

GA を用いた鉄骨構造物の構造部材最適配置システム

— コアを有する事務所建築を対象として —

○山本 雅浩*1 山邊 友一郎*2
谷 明勲*3

キーワード：遺伝的アルゴリズム 鉄骨構造物 コアタイプ 構造要素最適化

1. 序

建築計画において、構造計画は必要不可欠な業務である。構造計画とは、求められる建築空間に対応した架構、構造システムを計画することである。しかし、構造計画により、決定される部材の配置や寸法の選択は建築計画における空間の大きさや、デザインに大きく影響を与えることから、構造計画は建築計画を考えるにあたり、重要な役割を担う。建築の平面計画において、部材やその配置の選択肢は無数に存在し、その組み合わせのパターンは膨大な数となる。このため、全ての組み合わせを検討することはほぼ不可能に近いといえる。このような、解が無数に存在するような問題を解く手法として、近年、急速に発達してきたコンピュータの情報処理技術を活用した、遺伝的アルゴリズム¹⁾ (以下 GA) が挙げられる。GA は近年注目される進化的計算手法のひとつで、生物進化のメカニズムである選択淘汰・突然変異の原理に着想を得たものであり、工学上の最適化問題の解法にも幅広く応用されている。既往研究としては、リカレント建築における多目的最適化による設計支援システム²⁾や、発見的手法を用いた鋼構造建物の柱配置及び部材断面最適化に関する研究³⁾等で、GA を活用した構造計画の支援システムが提案されている。本研究では構造計画支援システムの構築を目指して、柱・梁部材配置、部材断面選択及びコア配置位置をパラメータとする最適化を実施した。なお本稿では既報⁴⁾の目的関数を改善した。

2. システム概要

2.1 システムフロー

本システムでは、対象モデルを事務所建築とする。本システムのフローチャートを図1に示す。

本システムは、建築構造分野を専門としない設計者をユーザーとして想定している。ユーザーによって入力された平面寸法に応じて、遺伝子情報をもとに柱・梁の部材配置と部材断面及びコア配置を決定し、構造物を生成する。生成した構造物に対して、鉛直方向では柱・梁による自重と屋根荷重を、水平方向では鉛直荷重に対する20%の荷重とした水平力を作用させ、構造解析を行い、各部材に生じる応力と変形を求める。次に、求めた値を用いた構造安全性についての評価を行う。部材配置と部材断面選択についての評価では、この他に構造物の経済性と平面の計画効率性

も併せて考慮する。この一連のプロセスを GA で設定した終了世代に至るまでを行い、柱・梁部材配置、部材断面選択及びコア配置位置の最適化を行う。

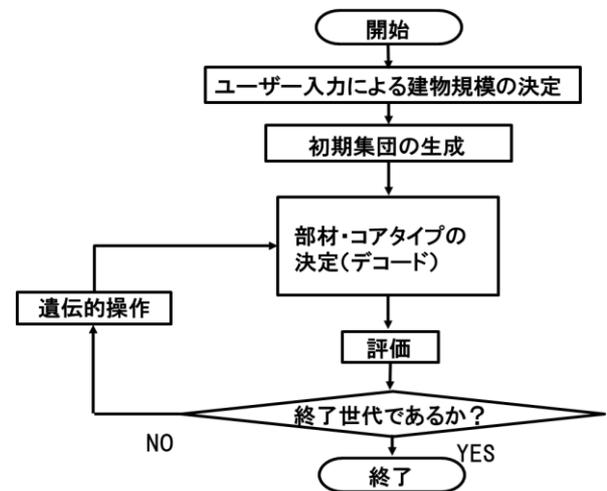


図1 システムのフローチャート

2.2 コーディング

本システムでは 105 個の遺伝子座を有する遺伝子を準備する。105 個の遺伝子をそれぞれ、部材配置、部材断面選択、コア配置に対応させ、最適化を行う。各遺伝子座と表現型との対応を図2に示す。

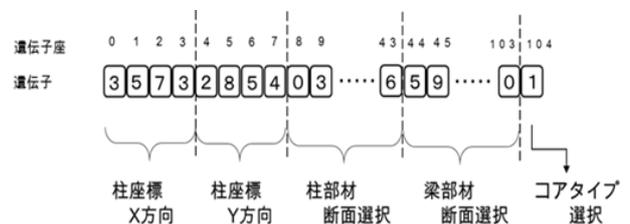


図2 コーディング

a. 部材配置

部材配置では、まず図3のように遺伝子座0~7までの遺伝子の値を用いて柱位置の座標を決定し、柱を配置する。このとき、遺伝子は0からXY方向それぞれの建物の長さまでに設定しているので、XY方向それぞれの柱は建物の角も合わせて最大で6本ずつの柱が配置される。また、遺伝子座0~3(4~7)の遺伝子の値が重複する場合は、それに

応じて柱の数を減じ、最小本数の場合は建物の角のみの2本の柱が配置される。X、Y 両方向の柱の配置座標が決定されると、これらが交差する位置に柱を順次配置する。その後決定した柱位置に合わせ、直交するように梁を配置することでシンプルなラーメン構造をつくり、部材の配置を決定する。なお、平面の4隅には必ず柱を配置することとする。

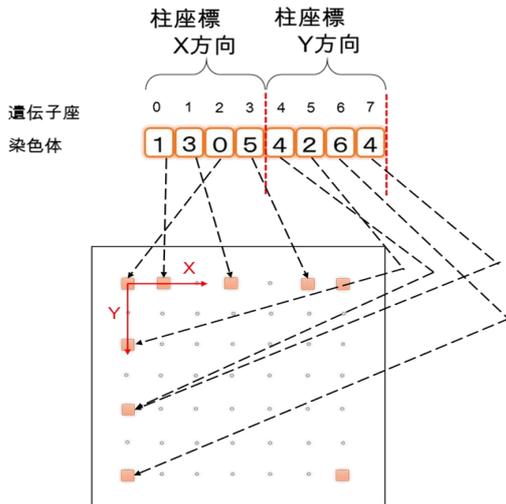


図3 柱配置の決定方法

b. 部材断面選択

部材断面では、図4に示すように遺伝子座 8~103 までの遺伝子の値を用いて断面を決定する。柱部材は角型鋼管 7 種類(STKR400)、梁部材は H 型鋼 10 種類(SN400)を遺伝子と対応させる。

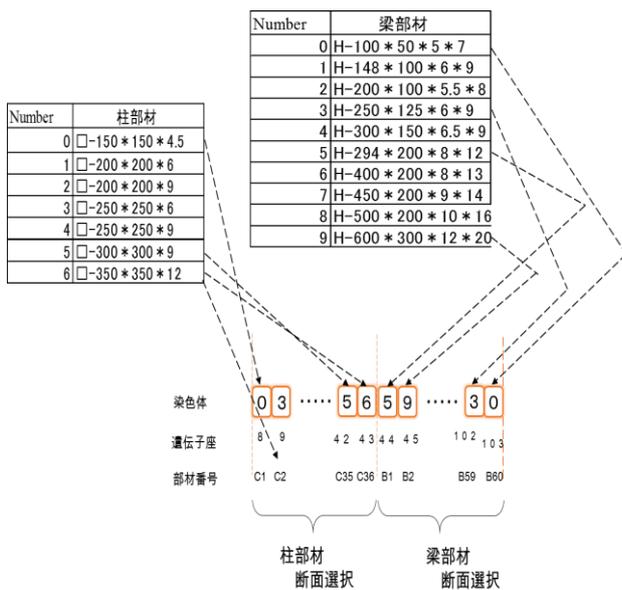


図4 部材断面選択

c. コア配置

コアタイプは、遺伝子座 104 の遺伝子により決定する。コアタイプは中央コア、偏心コアの2種類から選択される。図5のように、中央コアの場合は、平面の縦横比と同じ縦横比のコアを平面中央に配置し、偏心コアの場合は、平面の長辺に沿ってコアを配置する。本システムでは 104 番目の遺伝子を除外することで、コアタイプを考慮しない場合の最適化も行えるようにしている。

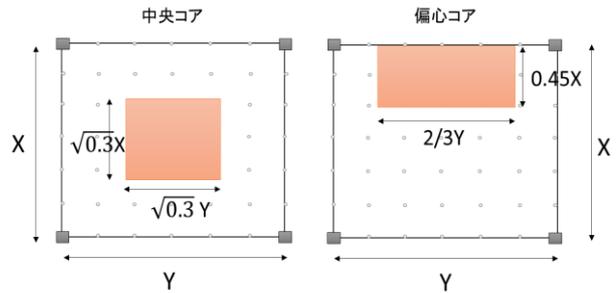


図5 コア配置

3. 目的関数

本研究では、以下に示す Ev.0~Ev.3 までの4つの目的関数を設定し、その相乗平均 Eval の最大化問題として最適化を行う。

3.1 構造制約条件(Ev.0)

マトリックス構造解析による解析結果をもとに、各部材の応力、層間変形角、梁のたわみについてそれぞれ予め設定した制約値を満たす構造物であるかを評価する。これらの制約条件は構造物が安全性を保持するために必ず満たすべき条件であるので、ひとつでも制約を満たさない項目がある場合には、評価値を大きく下げ設定とし、式(1)で Ev.0 の評価値を求める。

$$\left. \begin{aligned}
 N_{ec} = N_e \quad \text{のとき} \quad & Ev.0 = 1 \\
 N_{ec} \neq N_e \quad \text{のとき} \quad & Ev.0 = \frac{1 - \left(\frac{N_{ec}}{N_e}\right)}{10}
 \end{aligned} \right\} (1)$$

N_{ec} : 制約条件を全て満たしている部材数
 N_e : 全部材数

3.2 部材性能効率(Ev.1)

部材性能効率とは、部材断面の選択において必要以上に大きな断面の部材が選択されないための評価である。すべての部材について、Ev.0 において考慮した許容応力度(せん断力に関する検討は除く)、層間変形角、たわみの値が制約値に近いほど、評価が高くなる設定とし、式(2)で Ev.1 の評価値を求める。

$$Ev.1 = \sqrt[4]{E_{p1} \times \dots \times E_{p4}} \quad (2)$$

ここで

$$E_{pi} = \frac{\sum R_s}{N_e \times (1 + \sum V_o)} \quad (3)$$

R_s : 制約条件を満たす部材の応力比

V_o : 制約条件を満たさない部材の(応力比-制約値)の値

E_{pi} : 検討項目毎の部材性能効率

3.3 部材総重量の軽減(Ev.2)

建設コストが使用鉄骨重量に比例すると考え、部材総重量を軽減するために設けている。部材総重量が小さいほど、評価が高くなる設定とし、式(4)で Ev.2 の評価値を求める。

$$Ev.2 = 1 - \frac{W}{W_{max}} \quad (4)$$

W : 構造物の総重量

W_{max} : 最大となる構造物の総重量

3.4 計画効率性(Ev.3)

柱の位置をコア部分と室利用部分それぞれで考慮し、室利用部分の柱を少なくすることで、空間のフレキシビリティの向上を目指す。室利用部分の柱が少ないほど、評価値が高くなる設定とし、式(5)で Ev.3 の評価値を求める。

$$Ev.3 = 1 - \frac{N_c}{N_{cmax}} \quad (5)$$

$$N_c = N_{cc} + N_{cr} \times 2 \quad (6)$$

N_c : 総柱本数

N_{cr} : 事務室部分の柱本数

N_{cc} : コア部分の柱本数

N_{cmax} : 室内柱本数の最大値

3.5 総合評価(Eval)

以上の4つの評価指標を(7)式により統合し、Evalの最大化問題として最適化を実行する。

$$Eval = Ev.0 \times \sqrt[3]{Ev.1 \times Ev.2 \times Ev.3} \quad (7)$$

4. シミュレーション実行結果及び考察

本研究ではコアの有無、入力平面規模の変化が最適化結果に与える影響を検討するためにコアを有する場合、有さ

ない場合の2つのCaseで最適化を行い比較した。本研究で行ったシミュレーションを以下に示す。

4.1 Case1 コアを有する場合

建物平面の縦横比に応じて選択されるコアタイプの変化を比較検討するために、Case1として、幅(m)×奥行き(m)が30×10、30×20、30×30の3つの規模で最適化を行った。得られた最適化結果を表1、図6~8に示す。

表1 Case1 コアを有する場合の評価値

規模(m)	コア	Ev.0	Ev.1	Ev.2	Ev.3	Eval
30×10	偏心	1.000	0.731	0.539	1.000	0.733
30×20	中央	1.000	0.717	0.602	0.938	0.739
30×30	中央	1.000	0.721	0.592	0.875	0.720

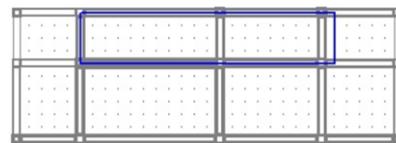


図6 最適化結果 30m×10m(コアを有する)

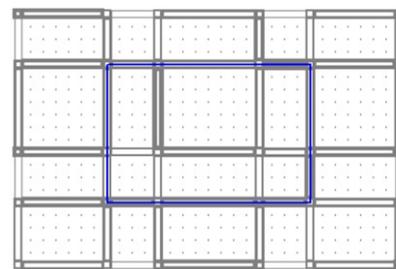


図7 最適化結果 30m×20m(コアを有する)

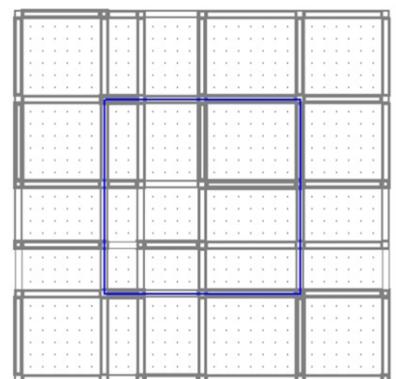


図8 最適化結果 30m×30m(コアを有する)

4.2 Case2 コアを有さない場合

Case2として、コアの有無と部材配置の関係性を観察するために、Case1と同じ3つの規模でコアを配置しない条件でも最適化を行った。得られた最適化結果を表2、図9~11に示す。

表2 Case2 コアを有さない場合の評価値

規模(m)	コア	Ev.0	Ev.1	Ev.2	Ev.3	Eval
30×10		1.000	0.704	0.572		0.738
30×20		1.000	0.708	0.595		0.749
30×30		1.000	0.714	0.586		0.748

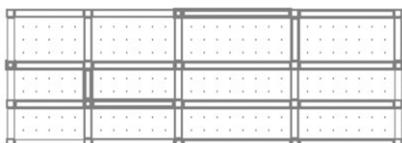


図9 最適化結果 30m×10m(コアを有さない)

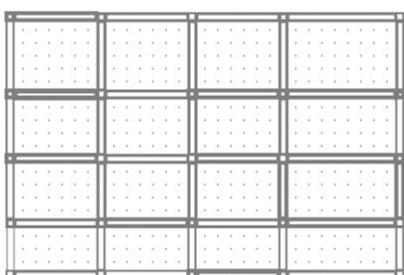


図10 最適化結果 30m×20m(コアを有さない)

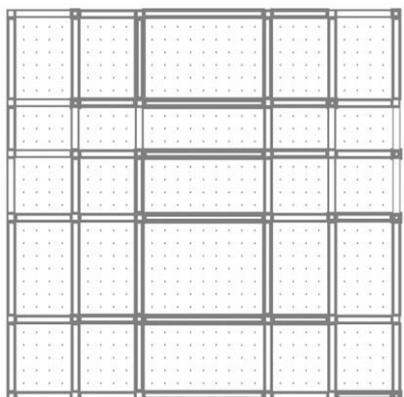


図11 最適化結果 30m×30m(コアを有さない)

4.3 Case1 に対する考察

Case1 では、平面規模の違いによる、部材配置及びコアタイプの選択の違いを検討するために実施した。どの規模でも制約違反部材は0で、制約条件の評価 Ev.0 は1となり、制約条件を満たした解が得られた。これは、Ev.0 の評価式の制約違反部材が存在すれば評価値を大きく下げることで、制約違反部材を含む解が淘汰されたためと考える。コアタイプの選択に関しては、規模毎に異なるコア配置をもつ解が得られ、この結果からある程度、細長い平面の場合には偏心コアが、縦横比が小さい平面では中央コアが最適なコアタイプであると考えられる。

4.4 Case2 に対する考察

Case2 では、Case1 におけるコアタイプの配置の選択が部材の配置、選択にどれほど影響を与えているのかを検討するために実施した。Case1 における部材配置と比較すると部材配置に変化が見られる。Case2 の部材配置では柱位置が比較的均等に配置され、Case1 の部材配置ではコア内に多くの柱が配置されている。これは、Ev.3 の計画効率性の評価の影響であると考えられ、コアの配置によって最適な部材配置が変化することが示されたと考える。

5 結

本研究では、ユーザーの入力した建物規模に応じた構造部材の配置、選択及びコアタイプの選択を設計変数として最適化を行った。Case1、Case2 を通して、入力する建物規模ごとに最適とされるコアタイプが変化し、またそのコア配置に応じて、部材の配置、選択が変化することが示された。具体的には、比較的規模が大きく、縦横のバランスの良い平面の場合、中央にコアが配置されることが効率的であり、また、ある程度縦横の長さの比が大きな長方形型の平面の場合には、建物の隅にコアが配置されることが効率的であることがわかった。さらに、コアの配置に対して平面計画の効率性を併せて考えることで、コアを配置する場合には、配置しない場合と比べて最適とされる部材の配置及び部材断面が変化することもわかった。これらから、GA を用いたシステムが建築計画における構造要素最適化問題に有効であることが実証された。

今後の研究課題として、システムの実行には多大な計算時間を要するため、更なるアルゴリズムの高速化が必要と考える。また、実用性という面を重視すれば、多くのコアタイプの導入、多層構造物への拡張等が本システムには求められると考える。

【参考文献】

- 1) 北野宏明編：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993.6.
- 2) 北村大輔，谷明勲，山邊友一郎，河村廣：リカレント建築における多目的最適化による設計支援システム，日本建築学会，第29回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，論文，pp.37-42，2006.12.
- 3) 上野修平，山邊友一郎，谷明勲：GAを用いた鉄骨構造物の柱配置最適化と部材断面最適化—評価方法による解の比較—，日本建築学会大会学術講演梗概集，NO.11004，pp.7-8，2012.9.
- 4) 山本雅浩，山邊友一郎，谷明勲：GAを用いた鉄骨構造物の構造部材最適配置システム—コアを有する事務所建築を対象として—，日本建築学会大会学術講演梗概集，NO.11056，pp.111-112，2017.8.

- *1 神戸大学大学院工学研究科 大学院生
 *2 神戸大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)
 *3 神戸大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)