

4. IESO 法を用いた建築構造デザインに関する研究

1210920035 安楽優希
指導教員 藤井大地 教授

位相最適化 IESO 法 ボクセル有限要素法 3次元構造 構造形態創生

1. はじめに

近年、製造技術の革新により、3Dプリンタ等を用いてこれまでにない自由な形態の部品や製品を造り出すことが可能になりつつある。このような技術革新は建築分野にも波及してきており、これまでにない自由な形態の建築物が次々と建造されている。このような流れの中で、バイオミメティクスと呼ばれる、生体の持つ優れた機能や形状を模倣し、工学・医療分野に応用する技術が注目されている。一方、工学分野で発展してきた位相最適化手法は、骨や樹木などの自然形態を模倣できる技術でもあり、バイオミメティクスへの応用も期待されている。

そこで、本研究では、進化的構造最適化手法である BESO 法¹⁾、拡張 ESO 法²⁾、CA-ESO 法³⁾の利点を組み合わせ、初期の ESO 法を改良した改良型 ESO 法（以下では IESO (Improved Evolutionary Structural Optimization) 法と呼ぶ）を用いて、床スラブを自然な樹木が支えるような建築構造形態を創生する技術について検討を行う。

2. IESO 法による 3次元構造の位相最適化

IESO 法では、要素除去に関しては、拡張 ESO 法²⁾のルールを用いる。ただし、本手法では、要素除去の指標として、各要素の von Mises 応力の代わりに、ひずみエネルギー感度を用いる。したがって、要素除去のルールは次式となる。

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

ここに、 N_L は残存要素数、 X_{cr} は(2)式の閾値であり、 α_i は*i*番目要素のひずみエネルギー感度である。ただし、IESO 法では、ひずみエネルギー感度の計算は BESO 法¹⁾に準じる。

$$X_{cr} = \alpha_{av} - \eta \cdot \phi \quad (2)$$

ここに、 α_{av} と ϕ は残存要素のひずみエネルギー感度の平均値と偏差平均であり、次式から計算される。

$$\alpha_{av} = \frac{1}{N_L} \sum_{i=1}^{N_L} \alpha_i \quad \phi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_L} (\alpha_i - \alpha_{av})^2}{N_L}} \quad (3)$$

ここに、 η は要素の除去量を制御する制御変数であり、 η が大きいと要素が除去されにくく、 η が小さいと除去されやすくなる。IESO 法では、BESO 法と同様に各ステップの要素除去率を与え、この除去率を近似的に満たす η をプログラム内で自動計算する。

図 1 は IESO 法の計算フローを示したものである。本解析に必要な入力データとしては、有限要素解析に必要なデータとして、設計領域の大きさ (L_x, L_y, L_z)、分割数 (n_x, n_y, n_z)、ヤング係数、ポアソン比、境界条件、荷重条件がある。また、最適化計算に必要なデータとして、影響半径 r_{min} 、残存要素数の下限値 \bar{N}_L 、除去率 λ がある。また、設計領域内に空間や固定スラブ等を設定する場合は、設計対象から除外する要素の番号・密度情報 (0/1) を入力する必要がある。

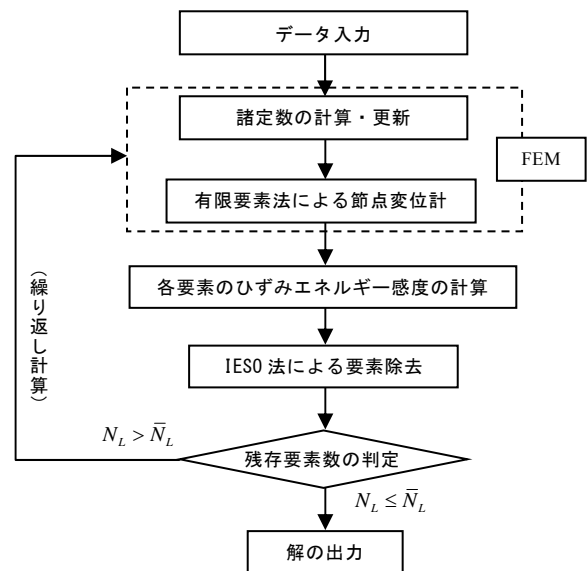


図 1 IESO 法の計算フロー

3. 解析例

3.1 上面スラブを支える柱形態

まず、図 2 に示す設計領域を仮定し、上面のスラブを支える柱形態の創生を試みる。ボクセル要素分割数は $82 \times 50 \times 16$ とし、上面スラブ部分に等分布鉛直荷重と鉛直荷重の 0.2 倍の 2 方向地震力を加える。柱脚の支持点は、図 2 に示す位置に配置し、応力集中を避けるため、支持点の拘束は、4 節点で与える。図 3 は、目標体積を領域の体積の 10% とし、除去率 $\lambda=0.1$ 、影響半径倍率 3 として解析を行った結果を示す。また、図 4 は支持点の配置を様々に変化させた場合の結果を示している。

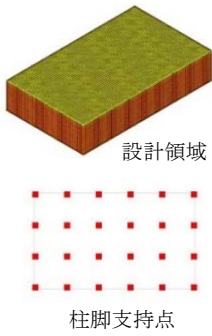


図 2 解析モデル 1

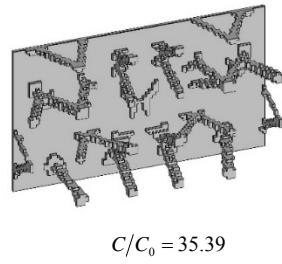


図 3 解析結果

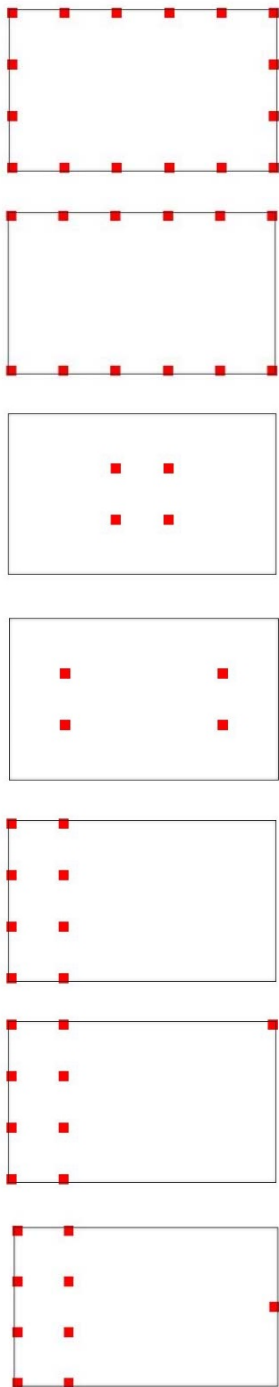


図 4 柱脚支持点の配置を変化させた場合の解析結果

3.1 トイレの設計例

次に応用的な例題として、トイレの設計例を取り上げる。図 5 は設計領域の平面図を示す。図の黄色で示す部分はトイレの機能を満たすための壁で、これは除去されない要素としている。要素分割は $250 \times 175 \times 75$ で、上面屋根根スラブに鉛直等分布荷重とその 0.2 倍の地震力を 2 方向から加え、下面の基礎スラブ部分はすべて固定支持とする。図 6 は、目標体積を領域の体積の 5% とし、除去率 $\lambda = 0.05$ 、影響半径倍率 2 とし解析を行った結果を示す。

黄：非設計
赤：設計
緑：空間

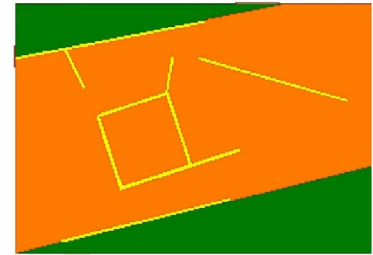


図 5 解析モデル 2

Step 数	56
解析時間	73 時間 35 分
C/C ₀	1.2

Intel(R)Core(TM)i7-4790 CPU@3.60GHz

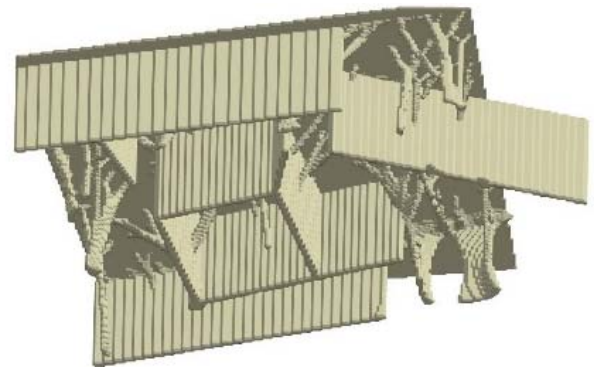


図 6 解析結果

4. 考察とまとめ

本研究では、IESO 法を用いて、床スラブを自然な樹木が支えるような建築構造形態を創生する技術について検討を行った。その結果、柱脚の支持点の配置を変化させることで、樹木が根を張るような自然な形態が得られることがわかった。また、トイレの設計においても、自然の樹木が屋根を支えるような形態が得られ、バイオミメティクスへの応用が可能であることが検証された。

参考文献

- 1) Huang, X., Xie, Y.M. : Convergent and mesh-independent solutions for the bi-directional evolutionary structural optimization method, Finite Elements in Analysis and Design, Vol.43, pp.1039-1049, 2007
- 2) 崔昌禹, 大森博司, 佐々木睦朗: 拡張 ESO 法による構造形態の創生—三次元構造への拡張—, 日本建築学会構造系論文集, 第 576 号, pp.79-86, 2004.2
- 3) 藤井大地, 岡部 諒, 真鍋匡利: CA-ESO 法とボクセル有限要素法を用いた 3 次元構造物の位相最適化, 日本建築学科構造系論文集, Vol.79, No.703, pp.1279-1286, 2014.9