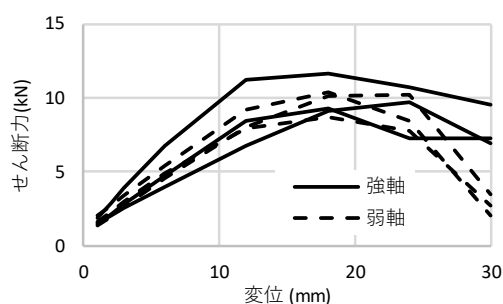
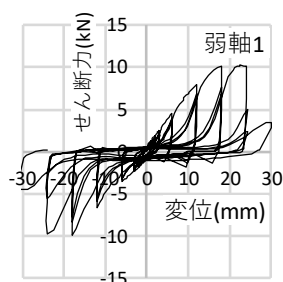
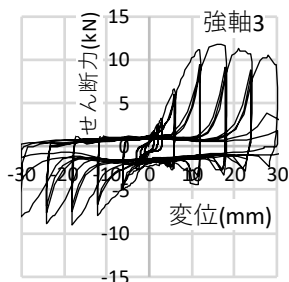


図9 せん断力－変位関係の一例

図10 正側加力時の包絡線



図11 実験後の状況（左：強軸、右：弱軸）

表3 正側加力時の許容せん断耐力（kN）

		$P_y$	$2/3P_{max}$	最小値
強軸	1	5.05	5.86	
	2	4.66	6.48	
	3	6.00	7.89	
	平均	5.24	6.74	5.24
弱軸	1	6.36	6.87	
	2	6.45	7.24	
	3	7.15	6.34	
	平均	6.65	6.82	6.65

## 【CLT 床板どうしの接合部の引張実験】

### 実験の概要

試験体は図 12 および図 13 に示すように、強軸方向、弱軸方向を各 3 体とした。試験体の CLT は、せん断試験と同じ Mx60A-5-5 で、厚さは 150mm である。スクリーの本数は 2 本とし、試験体の片側のパーツを治具に固定し、もう片方のパーツに対して単調な引張力を載荷した。図 14 に実験の状況を示す。試験体の密度は  $0.40\sim 0.42\text{g/cm}^3$ 、含水率は 13~18% であった。

### 実験の結果

図 15 に、各試験体の引張力と変位の関係を示す。縦軸の引張力は、スクリーの本数で除した 1 本あたりの平均負担引張力である。最大の引張力は 3mm 前後で 12~13kN であり、弱軸ではややばらつきが大きい。平均は強軸、弱軸とも同程度であった。破壊性状については、図 16 のように、強軸ではスクリーの周辺が損傷していたのに対し、弱軸では加力方向に直角の繊維に沿って割れが生じた。強軸、弱軸とも、スクリーの変形はほとんどなかった。

表 4 に包絡線から求めた許容引張耐力を示す。許容引張耐力は、 $P_y$  と  $2/3P_{\max}$  の小さい方の値とした。弱軸は強軸より 15% 程度低く、強軸 8.42kN、弱軸が 7.03kN であった。

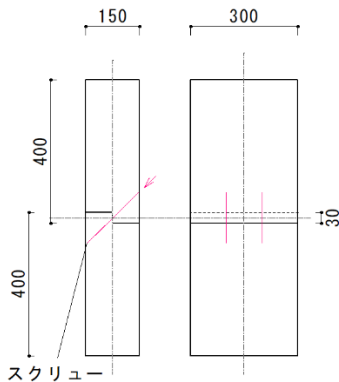
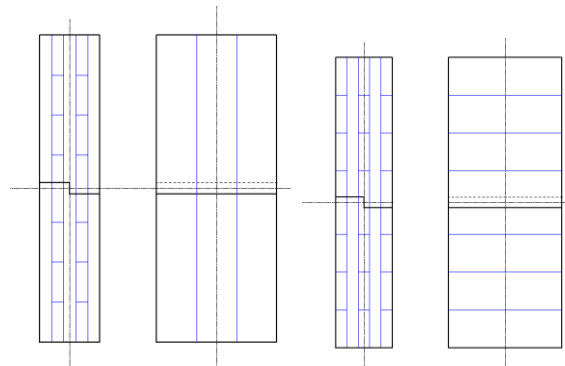


図 12 せん断試験体  
(単位 : mm)



(a) 強軸方向 (b) 弱軸方向  
図 13 ラミナ方向



図 14 実験の状況

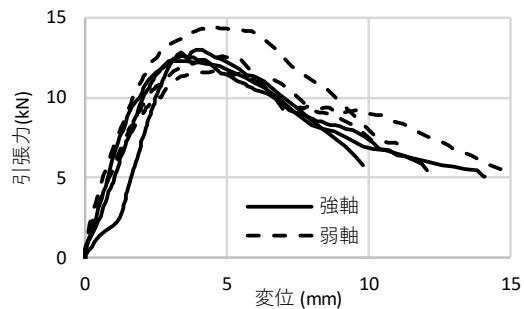


図 15 引張力-変位関係

表 4 許容引張耐力 (kN)

	Py	2/3Pmax	最小値
1	11.02	8.66	
強軸 2	7.93	8.20	
3	9.42	8.40	
平均	9.46	8.42	8.42
1	6.24	7.74	
弱軸 2	7.78	9.60	
3	7.07	8.38	
平均	7.03	8.57	7.03



図 16 破壊性状 (左 : 強軸、右 : 弱軸)

### 【総括】

「在来軸組 CLT フラットスラブ構法」を実現させるための検討の一部である、CLT 床板の面外曲げ実験、CLT 床板どうしの接合部の面内せん断実験および引張実験を実施した。

CLT 床板の面外曲げ実験では、柱の位置を変更しながら CLT 床板の中央を面外に載荷し、面外剛性と載荷点-柱距離とは負の相関があることが分かった。

CLT 床板どうしの接合部の面内せん断実験では、許容せん断耐力は、強軸が 5.24kN、弱軸が 6.65kN であった。また、引張実験により得られた許容引張耐力は、強軸が 8.42kN、弱軸が 7.03kN であった。

今後はここで得られた実験結果をもとに、設計法 (仕様規定) の検討やモデル住宅において設計法の妥当性の検証を行っていく。

### 参考文献

- 1) 日本住宅・木材技術センター：2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル、2018.11

### ( 発表論文 )

今後投稿予定 (2021 年度日本建築学会大会 (東海) 学術講演会発表予定)