

## CLT-RC 複合床の曲げ性能に関する研究

日大生産工(院)

○大木 文明

日大生産工 師橋 憲貴

日大生産工

鎌田 貴久

森林総研

新藤 健太

銘建工業

孕石 剛志

### 1. はじめに

我が国の林業再生への政策として森林林業再生プランが施行され、木材自給率50%を目指す取り組みが行われている<sup>1)</sup>。木材自給率の向上を図るための木材の利用用途としては、木材の材積が比較的大きい中大規模建築物の床材が挙げられる。本研究は本年1月に日本農林規格(JAS)<sup>2)</sup>として施行されたばかりの直交集成板(以下: CLT(Cross laminated timber)パネルと称す)を中大規模建築物の床材として使用する可能性について検討を行ったものである。CLTパネルは、ラミナを幅方向に並べた層を構成し、その層を繊維方向が直交するように積層接着した大きな断面を持つ新しい木質材料である。このためCLTパネルは集成材に比べ寸法安定性および2方向の剛性の確保を図ることが出来る特徴がある。CLTパネルを中大規模建築物の床材として利用するためには耐火・振動・防音の各性能を向上させる必要がある。そこで本研究ではCLTパネルと鉄筋コンクリート(以下:RCと称す)をせん断キー(以下:スタッドと称す)によって一体化させたCLT-RC複合床について、その構造特性の基礎として鉛直荷重に抵抗する際に重要な指標となる曲げ性能の検討を行った。本報は、CLTパネルの厚さおよびスタッドの種類がCLT-RC複合床の初期剛性および最大耐力に与える影響について検討を行ったものである。

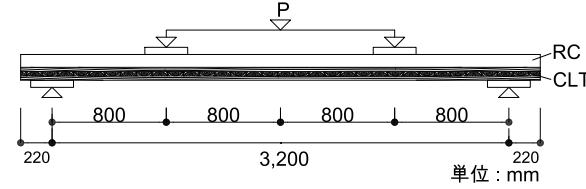


図-1 加力方法

表-1 試験体一覧

試験体名	CLT		スタッド 種類(外径mm)
	種類	厚さ (mm)	
1) CLT90-D10	スギ 異等級構成 Mx60-3-3 <sup>2)</sup>	90	D10 (9.5*)
2) CLT90-M12	M12 (12.0**)		
3) CLT90-VB	VB (7.5**)		
4) CLT150-D10	スギ 異等級構成 Mx60-5-5 <sup>2)</sup>	150	D10 (9.5*)
5) CLT150-M12	M12 (12.0**)		
6) CLT150-VB	VB (7.5**)		

\*: 節の高さを含む外径

\*\*: ねじ山の外径

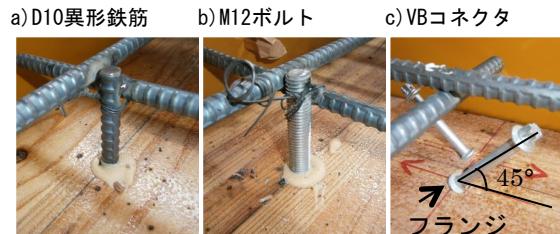


写真-1 スタッド施工状況

表-2 コンクリートの調合表

単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
水	セメント	粗骨材	細骨材	AE減水剤
183	313	940	846	3.13

※水セメント比 : 58.5%

表-3 コンクリートの材料特性

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
Fc24	31.1	11.3	28.2

表-4 主筋の材料特性

種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
D10 (SD295A)	356	517	184

## The Bending Capacity of CLT Panel-RC Composite Slabs

Fumiaki OKI, Noritaka MOROHASHI, Takahisa KAMADA,  
Kenta SHINDO and Takeshi HARAMIISHI

## 2. 実験概要

図-1に加力方法を示す。加力は、4等分点4点荷重の一方向単調載荷とし、支点間距離3200mm、加力スパン1600mmとした。本実験方法は床材としての利用を目的とした場合の等分布荷重を想定したためである。加力には、5000kNの構造物試験機自動計測制御システムを用いた。変位は、長辺方向に対して中央部1箇所と加力点2箇所を支点との相対変位として測定した。

表-1に試験体一覧、図-2に試験体断面を示す。試験体は下部にCLTパネルを配置し、CLTパネルの上部にRCを配置した。CLTパネルは3層で厚さ90mmの異等級構成Mx60-3-3(以下:CLT90と称す)と5層で厚さ150mmの異等級構成Mx60-5-5(以下:CLT150と称す)の2種類とし、幅600mm、材長3640mmとした。CLTパネルの積層接着には、水性高分子イソシアネート系接着剤が使用され、幅はぎ接着は行われていない。CLT表面にはコンクリートとCLTパネルの付着を除去し、コンクリートの水分がCLTパネルに染み込むのを防止するため、離型剤を塗布した。CLTパネルとRCを一体化させるためのスタッドは写真-1に示すD10異形鉄筋(以下:D10と称す)、M12ボルト(以下:M12と称す)およびVBコネクタ(以下:VBと称す)の3種類を用いた。D10およびM12は共に長さ100mmとした。施工方法はスタッド外径に1mmを加えた直径の先行穴を設け、表面突出長さ60mm(埋め込み深さ40mm)として、エポキシ樹脂系

接着剤を用いてCLTにあらかじめ鉛直に立てた後、RCの主筋を配筋してコンクリートを打設した。VB(直径7.5mm、長さ155mm)は表面突出長さ55mm(埋め込み深さ100mm)とした。VBとは諸外国において木床-コンクリート複合スラブのスタッドとして使用実績のあるフランジ(外径12mm)の付いたネジである。VBは45°のV字のネジ打ちとした。スタッドの施工間隔は全試験体で統一とし、図-3試験体平面に示すように長辺方向300mm、短辺方向200mmとした。RCの主筋にはD10異形鉄筋を用い、長辺方向140~150mm、短辺方向150mm間隔とし、長辺方向端部はスタッドに沿わせ配筋した。なお、主筋の高さを保つため部分的に主筋とスタッドを溶接した。コンクリートはFc24の普通コンクリートを厚さ90mmで打設し、主筋のかぶり厚は30mmとした。実験はコンクリート打設後材齢49日から84日の間で行った。

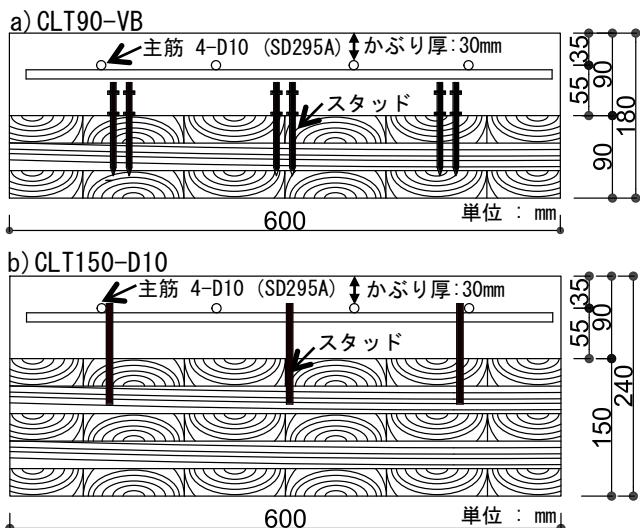


図-2 試験体断面

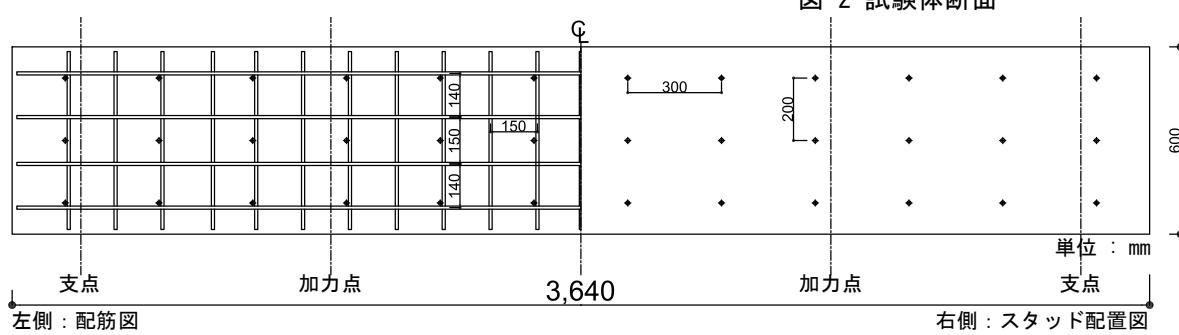


図-3 試験体平面

### 3. 実験結果

図-4 a) 図にCLT90、図-4 b) 図にCLT150の荷重-中央部たわみ関係を示す。また、表-5に実験結果一覧を示す。図-4 b) 図中のCLT150-D10のたわみ40mm付近のたわみの戻りは、計測用アングルにローラー支点の移動を保護する合板が当たったためであり、合板を取り外した後、加力を継続した。

表-5中の初期剛性は原点から0.3P<sub>max</sub>の範囲において最小二乗法を用いて算出した。図-4中の初期剛性の計算値は、CLTパネルとRCが一体であると仮定し、等価断面法を用いて算出した<sup>3)</sup>。算出の際、中立軸はRCの主筋付近に存在しているため、主筋より下部のコンクリートは引張力を負担しないものとし、主筋より上部のコンクリートとCLTの等価断面2次モーメントを算出してたわみを計算した。初期剛性をCLT90およびCLT150のそれぞれで比較すると、スタッドの種類による初期剛性への影響は見られず、概ね同等の傾向を示した。初期剛性の計算値は、CLT90が5.39kN/mm、CLT150が10.50kN/mmであり計算値は実験値と概ね良い対応を示した。CLT90とCLT150を比較すると、初期剛性の値はCLT90に対してCLT150は約2倍となり、CLTパネルの厚さが90mmから150mmへ1.7倍程厚くなることにより、初期剛性が高まることが確認できた。

図-4中のP<sub>fb</sub>はCLTパネルの基準材料強度による曲げ荷重とRCの主筋の降伏荷重を累加して求めた計算値である。表-5中の比例限荷重は初期剛性の直線から5%離れた荷重-中央部たわみ関係上の荷重値とし、降伏荷重は完全弾塑性モデルによる評価方法<sup>4)</sup>に準じて算出したが、P<sub>fb</sub>は比例限荷重と近い値を示した。

図-4中の降伏荷重から最大荷重までの荷重-中央部たわみ関係の履歴を見ると、CLT90と比較してCLT150ではスタッドの種類によって明確な

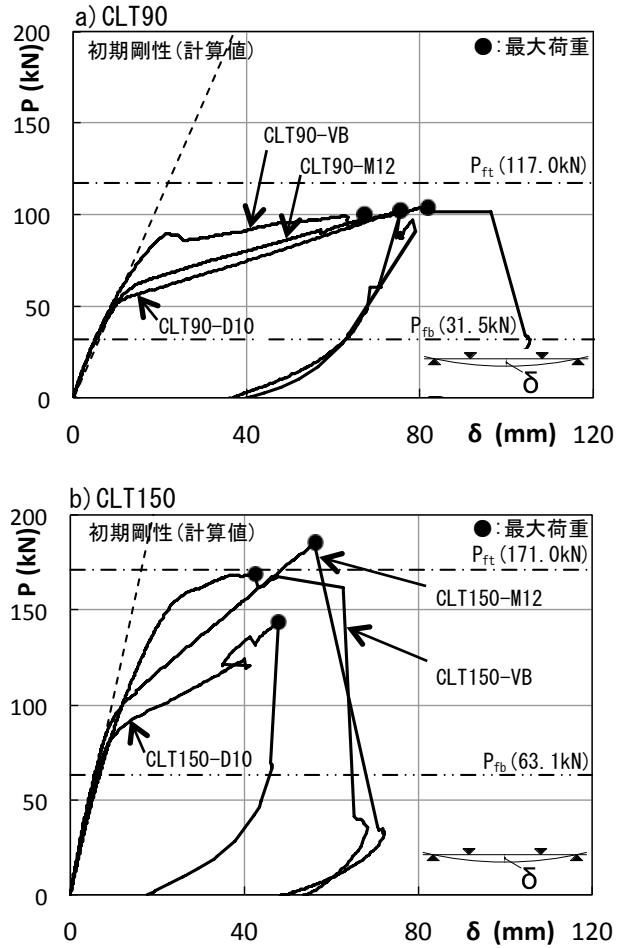


図-4 荷重-中央部たわみ関係

表-5 実験結果一覧

試験体名	初期剛性 (kN/mm)	比例限荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	最大荷重 (kN)
1) CLT90-D10	6.5	27.1	51.1	102.1
2) CLT90-M12	6.4	29.1	57.1	103.7
3) CLT90-VB	6.6	31.8	73.6	100.2
4) CLT150-D10	11.3	47.0	77.3	143.6
5) CLT150-M12	12.2	55.0	90.6	185.5
6) CLT150-VB	10.2	57.2	84.1	169.2

差が見られた。CLT150ではスタッドに作用するせん断応力度が大きくなるため履歴に差が見られたものと考える。また、スタッドの種類別に比較するとD10およびM12は直線的な荷重-中央部たわみ関係を示すのに対し、VBは曲線的な関係を示した。VBは45°のV字のネジ打ちとしたことで応力が分解され、コンクリート内およびCLTパネル内の引張力として寄与したものと推察される。

図-4および表-5中の最大荷重をCLT90およびCLT150のそれぞれで比較すると、CLT90ではスタッドの種類によらず概ね同等の値を示し、CLT150ではM12およびVBに比べ、D10が低い値を示した。写真-2にCLT150の最終破壊形状を例示したが、a) 図のCLT150-D10では引張側最外層から2層目と3層目の境界で剥がれが見られ、これにより最大荷重が他の試験体に比べ低い値となったものと考える。図-4中の $P_{ft}$ はCLTパネルの引張側最外層のラミナが引張強度に達したものとして求めた計算値である。計算値を求める際の応力中心間距離はRCの主筋の重心から引張側最外層ラミナの中央までの距離とした。 $P_{ft}$ と最大荷重をCLT90およびCLT150のそれぞれで比較すると、CLT90は全試験体で実験値が $P_{ft}$ を下回り、CLT150はCLT150-D10を除き概ね同等以上の値を示した。最大荷重の実験値はCLT90に対してCLT150はCLTが厚くなり応力中心間距離も大きくなることから1.40～1.79倍に増加しているが、 $P_{ft}$ を計算する際の引張強度については、ラミナ単体の引張強度とCLTとしての引張強度を考えられるので、今後さらに検討を行う必要がある。

また、渋沢らのCLT単体の曲げ性能を検討した研究によると、引張側の縦継ぎのフィンガージョイントの破壊が発生すると試験体の破断となることが報告されている<sup>5)</sup>。写真-2に示すように本研究においてもCLTパネルの引張側ラミナの曲げひび割れの発生により最大荷重を迎えたが、図-4に示すように降伏荷重から最大荷重に至るまでは、RC特有の韌性のある履歴を示したことから、CLT-RC複合床は中大規模建築物の床材としての有用性があるものと考える。

#### 4. 結論

直交集成板として日本農林規格(JAS)が施行されて間もないCLTと、RCを一体化させたCLT-RC複合床の曲げ性能について検討を行った

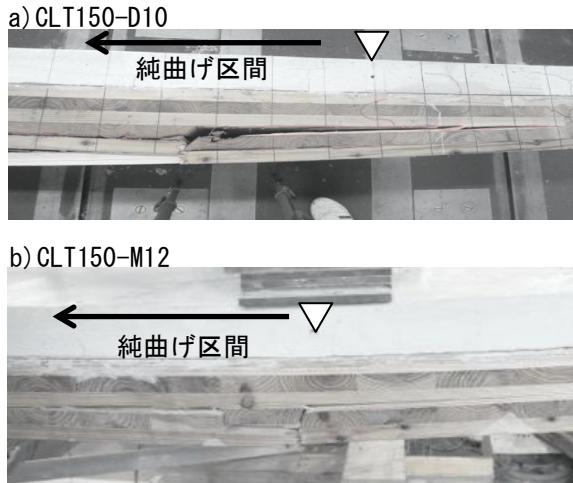


写真-2 最終破壊形状

結果、本研究の範囲内で以下に示す知見が得られた。

- 1) 初期剛性にスタッドの種類による影響は認められず、CLTパネルが厚くなることで剛性の上昇が認められた。
- 2) CLTパネルが厚い試験体では、RCとCLTパネルの引張側最外層のラミナとの応力中心間距離が大きくなることから最大荷重の増加が認められた。

**謝辞** 本研究は独立行政法人森林総合研究所、CLTメーカーM社、日本大学との共同研究として実施した。また、エポキシ樹脂系接着剤をご提供いただいたO社を始めご協力いただきました関係者諸氏にここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 林野庁:森林林業再生プラン, 平成21年12月25日施行
- 2) 直交集成板の日本農林規格, 農林水産省告示第3079号, 平成25年12月20日
- 3) 伊藤国億, 今西祐志:高強度かつ軽量な木質材料の開発, 平成20年度 岐阜県生活技術研究所研究報告 No. 11, pp. 24-27
- 4) 日本住宅・木材技術センター:枠組壁工法耐力壁及びその倍率性能評価業務報告書, 平成14年10月15日
- 5) 渋沢龍也, 藤田和彦, 宮武敦, 新藤健太, 平松靖, 長尾博文, 井道裕史, 青木謙治, 渡部博, 中島史郎:スギを用いて製造したクロス・ラミネイティド・ティンバー(CLT)の強度性能 その2面外曲げ性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 構造III, pp. 117-118, 2013. 8