

機械系 3DCAD システムの住宅設計への適用性に関する検証

釧路工業高等専門学校専攻科 ○鳥本 達郎, 釧路工業高等専門学校 高橋 剛, 荒井 誠

要 旨

本研究では、実験ラボとして建設した北方型住宅を機械系統合型 CAD(Pro/ENGINEER)でモデル化し、これに付随している汎用構造解析コード MECHANICA で固有振動数や周波数応答を求め、この建築物の振動性状を明らかにした。更に、実際に起振機を設置し動的耐震性能試験を実施し、その実測結果と解析結果を比較検証すると共に機械系 CAD の建築分野への適応性を評価した。

1. 目的

今日、建築分野で用いられる CAD システムは、その設計プロセスや構造的特徴を背景に 2D をベースに 3D 化したもの^{例えば 1)}が多く、製品特性が美的感性に因る要素も多いため色彩やレンダリングと言った視覚機能が豊富である。対して機械系 CAD は、扱う機械部品が鋳物などの肉厚部品が多いので、当初からソリッドありきの 3D で開発が進められた。更に最近では CAD に関連する CAE, CAM や DB 機能もバンドルされた統合化システムが主流になっている。また、システムだけではなく、CAE 技術は自動車をはじめ機械系産業を中心に発展を遂げ、異種要素混合のモデル化や材料構成式など多くの解析ノウハウが蓄積された。これらの解析ノウハウの機械分野以外への水平展開も今後大いに期待されている。

本研究では、CAE, CAM を備えた機械系統合化 CAD(製品名 Pro/Engineer²⁾)を用い、わが国の住宅建築の大半を占める木造建築を対象に動的応答解析を実施し、機械系 CAD の建築分野への適応性について評価する。この中で、実用性を意識した簡易的な解析手法の検討も併せて行う。

対象とする建築物³⁾の外観写真を Fig.1 に示す。これは、本校学生が専門家の指導のもと、実験ラボとして設計・建設した北方型木造建築住宅(以後、当該木造住宅と呼ぶ)である。

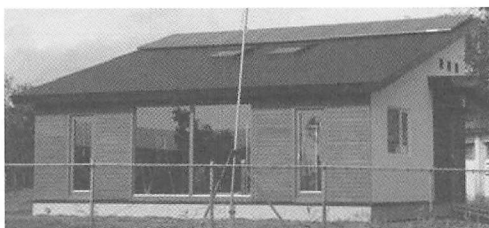


Fig.1 実験ラボ(北方型木造住宅)の外観

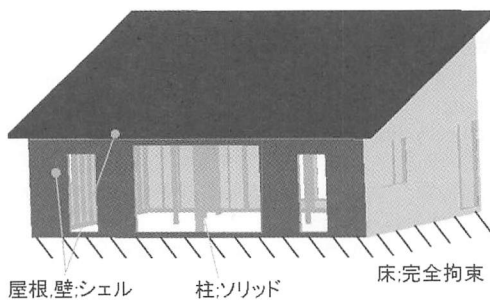


Fig.2 木造住宅の CAD モデルの外観

2. 振動固有値解析

2・1 モデル化

振動固有値解析を行うための CAD モデルの外観を Fig.2 に示す。構成部材である梁や柱の接合部は、例えば Fig.3 に示すような木造特有の仕口や継手形状⁴⁾を持つ。これらの接合状態も含め忠実にモデル化するためにソリッド要素を用いた。それ以外の薄肉簡易形状部材である壁や屋根はシェル要素でモデル化した。なお、本解析では、実用化を重視するため計算時間の短縮を目的に、仕口や継手部の接触は固着条件とした。同様に、木材に使われている杉の機械的特性については、異方性を考慮せず繊維方向の特性値(密度 0.4g/cm^3 , ポアソン比 0.4, ヤング率 7500MPa)を用いて等方性とした。住宅の底面には完全拘束を与えた。

解析に用いる汎用構造解析コード MECHANICA は CAD(Pro/Engineer)にバンドルされているため CAD データに直接境界条件を与えるだけで良く、ユーザーは有限要素を全く意識せずに行うことができる。また、このコードは P 法を用いたため、構造規模のわりに全要素数は高々 54665 と少ない。

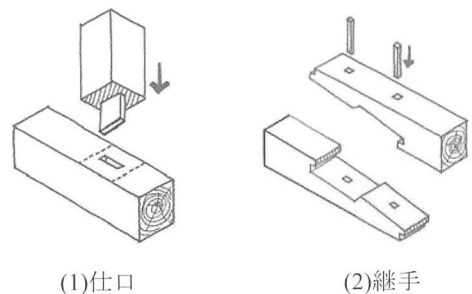


Fig.3 木造部材結合の例

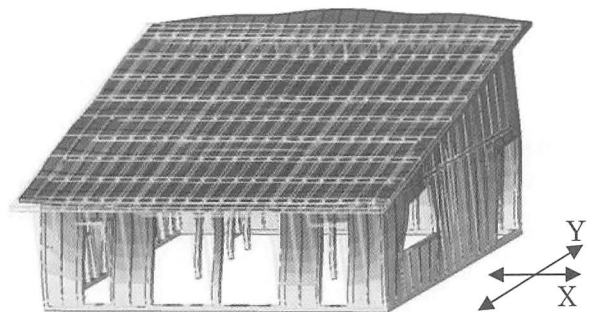


Fig.4 固有値解析結果の例(1次モード図)

2・2 計算結果

モード 2 個までの固有値解析を行った結果、1 次固有値は Fig.4 のように主として Y 方向に揺れるモードで 29.3Hz、2 次は主として X 方向に揺れるモードで 31.7Hz となった。いずれの値も一般的な木造住宅のそれよりも数倍高い値となった。

3. 実験結果を用いた解析手法の検討

3・1 動的耐震性評価試験及び固有値解析との比較

当該住宅を対象に動的耐震性評価試験を実施した。Fig.5 は床から 2.7m の高さにあるロフト位置の平面図であり、同じ面上にある起振機と加速度ピックアップ 3 箇所を示している。加振方向は Y 方向と X 方向であり、共に起振周波数を 20Hz から 2Hz へと加速度一定を維持しつつ連続的に変化させ、加振方向と同じ方向成分の加速度を測定する。

Fig.6 に Y 方向加振の実測結果を示す。10.0Hz に共振ピークがあり、応答量を比較すると Y 方向を向いた壁付近にあるピックアップ番号 1,3 が小さいことが分かる。なお、図を割愛するが、X 方向加振の場合は 10.8Hz に共振ピークがあり、3.固有値解析結果のモード図と比較すると実測値 10.0Hz と解析値 29.3Hz が対応し、実測値 10.9Hz と解析値 31.7Hz が対応していることが分かった。この比は、1 次モードが 2.93 倍、2 次モードが 2.92 倍であり、ほぼ同じと言える。この違いを生む要因としては、2.1 モデル化で述べたように部材接合部の接触条件にガタや隙の無い“固着”を設定していること、更に材料異方性を考慮せず、最も強い繊維方向特性を用いていること、床に完全拘束条件を用いていることが挙げられる。

3・2 モーダル周波数応答解析

上述の動的試験をモーダル周波数応答解析により再現

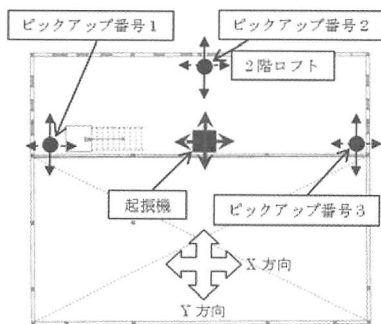


Fig.5 起振機と測定器の設置位置

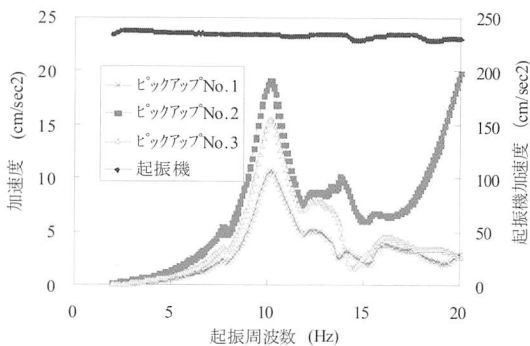


Fig.6 実測結果(Y方向加振, Y方向測定)

する。その際、上述したように解析結果が実測結果よりも高くなる理由が明らかになっていることから、本研究ではヤング率を調整して用いることにする。考え方は固有振動数が $\omega = \sqrt{k/m}$ (k は剛性、 m は質量) で表現されることから、1 次固有値が実測に一致するようにヤング率を 1/9 に補正した値 873.627MPa を用いる。構造減衰係数は 0.1 とした。その結果、Fig.7 のように解析値と実測値はほぼ等しくなることを確認できた。

Y 方向加振のモーダル周波数応答解析による加速度応答値の比較を示したものが Fig.8 である。結果、ピックアップの位置ごとの値が絶対的にもよく一致していることが分かる。

また、解析に用いた PC は、CPU クロック数が 3GHz、メモリー 2GHz の一般的な OA 仕様のもので、CPU タイムを含む経過時間が約 2.5 時間強と長く、十分実用的な手段であると言える。

4. 結論

- 1) 機械系統化 CAD でも、2・1 で述べたモデル化で十分対応可能である。
- 2) 計算時間を短縮するために、部材結合部の接触条件を最も簡便な固着にし、かつ異方性を無視し等方性として扱った。このことによる実測結果との違いを解消するためにこれも最も簡単なヤング率補正で対応した。その結果、この方法で実現象を十分再現できることが分かり、有効な手段であることも確認できた。

参考文献

- 1) Vector works; 米国メテック社や AutoCAD; オートデスク社
- 2) PTC (Parametric Technology Corporation)
- 3) 平成 19 年度文科省採択「産学連携による実践型人材育成事業; 北方型住宅建設を介した地域連携によるトータルマネジメント能力育成プログラム
- 4) 尾上孝一：図解・木造建築入門、井上書院、(2001)

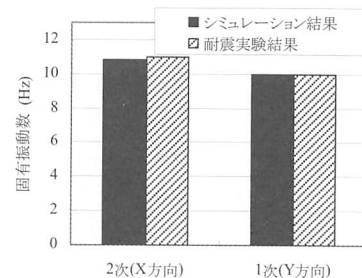


Fig.7 ヤング率補正後の固有振動数の比較

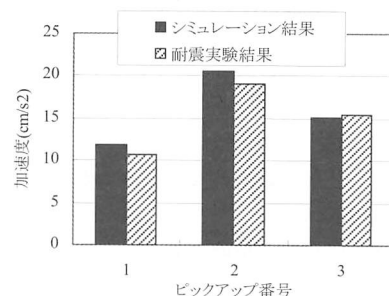


Fig.8 ヤング率補正後の加速度の比較(Y方向)