

木造住宅の耐震性能の見える化 —CAD 情報と構造解析のデータ連携—

中川 貴文

現在、新築されている戸建木造住宅の多くがプレカット加工（後述）を利用して生産されている。木造住宅の耐震性能を評価するためには、軸組の情報や、接合部に関する設計情報が必要であるが、プレカット加工用 CAD データにはこれらの情報が三次元情報として作成されており、構造解析との親和性は極めて高い。現在 2 階建て木造住宅では壁量計算（建築基準法で規定されている最低限の計算法：壁の最低長さを規定）のみが求められているが、プレカット加工の際の三次元情報を構造設計に活かすことができれば、合理的により構造安全性の高い木造住宅の生産が可能となる。ここでは木造住宅用 CAD 情報に着目し、構造性能評価と連携する手法の検討を行った研究内容について紹介する。

キーワード：木造住宅、地震応答解析、プレカット、可視化

1. はじめに

現在、新築されている戸建木造住宅の 85% が軸組構法であり、そのうちの 90% がプレカット（あらかじめ工場で木材を加工して、現場で短期間に組み上げることを）を利用して生産されている（図 1）。プレカット加工は三次元 CAD・CAM を用いた全自動機械加工が主流となっている。木造住宅の構造性能を評価するためには、軸組（柱・梁などの木材）の情報や、接合部（金物）に関する設計情報が必要であるが、プレカット加工用 CAD データには上記情報が三次元情報として作成されており、構造計算や応力解析（各部材にかかる力を計算する方法）との親和性は極めて高い。構造部材に関して、三次元 CAD による詳細な情報がわが国の大半の木造住宅の生産において作成されていることは、ほかの国や、ほかの構造種別（鉄骨造、鉄筋コンクリート造など）による建築物と比べてみても特殊な状況といえる。

現在 2 階建て木造住宅では、新築時の構造性能確認として壁量計算のみが求められているが、住宅生産時に作成される三次元 CAD 情報を活用すれば、すぐにも詳細な構造計算を行える状況にある。しかし、毎年数十万戸分作成されている三次元 CAD 情報は、構造性能評価に活用されることなく、プレカット工場で死蔵されているのが現状である。図 2 に木造住宅の設計・生産の標準的な流れを示したが、現状では、意匠

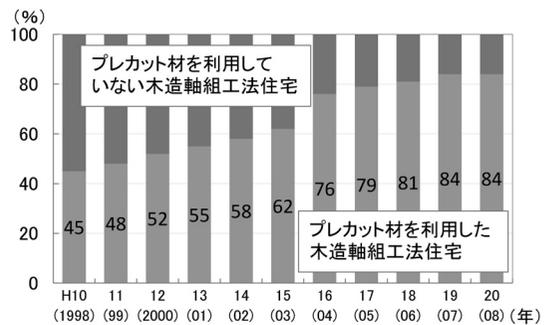


図 1 プレカット材を利用した木造軸組構法住宅の割合（資料：全国木造住宅機曾プレカット協会）

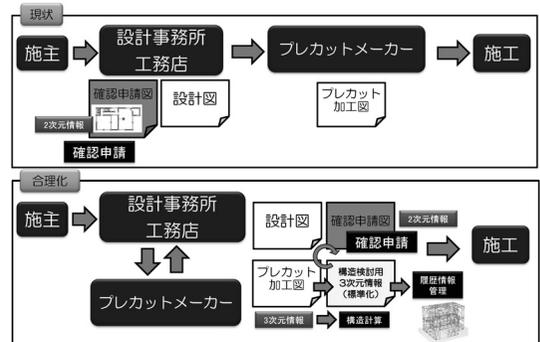


図 2 木造住宅の設計・生産の現状と合理化イメージ

設計の段階で確認申請が行われ、その後にプレカット加工に入り初めて軸組の架構などの構造に関する検討が行われることが一般的である。この流れを変えてプレカット加工の際の三次元情報を構造設計に活かすことができれば、合理的により構造安全性の高い木造住宅の生産が可能となる。

なかがわ たかふみ
京大生存在園研究所
〒 611-0011 京都府宇治市五ヶヶ田
nakagawa@rish.kyoto-u.ac.jp

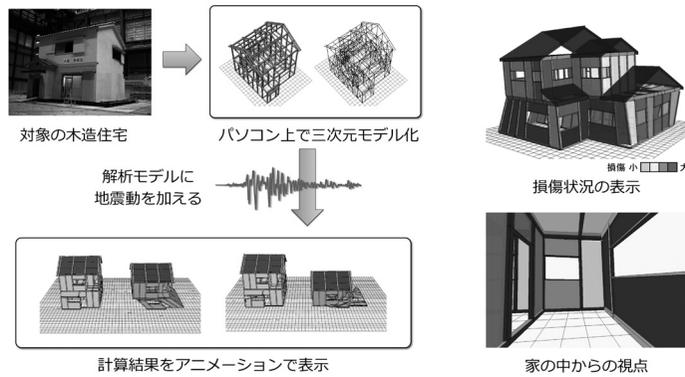


図3 wallstat の概要

ここでは、木造住宅用 CAD の構造図やプレカット加工の際に作成される三次元 CAD 情報に着目し、構造性能評価と連携する手法の検討を行った研究内容について紹介する。三次元 CAD 情報として研究対象としたのは、後述する CEDXM (シーデクセマ) と呼ばれるファイルフォーマットであり、これを木造住宅用の構造解析ソフトウェア (wallstat : ウォールスタット) と連携させることを試みた。

2. CEDXM (シーデクセマ) とは

CEDXM とは、木造軸組構法住宅に関する建築意匠 CAD とプレカット生産 CAD のデータ連携を目的として構築された標準的なファイルフォーマットである [1]。木造住宅用の CAD には、意匠設計図作成用の CAD、構造図作成用の CAD、プレカット加工図作成用の CAD などがあるが、三次元情報として作成されることが標準的であり、それらの CAD の情報の橋渡しをするのが CEDXM ファイルフォーマットである。三次元情報の中には、プレカット加工の際に必要な下記の情報が含まれている。

①軸組 (木材) の架構の情報

木造住宅を構成する軸組の両端部の三次元座標、寸法 (幅・高さ)、端部の加工形状など

②接合部の情報

軸組と軸組を繋ぐ継手・仕口の接合部の仕様、金物の種類、三次元座標など

③壁の情報

筋かいや合板釘打ち耐力壁や、内装材・外装材の壁の仕様、三次元座標など

④水平構面の情報

床、小屋組などの水平構面の仕様、面積、三次元座標など

これらの情報は許容応力度計算¹などの構造計算を行

うために必要な情報であり、実際に木造住宅用 CAD ソフトウェアの中には構造図を作成するだけでなく、許容応力度計算を行う機能をもつものも多い。CEDXM は①～④の情報をファイルとして作成する際の標準フォーマットであり、CEDXM に従ってファイル出力を行うことでさまざまな CAD と連携することができる。

NPO 法人シーデクセマ評議会では標準ファイルフォーマットとして維持管理と更新、さらなる開発および普及などを目的として活動をしている。長期優良住宅 (耐久性などの一定の要求水準を満たす住宅への補助金制度) の重要事項である「構造の安定」および住宅履歴書の保存が求められているが、CEDXM ファイルを長期優良住宅の履歴情報の保存などに活用することも可能となる。

3. 地震倒壊解析ソフトウェア wallstat

本研究で構造性能評価手法として用いたソフトウェアは、筆者が開発した木造住宅用の倒壊解析ソフトウェア (wallstat) である。2010 年 12 月よりインターネット上で公開を開始し、下記 URL から無償でダウンロードすることができる。

ダウンロード URL:

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/~nakagawa/>

(短縮 URL:<http://bit.ly/wallstat4>)

※ Google などで「wallstat」を検索

wallstat は木造住宅の建物全体の地震時の損傷状況や倒壊過程をシミュレートする数値解析プログラムであり、パソコン上で建物を立体骨組によりモデル化し、振動台実験のように地震動を与えて (時刻歴応答解析)、計算結果を動画で確認することができる (図 3)。従来

¹ 建物の各部材に生じる応力が材料がもつ許容値を超えないかチェックする計算方法。

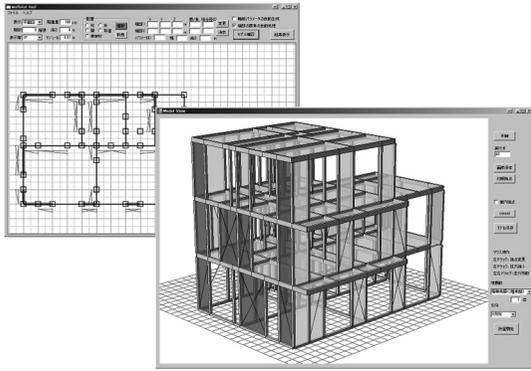


図4 wallstat の操作画面

の解析ソフトウェアでは建物が倒壊するまでを追跡することは困難であったが、wallstat では非連続体解析手法である「個別要素法」を基本理論とすることで木造住宅が地震時に損傷し、完全に倒壊するまでをシミュレーションすることが可能となった。多くの実大木造住宅の振動台実験との比較・検証により解析結果の精度が確認されている。

メディアなどで紹介されたこともあり、公開開始から現在（2018年7月）まで、ソフトウェアのダウンロード数は21,000回以上、YouTubeの動画の再生回数は50,000回以上に達している。wallstatは図4に示したようなWindowsのGUIを備えており、画面を見ながら木造住宅の解析モデルを作成し、変形の大きさ、損傷状況、倒壊の有無などの解析結果をアニメーションによって確認することができる。数値解析の専門知識がなくても実際に目で見て地震時の木造住宅の応答挙動や、耐震性能を確認できるため、大学生や構造設計者の教育用ツールとしても使われている。

図5は振動台実験に用いられた実大木造住宅の解析モデルの一例であるが、一般的な木造住宅を立体骨組で表現する場合、解析モデルでは構造躯体となる骨組（木材）1本1本をモデル化し、その中に耐震要素となる壁のパネや、骨組を連結する接合部のパネをモデル化する。壁や接合部のパネの強さは実験の結果や文献のデータから決定して設定する（木造住宅のモデル化については文献[2]参照）。

図6はwallstatによる解析結果と振動台実験の倒壊過程を比較した動画のスナップショットである。振動台実験は同じ平面・立面プランで接合部の設計方法のみが異なる試験体の性能比較のために実施された。試験体の接合部が引き抜けて破壊する過程や、1階が層崩壊する倒壊過程が精度よく再現されているのがわかる。そのほか、図7に示したように地震被害を受けた

表1 wallstat と CEDXM の連携のレベル

モデル化する項目	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4
軸組	○	○	○	○
筋かい耐力壁	○	○	○	○
筋かい以外の耐力壁	×	○	○	○
開口部（小壁のモデル化）	×	×	○	○
接合部の変形	×	×	×	○
水平構面の変形	×	×	×	○

社寺建築の再現解析や6階建の中層木造建築物の構造検討などに活用されている。

4. wallstat と CEDXM の連携

プレカットの際に作成される三次元CAD情報は、構造解析モデルとの親和性が高いということは、プレカット材を用いて生産される木造住宅すべてが高度な三次元構造解析を行える状況にあることとなる。本研究ではプレカットの際の三次元情報を活用した木造住宅の耐震性能評価（構造計算）が広く普及することを目指して、CEDXM ファイルを介して wallstat で木造住宅の三次元CAD情報を読み込み、自動で耐震シミュレーションを行うことができる連携手法の検討を行った。実際の検討作業としては2013年度からシーデクセマ評議会の開発委員会において、連携に向けた情報の整理や、ソフトウェア開発を行った。

wallstat は解析モデル作成の際に、テキスト入力で軸組や構面の端部の3次元座標を入力する必要があり、木造住宅1棟分の主要構造部材や耐震要素をすべて入力すると、1日がかりの作業となり、ユーザーの負担となっていた。CEDXM と連携して、三次元座標を自動で解析モデルに変換できれば、この負担が大きく軽減されることになる。

CEDXM はXML ファイル形式が採用されており、木造住宅を構成する柱・梁などの軸組の端部の3次元座標、断面寸法、樹種、ヤング係数などがテキスト情報として、保存されている。2000年の開発開始からバージョンアップを継続し、現在バージョン8が最新である。木造住宅用CADやプレカットCADで普及しているのはバージョン4であるが、各CADソフトによってCEDXMファイルで出力する際の軸組などの情報の精密さ（解像度）が異なるところがあり、また、wallstat で解析モデル作成の際に必要なとされる情報についても、CADソフトで異なるところがあった。

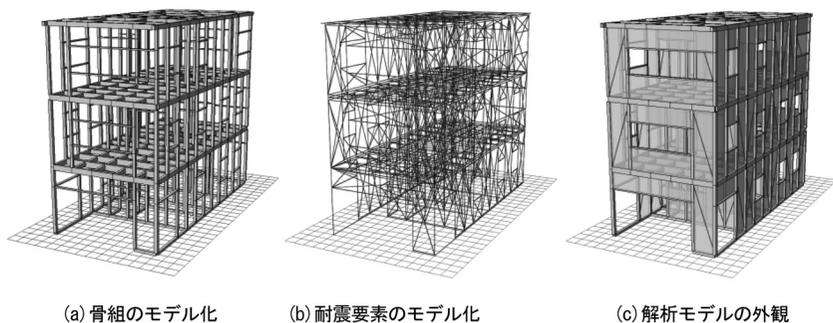


図 5 三次元骨組による解析モデル

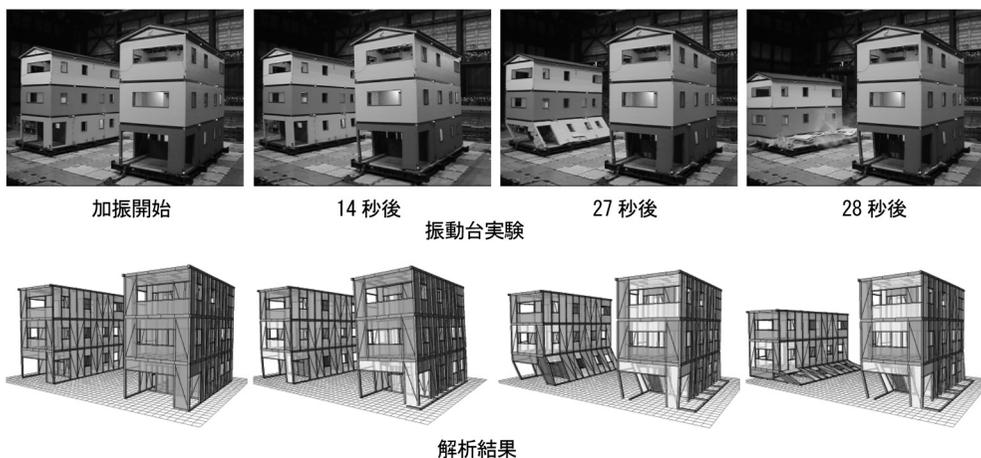


図 6 振動台実験の応答解析

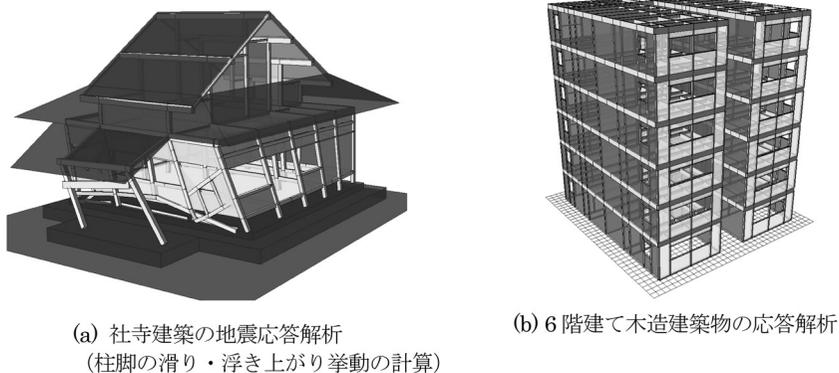


図 7 wallstat の解析例

そこで、表 1 に示したとおり、情報の解像度に応じて、両者の連携により自動でモデル化される項目のレベル分けを行った。レベル 1 では軸組・筋かい耐力壁は自動でモデル化されるが、ほかの情報は解析モデルに反映することはできない。接合部や水平構面の情報は反映されないため変形しないものとして解析を行うこと

となる。レベル 2 では筋かい耐力壁以外の鉛直構面もモデル化され、レベル 3 になると、開口部や小壁、レベル 4 になると、接合部や水平構面についても解析モデルに反映されることになる。

連携に関する検討でわかったこととして、レベル 1～2 までは標準的な木造住宅用 CAD やプレカット CAD

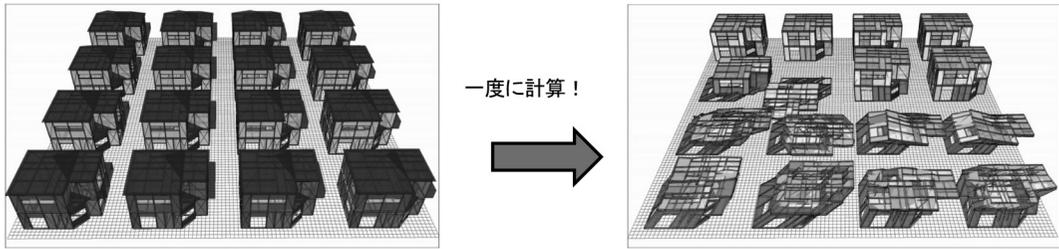


図8 強さの異なる木造住宅のパラメトリック・スタディ

から出力される CEDXM ファイルで連携可能であり、レベル 3~4 となると、出力する CAD ソフト側で、wallstat で必要となる情報の解像度向上が必要となる。各連携レベルに対応する建物を考えてみると、レベル 1~2 は新築の壁量計算を想定した木造住宅（接合部は変形しない。水平構面は剛床と仮定する。）であり、レベル 3~4 は性能表示制度や耐震診断を想定した既存、新築木造住宅（接合部、水平構面の構造検討も必要）を対象にしているといえる。

5. 検討結果（連携機能の実装）

前節の連携に向けた検討結果を反映して、CEDXM ファイルを直接読み込む機能を実装したバージョン wallstat ver.3 を 2015 年 6 月からインターネットで公開を開始した。各種 CAD ソフトから出力された CEDXM ファイルから、簡単な操作で解析モデルを作成し、地震応答シミュレーションを実行することが可能となった。また新たに開発したプリ・ポスト処理を行う GUI インターフェース (wallstat studio) により、鉛直構面、水平構面、接合部などの手直しを簡単に行うことが可能となった。

ver.3 のアップデートでは上記の三次元 CAD データとの連携のほか、さまざまな地震動を自動で連続入力したり、図 8 に示したように建物の強さを自動で変化させ、地震応答シミュレーションを連続実行する機能（パラメトリック・スタディ用ツール）の追加や、解析モデルショーケース（さまざまな建築物の解析モデルのサンプル）の公開も開始された。

また、2018 年 7 月に公開した wallstat ver.4 では CEDXM 連携をさらに強化し、水平構面や接合部の入

力が自動化され、レベル 4 に近い連携が可能となった。そのほかにも制振装置のモデル化機能や、構造設計支援機能も追加された。

6. おわりに

埼玉県のある住宅会社では新たに建設する全棟の木造住宅をこのデータ連携機能を用いて wallstat で応答解析をし、安全性能検証を行った結果（耐震シミュレーションの動画）を顧客にプレゼンテーションする取り組みを行っている。顧客は動画から直感的に建設予定の建物の耐震性を知ることができる。耐震等級や構造計算などの基準の要求する耐震性の水準に対するチェックだけでなく、過去に起きた地震や、今後起こりうる想定極大地震に対しても耐震性を目でみて確認することができる。まさに「耐震性能の見える化」といえる。このような住宅会社の取り組みは徐々に日本各地で広がりつつある。今回のバージョンアップによるデータ連携強化により研究分野だけでなく、実務での活用がより広がることが想定される。

本研究による成果は、前述の URL から無償でダウンロード可能であり、動画などは YouTube で公開されている（YouTube で「wallstat」を検索）。今後もユーザーや開発者の意見を反映させて改良を続けていきたい。

参考文献

- [1] シーデクセマ評議会ホームページ, <http://www.cedxm.com/> (2018 年 8 月 1 日閲覧)
- [2] 日本建築学会, 『木質構造基礎理論』, 第 12 章, 第 15 章, 2011.