

22. ESO 法を用いた骨組構造の耐震ブレース配置に関する研究

1110920045 山下寛貴  
指導教員 藤井大地 教授

位相最適化 ESO 法 グラウドストラクチャ法 骨組構造 構造形態創生

1. はじめに

位相最適化手法には、連続体を対象とするものと骨組構造を対象とするものがある。骨組構造を対象とする方法は、一般にグラウドストラクチャ法<sup>1)</sup>と呼ばれており、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ウドストラクチャに対して、各線要素の材料密度（または断面積）を最適化することで最適相を求めるものである。

本論文では、骨組構造における ESO 法<sup>2)</sup>に着目し、この方法を応用することで、建築骨組の耐震ブレースの最適配置問題に利用できないかを検討する。ただし、本論文で提案する方法は、既往の研究のように部材断面積(材料密度)を連続的に変化させるのではなく、ひずみエネルギーの小さい部材(要素)を順に除いていく単純な方法で、非常に実用的な手法である。

2. ESO 法を用いたグラウドストラクチャ法

本方法では、節点間を可能な限りの線要素で結んだグラウドストラクチャ(図1参照)に対して以下の計算アルゴリズムを適用する。

- ① グラウドストラクチャの静的弾性解析を行い、各設計対象要素のひずみエネルギー密度を計算する。このとき  $i$  番目要素のひずみエネルギー密度  $V_i$  は次式により計算される。

$$V_i = (1/2) \mathbf{d}_i^e T (\rho_i \mathbf{k}_i^0) \mathbf{d}_i^e / (A l_i) \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{d}_i^e$  は  $i$  番目要素の節点変位、 $\mathbf{k}_i^0$  は初期の要素剛性マトリクス、 $\rho_i$  は要素密度、 $A, l_i$  は断面積と長さである。また、要素密度  $\rho_i$  は、残存している要素は 1 とし、除去要素は 1/1000 とする。なお、除去要素の密度を 0 としないのは、不安定構造になった時の連立方程式の特異性を避けるためである。

- ② 設計対象要素(存在要素)の要素番号をひずみエネルギー密度の小さい順に並べる。
- ③ 最もひずみエネルギー密度の小さい要素番号の要素をグラウドストラクチャから除去する。なお、最小ひずみエネルギー密度の要素が複数ある場合は、複数除去する。(これは対称性を保つための処置でもある。)
- ④ すべての設計対象要素が無くなるまで①~③を繰り返す。

- ⑤ 表示ソフト(本論文では MicroAVS を用いている)を用いて、すべての除去ステップを参照し、優良解を選定する。

3. 解析例

3.1 トラス構造による検証

まず、本方法により、有効な解が得られるかどうかを、トラス構造のグラウドストラクチャで検討する。

図1は、15 節点のトラス構造のグラウドストラクチャを示す。部材断面積はすべて等しく、接合部および支点はピン接合である。ただし、CaseA と CaseB では、支持点および荷重点の位置が異なる。

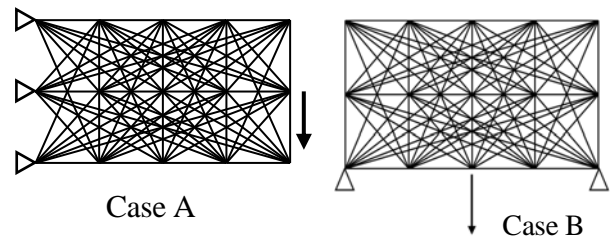


図1 解析例1(トラス)

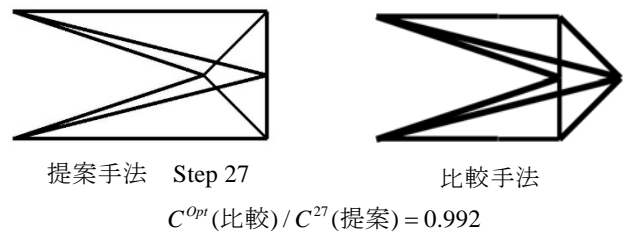


図2 解析例1(CaseA)の解析結果の比較

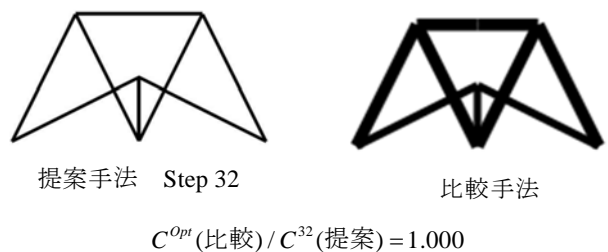


図3 解析例1(CaseB)の解析結果の比較

図 2 と図 3 は、提案手法の解と比較手法（数理計画法にもとづく密度法<sup>1)</sup>）の解を比較したものである。ただし比較手法の質量制約は CaseA, CaseB とともに初期質量の 10% としている。また、比較手法の密度のペナルティは 2, 初期値を変更しての再計算回数は 30 としている。図には、提案手法と比較手法の剛性比（コンプライアンス比） $C^{Opt}$ (比較)/ $C^{32}$ (提案)を示している。ただし、比較手法の結果は部材太さが異なるため、得られた解の部材断面積をすべて均一にして再計算して比較したものである。図より、提案手法の解の剛性は、同等かやや低い程度で、実用上は十分有効な解が得られることがわかる。

### 3.2 耐震ブレースの最適配置

図 4 は、鉄骨構造構面の耐震ブレースの最適配置を求める解析モデル（グラウンドストラクチャ）を示す。柱は角形鋼管、梁は H 形鋼、ブレースは山形鋼（2 枚 1 組）とし、表 1 に断面積と断面二次モーメントを示している。ヤング係数は 210 GPa, 各層の総重量は図 4 中に示される。鉛直荷重は梁への等分布荷重として加えている。地震力は  $C_0=0.2, Z=1.0, T_c=0.6$  の  $A_i$  分布とし、各階床の両端の 2 節点に加えている。

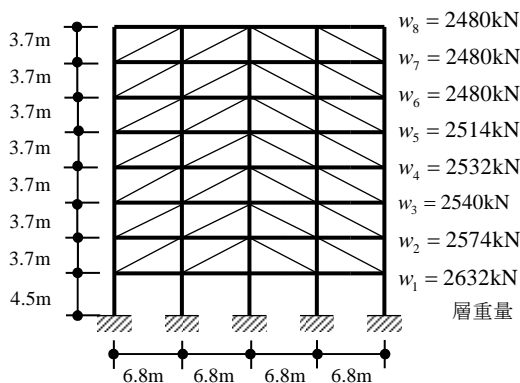


図 4 解析例 2 耐震ブレースの最適配置問題

表 1 部材の断面積と断面二次モーメント

	A (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )
梁	231.5	19700
	187.2	114000
柱	546.3	187000
	295.4	172000
	218.7	159000
ブレース	57.75 × 2	-

図 5 は、提案手法の解と比較手法の解を比較したものである。ただし比較手法の質量制約は図中に示す。また、比較手法の密度のペナルティは 2, 初期値を変更しての再計算回数は 1 としている。図には、提案手法と比較手法の部材の大きさを均一にしたコンプライアンス比を示している。図より、提案手法の解は、比較手法の解と比較して、ほぼ同等の剛性の解が得られていることがわかる。

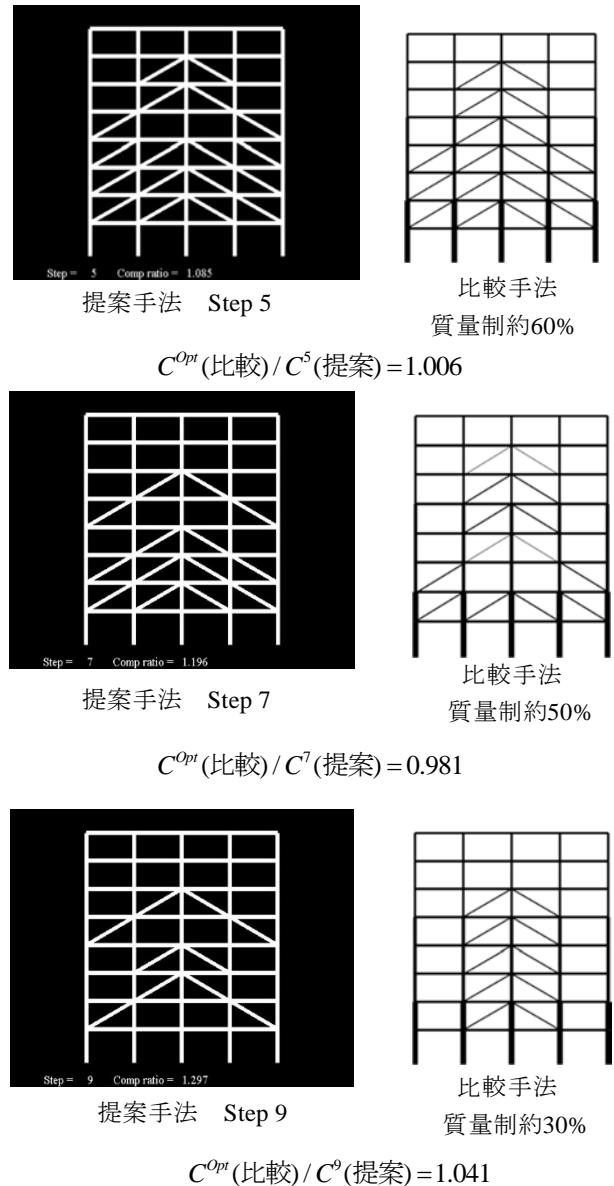


図 5 解析例 2 の解析結果の比較

### 4. まとめ

本論文では、グラウンドストラクチャ法に初期の ESO 法の考え方を適用した骨組構造の簡易的な位相最適化手法を提案し、その有効性を検証した結果、実用上、十分有効な解が得られることが確かめられた。

### 参考文献

- 1) 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 633 号, pp.1967-1973, 2008.11
- 2) Xie, Y.M., Steven, G.P.: Evolutionary Structural Optimization, Springer, 1997