

# コンピュータショナルデザインと BIM の融合による設計効率向上の試み

-ジェネレーティブな構造最適化ツールによるデザイン支援の試み-

## Study on Design Efficiency Improvement Utilized

### Algorithm Design and BIM

Study on Design Support by Structural Optimization Software

○竹内 貴洋\*<sup>1</sup>, 林 慎也\*<sup>1</sup>, 戸泉 協\*<sup>2</sup>, 繁戸 和幸\*<sup>1</sup>

Takahiro Takeuchi\*<sup>1</sup>, Shinya Hayashi\*<sup>1</sup>, Kano Toizumi\*<sup>2</sup> and Kazuyuki Shigeto\*<sup>1</sup>

\*1 安井建築設計事務所

Yasui Architects & Engineers

\*2 安井建築設計事務所 博士(学術)

Yasui Architects & Engineers, Ph. D.

キーワード：BIM、コンピュータショナルデザイン、構造最適化、アルゴリズムックデザイン、設計支援

Keywords: BIM, CAD, Algorithm Design, Optimization

## 1 はじめに

### 1.1 本事務所の取り組み

本事務所では BIM を以下のように活用すべく、組織として BIM の推進と普及に取り組んでいる。

- ① 最先端 BIM デザイン・活用
- ② クライアントに認知される BIM の活用
- ③ BIM 活用による品質向上と設計効率向上

本報では、BIM の活用方針である① 最先端 BIM デザイン・活用及び③ BIM 活用による品質向上と設計効率向上を目的に構造形態の生成を試みた。

### 1.2 設計提案業務を取り巻く変化

近年、BIM の普及やシミュレーションソフトウェアの発展により、設計の初期段階から環境・構造解析などを行い、設計者の意思決定に活用する取り組みが増えている。また、エネルギー問題や自然災害への関心の高まりから、環境や構造に配慮したデザインが求められる傾向にある。それらに伴って設計初期段階にて検討及び作業すべき内容は増加している一方、作業可能な時間は従来と変わらないことから各作業の効率化が求められている。

また近年、最適化手法を用いたデザイン生成が注目されている。最適化とは、与えられた条件下において、ある目的関数を最大もしくは最小にすることであり、この手法を用いてデザインを生成することで、環境や構造などの性能を最大化したデザインを、短時間で自動生成することが可能になる。そのため、最適化手法を用いたデザイン生成を設計初期段階に適用することで、設計業務の効率化や設計

品質の向上が期待できる。しかしながら実際、設計者の意図や建築計画などをデザインに反映させた上で最適化を行うには、多数のパラメーターの作成及び調整が必要であり、設計初期段階ではそれらにかかる時間が十分確保できないことが多い。このようなことから、最適化手法を用いたデザイン生成を行ったとしても、設計者のイメージや建築計画に合わず、デザインとして適応できないことが多いのが現状である。

そこで本報では、構造形態の生成手法として、まずデザイン案の絞り込みのために最適化手法を用いたデザイン生成を行った後、設計者の意図を反映させることを目的として、設計者の手作業によるデザイン生成を行うことを試みた。

### 1.3 研究の目的と方法

本報では、初めに最適化手法を用いた構造形態の生成についての考察を行い、手法の特徴を把握する。その後、提案する設計者の意図を介在させる評価プロセスを用いた構造形態の生成手法についての検証を行い、手法の利点や問題点を考察する。最後に、提案手法を用いて実務を見据えた、複雑な与条件による構造形態の生成を行うことで、設計初期段階における提案手法の有用性を明らかにすることを目的としている。

## 2 最適化手法を用いた構造形態の生成

近年、構造形態の生成手法の一つとして、位相最適化手法を用いた構造形態の生成が注目されている。また、特に

骨組構造を対象とする位相最適化手法は、グランドストラクチャ法と呼ばれており、設計領域に適切な節点を配置し、節点間を可能な限りの線要素で結んだグランドストラクチャの材料密度(または断面積)を最適化することで形態を生成する手法である。この手法は、構造形態の生成だけでなく、耐震ブレース・制振ブレースの最適配置などに利用できるのが特徴であり、これまで様々な研究者により最適化手法や利用方法の提案されてきた。

## 2.1 開発環境

本研究では、BIMとの連携を視野に入れ、モデリングには3DモデリングソフトのRhincerosを、プログラムの実装にはRhincerosのアドオンであるGrasshopperを利用して開発を行った。さらに、構造計算ツールとしてGrasshopperのアドオンであるKaramba3Dを用いている。

また、Grasshopperの標準機能では実現できない処理は、Pythonにて実装した。開発環境を表1に示す。

表1 開発環境

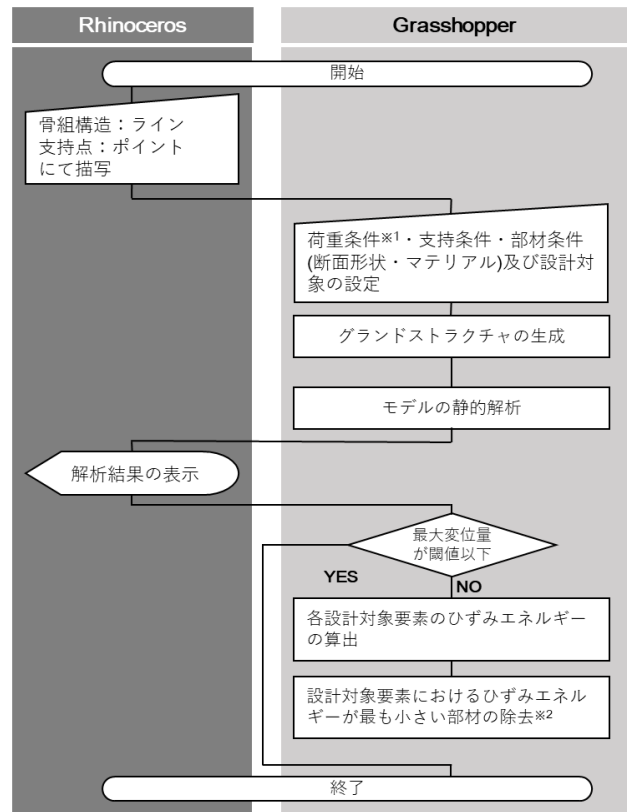
| 用途       |              | 名称          |
|----------|--------------|-------------|
| モデリング    |              | Rhinceros   |
| プログラムの実装 | ビジュアルプログラミング | Grasshopper |
|          | 構造計算         | Karamba3D   |
|          | テキストプログラミング  | Python      |

## 2.2 グランドストラクチャ法による構造形態の生成

本研究では、高坂らが行った初期のESO法の考え方<sup>2)</sup>に基づいた最適化手法を参考に実装した。これは、グランドストラクチャの中でひずみエネルギーが最も小さい部材を除去していく手法であり、必ずしも最適解を導き出すものではないが、意匠設計者が構造上の力の流れを把握し、構造デザインの設計に反映することは十分可能であると考えられている。

本稿にて実装したグランドストラクチャ法による構造形態生成のプロセスフローを図1に示す。ここでは、このプロセスを用いて、簡単な骨組構造における構造形態を生成した例を示す。表2は、プログラム実行の与条件を示しており、図2は解析モデルを示している。図3は、グランドストラクチャ法の解から適当に抽出したステップ(ループ回数に準ずる)の解を示しており、図中のステップ0は生成された初期のグランドストラクチャを示している。また、部材色は変位量を示しており、赤色が濃いほど変位量が大きく、事前に設定した最大変位量よりも大きい場合は緑色を表示するようになっている。

図3から、初期のESO法に基づいたグランドストラクチャ法を利用し構造形態の生成を行うことで、構造における力の流れを理解し、設計に役立てることは十分可能であ



- \*1 荷重条件において本プログラムは、地震力に相当する水平力は双荷重(水平荷重を左右両方から与えた荷重)としている
- \*2 最小のひずみエネルギーを持つ部材が複数存在した場合は、それらの部材すべてを削除する

図1 グランドストラクチャ法のプロセスフロー

表2 解析モデルの与条件

| 解析時の与条件             | 設定値                |
|---------------------|--------------------|
| グランドストラクチャ生成時の節点間距離 | 垂直方向: 400cm 間隔     |
|                     | 水平方向: 400cm 間隔     |
| 設計対象要素の断面           | 10cm × 10cm の正方形断面 |
| 非設計対象要素の断面          | 30cm × 60cm の長方形断面 |
| 荷重条件(等分布荷重)         | 垂直方向: 1kN/m        |
|                     | 水平方向: 0.2kN/m      |
| ひずみエネルギー            | 弾性ひずみエネルギー         |

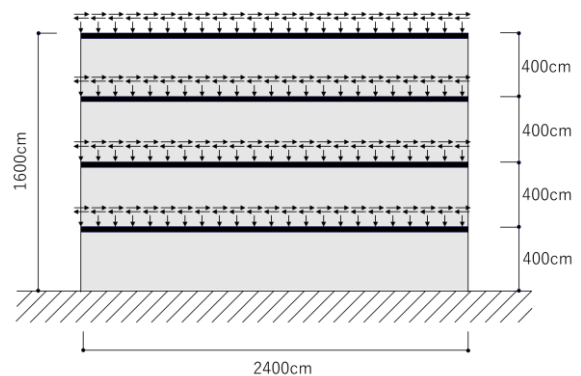


図2 解析モデル

ることがわかる。一方で、ステップ 100 などでは変位量が非常に大きくなる箇所が出現しており、あくまで参考程度に使うものであると考えられる。

### 3 設計者の意図を介在させる評価プロセスによる構造形態の生成

ここでは、設計者の意図を介在させる手法について記載する。本提案手法は、先ほどのグランドストラクチャ法により生成されたモデルの中から適当なモデルを選択し、そのモデルの部材を設計者が除去することで構造形態を生成する手法である。この手法のプロセスフローを図 4 に示す。ここでは、おおよその形状が構築されかつ、設計者が除去する部材の選択肢を十分有していることから、ステップ 60 まで最適化されたモデルを選択し、そこから設計者による部材除去に切り替えることとした。また本手法では部材を除去する際の指標として、部材を除去する度にモデルの構造解析を行い、常に部材負荷を可視化させている。構

造負荷の可視化については、指定した変位内での状態を示す絶対値表示、②最大及び最小の変位量から導き出される相対値表示、③変位の向きや大きさを視覚的にわかりやすくした変位デフォルメ表示④グランドストラクチャの部材に厚みを持たせることで、実際の建物を想像しやすくした 3D モデル表示の 4 つを同時に表示させている。これによりモデルの変位の大きさや偏り、さらには全体のデザインを見ながら部材を除去することができる。

本報では、例として主に右に傾いている斜材にて構成したモデルを生成した。図 5 より、上部の梁では閾値を超えており、さらにはねじれが生じていることから、バランスの悪い構造形態を生成していることが確認できる。

### 4 より複雑な条件での実践

最後に、実務での利用を見据え、より複雑な条件での構造形態の生成を行う。図 6 は解析モデルを示しており、図 7 はモデルのグランドストラクチャを示している。ここで

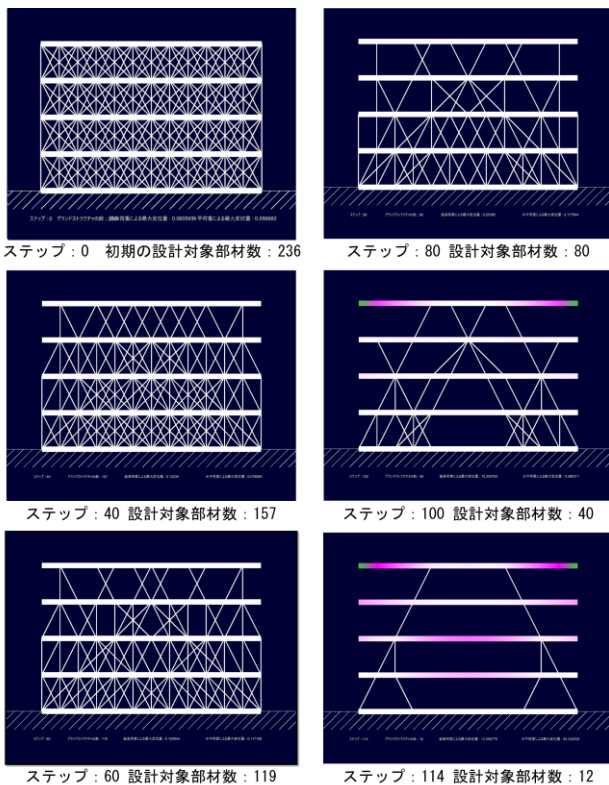


図 3 グランドストラクチャ法により生成されたモデル

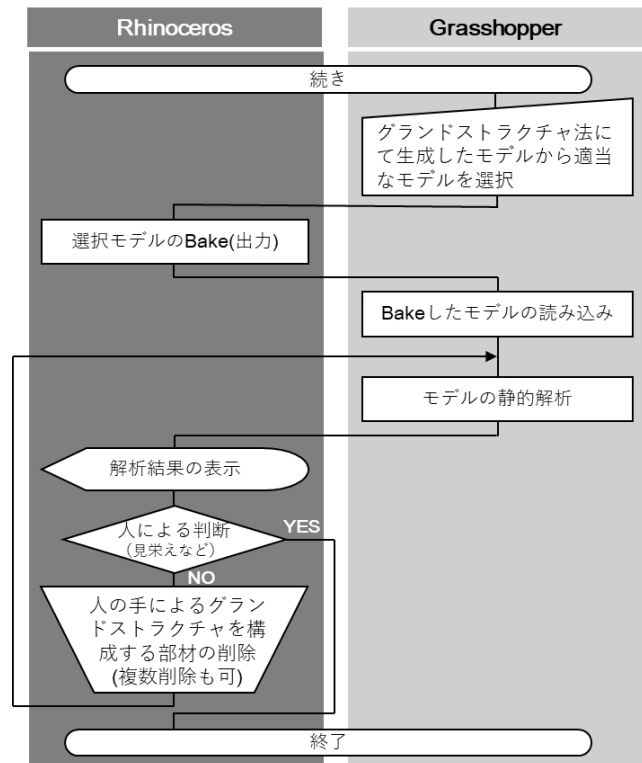


図 4 提案手法のプロセスフロー

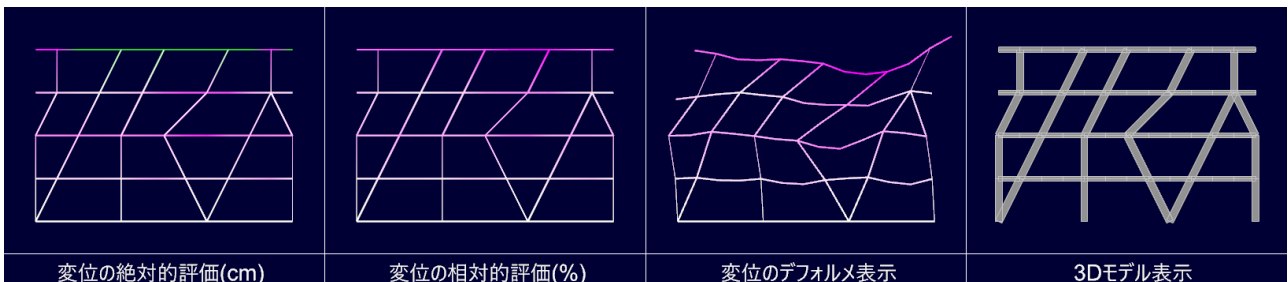


図 5 ステップ 60 から人に手により生成されたモデル

は階高が異なるスキップフロアを有するモデルにて構造形態の生成を行った。それに伴い、グランドストラクチャは、垂直方向に 400cm、水平方向に 1300cm 以内の節点同士にて生成させている。また、支点は 600cm 間隔にて設定した。その他の条件は、前章と同様である。

図 8 はグランドストラクチャ法によりある程度最適化されたモデルであり、図 9 は図 8 のグランドストラクチャから人の手により調整した構造形態のモデルである。ここでは、X に交差する斜材によってスラブが支えられているよ

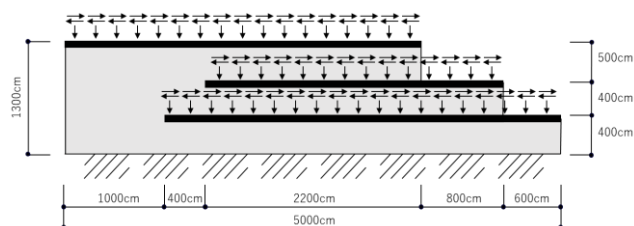


図 6 解析モデル

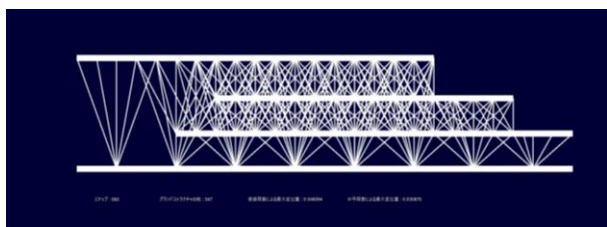


図 7 グランドストラクチャ

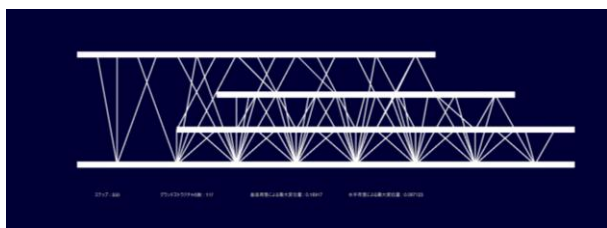


図 8 GS 法をステップ 587 まで実行したモデル

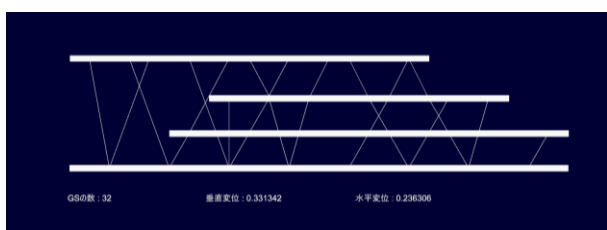


図 9 提案手法にて生成したモデル



図 10 3D モデル化した外観イメージ

うな構造形態になるように部材を除去していった。図 10 は、図 9 にて生成したモデルをもとに、3D モデル化し外観イメージを作成したものである。このようなことから、複雑な条件においても、設計者の意図を反映しつつ、構造上有利な形状を生成することが可能であることが分かった。

## 5 まとめ

本報では、構造形態の生成においてグランドストラクチャ法を用いた手法に加え、評価プロセスとして設計者の意図を介在させる手法を試行した。試行により得られた特徴を以下に示す。

- 1). 複雑な与条件の設定をせずとも、設計者の意図や思想、複雑な判断が反映された構造形態の生成を行うことができる
- 2). 提案した手法は、あくまで設計者主導の設計手法となるため、設計への取入れの心理的ハードルが低い
- 3). 構造解析上の情報が常に提示された状態で設計を行っているため、生成したデザインは構造上有利なデザインになりやすい
- 4). 複雑な条件においても対応可能である
- 5). 設計者主導の設計手法となるため、設計者の想像を超えるデザインが生成される可能性はやや低い

このようなことから提案手法は、時間的制約が大きい設計初期段階における構造形態の創造支援に有効であると考えられる。また、設計初期段階において業務の効率化や様々な知見が要求される中、コンピューターから情報(アドバイス)を得ながらデザインする設計手法の需要は、今後より高まっていくだろう。

## 6 今後の展望

現在、実務において提案手法を用いた構造形態のデザイン検討を行っている。今後、実務を通じて得られた提案手法の利点及び問題点を明らかにする予定である。

### [参考文献]

- 1) 藤井 大地, 真鍋 匡利, 高田 豊文, グランドストラクチャ法による建築構造の形態創生, 日本建築学会構造系論文集, 第 633 号, p1967-1973, 2008.11
- 2) 高坂 憲治, 松本 慎也, 藤井 大地, ESO 法とグランドストラクチャ法を用いた骨組構造物の位相最適化, 日本建築学会構造系論文集, 第 721 号, p547-553, 2016
- 3) 藤井 晴行, 大崎 純, 渡辺 俊, 長坂 一郎, 水谷 晃啓, 小林 祐貴, 藤田 慎之輔, 安田 溪, デザイン・コンピューティング入門 - Python による建築の形態と機能の生成・分析・最適化, コロナ社, 2017.9
- 4) 戸泉 協, 飯島 憲一, 森 雅章, 瀧澤 重志, コンピューショナルデザインと BIM の融合による設計効率向上の試み スケートリンクの平面計画における平面配置パターンの列挙, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p3-4, 2017