

視覚を利用した建築構造教育について

弾塑性力学モデルを用いた木造軸組構造の耐震強度

金子 雄太郎

Presentation of Structural Analysis Model and its behaviors for educational purpose
By Yutaro KANEKO

1. はじめに

住居学科における教育目的の一つとして、“住まうこと”を学び、良好な住環境を創造するとともに、そのアイデアを他者に伝える方法を取得することがあげられる。これは、“建築”を学ぶことと共通であり、デザイン意図の伝達とともに、住環境の安全についての配慮を表現することは、基本的な項目の一つである^{*1}。

住環境の安全について考えることは、家庭の問題、社会に関わる問題を含め、多様であるが、そのうちの一つが住宅の強度に関するものであり、そのための科目として建築構造、構造力学が置かれている。

“建築学”も同様であるが、“住居学”も、生活について学ぶことを主たる目的とする以上、感性を育むことが大切であり、その意味では理数系学問とは別物と考えると間違いないのであるが、一方で、感性を育む手段の一つとして造形物の安定性を理解することが必要であり、そのための勉強において、所謂‘理数系’と称される思考過程を要することも事実である。

住居学科のカリキュラムにおいて、建築構造にかんする分野は、環境、材料の分野とあわせ、工学的学問すなわち、理数系学問であり、学生にとって、多大の労力が必要とされる部分であるが、工学部における勉強の目的、すなわち、工学的知識の修得を主たる目的とする場合と異なり、デザ

インの勉強の基礎として構造に関する学問を考えると、通常考えられる構造力学、建築構造学のカリキュラムには多くの矛盾が含まれる。

その一つは、物理現象を視覚的に理解することと、物理・数学に基づいて数式によって理解することについて、隔たりがあることである。

一本の棒に力を加えて破損しようとする時、現象そのものを理解することは容易である。一方、棒の一端を固定し、他端に力を加える状況を論理的に考えることは、上記の物理現象を掌握するほど容易ではない。構造力学の講義では、このような状態に置かれた棒を片持ち梁と称し、固定端には、曲げモーメントを生ずること、その曲げモーメントによって、棒が折れるという過程を説明する。物理現象を数学に置き換えて説明する事は、工学的には大きな意義を有することであり、この種の訓練によって、工学分野の使徒として成長することが期待されるわけであるが、デザイン教育を目的とした場合、物理現象を理解することが出来るなら、必ずしも、“理・数”の教育プロセスに拘る必要はない。

本報告は、パソコンソフトである“有限要素法応力・変位解析プログラム”を構造教育に取り込むことを試行した例と、その効果について述べるものであるが、このプログラムは、力と、その力によって生ずる物体の変形との関係を求めることにより、結果として、物理現象を視覚的に再現する機能を有する。

2. 有限要素法*2について

有限要素法を利用する方法は、要素を組み合わせて構造体を構築することを基本とする。これにより、構造体に加わる外力（荷重）が各要素に分散伝達して作用すること、各要素はそれぞれに作用する力によって変形を生じること、構造体そのものの変形は各要素の変形を集積することで得られ、結果として、構造体の力学特性と、その力学特性にしたがった物理現象が再現される。

有限要素法によって再現されるべき物理現象は際限なく、機能そのものについての研究開発は、現在もなお発展し続けているが、本研究では、表1に示す要素を用いて解析を行い、その教育効果を論ずる。これらの要素は、現時点において、一般的なパソコンを用いて構造解析に利用できる項目である。

表1 研究対象とした解析機能

要素種類	解析内容
線材（柱・梁要素）	弾性静解析
面材（平板シェル要素＝床・壁）	弾性静解析
線材（柱・梁要素）	弾塑性静解析
面材（平板シェル要素＝床・壁）	弾塑性静解析

弾性静解析は、弾性範囲内で、力とそれによって生ずる部材の応力と、その応力に比例した変形を対象とする。応力と変形は比例関係（線形関係）にある。

弾塑性静解析は、部材応力がある限度（降伏点強度）を超えたとき、より大きな変形を生ずる現象を対象とする。荷重が大きくなり、変形が大きくなると、応力と変形はもはや比例関係を維持せず、非線形問題として、構造工学的には難易度の高い範疇とされるが、変形を視覚的に捉えることはむしろ容易である。

3. 木造軸組構造の解析

線材要素を用いて柱・梁を、面材要素をもちいて、床と耐力壁とすることにより、架構が視覚的に表される。図-1以下に、木造軸組構造の解析モデルを示す。木造軸組造は、壁量計算によって、

その耐震安全性を検証することが出来る。木造住宅の平面を確定し、間取りにしたがって壁を組み入れること、平面図に示された壁の長さが住宅の平面積に対して規定量を超えていれば、その建物は地震に対して安全であると判断する。その際、壁の工作方法にしたがって壁の強度を規定し、その強度を壁倍率にて表わす。解析モデルにおいては、地震荷重によって壁にせん断力を生じ、地震荷重に抵抗する状況が表される（弾性静解析による）。壁要素に降伏条件（最大負担せん断力）を与え、かつ地震荷重を増大させるとき、壁が順次降伏し、架構が破壊に至ることが再現される（弾塑性静解析による）。壁の降伏条件は、壁倍率に対応して決定する。

図-1に、陸屋根を有する2階建て住宅の解析例を示す。

図-1aは、柱、梁、及び、床により、軸組を表す。図-1bは、耐力壁を加えた軸組である。壁が付加した状況を比較することにより、耐震性能に差異があることが、自ずと理解できよう。図-1cは、設計荷重を作用させたときの、耐力壁（平板要素）に生ずるせん断力を表す。

漸増荷重と、各荷重ステップごとの変形を連続的に表示する事により、構造強度、及び、破壊に至るプロセスが動画として表現される。

図-2は、傾斜屋根を有する木造2階建て軸組構造を表す。必ずしも平易な形状ではないが、節点座標（線材：柱・梁の交点）をもとめ、節点間を線材で結ぶとともに、耐力壁を有する部分に平板要素を加えている。

図-2aにより、軸組の概要、図-2b～dにより、構造強度、及び、破壊に至るプロセスを示す。

4. 教育上の成果

図-1、以下の解析モデルは、演習科目において、学生の課題として、構築されたものである。解析モデル作成の段階において、あらかじめ木造軸組みの設計法を理解しており、設計法（壁量計算）の内容を検証する目的のもとに解析を実行し、設計法に関する理解を深める点で効果的であったと思われる。

また、学生が、比較的容易にプログラムを使い

こなしている状況を確認できた点、有意義であった。

次の機会には、解析モデルによって表される物理現象を講義資料として用い、教育効果の検証を試みる予定である。

5. 謝辞

視覚的効果を構造教育に取り込むことを目的として、有限要素法を利用することを提言し、「私立大学等経常費補助金特別対象事業平成 20 年度教育・学習方法などの改善支援事業」を得て試行す

る機会を得た。解析モデルの作成および検証は、清水葉純、岡田怜子、両学生の努力によって得られた。有限要素法解析プログラムは NX Nastran for Femap (株) エヌ・エス・ティを用いた。

以上を記し、謝辞とします。

参考文献

*1) 力学と建築物の形 田中彌壽雄著 1995 建築技術
 *2) マトリクス有限要素法 C.C. ツィエンキヴィッツ著 吉識雅夫・山田嘉昭監訳 1984 倍風館
 (2009.3.27 受付 2009.5.20 受理)

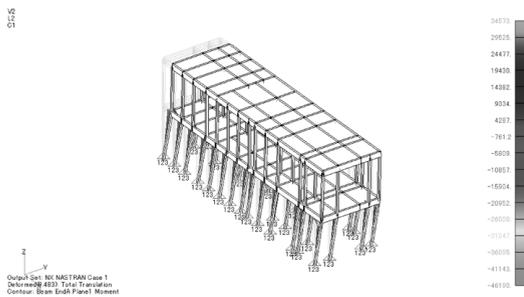


図-1a 木造軸組構造

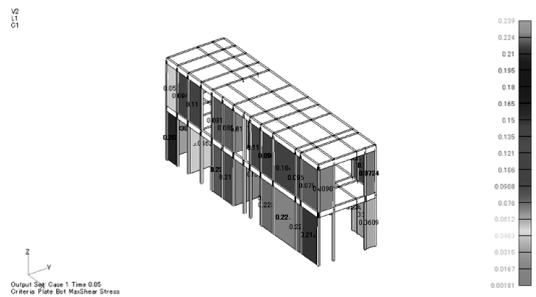


図-1b 木造軸組構造+壁

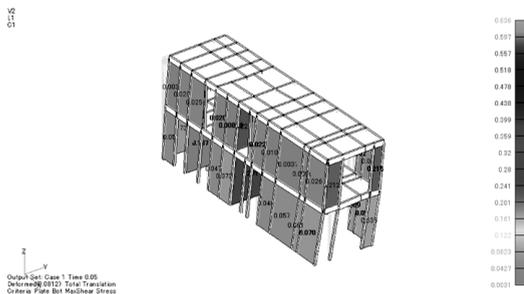


図-1c 荷重ステップ-1におけるせん断力と変形

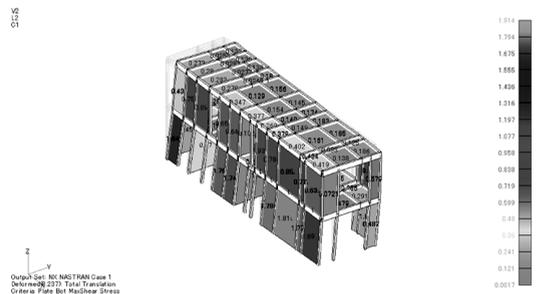


図-1d 設計荷重におけるせん断力と変形

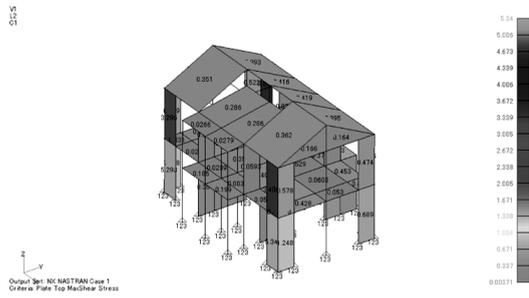


図-2a 木造軸組構造 その2

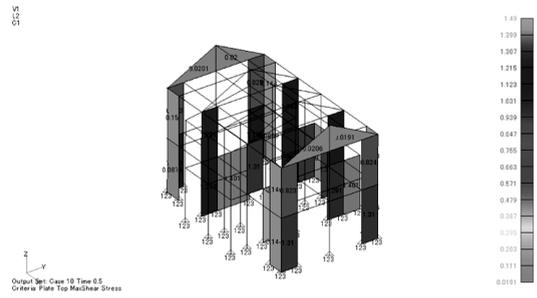


図-2b 壁負担せん断力

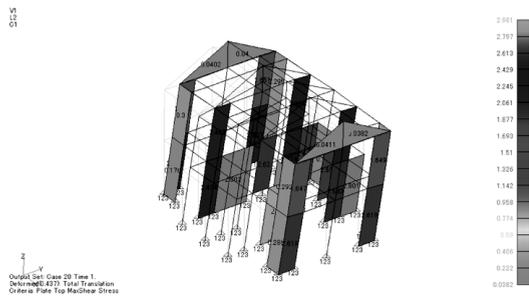


図-2c せん断力による変形

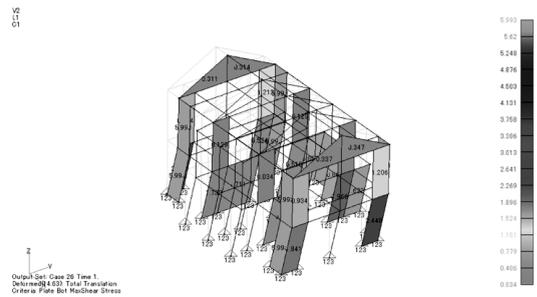


図-2d 1階部分降伏後の変形