

29. 骨組ユニットセルを用いた構造物の位相最適化に関する研究

1710920055 竹本 裕紀

ボクセル有限要素法, CA-IESO 法, 立体骨組解析, 位相最適化

指導教員 藤井大地 教授

1. はじめに

従来のボクセル有限要素法を用いた位相最適化手法である CA-IESO 法は, 力学的合理性を有する多様な建築構造物を創生できる. 本手法は, ボクセル分割された固定直方体領域内に, 設計対象領域を設定し, その設計対象領域の要素を徐々に除去する (材料密度を 0 にする) ことで最適形態を求める IESO (+仕上アルゴリズム) と, 少ない要素数で初期形態を設定し, そこから負荷・除去を繰り返して最適形態に進化させる方法である CA 法を組み合わせたものである. しかしながら, 従来の CA-IESO 法は各ボクセルの中が密になっている連続体である. そのため, 実際にビルなどの建築物の形態創生には応用しづらい.

そこで本研究では, 従来の CA-IESO 法を改良して各ボクセルの中が密になっていない骨組構造で形成された骨組ユニットセルと, 従来の中が密になっているボクセルを用いた CA-IESO 法との比較を行う. また, 実際にメタボリズム建築のように同じ形の組み合わせで建築物の形態創生が行えるのかについての検討を行う.

2. CA-IESO 法による解析概要

CA-IESO 法では, 目標体積に達するまでは IESO 法による要素除去 (材料密度 1→0) が行われる. そして, 目標体積に達すると CA 法による付加 (材料密度 0→1) が 1 回行われ, 再度複数回の IESO 法の繰り返しで要素除去が行われる. 以上の繰り返しで, 目標体積が満足された解のみを保存していく.

2.1 IESO 法による要素除去

設計対象とする要素の初期密度を 1 とし, 応力解析を繰り返し, 設計感度の小さい要素を徐々に除く (密度を 0 にする) ことによって形態を創生する.

$$\rho_i = 0 \text{ if } \sigma_i^{VM} < X_{cr} ; i = 1, \dots, N_L \quad (1)$$

ここに, ρ_i, σ_i^{VM} は要素 i の密度 (0 or 1) とひずみエネルギー感度, N_L は残存要素数, X_{cr} は閾値である.

2.2 CA 法による要素生成

要素付加ルールは CA 法を用いる. これは, 要素感度 α_i を用いて次式のように表される.

$$\rho_{sij} = 1 \text{ if } \sigma_i^{VM} \geq \sigma_m^{CA} ; i = 1, \dots, N_L, j = 1, \dots, n_i \quad (2)$$

ただし, α_{av}^{CA} は残存要素の感度平均値で次式により計算

される.

$$\alpha_{av}^{CA} = \frac{1}{N_L} \sum_{i=1}^{N_L} \alpha_i$$

3. 骨組ユニットセルの概要

図 1 は, 本研究で使用する骨組ユニットセルである. 図に示しているように, 骨組ユニットセルはボクセルの中が密になっていないものと, ボクセルの周囲にブレースが有るものの 2 つ使用する.

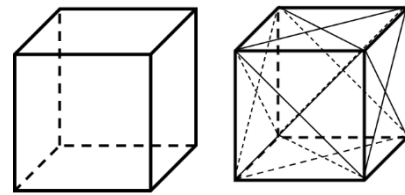


図 1 骨組ユニットセルのイメージ図

4. 解析例

骨組ユニットセルの有効性を検証するために, CA-IESO 法で求められる解との比較を行う. 解析結果は, 骨組ユニットセルのブレースなし (case1), 骨組ユニットセルのブレースあり (case2), CA-IESO 法 (case3) をそれぞれ並べている.

図 2 と図 5 のような解析モデルを用いて解析を行う. ボクセル (要素) 分割数は, それぞれ $10 \times 16 \times 2$ とする. 拘束条件は片側を完全拘束とし, 加重条件は自由端の片側の中央に鉛直に集中加重として与える. 最適化解析のパラメータは, 初期除去率 $\lambda_E = 0.02$, 仕上除去率 $\lambda_E^f = 0.01$, 初期付加率 $\lambda_A = 0.1$, 仕上付加率 $\lambda_A^f = 0.02$, 半径倍率 $b_r = 1.5$, 断面寸法 $= 0.2$, 目標体積比 $= 0.5$ であるとする.

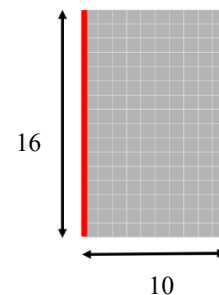


図 2 解析モデル

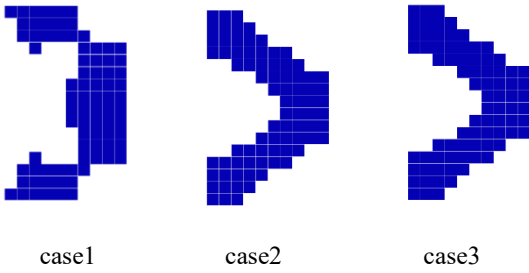


図4 図2の解析結果の比較

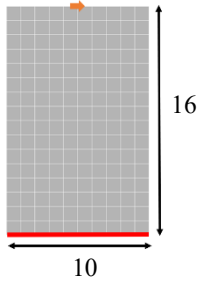


図5 解析モデル

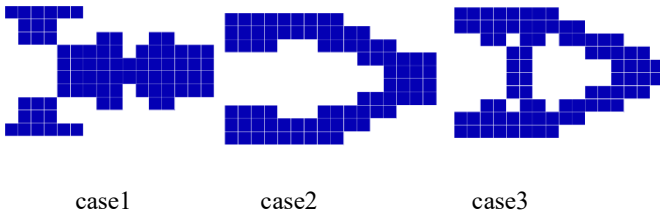


図5 図3の解析結果の比較

次に図6のような3次元の解析モデルを用いて解析を行う。図6は骨組ユニットセルによる構造物の有効性を検証するため、初期形態で実際の建築物にあるエレベータなどのコアになる部分を設定した。ボクセル(要素)分割数は、それぞれ $10 \times 16 \times 10$ とする。拘束条件は最下面の4隅とコアの部分に完全拘束とし、荷重条件は最上面のコアの部分にX方向に鉛直集中荷重とY方向に水平集中荷重を与える。最適化解析のパラメータは、初期除去率 $\lambda_E = 0.02$ 、仕上除去率 $\lambda_E^f = 0.01$ 、初期付加率 $\lambda_A = 0.1$ 、仕上付加率 $\lambda_A^f = 0.02$ 、半径倍率 $b_r = 1.5$ 、断面寸法 $= 0.2$ 、目標体積比 $= 0.5$ であるとする。

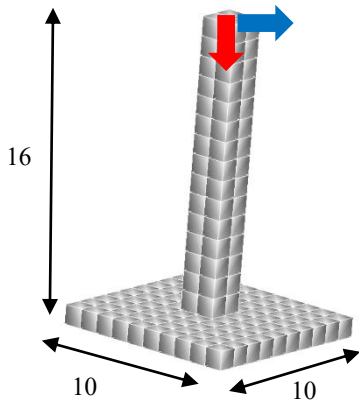


図6 解析モデル

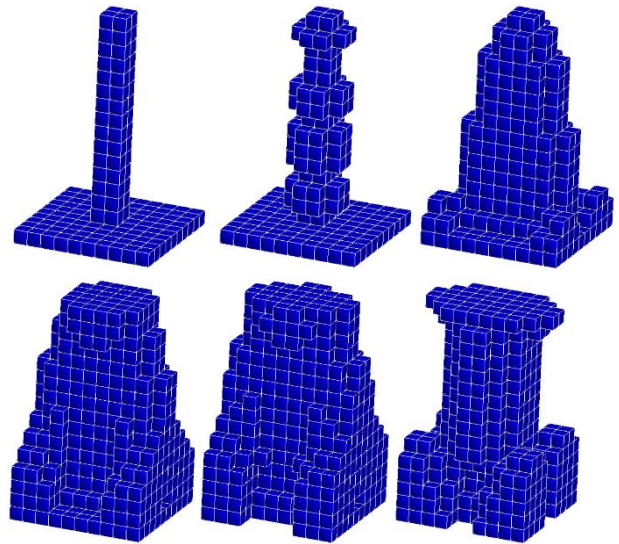


図7 case1の解析結果

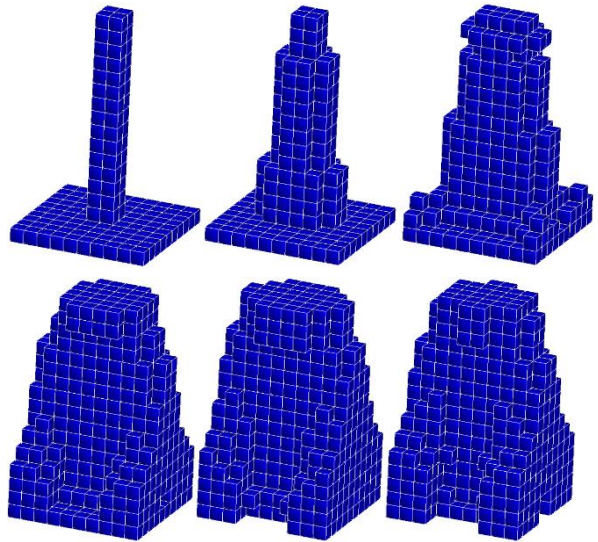


図8 case2の解析結果

5 まとめ

本論文では、骨組ユニットセルを用いたCA-IESO法の有効性の検討を行った。その結果、2次元問題の解析で骨組ユニットセルと従来のCA-IESO法の解に違いが出るのが検討できた。3次元解析では、メタボリズム建築のようにボクセルの重ね合わせで形態創生ができることが分かった。

以上から、骨組ユニットセルを用いた構造物はビルなどの位相最適化の解析を行える手法であることが検討された。

参考文献

- 1) 新内洋平, 松本慎也, 藤井大地: IESO法を用いた建築構造の形態創生 鉛直荷重と地震荷重に抵抗する建物の自然形態, 日本建築学会構造系論文集, Vol.82, No.731, pp97~103, 2017.1