

40. グランドストラクチャ法を用いた建築構造デザイン

04168060 萩祐
指導教員 藤井大地 教授

位相最適化 グランドストラクチャ法 密度法 CONLIN 法 構造デザイン

1. はじめに

近年、建築構造のデザインを考えるツールとして、位相最適化手法による構造形態創生が注目されている。このような形態創生で用いられる位相最適化手法は、次の2つに大別される。1つは、拡張された設計領域を2次元または3次元有限要素メッシュで分割し、要素の材料密度を最適化することで形態を創生するものであり、もう1つは、設計領域に適当な節点を配置し、節点間を可能な限りの線要素で結んだグランドストラクチャの各線要素の材料密度（または断面積）を最適化することで形態を創生するものである。一般に前者の方法は均質化法または密度法、後者の方法はグランドストラクチャ法と呼ばれている。グランドストラクチャ法では配置する節点が増えると線材数が膨大となり、最適解を求めることが容易ではなくなるが、最近、高田らによって、トラス構造のグランドストラクチャ法に対して、線形計画法により厳密解が得られる方法が提案された。また、藤井らは剛接骨組を対象として、非線形計画法を用いながら厳密解を得る手法を提案した。

そこで本研究では、本提案手法を用いて、建築構造デザインへの応用の可能性を検討する。

2. 最適化手法の概要

本研究では、グランドストラクチャを構成する各要素の材料密度を設計変数とし、 i 番目要素の剛性マトリクス \mathbf{k}_i が要素密度 ρ_i を用いて次式のように表す。

$$\mathbf{k}_i = \rho_i^p \mathbf{k}_i^0 \quad \rho_i \geq 0 \quad (1)$$

ここに、 \mathbf{k}_i^0 は初期の要素剛性マトリクス、 p は小さい密度へのペナルティとなるべき乗係数。また、グランドストラクチャの質量 m は次式で表す。

$$m = \sum_{i=1}^N \rho_i A_i l_i \quad (2)$$

ここに、 N は要素数、 A_i 、 l_i は i 番目要素の断面積と長さを表す。

位相最適化問題は、質量制約下でコンプライアンスを最小化する次のような問題として定式化する。

$$\begin{aligned} & \text{minimize } C(\rho) \\ & \text{subject to } m(\rho) \leq \bar{m}, \quad \rho \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、コンプライアンス C は、次式から求められる。

$$C = \mathbf{d}^T \mathbf{K} \mathbf{d} = \mathbf{d}^T \mathbf{f} \quad (4)$$

ここに、 \mathbf{d} 、 \mathbf{f} は節点変位ベクトルと節点外力ベクトル、 \mathbf{K} は全体剛性マトリクスである。

(3) 式の解法として CONLIN 法を用いる。その場合、設計変数の増減が目的関数の増減に比例する必要がある。このため、本研究では $\alpha_i = 1/\rho_i$ を設計変数とする。この場合、要素剛性マトリクス \mathbf{k}_i は次式で表される。

$$\mathbf{k}_i = (1/\alpha_i)^p \mathbf{k}_i^0 \quad \alpha_i > 0 \quad (5)$$

3. 解析例

3.1 再計算回数に関する検討

本提案手法の剛接骨組に対する有効性を示すため、再計算回数は何回で解が収束するのか、また、ペナルティ法の有無による位相の違いについて検討した。図1に解析結果を示す。

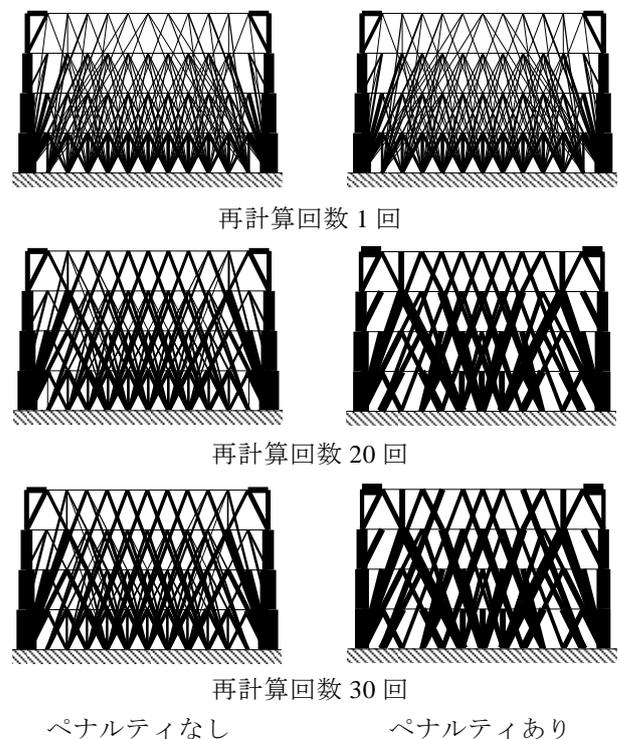


図1 再計算回数の違いによる解析結果

3.2 水平等分布荷重に関する検討

水平等分布荷重の違いによる位相の違いについて図 2 に解析結果を示す. 図中の数値は水平等分布荷重を示す.

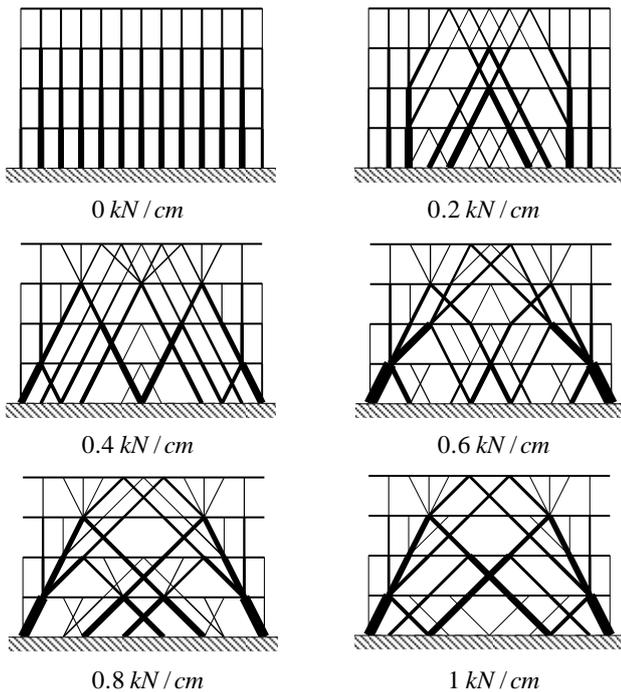


図 2 水平等分布荷重の違いによる解析結果

3.3 境界条件に関する検討

境界条件の違いによる位相の違いについて図 3, 図 4, 図 5 に解析結果を示す.

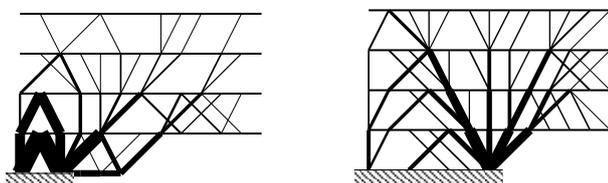


図 3 片側支持の場合の解析結果

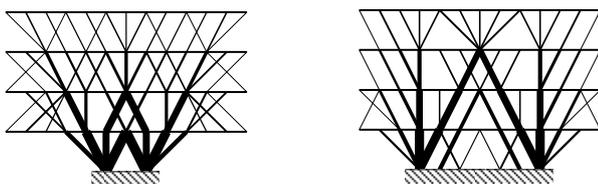


図 4 中央支持の場合の解析結果

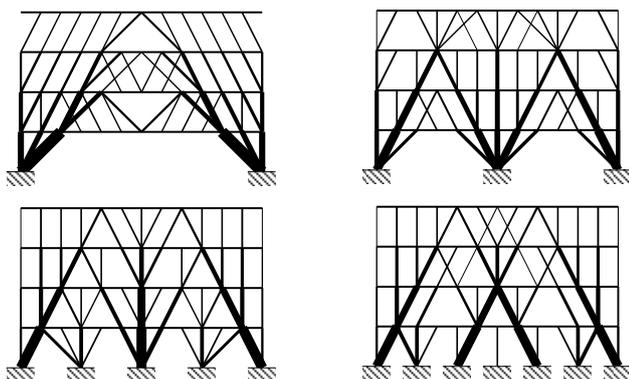


図 5 多点支持の場合の解析結果

3.4 水平等分布荷重に関する検討 (8 層)

8 層の場合における, 境界条件の違いによる位相の違いについて図 6 に解析結果を示す.

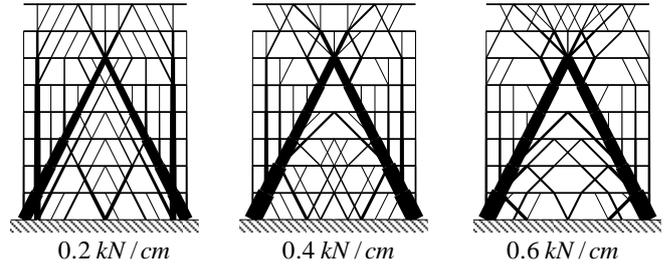


図 6 水平等分布荷重の違いによる解析結果 (8 層)

3.5 境界条件に関する検討 (8 層)

8 層の場合における, 境界条件の違いによる位相の違いについて図 7, 図 8, 図 9 に解析結果を示す.

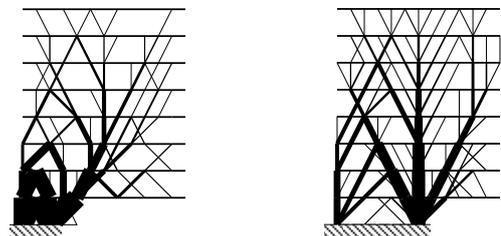


図 7 片側支持の場合の解析結果 (8 層)

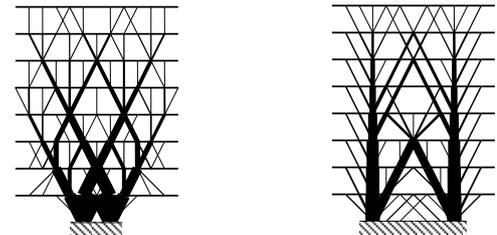


図 8 中央支持の場合の解析結果 (8 層)

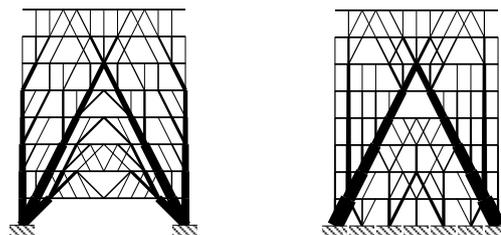


図 9 多点支持の場合の解析結果 (8 層)

4. 結論

本研究では, 剛接骨組構造における本提案手法の有効性を示した. また, 条件を変化させることにより, 様々な位相を得られ建築構造デザインの発想を支援するツールとして十分に有効であると考えられる.

参考文献

- 1) 高田豊文, 松岡貴士, 体積とコンプライアンスを目的関数としたトラス・トポロジー最適化問題への線形計画法の適用, 日本建築学会構造系論文集, 第 598 号, pp.87-91, 2005
- 2) 藤井大地, 真鍋匡利, 高田豊文, グラウンドストラクチャ法による建築構造の形態創生, 日本建築学会構造系論文集, 第 73 巻第 633 号, 2008
- 3) 藤井大地, 建築デザインと最適構造, 丸善, 2008.10