

## 4. IESO 法を用いたスラブの形態創生に関する研究

1410920103 森嬉帆

指導教員 藤井大地 教授

トポロジー最適化 IESO 法 ボクセル有限要素法 構造形態創生

## 1. はじめに

近年、3Dプリンター等のデジタルファブリケーション技術が発展し、建築業界にも少しずつ普及してきている。今後、繊維コンクリート等の無筋材料の高強度化が進めば、建築物の構成要素も様々な形態のものが開発されると考えられる。そこで本研究では、形態創生手法の1つであるトポロジー最適化手法を用いて建築物の構成要素の形態創生を試みている。先行研究では、丸山ら<sup>1)</sup>が、ESO (Evolutionary Structural Optimization: 進化的構造最適化) 法を改良した IESO (Improved ESO) 法を用いたプレファブユニット壁の形態創生手法を提案している。

本論文では、建物の床または天井スラブに着目し、より軽量で剛性の高いスラブの形態を創生する手法を提案する。なお、スラブの剛性を高める方法としては、引張が生じるスラブ下面を CFRP 等で表面補強する方法<sup>2)</sup>、スラブを厚くし、中間層を中空にする中空スラブ、下面にリブ等の補強を施すグリッドスラブ等がある。本論文では、この3種のスラブについて、表面補強ではその最適補強形態を、中空スラブではその最適な中空の配置を創生し、また、グリッドスラブ(直天井)に対しては、グリッド以外のより多様なデザイン(形態)の創生を試みる。

## 2. IESO 法の概要

ESO法は、ボクセル分割された直方体領域において、各ボクセルの目的関数に関する感度を指標として、感度の低いボクセルを徐々に消して行く(材料密度を1から0にすること)で形態を創生する方法である。また、IESO法(改良型ESO法)<sup>3)</sup>は、この初期のESO法の感度を求める方法と各ステップのボクセルの除去ルールを改良した方法である。なお、本手法では、得られた形態をさらに鮮明にする仕上アルゴリズムを用いている。

IESO法に必要なデータとしては、固定設計領域の大きさ、直方体各辺のボクセル分割数、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は、感度を平滑化するための影響半径(ボクセルの1辺の長さの倍数 $b_f$ で与える)、目標体積比 $\bar{V}_r$ (目標残存ボクセル数/直方体の全ボクセル数)、各ステップの除去率 $\lambda$ がある。

## 3. 解析例

図1は、解析モデルの固定設計領域を示したものである。ただし、ボクセル分割数は $240 \times 240 \times 6$ とし、荷重は上面のすべての節点に等分布鉛直荷重を加えるものとする。なお、線形弾性解析では、ヤング係数、ポアソン比、荷重値等は、結果の形態に影響を及ぼさないため表記を割愛している。

図2は、表面補強、中空スラブ、直天井の最適形態を創生するための解析モデルを示す。ここで、表面補強では、最下層のみが設計対象となり、その他の層はボクセルが除去されない固定密度領域となる。同様に、中空スラブでは中間2層のみが設計対象となり、直天井では下層の2層のみが設計対象となる。

図3は、スラブ周囲の境界条件を変化させた場合の各解析モデルの最適形態を示している。ただし、IESO法の除去率 $\lambda$ は0.01、影響半径倍率 $b_f$ は10としている。なお、図中には、初期コンプライアンス $C_0$ と収束解のコンプライアンス $C$ の比を示している。

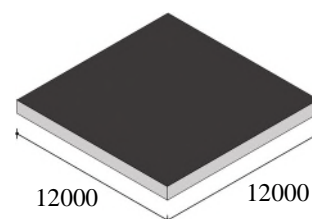


図1 解析モデル

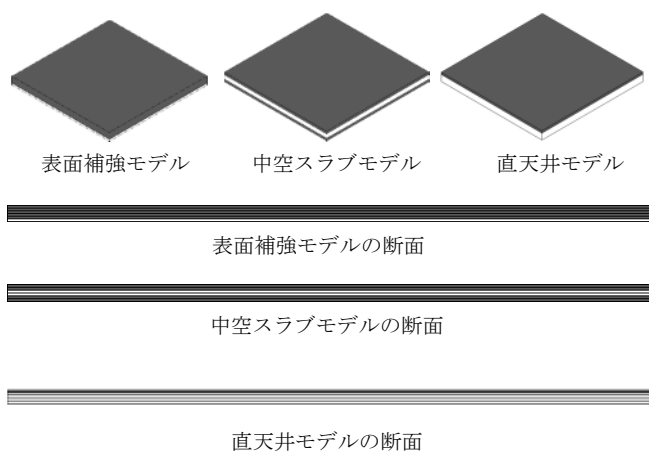


図 2 各解析モデルの密度固定領域と設計対象領域

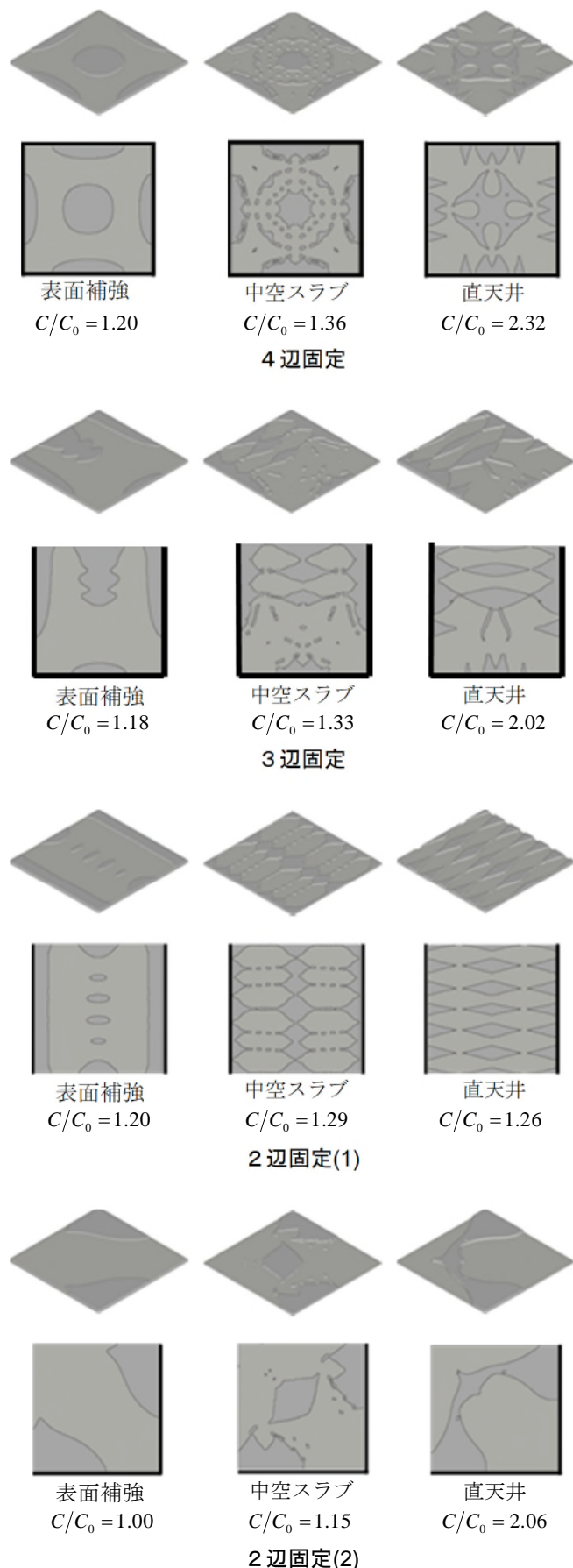


図 3 IESO 法による解析結果

また、図 3 の CFRP、中空スラブ、直天井モデルでは、表面の凸面積が等しくなるように目標体積比  $\bar{V}_r$  を定めている。また、板厚方向の設計変数番号は同一番号とし、板厚方向で密度分布が変化しないようにしている。さらに、四辺固定および 2 辺固定(1)では、設計変数に軸対称条件を付与している<sup>1)</sup>。

図 3 からわかるように、表面補強、中空スラブ、直天井の形態は少なからず異なる形態となることがわかる。特に、表面補強と直天井では、かなり異なった形態が得られている。これは、板厚方向の応力分布の違いによる影響と考えられる。また、中空スラブでは、離散的な分布が現れやすいこともわかる。これは、中空部分では、上下層を単に連結する役割が主となるためと考えられる。

なお、4 辺固定の表面補強の解は、数理計画法により CFRP の最適補強形態を求めた先行研究<sup>3)</sup>とほぼ同様の形態が得られており、本手法の有効性を示す結果となっている。

#### 4. まとめ

本論文では、建物の床または天井スラブに着目し、より軽量で剛性の高いスラブの形態を創生する手法を提案し、表面補強スラブ、中空スラブ、直天井スラブに関して、その有効性を検討した。その結果、表面補強、中空スラブ、直天井に関する最適形態は異なる形態となることがわかった。また、4 辺固定支持の表面補強の結果は、文献 3) とほぼ同じ結果が得られていることから、得られた形態に沿って CFRP 補強を行えば、効率のよいスラブ補強が行えることがわかった。また、直天井に関しては、鉄筋の配筋が難しい形態となる場合もあるため、配筋を必要としない繊維コンクリート等の普及を待つ必要があるが、グリッドスラブ等に比較して、軽快で美しい直天井デザインが可能であることがわかった。

#### 参考文献

- 丸山瑞樹, 松本慎也, 藤井大地: IESO 法を用いた建築構造の形態創生 -ファサードデザインへの応用-, 日本建築学会構造系論文集, Vol.82, 第 739 号, pp.1383-1389, 2017.9
- 藤井大地, 小泉智彦, 森村 毅: 位相最適化手法を用いた CFRP による中空スラブの最適補強, 日本建築学会構造系論文集, 第 585 号, pp.109-114, 2004.11
- 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, pp.97-103, 2017.1