

オープンソースCAEを活用した木質合板釘接合の 接触解析に関する基礎的研究

Basic Study on Contact Analysis of Plywood Nail Joints

Using Open Source CAE Contact Analysis of Wood Plywood Nail Joints Using Open Source CAE.

柴田良一¹⁾

Ryoichi Shibata

1) 博(工) 岐阜工業高等専門学校 建築学科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236番2, E-mail: ryos@gifu-nct.ac.jp)

In this study, in order to clarify the mechanical characteristics of nail joints in wooden buildings, attention was paid to the nail pull-out phenomenon. While experimental methods have been used in the past, this study aims to verify the potential of numerical methods by using PrePoMax, an integrated analysis system based on the open-source structural analysis solver CalculiX.

Key Words : PrePoMax, Plywood, Nail Joints, Wood Structure, Contact Analysis

1. はじめに

木質構造住宅の耐震性能を向上する上で、近年では制振構造も取り入れられているが、一般には壁の配置を含めた壁量計算によって検討される耐震構造が大半を占めている。耐震構造で検討される耐力壁は、古くから木造建築に用いられている軸組部材に構造用合板を釘打ちして製作される面材張り耐力壁（以下、面材壁）が多く、耐震性能はその面材壁の性能に大きく影響を受けるとされている。既往研究として、松本ら¹⁾による有限要素法を用いた解析的研究や、須藤ら²⁾による面材壁の理論モデルと実験による壁の挙動を比較検討した研究などが挙げられる。このように、面材壁を対象とした研究はあるが、釘接合部の耐力劣化に着目した研究は少ない。

そこで本研究では、釘と木材の挙動に着目した数値解析的研究を試みた。すなわち、単調載荷による釘接合部の精密な挙動と耐力を数値解析の手法により検討した。本研究では、釘接合部の引き抜きやめり込みによる耐力劣化の現象を、数値解析によって再現することを目的としている。前述したように、木質構造住宅の耐震構造には構造用合板を貼り付けた面材壁が用いられており、軸組部材への固定（力の伝達）には釘が用いられている。したがって、地震時には釘接合部に作用する地震荷重により釘が変形して抜けることも予想され、せん断力の伝達や面材壁の耐力も減少すると考えられる。そこで構造用合板を釘接合で固定した条件で、木材の支圧めり込みや釘の塑性曲げ、および木材と釘の摩擦を考慮した数値解析の手法を確立し、釘接合部の単調載荷時の荷重変位関係を数値解析により分析することとした。具体的には、木材と合板の材料特性（木材のめり込み剛性）を共同研究者の山田が行った支圧試験結果から設定し、構造解析ツールPrePoMaxを用い、摩擦と接触を考慮した数値解析を行って釘の引き抜け現象の再現と荷重変形関係を検討した。

2. 研究手法

従来の木造建築の構造設計においては、軸組構造をトラスやラーメンなどにモデル化して、部材の応力や変形を評価するために骨組構造解析ツールを活用してきた。

しかし本研究では、木質構造での耐震性能確保を目指して、構造用合板を貼り付ける面材壁を対象としており、軸組部材への固定には釘が使用され、新しい解析手法が必要となる。この釘接合の引抜きやめり込みを考慮した、精密な数値解析を行うためには、3次元有限要素法による弾塑性接触解析が有効である。そこで本研究では、オープンソースCAEとして公開されている構造解析ツールPrePoMaxを用いて、精密数値解析を実現する。

今回用いるPrePoMax（図-1参照）では、有限要素法ソルバーとしてオープンソースCAEであるCalculiXが使用されている。オープンソースCAEはソースコードが公開されているため、解析の条件設定や処理内容などを、具体的に確認することが可能である。また、新しくソースコードを書き換えて機能を追加できるため、研究の進展に応じてより高度で複雑な条件に対応した解析ができると考えた。

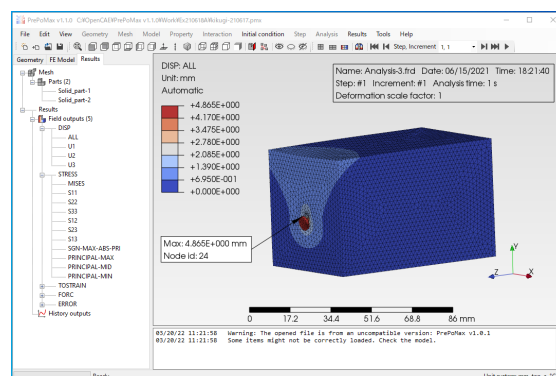


図-1 構造解析ツール PrePoMax

3. 合板ありのモデルでの解析

(1) 概要

これまでの解析結果を踏まえて、合板を考慮した解析モデルを用いて解析を行った。すなわち、合板にせん断力を与え、引き抜きやめり込みを考慮した精密な数値解析を行った。なお、各部材は弾塑性体として設定した。また、解析結果は共同研究者である山田の行った合板釘接合の単調載荷試験の結果とばねモデルを用いた解析の結果と比較検討した。

(2) 解析モデル

合板は $50 \times 50 \times 10$ (mm)、木材は $50 \times 50 \times 40$ (mm)、 $\phi 3$ mm (頭部は $\phi 6$ mm) 長さ47.5mm (N50釘で先端の長さを考慮しない) として解析モデル (図-2 参照) を作成した。

(3) 解析条件

図-3に解析条件を示す。境界条件は木材の右端部のX-Z面を固定、赤色で示した接触条件は釘と木材および合板の接触面の摩擦係数とし0.1を設定した。外力は左側に固定した合板の下面を強制変位とし、Z方向に-1mmから1mmずつ-6mmまでとした。

(4) 解析結果

強制変位1mmでの変形の様子を図-4に、6mmの際の変形の様子を図-5に示す。図-4からは、釘の引き抜けはなく、合板が下方方向に移動し、木材を押し付けるように変形しているのが分かる。一方、図-5からは、釘の引き抜けを伴って変形しているため、合板も釘の引き抜けと同じ方向に倒れながら下方方向に変形しているのが分かる。これらの変形の仕方の違いが釘接合部の耐力の減少に影響を及ぼすものと考えられる。

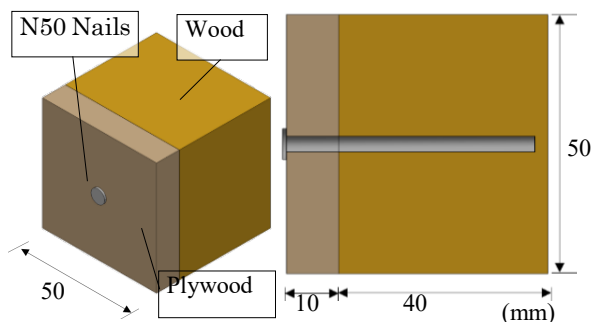


図-2 合板ありの解析モデル

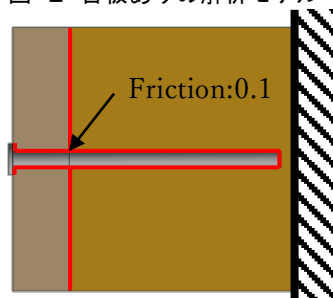


図-3 合板ありの解析条件

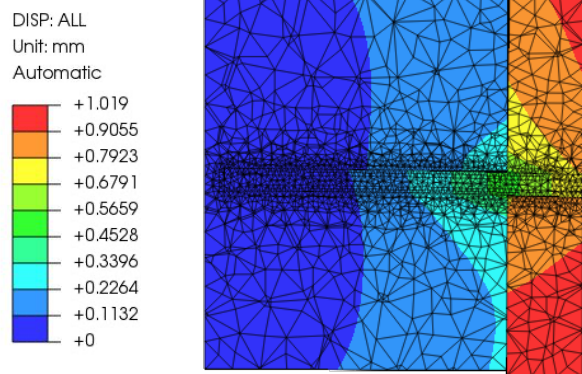


図-4 強制変位 1 mm の変形状態

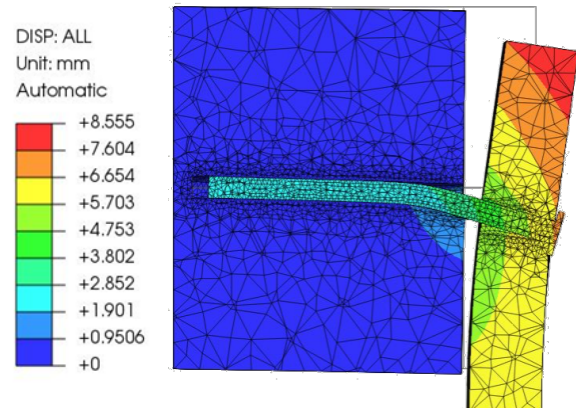


図-5 強制変位 6 mm の変形状態

4. まとめ

本研究では、木材の支圧めり込みや釘の塑性曲げ、および木材と釘の摩擦を考慮した数値解析の手法を確立し、釘接合部の単調載荷時の荷重変位関係を数値解析によって再現することを目的とした。構造解析ツールPrePoMaxによる数値解析を通して、以下の知見を得た。

- 1) 釘接合部の引き抜きやめり込みによる引き抜け現象は、摩擦と接触を考慮した数値解析によって再現できる。
- 2) 合板ありのモデルを用いた釘接合部の解析結果から、大きな力が合板に作用すると釘の引き抜けを伴って変形することが確認された。

参考文献

- 1) 松本慎也、村上雅英、稲山正弘、藤谷義信：木質構造物における面材壁の解析モデルに関する研究、日本建築学会構造系論文集、第72巻、第617号、pp.103-110、2007.7
- 2) 須藤竜大朗、河原大、落合陽、青木謙治、稲山正弘：木造面材張り耐力壁における釘接合部性能の詳細検討 小試験体と実壁の挙動の比較、日本建築学会構造系論文集第86巻 第784号、pp945-956、2021.6

謝辞： 本研究の展開は、共同研究者の山田耕司氏（豊田高専建築学科）・夏目妃那子氏（岐阜高専専攻科）のご協力を頂いたことに感謝いたします。