

位相最適化                      遺伝的アルゴリズム   環境  
メタボール                      ブーリアン演算              Grasshopper

1.序論

近年、コンピュータの情報処理能力は目覚ましい発展を遂げている。位相最適化もその産物の一つで、一般的に「構造設計問題を、ある与えられた設計領域内での材料分布問題に置き換える」[1]手法である。

「ボクセル有限要素法を用いた構造物の位相最適化」[2]の研究は、1900年代後半に発表された均質化法、密度法を参考に、三次元構造物の位相最適化を行っている。ボクセル有限要素法と密度法を組み合わせることによって、計算効率を飛躍的に改善し、図1、図2のように大規模3次元問題の位相最適化が可能であることが示されている。

本稿でも同様に構造物を位相最適化することを目的としているが構造設計問題に限定しない。人間が行動するような構造物を設計するためには、構造的な強度はもちろん必要であるが、それに加え、まとまった空間がとれており、尚且つそれらがつながっていることや、日照や通風等の環境条件が用途に合っていること、定められた法規を満たしているかなど、多くの条件を満たす必要がある。既存の位相最適化手法でも、適応度関数や制約条件を変更することでいくつかの条件を満たすことができるかもしれないが、人間が行動するためのまとまった空間を確保することは、モデリング手法を見ると難しいことが分かる。既存の位相最適化手法では、ピクセル、またはボクセル単位での材料分布問題によって位相を決定している。これは構造最適化を行うためには理にかなったモデリング手法であるが、まとまった空間を取することは考慮しておらず意識的に空間を

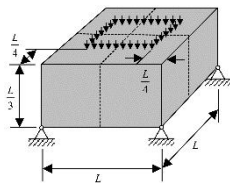


図 1 Design domain

of 3D model[2]



図 2 Optimum

solution obtained

using the present

method with the

gravity control

確保しようとするれば、最適化の妨げになりかねない。

そこで本稿では、位相最適化と空間の確保を同時に行うために、最適化を「空間の配置問題」として捉え、新たなモデリング手法と最適化手法を提案する。

2. 新たなモデリング手法

本稿では位相の決定を、「空間の配置問題」と捉えモデリングを行う。これを本稿では、「空間配置モデリング」と呼ぶ。空間配置モデリングは、メタボール[3]による空間生成と、差のブーリアン演算[4]によるモデル生成の2段階で構成されている。メタボールの持つ、大きさ、配置、他のメタボールからの独立性の情報を変更することでモデルの位相を変え、目的に合わせて最適化していくことができるのが空間配置モデリングの利点である。

メタボールの情報を最適化するために本稿では遺伝的アルゴリズムによる探索を行う。遺伝的アルゴリズムの長所は、遺伝子の表現の仕方と、適応度関数を変更することで、どんな問題でも一定以上の結果を得られるという点である。構造物の位相最適化を行うためには適応度関数を適宜変更する必要があることから汎用性の高い、遺伝的アルゴリズムを採用した。

3. 既存の手法との比較

空間配置モデリングを使った遺伝的アルゴリズムによる位相最適化の有効性を実証するために、既存の構造設計問題に対する位相最適化プログラムとの比較を以下の条件で行った。

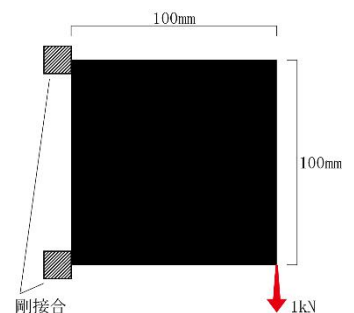





図 3 最適化の設計領域

面積	ヤング率	ポアソン比	適応度関数
70%		0.3	外力仕事

比較する手法は以下の通りである。

- a. 空間配置モデリング&遺伝的アルゴリズム
- b. ピクセル単位でモデリング&遺伝的アルゴリズム
- c. 既存の密度法による最適化プログラム[5]

手法	a	b	c
外力仕事 (kN/mm)	94.030	104.761	24.888
最適化 モデル	 図 3(a)	 図 4(b)	 図 5(c)

手法 a と手法 b の結果を比較すると、a の方がまとまった空間が存在し、かつ空間同士がいくつかつながることで大きな空間をいくつか形成していることが確認することができる。

手法 a と手法 c の結果を比較すると、外力仕事の値はやはり、構造最適化に特化した c の方が良い結果が出た。ただ、モデルを比較してみると、a によって最適化されたモデルの空間部分の配置が、c の結果と近く、遺伝的アルゴリズムによる探索自体は正しい挙動を示していることが分かった。

#### 4. 3 次元構造物の位相最適化

以下の条件で 1 辺 10m の構造物の位相最適化を行った。

構造解析の際、材料特性は土木学会指針（案）超高強度繊維補強コンクリートの設計用値を参考にした。

- 適応度関数

Ex.1 夏至、冬至において、式 (2) の  $T$  を最大化



Ex.2 夏至は式 (2) の  $T$  を最小化、冬至は  $T$  を最大化

- 制約条件

Ex.1,2 空隙率 50%以上  
式(3)

(3)

	Ex.1 エリートモデル	Ex.1 最終モデル	Ex.2 エリートモデル

			(Ex.2 最終モデル)
最終モデル	 図 6 Ex.1 エリート モデル	 図 7 Ex.1 最終 モデル	 図 8 Ex.2 最終 モデル
夏至合計 日照時間(h)	158186	138910	105659
冬至合計 日照時間(h)	152165	137388	155896
最大主応力 0	(NG)	(OK)	(OK)

Ex.1 と Ex.2 では「夏至の合計日照時間を最大化するか最小化するかが異なり、夏至と冬至の太陽高度の違いが、構造物上部の形状の違いを生んだと考えられる。

問題点は Ex.1 で、第 30 世代のエリートモデル（最も良い値を得られたモデル）が構造解析の結果、制約条件を超えていたため、最終モデルに採用することができなかった点である。この問題は、探索の中で構造解析を行い、制約条件を満たすモデルのみで探索を行うことで防げたことであるが、具体的な手段は今後の課題である。

#### 5. 結論

第 3 章で行った、既存の手法との比較では、まとまった空間を作りながら位相最適化を行うという点で、本稿の手法の優位性を証明することができた。

第 4 章では実際に 3 次元空間での位相最適化を行い、構造的強度の面で課題が残ったものの、設定した適応度関数に合わせた位相を得ることができた。今回は合計日

照時間のみでの探索しか行っていないが、構造物に対して適切な解析を行うことができれば、様々な適応度関数に合わせて探索を行うことは理論上可能である。

ただし現在、複数の専門ソフトをリアルタイムで動かして解析結果を得ることが難しく、今回は Grasshopper で出来る解析の範囲内でしか実証することができなかった。今後は、Grasshopper 以外でプログラムを作ることも視野に入れ、様々な適応度関数に対して探索を行っていく。

#### 文献

- [1] 山崎慎太郎 (2017) 「トポロジー最適化の概要と新展開」, 『システム/制御/情報』 61(1), pp.29-34, 一般社団法人システム制御情報学会.
- [2] 藤井大地 鈴木克幸 大坪英臣(2000) 「ボクセル有限要素法を用いた構造物の位相最適化」, 『日本計算工学会論文集』 2000(1), No.20000010, 一般社団法人 日本計算工学会.
- [3] 梅村隆, 岡田稔 (1997) 「メタボール表現からの三角形パッチ生成」, 『情報処理学会研究報告グラフィクスと CAD (CG)』 84(1), pp.1-6, 一般社団法人 情報処理学会.
- [4] 尾下真樹 黒木進 牧之内顕文 (1998) 「d 次元多面体の集合演算アルゴリズム」, 『情報処理学会研究報告グラフィクスと CAD (CG)』 91(13), pp.71-76, 一般社団法人 情報処理学会.
- [5] TOPOPT (2018) 「Topology optimization codes written in Python」, 『<http://www.topopt.mek.dtu.dk/Apps-and-software/Topology-optimization-codes-written-in-Python>』 (最終閲覧日 : 2019 年 1 月 8 日)