

木造軸組工法における進化的構造最適化に関する研究 —構造計算システムの開発を通して—

松川昌平研究室 太田 周作

Keywords : 木造軸組工法 デザインエンジニア 構造計算 自動化 断面進化

1. 研究背景

1.1. 建築と構造計算の関係

建築物の設計において、建築家は主としてその建物の空間、形態の設計を行う。その後、構造エンジニアは設計された建築物が様々な荷重（長期荷重・短期荷重）等に対して安全であるか否かを構造計算によって確認を行う。この際の建築の設計において、建築家と構造エンジニアの関係性は縦割りの的なものが見ることができる。

また、単にその建物が安全か否かを判定するだけでなく、建築家が設計したモデルに対して、不必要部材の削除や、部材断面や配置位置の変更等を行い、積極的に建築の空間や形態の設計を手助けするとして構造家（先ほどのエンジニアとを明確に分ける為に此处では構造家と呼ぶことにする）というものが存在する。この際の建築家と構造家の関係性は先ほどの縦割りのな関係性とは違い、対等な関係性にあることが伺える。しかし、建物を構成している部材は非常に多くあるため、建物全体の安全性を構造計算によって確かめ、建築家にフィードバックするには時間が掛かってしまうことが問題として挙げられる。

1.2. 住宅設計と構造計算の関係

木造2階建て住宅等に該当する四号建築は法規上、必ずしも複雑な構造計算をする必要はなく、仕様規定を満たすことで簡易的に構造設計を行うことができる。しかし、また、仕様規定に沿って水平方向からの荷重に対しての耐力壁の設計を行った場合、基準を満たした状態の建物を構造計算すると20~40%程強度が不足している。これは仕様規定での設計の場合、雑壁・帳壁もある程度荷重を負担することを前提としているが、近年のリビングなどの広い間取りを必要とする空間の開口部は大きい場合が多く、これらの壁の荷重に対する効果は期待することができないのが原因とされている。よって、四号建築に該当する木造2階建て住宅に対しても、合理的な設計をし、コストなども削減するためにも構造計算を行うことが必要だといえる。

2. 研究目的・意義

先ほどの研究背景において(1)では、構造設計においてのフィードバックへの時間が掛かることを問題とし、(2)には構造設計を構造計算ではなく仕様規定で行うことで解像度が下がることが問題として上げた。

本研究では、以上の2点の問題に対して、計算を自動化すること、また、計算結果による部材断面の変更などを設計者に返すことまでを含めた自動化を行う。設計者はこの構造計算システムを用いることでデザインとエンジニアの両方の観点から設計物のデザインの可能性を高めることを可能とする。

木構造の構法においては、在来軸組工法とする。近年、この工法に変わり、接合部に鋼材を用いることでより強固であるSE工法などが挙げられる。しかしSE工法は様々な施工管理技術が必要であることから、どの建設会社でも施工できるわけではない。広く一般的である在来軸組工法を採用することでシステムに汎用性を持たせることが可能であると考えられる。

また、鋼構造・RC構造に比べ、比較的簡易的である在来軸組工法においても近年複雑なデザインが見受けられ、仕様規定だけでは構造設計が十分に担保できないことが下記の参考事例からも想像できることから、本研究意義を見出すことができる。

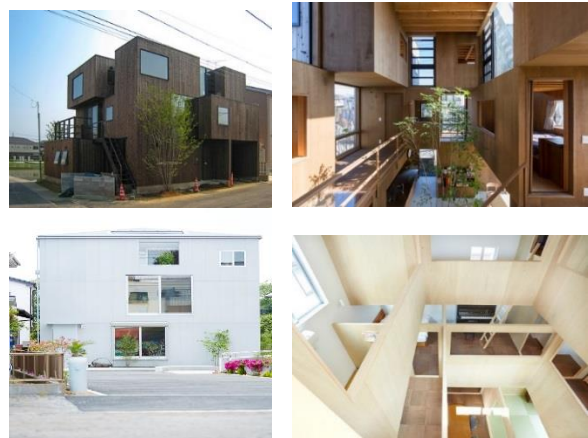


Fig.1 上:クラスターハウス / 佐藤森, 下:House S / 篠崎弘之

3. 研究手法

3.1. システムの構築

3Dモデリングソフト(Rhinoceros)上でプログラミング言語Pythonにより構造計算プログラムのシステムの構築を行った。これにより設計者は自身の設計を1つのソフトウェア上でデータを変換することなく、デザインとエンジニアの両方の側面から行うことが出来る。

システムについて、変位法により行列計算を用い、構造物の応力解析を行う計算方法をもとに独自のプログラムの実装を行った。これにより応力(M 図・Q 図・N 図)と変位を確認することが出来る。

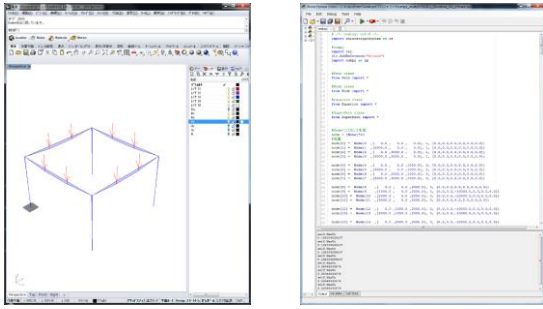


Fig. 2 構造計算プログラムし実装様子
左:Rhinceros, 右>EditPythonScript

3. 2. 1 システムの適応・応用

今年度で開催された、著者の所属する松川昌平研究室の展示において本プログラムの適応・応用を行った。次々に自動生成された住宅規模の建物において、床面積・部材数を自動計算し、建物に掛かる荷重設定をし、部材同士の境界条件を行う。構造計算を自動で行い、展示ではその計算結果を応力図の可視化、変位の数値化を行った。

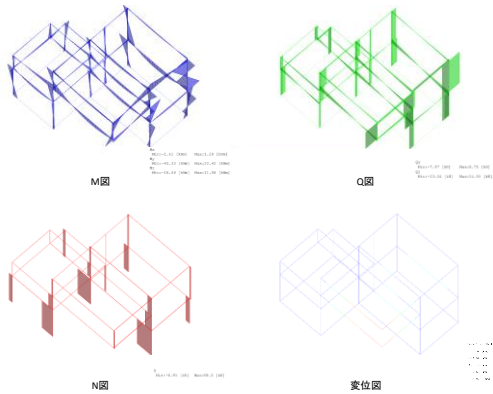


Fig. 3 研究室活動展示会における応力図, 変位の数値化と可視化

3. 2. 2 関連研究からシステムへの応用

単なる構造計算だけではなく、設計者へのフィードバックへの適応方法として、進化的構造最適化の略である拡張 ESO(Evolutionary Structural Optimization)法が関連研究として挙げられる。これは構造を最適な形状に誘導するために形態を進化させ、順次変化させる仕組みである。構造解析を行った結果、構造的に不要な部分を削除するだけでなく、進化の際に場合によっては必要な部分を付加する仕組みを含んでいる。

プログラムの更新を行い、変位の大きい部材に対して建築の設計基準である、部材の許容応力度以下にすることを目的値として部材断面の進化をさせた。この断面進化のプログラムを応用することで、設計者は自身の設計案に対して、部材断面設計までを含めた形態スタディが可能となる。

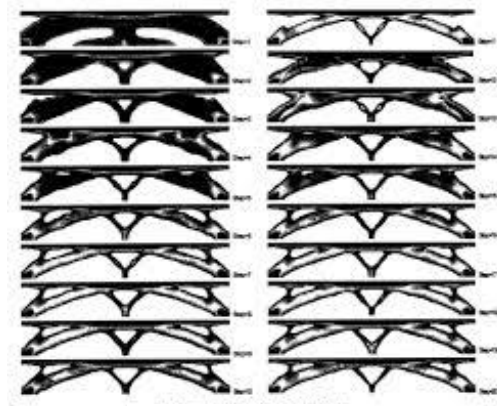


Fig. 4 拡張 ESO 法概念図



Fig. 5 構造部材断面進化モデル

4. 結び

設計者がデザインとエンジニアの両方の観点から設計物のデザインの可能性を高めることを目的とするために、3D モデリングソフトである Rhinceros 上で構造計算プログラムの実装を行った。その結果、構造計算の自動化・部材断面算定までを行うことを可能にした。

5. 今後の展望

現在は構造計算によって決定された部材断面寸法に対して、産業用ロボットアーム KUKA を用いた継手・仕口の接合部の設計を行っている。ロボットアームは 6 つの軸を持ち、夫々の軸をコントロールすることで他の電子工作機では見られない滑らかな動きをすることが可能である。ロボットアームによって可能である接合部の設計までを含めたシステムの構築を行うのが今後展望である。

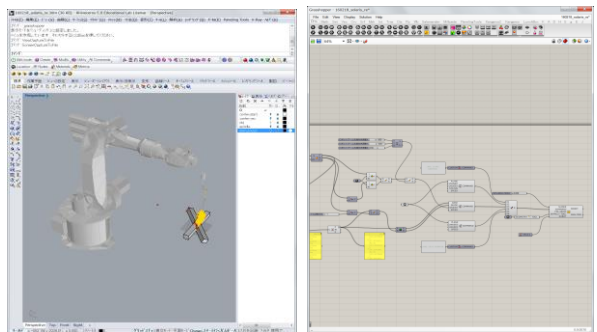


Fig. 6 ロボットアームによる接合部のスタディ様子