

「中大規模木造建築における接合部モデルを考える」

—半剛接合による接合部設計のすすめ—

森と木のクリエイター科 木造建築専攻 増岡 卓弥

1. 研究背景と目的

昨今、従来ならば鉄骨造やコンクリート造で建築する中大規模の建築物を木造でつくる動きが活性になっている。さらに 2025 年 4 月の「建築基準法の改正」で、木造の建築確認時の構造審査が厳格化されたことから、これまで以上に構造設計の必要性が高まっており、構造設計者はより効率的な設計が求められる。そして、構造設計のポイントとなるのは「接合部」である。なぜなら接合部は、地震や暴風などの外力を受けると、応力が集中する箇所であり、建物全体でみると構造上の弱点となるからである。とりわけ大きな建築物は、柱の少ない広い空間と間口を求められる一方、風を受ける面積や建物重量は大きくなることで、接合部の負荷が増すことから、接合部設計の難易度は高くなる。

そこで本研究は、中大規模木造の構造設計を「より高い安全性」でかつ「効率良く」できることを目指して、『半剛接合モデル』による接合部設計と構造計算をすすめることを目的とする。

2. 木造の接合部の特性と接合部モデルの種類

強固な接合部にするには部材同士を一体化させたいが、木造では仕口や継手を金物や接合具(釘、木栓、ボルト、ピンなど)を駆使して接合することから完全な一体化はできず、鉄骨造や鉄筋コンクリート造と比べると「変形しやすく、耐力も低い」接合部となる。

構造設計の応力解析などで用いるために、力の伝達や変形の仕方を反映するモデル化では、接合部は 3 つのモデルが存在する。①「剛接合」＝部材同士の動きを完全に拘束したモデル。②「ピン接合」＝部材同士の回転が自由なモデル。③「半剛接合」＝部材同士の回転が自由かつ軸方向の変位もするモデル。木造の接合部は③「半剛接合」に近いとされている。これは木材が鋼やコンクリートより柔らかく、木の軸組みを金物や接合具でしっかり固定したつもりでも、接合部に力が加わると部材同士や接合具でめり込みを生じ、部材の隙間や金物の変形も相まって、回転のみならず軸方向(部材が抜ける方向)の変位が生じるからである。

3. 実務上の接合部設計の現状と研究の目標設定

中大規模木造を得意とする構造設計事務所 2 社に、実務における接合部モデルの考え方をヒアリングした。両社とも通常は「半剛接合モデル」ではなく「ピン接合モデル」で解析するとの回答だった。両社の理由を

整理すると 2 つある。① 半剛接合モデルを実際の案件にどのように反映するべきなのか判断としない。② 半剛接合モデルに必要な接合部の剛性値を算出するのに計算が煩雑で工数がかかる。

そこで本研究の目標設定は次の 2 つとする。

① 実例の架構で 3 つの接合部モデルで応力解析し、その結果を比較することで、木造における半剛接合モデルの有用性を明らかにする。② 接合部の剛性値算出を容易にできる計算シートを作成して、半剛接合モデルによる構造計算の省力化を図る。

4. 半剛接合モデルの有用性

前述の 3 つの接合部モデルで応力解析し、木造における半剛接合モデルの有用性を示す。題材は、木造倉庫(CLT パネル工法)の小屋組みを構成する全長 12m の在来軸組みトラスである(図 4-1)。

解析に必要な入力条件を以下に示す(表 4-1)。なお、小屋組みトラスに鉛直荷重がかかる場合を想定する。

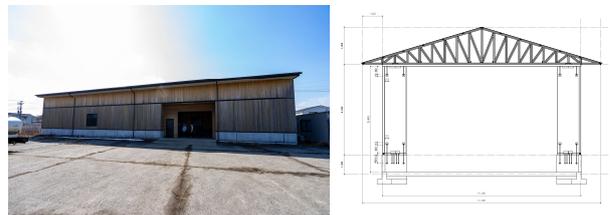


図 4-1：解析対象の倉庫の外観図と断面図

表 4-1：入力条件一覧

部材断面	38×140 [mm ²]		
部材ヤング率	9600 [N/mm ²]		
節点荷重 (鉛直方向)	下限材各接点(17節点)	84.43 [N]	
	上限材各接点(17節点)	161.06 [N]	
接合部効率(接合部剛性)	軸方向 (X Y Z)	回転方向 (rX rY rZ)	
剛接合	1.0 1.0 1.0	1.0 1.0 1.0	
ピン接合	1.0 1.0 1.0	1.0 0 0	
半剛接合	0.05 1.0 1.0	1.0 0.05 0.05	

※ 接合部効率は 0～1.0 で各部材の軸方向および回転方向で指定

【解析結果】

3 つの接合部モデルによる変位量の違いを示す(図 4-2)。半剛接合モデルは他の 2 つの接合部モデルより 270% 程度大きい変位となった。これは、半剛接合モデルは、接合部各所で部材の X 軸方向の変位(部材が抜ける方向の変位)が生じることから、他の接合部モデルより変位量が大きくなるからである。通常、このような解析を部材や接手法等を何度も見直ししながら、建物の安全性を高めていくため、半剛接合モデルは、安全側で設計する上で有用であることがいえる。

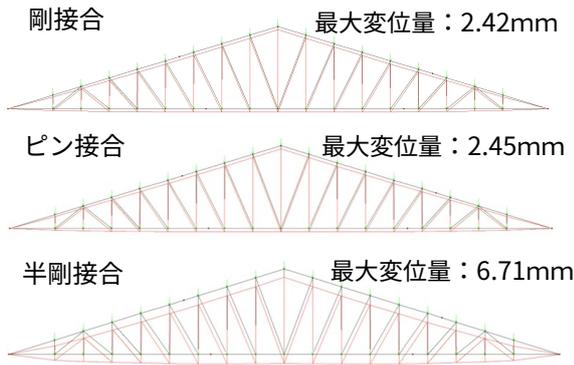


図 4-2：3つの接合部モデルによる変位図

5. 接合部剛性値計算シートの作成

工数のかかる煩雑な接合部の剛性値の計算が、エクセルで素早くできるように、中大規模木造建築で用いられる接合手法を中心に 6 種類の計算シートを作成した(図 5-1)。このシートは、学会等の書籍に記載されている理論式や実験式を基に作成しており、入力値は「部材の断面寸法および接合部の詳細寸法」、「部材の樹種および強度(ヤング率、基準強度)」であり、計算途中で設計者の裁量や判断を挟むことなく、接合部の剛性値(回転剛性、降伏モーメント、降伏変形角、終局モーメント等)を算出する。

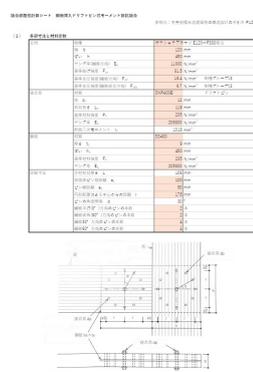


図 5-1: 接合部剛性値計算シートの一例

6. 接合部剛性値計算シートの利用検証

揖斐川木遊館サテライト施設の主架構の応力解析を題材に、作成した接合部剛性値計算シートの利用検証をする。この施設は本学が基本設計を担当しており、葉のかたちの小屋組みと劇場型の室内構成が特徴であり、それを支える主架構は 2 本の梁を 4 本の丸太柱とそれを支える樹状の方杖で支える構造としている。中央ホールを実現するために最大 8.14m のスパンを持つ。

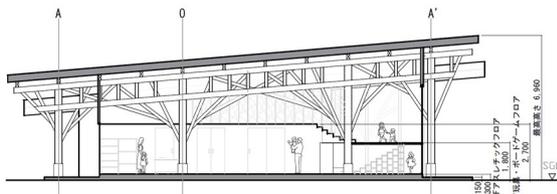


図 6-1：解析対象のサテライト施設の断面図

作成した計算シートを使って半剛接合モデルの各接合部の剛性値を算出した(表 6-1)。そして、材はヒノキ E110 相当、想定建物の荷重からこの架構が負担する鉛直荷重(243.76kN)と大地震を想定した水平力(225.148kN)を入力条件として応力解析する。

表 6-1：計算シートによる接合部剛性値

接合部箇所	接合手法	回転剛性 K_0 [kN・m/rad]	降伏モーメント M_0 [kN・m]	接合部効率 [%]
方杖(H=210)	鋼板挿入型ドリフトピン接合	421.29	4.75	10.7
方杖(H=180)	鋼板挿入型ドリフトピン接合	293.82	3.64	13.1
方杖(H=150)	鋼板挿入型ドリフトピン接合	237.99	3.28	20.7
柱・梁	引きボルト式接合部	275.32	4.98	28.4
柱脚	引きボルト式柱脚接合部	2520.33	27.87	16.7

【解析結果】

半剛接合モデルによる応力解析で得られた変位量を示す(図 6-2)。これは、ピン接合や剛接合に対して 250% 近く大きな変位だった。そして、手計算では半日以上はかかる接合部の剛性値の算出が、数分~数十分程度になり、省力化ができた。

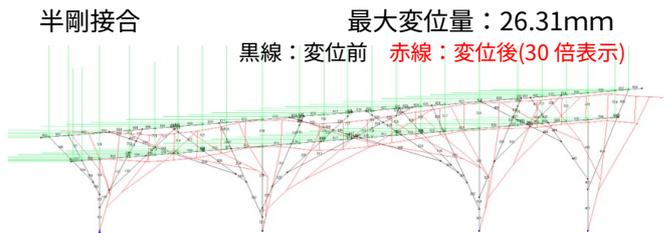


図 6-2：半剛接合モデルによる変位図

7. 計算値と実験値の比較

計算シートにより得られる値と公開されている実験値を比較した。引きボルト式柱梁接合を例にモーメントと変形角の関係で示す(図 7-1)。設計で用いる降伏点までの領域では、計算値と実験値は概ね同じ傾向であり、その後の終局点までの領域は、計算値のモーメントがやや高い傾向にある。したがって、この結果から、設計で計算値を使うことは有効であると考えられる。

一方で、計算シートのどの接合手法も、力学の理論式や実験式を用いているため、基本的な形状をしている。もし、立体トラスなどの複雑な接合部形状を計算したい場合は、力の伝達方法や寸法値等に留意して使用する必要がある。

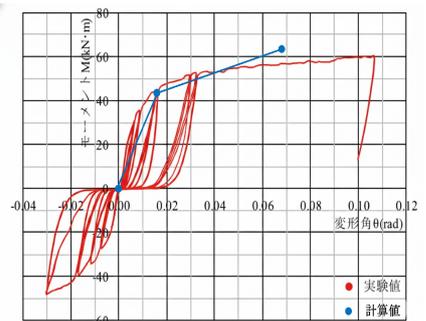


図 7-1：計算値と実験値の比較

8. 結論

まず、3つの接合部モデルによる変位量の比較から、半剛接合モデルが木造において有用であることを示した。次に、接合部剛性値計算シートを作成し、それを用いた半剛接合モデルによる構造計算では省力化ができることを示した。

そして、本研究のように半剛接合モデルによる接合部設計と構造計算を容易にする取り組みが、より安全な木造建築の広がりにつながると考える。