

最大断面を考慮した発見的最適化アルゴリズムによる ブレースの配置と断面設計

○島田 英里子*1 三井 和男*2

キーワード：形態創生 骨組構造 発見的手法 最適化 ブレース配置

1. はじめに

構造の最適化問題は、大きさ、形状、トポロジーの3つの最適化問題に分類できる。大きさを決定する最適化問題では、決定しなければならない大きさそのものが設計変数となるため比較的少ない設計変数で問題を構成することができる。形状やトポロジーを決定する最適化問題でも設計変数のセットによって形状やトポロジーを定義する場合がある。この場合、複雑な形状やトポロジーを考慮するためには設計変数の増加を避けることができない。これらの設計変数は、目的関数と制約条件を設定することによって最適化問題として定式化され、勾配を用いた数理計画法によって解くことが可能である。しかし、設計変数の増加にともなって最適化問題の複雑さも増加し、そのために設計変数の大きいセットをもつ最適化問題を勾配ベースの数理計画法を使って解くことが難しくなる¹⁾。また、設計変数が離散的となる場合には、組合せ最適化問題として扱わなければならない大規模な問題に対する有効な方法は未だ研究の過程にある²⁾³⁾⁴⁾。数理計画法に起因するこのような困難は、発見的手法を応用することによって克服することができる。

本研究は実用的なサイズの問題を扱うため、設計変数の数は増加せざるをえず、さらに部材を規格断面から選定することから設計変数は離散値となる⁵⁾。したがって、大規模な組合せ最適化問題を扱わなければならない。この問題を解決するために本研究では、発見的最適化手法を用いて骨組構造のブレース配置、断面の最適化を行い、結果を比較し、その有効性を検討する。

2. 解析手法

本研究では、節点間距離変化率に基づく2種類の発見的最適化手法を検討する。節点間距離変化率 α_{ij} は、変形前の節点間距離と変形後の節点間距離を用いて求めると式(1)となる。

$$\alpha_{ij} = \frac{l_{ij}^1 - l_{ij}^0}{l_{ij}^0} \quad (1)$$

l_{ij}^0 ：変形前節点間距離

l_{ij}^1 ：変形後節点間距離

以下に各手法の基本アルゴリズムを示す。

2.1. 貪欲アルゴリズムに基づく手法

- 1) 解析モデルの構造解析を行い、各節点の変位を求める。
- 2) 各節点の変位から変形後の節点座標を計算し、ブレース配置候補の節点間距離変化率を求める。
- 3) 節点間距離変化率が閾値を超えるブレース配置候補に最小断面のブレースを配置する。すでにブレースが配置されている場合は、ブレース候補部材リストの中から現在の断面積の次に大きい部材を選定して置き換える。
- 4) 全節点の鉛直方向成分が許容値未満の値になるまで1)~3)を繰り返す。

閾値は全ブレース配置候補の節点間距離変化率の大きさに基づいて設定する。閾値は以下の4パターンを検討した。

- A) 節点間距離変化率の最大値
- B) 10番目に大きい節点間距離変化率の値
- C) 節点間距離変化率の最大値 $\times 0.95 \sim 0.7$

また、閾値を超えるブレース配置候補の中に最大断面に達しているブレースがある場合は、そのブレースの数だけ繰り返す。

2.2. 信号の時間的加算性を考慮した手法

- 1) 解析モデルの構造解析を行い、各節点の変位を求める。
- 2) 各節点の変位から変形後の節点座標を計算し、ブレース配置候補の節点間距離変化率を求める。
- 3) 節点間距離変化率が基準値を超える場合、信号が出力され、そのブレース配置候補のポテンシャルを増加させる。
- 4) ポテンシャルが閾値を超えるブレース配置候補に最小断面のブレースを配置する。すでにブレースが配置されている場合は、ブレース候補部材リストの中から現在の断面積の次に大きい部材を選定して置き換える。
- 5) 全節点の鉛直方向成分が許容値未満の値になるまで1)~4)を繰り返す。

節点間距離変化率 α_{ij} が基準値 α^A を超えると、このブレース配置候補のポテンシャルが+1加算する。また、ポテンシャル u_{ij}^k は次のステップ $k+1$ に伝播するとき、そのまま伝播せずに $1-\lambda$ 倍することで時間の経過とともに減衰する。

$$u_{ij}^{k+1} = (1 - \lambda)u_{ij}^k + \omega x_{ij} \quad (2)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} +1 & (\alpha_{ij} > \alpha^A) \\ 0 & (\alpha_{ij} \leq \alpha^A) \end{cases}$$

式(2)における係数 λ および ω の設定は、探索性能に大きく影響する。参考文献(1)よりこれらの係数はそれぞれ式(3)(4)とした。ポテンシャルの減衰特性を Fig.1 に示す。

$$\omega = u_{max}\lambda \quad (3)$$

$$\lambda = -\frac{\log \frac{\rho}{u_{max}}}{T} \quad (4)$$

u_{max} : ポテンシャル飽和量

ρ : 時刻 T でのポテンシャル

本研究では、 $u_{max}=100$ 、 $\rho=50$ 、 $T=10$ とする。

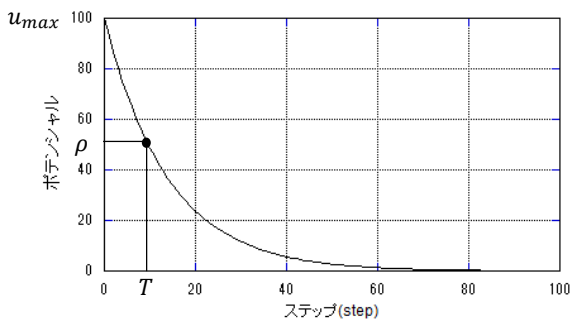


Fig. 1 ポテンシャル u の減衰特性

基準値 α^A は使用部材の降伏点に基づき設定する。基準値 α^A は以下の3パターンを検討した。

- A) $\alpha^A = \text{降伏点} \times 1/4$
- B) $\alpha^A = \text{降伏点} \times 1/6$
- C) $\alpha^A = \text{降伏点} \times 1/8$

本研究では、閾値 $\epsilon=75$ とする。

3. 解析例

3.1. 解析モデル

鉄骨フレームの屋根を解析モデルとし、使用部材はH型鋼とする。上弦材の各節点には節点荷重を与え、四方の下弦材の節点は全方向に固定した。解析モデルは Fig.2、解析モデルの使用部材断面リストは Table 1 に示す。

解析は対称性を考慮するために1/4モデルで行った。ブレース配置候補は合計856箇所である。ブレース配置候補を Fig.3 に示す。図中の細線はブレース配置候補で、数字はブレース配置候補番号である。ブレース候補部材の断面は

7種類とし、直径20mmから30mmの丸鋼から選定した。ブレース断面リストは Table 2 に示す。なお、解析前の最適化モデルにおける鉛直方向の節点変位の最大値は-30.5742mmである。鉛直方向成分の許容値は、-18mmと設定した。

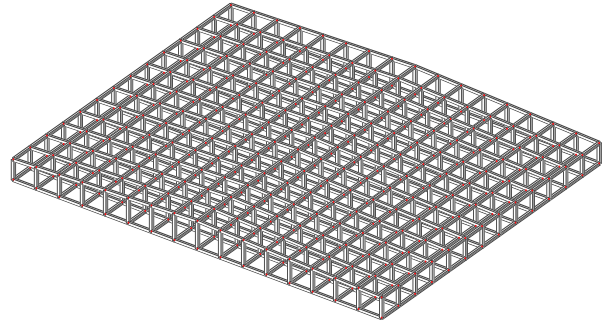


Fig. 2 解析モデル

Table 1 解析モデル使用部材断面リスト(H型鋼)

番号	H[mm]	B[mm]	t1[mm]	t2[mm]	断面積[mm ²]
1	150	150	7	10	4014
2	200	200	8	12	6353
3	208	202	10	13	8369

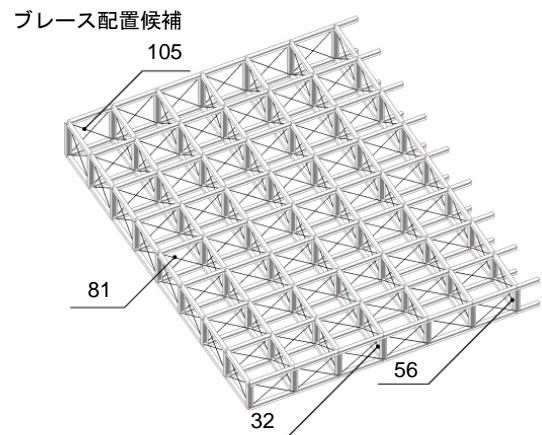


Fig. 3 ブレース配置候補

Table 2 ブレース断面リスト(丸型鋼)

番号	直径[mm]	断面積[mm ²]
1	20	314.2
2	22	380.1
3	24	452.4
4	25	490.9
5	27	572.6
6	28	615.8
7	30	706.9

3.2. 解析結果

最適化手法ごとに鉛直方向の節点変位の最大値の変化、ブレース配置候補 32、56、81、105 の節点間距離変化率の変化、ブレース数、総体積、ステップ数を示す。ブレース配置候補 32、56、81、105 の場所は Fig.3 に示した。

3.2.1. 貪欲アルゴリズムに基づく手法

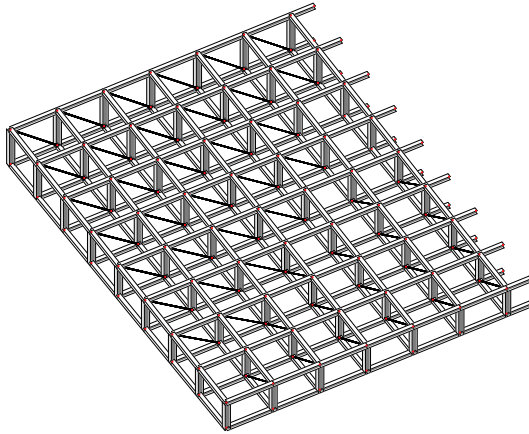


Fig. 4 最適解 (閾値 C x0.7)

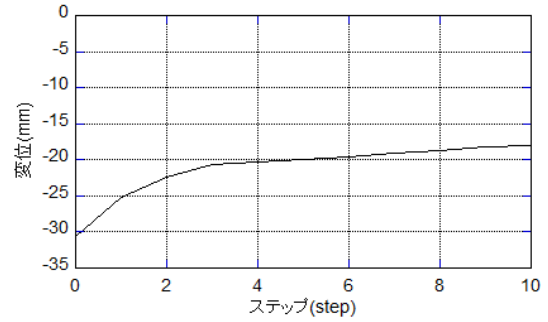


Fig. 5 鉛直方向の最大節点変位 (閾値 C x0.7)

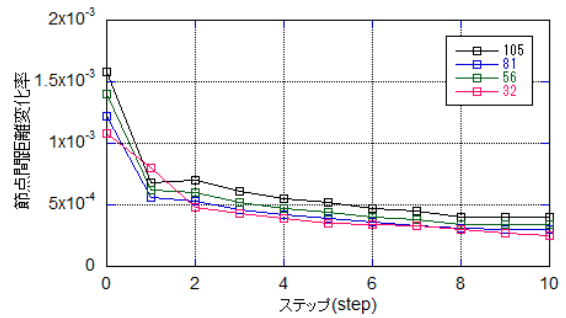


Fig. 6 節点間距離変化率 (閾値 C x0.7)

Table 3 ブレース数、総体積、ステップ数(貪欲アルゴリズムに基づく手法)

ブレース番号	A)	B)	C) x0.95	C) x0.9	C) x0.85	C) x0.8	C) x0.75	C) x0.7
1	46	42	46	46	42	42	42	46
2	4	8	4	4	8	8	8	30
3	6	6	6	6	6	6	6	16
4	8	4	8	8	8	4	4	6
5	24	20	24	24	24	20	24	8
6	0	8	0	0	0	8	4	8
7	88	88	88	88	88	88	88	66
総数	176	176	176	176	176	176	176	180
総体積[cm ³]	227344.1	229504	227344.1	227344.1	227981.8	229504	229092.3	212866.6
ステップ数	230	23	81	46	31	20	15	10

3.2.2. 信号の時間的加算性を考慮した手法

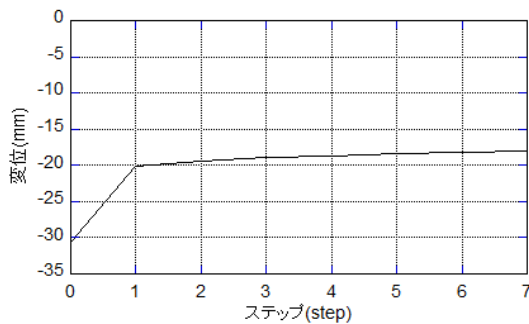


Fig. 7 鉛直方向の最大節点変位 (基準値 A)

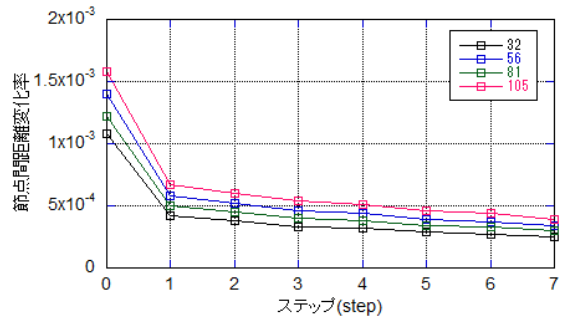


Fig. 8 節点間距離変化率 (基準値 A)

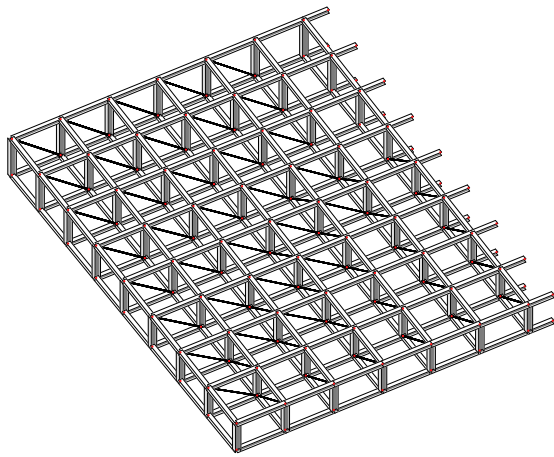


Fig. 9 最適解(基準値 A)

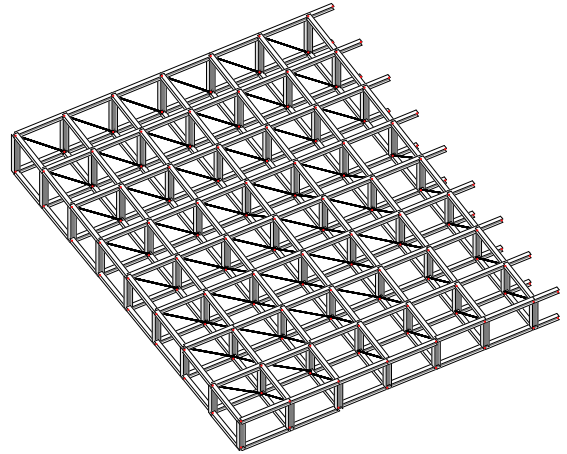


Fig. 10 最適解(基準値 B)

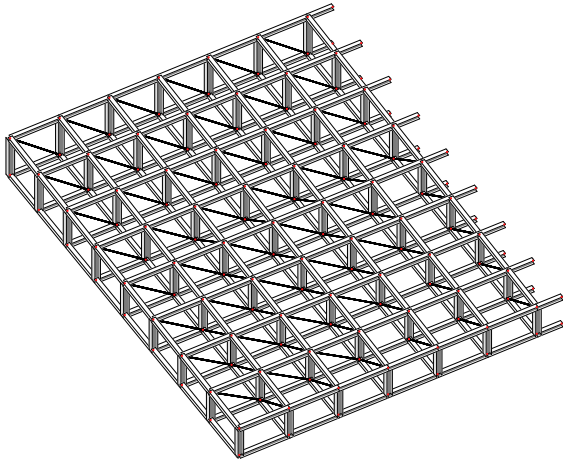


Fig. 11 最適解(基準値 C)

Table 4 ブレース数、総体積、ステップ数(信号の時間的加算性を考慮した手法)

ブレース番号	A)	B)	C)
1	0	0	0
2	106	98	74
3	24	14	16
4	10	12	12
5	4	128	162
6	16	0	0
7	58	0	0
総数	218	252	264
総体積[cm ³]	251082.9	282119.2	307864.3
ステップ数	7	5	5

4. まとめ

本研究では、節点間距離変化率に基づく発見的最適化手法で骨組構造のブレース配置、断面の最適化を行った。第3章の結果より、解析全てにおいて、解析を繰り返すごとに鉛直方向の節点変位の最大値が減少し、許容値内に収まったため、この発見的最適化手法は有効であると考えられる。また、閾値を工夫することによる効率的な最適化の可能性を見出すことができた。

現状では、ブレースを配置して断面積の大きいものに変更していくことのみなので、今後必要に応じて、ブレースを断面積の小さいものへの変更、削除することも取り入れた手法に改善していく必要があると考えられる。さらに、個々のブレースの情報だけでなく、その周辺ブレースの情報も利用し、空間的加算性も考慮したアルゴリズムも検討したい。

[参考文献]

- 1) 三井和男:周期的に変動する条件下における構造形態創生のための発見的的手法、日本建築学会構造系論文集、pp. 73-79、2005年7月
- 2) 島田英里子、三井和男:ブレースの配置と断面設計のための発見的最適化アルゴリズム、日本建築学会九州支部研究報告第54号、pp. 293-296、2015年3月
- 3) 島田英里子、三井和男:発見的最適化アルゴリズムによるブレースの配置と断面設計、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp. 69-70、2015年9月
- 4) 島田英里子、三井和男:最大断面を考慮したブレースの配置と断面設計のための発見的最適化アルゴリズム、コロキウム構造形態の解析と創生 2015、2015年10月
- 5) 松尾圭介、本間俊雄:離散設計変数を用いたホタルアルゴリズムによる鋼構造骨組の最小重量設計、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、pp. 401-402、2014年9月

*1 日本大学大学院 生産工学研究科 数理情報工学専攻

*2 日本大学 教授 工博