

## CLT・鉄筋コンクリートによる複合床スラブの構造耐力

日大生産工(院) ○大木 文明 日大生産工 師橋 憲貴  
 森林総研 新藤 健太 森林総研 平松 靖  
 森林総研 宮武 敦

## 1. はじめに

近年、国内外でマスティンバーを用いた中・大規模木造建築物への取り組みがなされている中、我々はCLT(Cross Laminated Timber)を中・大規模建築物の床材として使用するための検討を行った。CLTを単体で床材として使用する場合、歩行振動や遮音といった居住性能や、耐火性能の向上が課題として挙げられる。我々はCLTを鉄筋コンクリート(以下、RCと称する)とせん断キーによって一体化した複合床スラブ(以下、複合床スラブと称する)とすることで課題の解決を図る。そこで構造特性の基礎として、曲げ性能に関する検討を行った。本報告は、複合床スラブの比例限荷重、降伏荷重、最大荷重について検討を行ったものであり、文献<sup>1)</sup>を加筆、修正したものである。

## 2. 実験概要

2.1 試験体概要 Table1に試験体一覧、Fig.1 a)に試験体平面図、b), c)に試験体短辺方向の断面図を例示する。試験体は下部にCLTを配置し、上部にRCを配置した。試験体の寸法は短辺方向600mm、長辺方向3,640mmとし

た。試験体のパラメータは、2種類のCLTそれぞれに対して3種類のせん断キーとした。なお、コンクリートは全試験体で共通とした。

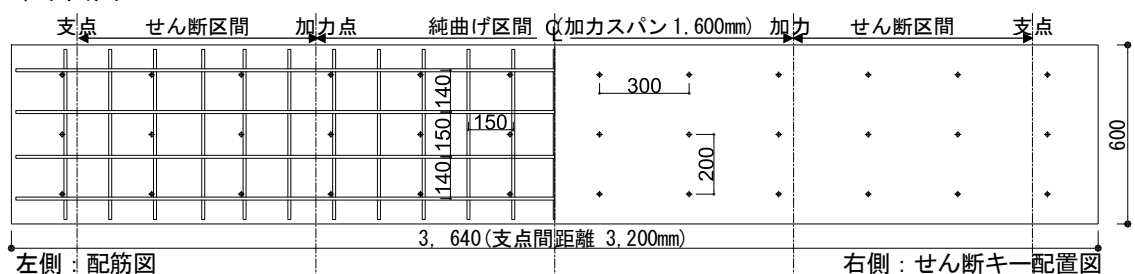
2.2 CLTの概要 CLTのラミナは厚さ30mmのスギを用いた。CLTの材料特性はTable.2に示すように直交集成板の日本農林規格(以下、JASと称する)に定められる3層3プライで厚さ90mmのMx60-3-3<sup>2)</sup>および、5層5プライで厚さ150mmのMx60-5-5<sup>2)</sup>の2種類とした。CLTの積層接着には水性高分子ーイソシアネート系樹脂接着剤を使用し、幅はぎ接着は行っていない。3点曲げ試験によって求めたCLTの静的なみかけのヤング係数の平均値は、

Table.1 試験体一覧

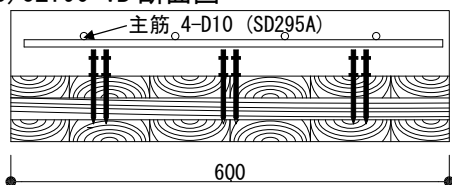
| 試験体名          | CLT                     |         | せん断キー                     |
|---------------|-------------------------|---------|---------------------------|
|               | 強度等級                    | 厚さ (mm) | 種類                        |
| 1) CLT90-D10  | スギ<br>異等級構成<br>Mx60-3-3 | 90      | D10 (11.0 <sup>※</sup> )  |
| 2) CLT90-M12  |                         |         | M12 (12.0 <sup>※※</sup> ) |
| 3) CLT90-VB   |                         |         | VB (7.5 <sup>※</sup> )    |
| 4) CLT150-D10 | スギ<br>異等級構成<br>Mx60-5-5 | 150     | D10 (11.0 <sup>※</sup> )  |
| 5) CLT150-M12 |                         |         | M12 (12.0 <sup>※※</sup> ) |
| 6) CLT150-VB  |                         |         | VB (7.5 <sup>※</sup> )    |

※: 節の高さを含む外径 (mm) ※※: ねじ山の外径 (mm)

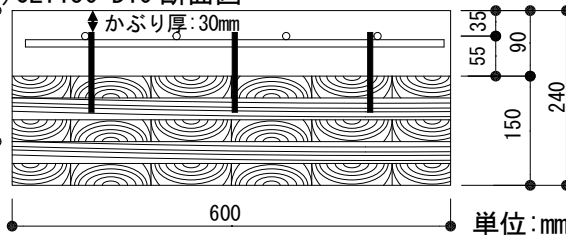
a) 平面図



b) CLT90-VB 断面図



c) CLT150-D10 断面図



単位: mm

Fig.1 試験体形状

Structural Strength of Composite Slabs with CLT and Reinforced Concrete

Fumiaki OHKI, Noritaka MOROHASHI, Kenta SHINDO,  
 Yasushi HIRAMATSU and Atsushi MIYATAKE

CLT90 が  $6.51\text{kN/mm}^2$  , CLT150 が  $3.95\text{kN/mm}^2$ であり, 全試験体でJASの下限値を上回った。CLTとRCの接触面には, コンクリートの水分がCLTに染み込むのを防止すること, コンクリートの付着を防止するため, CLTの上面に合板型枠表面強化剤を塗布した。

**2.3 セン断キーの概要と施工方法** CLTとRCを一体化させるせん断キーには, Fig.2 a)に示すD10異形鉄筋(以下, D10と称する), Fig.2 b)に示すM12全ネジボルト(以下, M12と称する), Fig.2 c)に示すVBコネクタ(以下, VBと称する)の3種類を用いた。これらのせん断キーを用いた理由は, D10はJIS<sup>3)</sup>によって強度が保証されていること, M12は購入が容易であること, VBは複合床スラブへの使用実績があること, である。D10(最外径:11mm)およびM12(ねじ山の外形12.0mm)はともに長さ100mmとし, 施工方法は最外径に1mmを加えた直径, 深さ40mmの先行穴をCLTに設け, エポキシ樹脂系接着剤(株式会社オーシカ: オーシカダイナミクスTE-243L2)を用いて鉛直に固定した後, 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)はフランジ(外径:12.0mm)のついたネジ形状である。施工方法は $45^\circ$ のV字のネジ打ちとした。よって, 1箇所につき2本施工した。せん断キーの施工間隔は全試験体で統一とし, Fig.1 a)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Table.3に示すD10異形鉄筋を用い, 配筋間隔は長辺方向140~150mm, 短辺方向150mmとし, 長辺方向端部はせん断キーに添わせて配筋した。なお, 主筋の高さを保つためFig.2 a)○印に示すように主筋とせん断キーを部分的に溶接した。

**2.4 RCの概要** コンクリートはTable.4に示すFc24の普通コンクリートを用いた。Table.5に複合床スラブの実験を行った材齢49日から84日におけるコンクリートの圧縮強度の平均値を示したが, 呼び強度を超える値を確認した。かぶり厚はFig.1 c)に示すように30mmとした。

**2.5 加力方法および測定方法** 加力方法は床材として利用した場合の等分布荷重を想定し, Fig.1 a)に示すように4等分点2線荷重の一方方向単調載荷とした。支点間距離は3,200mm, 加力スパン(純曲げ区間)は1,600mmとした。荷重は試験機に取り付けたロードセルで加力点2点の合計とした。変位は長辺方向中央部で支点との相対変位を測定した。ひずみはRC上面, 主筋, CLT上面, CLT下面の長辺方向中央部で

Table. 2 CLTの材料特性

| 試験体名          | 密度<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | 含水率<br>(%) | ヤング係数<br>( $\text{kN/mm}^2$ ) |
|---------------|---------------------------|------------|-------------------------------|
| 1) CLT90-D10  | 366                       | 11.7       | 7.02                          |
| 2) CLT90-M12  | 344                       | 10.8       | 6.69                          |
| 3) CLT90-VB   | 378                       | 15.7       | 5.81                          |
| 4) CLT150-D10 | 394                       | 11.0       | 3.82                          |
| 5) CLT150-M12 | 363                       | 9.8        | 4.25                          |
| 6) CLT150-VB  | 385                       | 14.2       | 3.78                          |

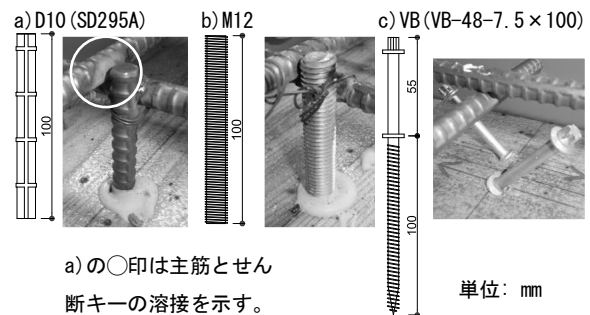


Fig. 2 セン断キー概要および施工状況

Table. 3 異形鉄筋の材料特性

| 種類           | 降伏点<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | 引張強さ<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | ヤング係数<br>( $\text{kN/mm}^2$ ) |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| D10 (SD295A) | 356                        | 517                         | 184                           |

Table. 4 コンクリートの調合表

| 単位量( $\text{kg/m}^3$ ) |      |     |     |       |
|------------------------|------|-----|-----|-------|
| 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%

Table. 5 コンクリートの材料特性

| 設計基準強度<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | 圧縮強度<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | ヤング係数<br>( $\text{kN/mm}^2$ ) | 割裂強度<br>( $\text{N/mm}^2$ ) |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Fc24                          | 31.1                        | 28.2                          | 2.7                         |

単軸ひずみゲージによって測定した。コンクリートの曲げひび割れは目視によって確認した。

### 3. 実験結果

**3.1 実験結果概要** Fig.3にCLT90, Fig.4にCLT150を用いた複合床スラブの荷重—変位関係を示す。Fig.4中の実線で示したCLT150-D10の変位40mm付近の変位の戻りは, 変位計測用アングルとローラー支点の移動を保護する合板が干渉したためであり, 調整後に加力を継続した。Table.6に実験結果一覧を示す。

**3.2 比例限荷重** 比例限荷重の算出方法は初期剛性の直線から荷重が 5%離れた点の荷重とした。なお, 初期剛性は原点から0.3Pmax の範囲において最小二乗法を用いて算出した。Fig.3, Fig.4 および Table.6 に示す比例限荷重を CLT90, CLT150 それぞれ

で比較すると、概ね同等の値を示し、せん断キーによる差は認められなかった。一例として Fig.5 に CLT90-D10, Fig.6 に CLT150-D10 の長辺方向中央部のひずみ分布を示す。なお RC 下面のひずみは、RC 上面と主筋の間のひずみの勾配を延長し破線で示した。Fig.5 a)および Fig.6 a)から、比例限荷重時は CLT と RC で平面保持が保たれており、一体化していることがわかる。なお、M12, VB でも同様の傾向が確認できた。よって比例限荷重時の複合床スラブは、せん断キーによって CLT と RC 間の水平方向のせん断力が十分に伝達されていることから、せん断キーによる差が見られなかったものと考ええる。

Fig.7にCLT90-VBにおける変形初期の荷重—変位関係を示し、合わせて□印で比例限荷重、△印でコンクリートの曲げひび割れ発生荷重を示す。比例限荷重とコンクリートの曲げひび割れ発生点を比較すると、概ね同等の荷重を示した。なお、他の試験体でも同様の傾向が認められた。このことから比例限荷重は、RCの曲げひび割れによって剛性が低下することで生じるものとする。

**3.3 降伏荷重** 複合床スラブが曲げ変形した際、Fig.5 a)およびFig.6 a)に示す変形初期では、CLTとRCの界面となるCLT上面で引張力の負担が見られた。その後変形が進んだFig.5 c)およびFig.6 c)に示す最大荷重時では、CLT上面で圧縮力の負担が見られ、CLT上面のひずみが引張りひずみから圧縮ひずみへと移行した。つまりCLTとRCで平面保持が崩れていることがわかる。そこで本研究ではCLTとRCの平面保持が崩れる荷重を降伏と定義し、Fig.5 b)およびFig.6 b)に示すようにCLT上面のひずみが引張から圧縮へ移行を始める荷重を降伏荷重として検討を行った。Fig.3, Fig.4およびTable.6中の降伏荷重をCLT90, CLT150それぞれで比較すると、ともにD10, M12, VBの順番で高い値を示し、特にD10, M12に比べVBは高い値を示した。これはVBのせん断耐力がD10, M12に比べ高いため差が生じたものと推察する。

**3.4 最大荷重** Fig.3, Fig.4およびTable.6中の最大荷重をCLT90, CLT150それぞれで比較すると、CLT90ではVBに比べD10が1.02倍、M12が1.04倍とせん断キーの種類によらず概ね同等の値を示した。対してCLT150ではVBに比べD10が0.85倍、M12が1.10倍と差が見られた。Fig.8およびFig.9に最終破壊形状を例示

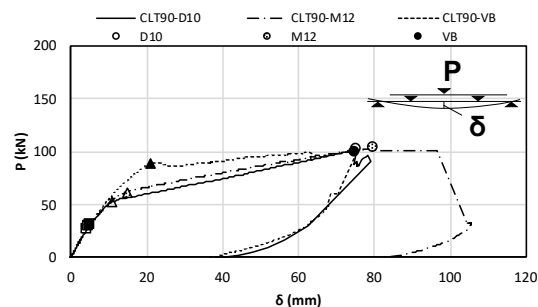


Fig. 3 荷重—変位関係 (CLT90)

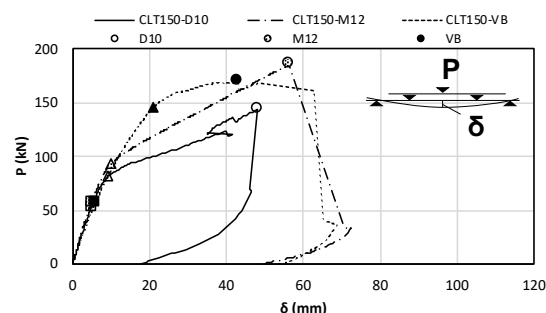


Fig. 4 荷重—変位関係 (CLT150)

Table. 6 実験結果一覧

| 試験体名          | 初期剛性<br>(kN/mm) | 比例限荷重<br>(kN) | 降伏荷重<br>(kN) | 最大荷重<br>(kN) |
|---------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|
| 1) CLT90-D10  | 6.5             | 27.1          | 52.3         | 102.1        |
| 2) CLT90-M12  | 6.4             | 29.1          | 62.1         | 103.7        |
| 3) CLT90-VB   | 6.6             | 31.8          | 88.8         | 100.2        |
| 4) CLT150-D10 | 11.3            | 51.8          | 80.9         | 143.6        |
| 5) CLT150-M12 | 12.2            | 56.2          | 93.2         | 185.5        |
| 6) CLT150-VB  | 10.2            | 57.2          | 145.0        | 169.2        |

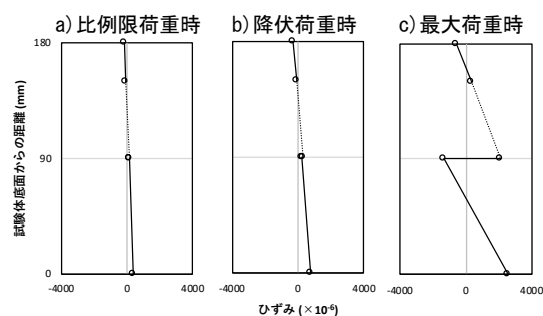


Fig. 5 ひずみ分布 (CLT90-D10)

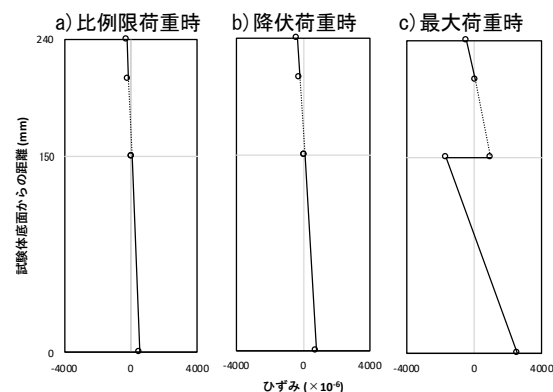


Fig. 6 ひずみ分布 (CLT150-D10)

する。Fig.8に示したCLT150-M12の破壊モードはCLTの引張側最外層ラミナの引張破壊となった。なお、CLT150-VBおよびCLT90も同様の破壊モードとなった。対してFig.9に示したCLT150-D10は引張側最外層のラミナの引張破壊に加え、CLTラミナ2層目と3層目の境界で接着層に沿った破壊モードが見られた。CLT150-D10は他の試験体と破壊モードが異なることから最大荷重がやや低い値を示したものと推察する。次にFig.10に複合床スラブの最大荷重とCLTの見かけの静的曲げヤング係数をあわせて示す。CLT150-M12が最も高い最大荷重を示した理由として、CLTの曲げヤング係数がD10、VBに比べて高いことから最大荷重が高くなったものと考え。また、CLT150の最大荷重における変動係数は10.4%であり、幅900mmのCLTの面外方向における曲げ強度の変動係数が16.7%<sup>4)</sup>であることから、最大荷重の差はCLTの曲げ強度の差が影響したものとする。以上からCLT150を用いた試験体の最大荷重の差はCLTの破壊モードとCLTの材料特性に影響を受けたものと推察する。

#### まとめ

本研究の範囲内で以下の知見が得られた。

- 1) 比例限荷重はコンクリートの初期曲げひび割れによる剛性の低下によって生じるものとする。
- 2) 降伏荷重は、CLTとRCの界面であるCLT上面のひずみが初期の引張から圧縮へ移行した荷重を降伏荷重として比較すると、D10、M12に比べVBを用いた複合床スラブが高い値を示した。
- 3) 最大荷重は、CLTの破壊モードと材料特性に影響を受けるものと推察する。

**謝辞** 本実験は平成25年度岡山県森林整備加速化・林業再生事業地域材利用開発「CLTの利用開発・研究事業」の一環として実施されたものであり、その際CLTの製造は銘建工業(株)の協力を得た。またエポキシ樹脂系接着剤は(株)オーシカに提供いただいた。日本大学生産工学部建築工学科の鎌田貴久専任講師および藤本利昭教授、(有)ティー・イー・コンサルティングの宮林正幸氏には助言を賜った。

#### 参考文献

- 1) 大木文明，師橋憲貴，新藤健太，平松靖，宮武敦：CLTを用いた鉄筋コンクリート複合床スラブの曲げ性能 その2 比例限荷重，降伏荷重および最大荷重，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-3,pp.71-72，

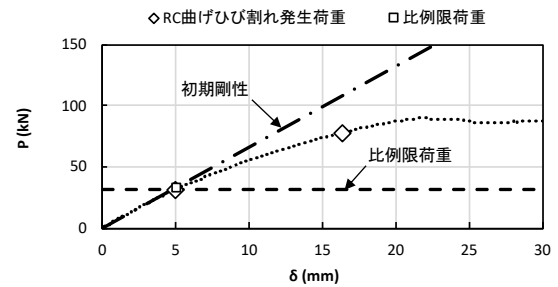


Fig. 7 荷重—変位関係 (CLT90-VB)

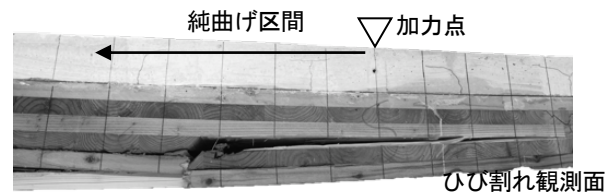


Fig. 8 最終破壊形状 (CLT150-M12)

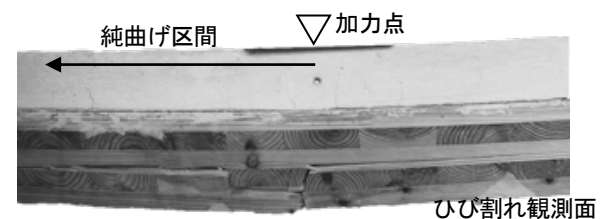


Fig. 9 最終破壊形状 (CLT150-D10)

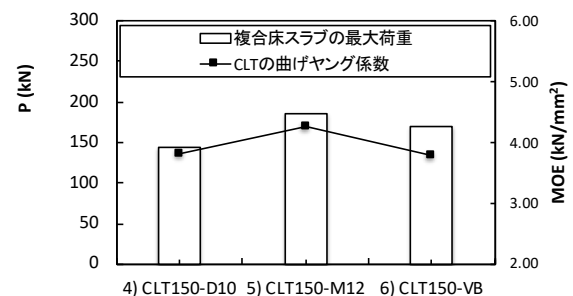


Fig. 10 複合床スラブの最大荷重とCLTのヤング係数

#### 2019

- 2) 平成25年度農林水産省告示第3079号，直交集成板の日本農林規格,2019.8
- 3) 日本産業規格：JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼,2010
- 4) 渋谷龍也，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・ラミネイテッド・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,pp.117-118,2013.