

簡易で実用的な CLT 構造の設計用解析モデルの開発に関する研究  
その1 一軸曲げ解析モデルの提案と従来型解析モデルとの比較

正会員 ○峯岸 新\*1 正会員 前田 匡樹\*2  
同 厚澤 瑛人\*1

CLT 構造設計 解析モデル  
簡易化 実用的 一軸曲げばね

1. はじめに

近年、森林資源の有効活用という観点で都市木造建築が注目され、2010年には公共建築物等木材利用促進法が施行され、中大規模の都市木造建築への関心が高まっている。そこで中高層木造建築に有効な木質部材として、CLT(Cross Laminated Timber)の利用拡大が進んでいる。

しかし、CLTには次の課題がある。CLTを構造部材として使用するCLTパネル工法における設計用解析モデルが複雑であり、それがCLTパネル工法建築物普及につながる恐れがある。よって、本研究では簡易で実用的な解析モデルの開発を行い、これによる普及型CLT中層建築物の可能性の検討を目的とする。

2. 簡易で実用的な設計用解析モデルの開発

図-1のように、CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル<sup>1)</sup>(以下、CLTマニュアル)では、弾性線要素と複数の非線形バネ要素からなるモデルが標準的構造解析モデル(以下、従来モデル)とされている。しかし、このモデルは、RC造やS造など他の建築構造物の設計用構造モデルと比べて精緻であるが複雑なものであることから、一般的な実務の構造設計にはなじまない。

そこで、鉄筋コンクリート造の構造モデルのように、弾性要素の線材と弾塑性を示す回転バネのみによる一軸曲げバネモデル(以下、提案モデル)でモデル化する。

CLTパネル工法では、図-2で示すように地震力に対しCLTパネルをロッキング変形させ、引張接合部の降伏とパネルのめり込みによる曲げ破壊を先行し、引張接合部の伸びの変形が架構の変形の大部分を占める設計が前提とされているため、今回のモデルの簡易化においては、引張接合部に注目し、回転バネのみでの置換を行った。

本稿においては、引張接合部について実務において一般的な接合として使用されている構造用アンカーボルト(引きボルト)を仮定し、その詳細を図-3に示す。

回転バネの復元力特性(図-4)は、トリリニアモデルとし、第1折れ点の曲げモーメント $M_y$ と回転角 $\theta_y$ は、接合部応力分布を平面保持の仮定に基づき図-5・6のように仮定し求めた。引張接合部降伏時の強度 $M_{ty}$ と圧縮縁が許容圧縮応力度時の強度 $M_{cy}$ の最小値を $M_y$ とする(式(1))。

$$M_y = \min(M_{ty}, M_{cy}) \quad (1)$$

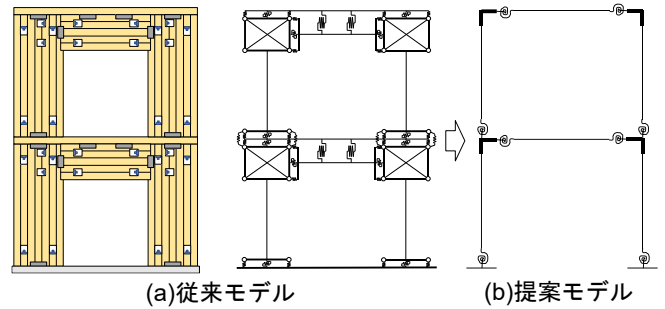


図-1 設計用構造モデルの簡易化

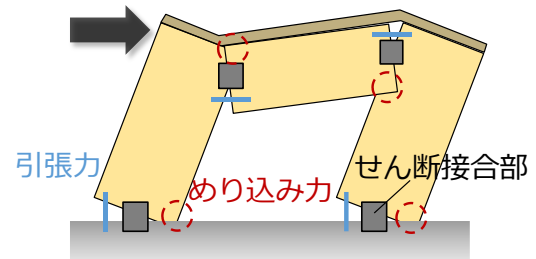


図-2 水平力に対する設計

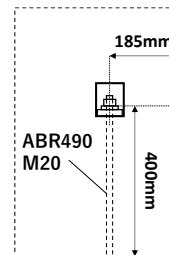


図-3 引張接合部詳細

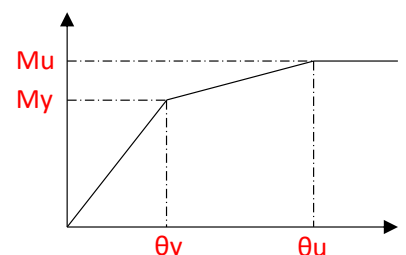


図-4 回転バネの特性

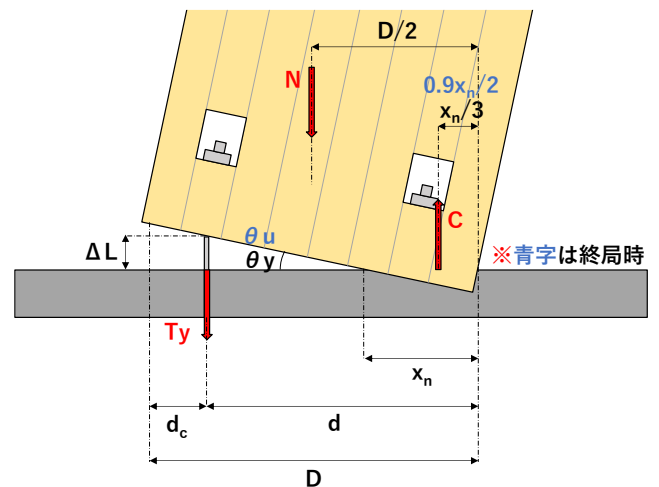


図-5 CLT パネル端接合部の応力変形状態(引張側降伏時)

曲げ降伏モーメント $M_y$ は式(2)より、引きボルトの引張力 $T$ とパネルのめり込みの圧縮力 $C$ から算出する。中立軸距離 $x_n$ は、断面内の引張力と圧縮力及び軸力の釣り合いから算出し(式(3))、その際 $C$ 、 $T$ は曲率分布から求めることとする。

$$M = T \times \left(\frac{D}{2} - d_c\right) + C \times \left(\frac{D}{2} - \frac{x_n}{3}\right) \quad (2)$$

$$C = N + T \quad (3)$$

また、回転角 $\theta_y$ は、引きボルトの伸び $\Delta L$ と中立軸距離 $x_n$ から式(4)で算出する。

$$\theta_y = \frac{\Delta L}{d - x_n} = \frac{\varepsilon_{ty} \times L_b + T/K_{CT}}{d - x_n} \quad (4)$$

第2折れ点の終局曲げモーメント $M_u$ は、図-6(b)のように圧縮側を等価な四角形の応力ブロックに置換して考え、許容時曲げモーメント $M_y$ と同様の考え方で式(5)、式(6)によって算出する。

$$M_u = \min(M_{tu}, M_{cu}) \quad (5)$$

$$\begin{cases} M_{tu} : \text{圧縮縁基準強度到達・引張側降伏} \\ M_{cu} : \text{圧縮縁基準強度到達・引張側非降伏} \end{cases}$$

$$M_u = T \times \left(\frac{D}{2} - d_c\right) + C \times \left(\frac{D}{2} - \frac{0.9x_n}{2}\right) \quad (6)$$

また回転角 $\theta_u$ は、引きボルト接合において塑性変形が木材のめり込み変形により生じる場合、二次勾配が一次勾配の1/8程度になる<sup>2)</sup>ことから、式(7)によって算出することとする。

$$\theta_u = \theta_y + \frac{(M_u - M_y)}{M_y/8\theta_y} \quad (7)$$

上述の方法で、各パネル端接合部部分(壁-基礎、壁-床、壁-垂壁)において回転バネを作成する(図-1参照)。

また、梁端部では、壁-床、壁-垂壁に2箇所接合部があるが、提案モデルではこれを一つのバネに換算している。

### 3. 従来型解析モデルとの比較

静的増分解析を行い、提案モデルと従来モデルを比較した。図-7に示すように片持ち壁1枚、1層1スパン(床なし)、1層1スパン(床あり)をそれぞれ従来モデルと提案モデルで解析し比較した。解析で得られた層せん断力-層間変形角関係を図-8に示す。片持ち壁1枚の場合については、耐力が誤差0.3%程度の高精度で再現でき、剛性についても7割5分程度の精度で再現できた。床を考慮すると、壁脚降伏後の剛性が提案モデルでは大きくなった。これは、床の曲げ変形を無視した梁端部のバネの設定によると考えられる。結果として、架構全体の復元力特性を簡易な一軸曲げバネモデルの解析法によりある程度再現できることが分かった。

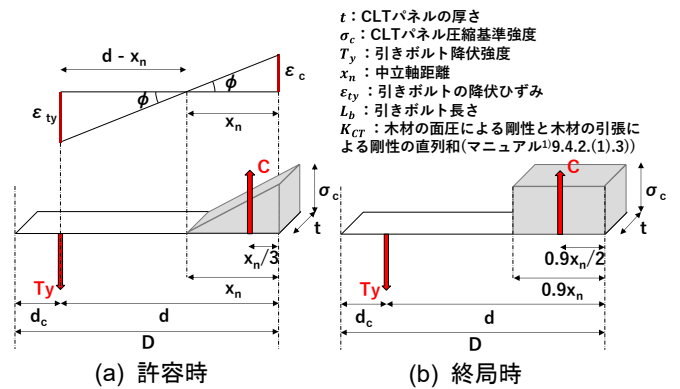


図-6 応力・曲率分布の仮定(引張側降伏時)

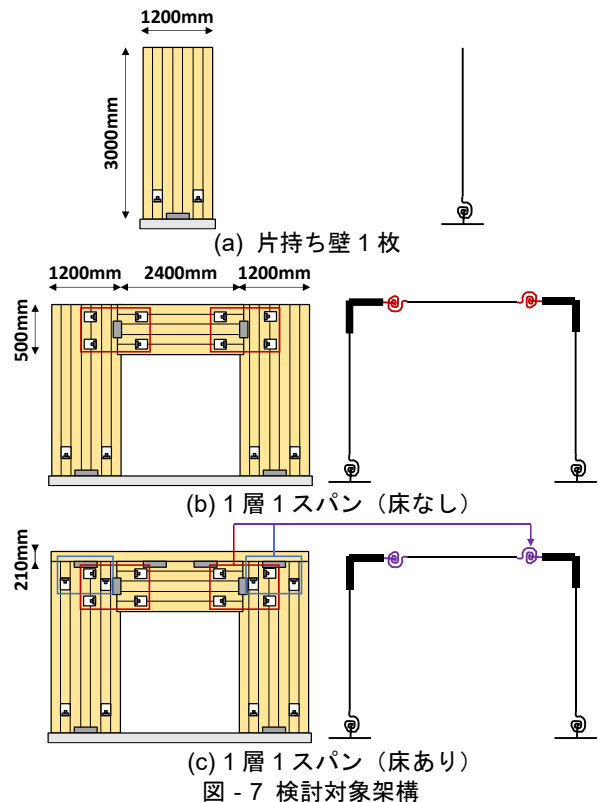


図-7 検討対象架構

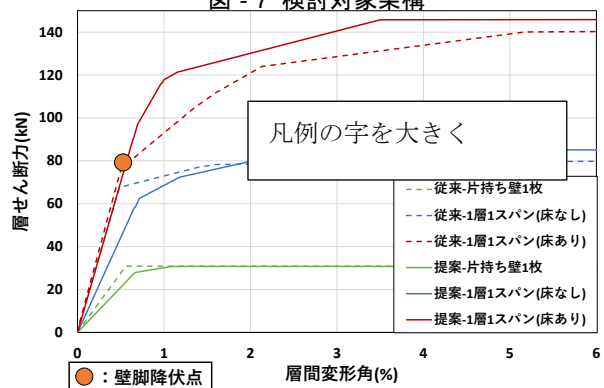


図-8 提案モデルと従来モデルの比較

### 4. まとめ

本稿のまとめと参考文献は本報その2に併せて示す。

\*1 東北大学大学院工学研究科 博士課程前期

\*2 東北大学大学院工学研究科 教授 博士(工学)

\*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Tohoku Univ.

\*2 Professor, Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Ph.D.