

29. グランドストラクチャー法による形態創生手法に関する研究

04168023 小林 理恵

指導教員 藤井 大地 准教授

ベンチマーク問題 グランドストラクチャー法 SLP 法 CONLIN 法 再計算回数の検討

1. はじめに

近年、計算機と解析技術の発達により様々な形態の構造設計が可能となり樹木や貝殻などの複雑な構造形態の設計がなされるようになってきた。しかし、これまでの手法では建築などの人工的な構造物に応用できるような優れたデザインを創生することが困難であった。

そこで本研究ではグランドストラクチャー法という形態創生手法を用いて建築物に応用でき、デザイン性に優れた位相の創生を行う。本提案手法の有効性を検討するため三重大学の高田らによりつくられた正解の得られているトラス構造のベンチマーク問題¹⁾の解析を行い、本手法の精度を検討し問題点を明らかにする。

2. グランドストラクチャー法による位相最適化

2.1 SLP 法と CONLIN 法

SLP 法（逐次線形計画法）とは、ある探索点における目的関数および制約条件を一次近似した線形計画問題を構築し、これを逐次解きながら最適解を求める方法である。

CONLIN 法とは、1986 年に Fleury and Braibant によって提案され、計算効率の良い最適化手法として近年注目されている。この方法は SLP 法のように、目的関数と制約条件をテーラー展開して解く方法であるが、このテーラー展開の仕方が、SLP 法と異なる。また、この方法ではテーラー展開後の式が線形にはならずより凸な関数となる²⁾。

以上の手法を用いて正解の得られているベンチマーク問題の解析を行ったが 1 回の解析では正解と異なる位相が得られた。

そこで図 1 のように 1 回の最適化改修計算を終えると、得られた解を初期値として、再度同じ最適化改修計算を行いこれを与えた step 数繰り返す手法を開発した。

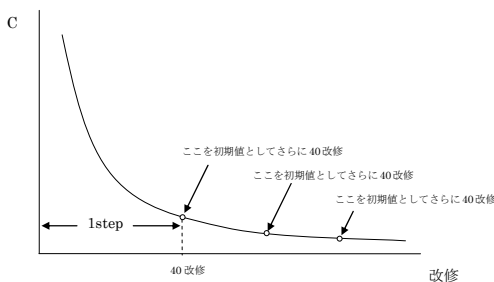


図 1 コンプライアンス C と改修数の関係

2.2 形態創生の方法

グランドストラクチャーは与えられた領域に適当な数の節点を配置し、この節点間を可能な限り多くの要素で連結した骨組（トラス）構造を意味する²⁾。

例えば図 2 のように、ある領域に適当な数の節点を配置するとグランドストラクチャーが得られ、これから数学的な最適化手法を用いて、不要な部材・節点を除いていくと最適な位相を求めることができる。

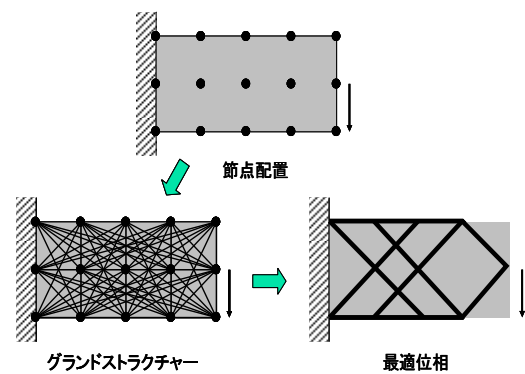


図 2 解析の概念図

2.3 解析モデル及び解析条件

図 3 は同じ大きさの設計領域で 4 通りの荷重・支持条件を考えた、正解の得られているトラス構造のベンチマーク問題である。

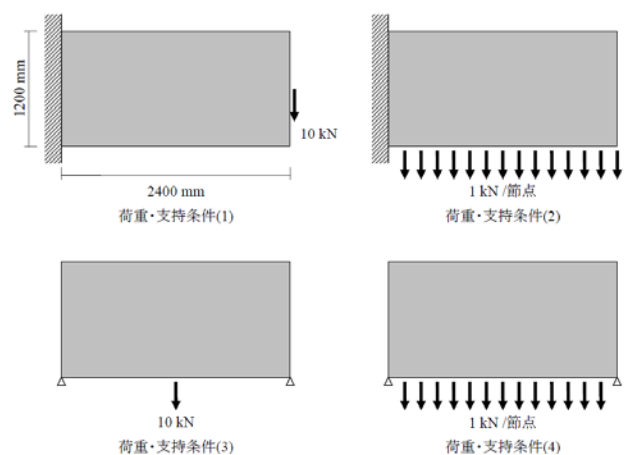
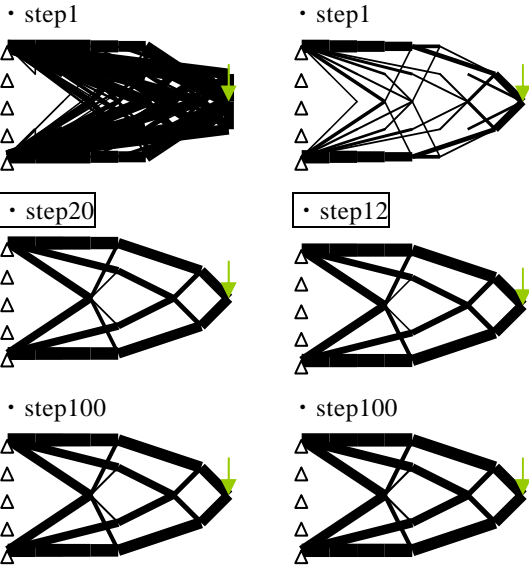


図 3 設計領域と荷重・支持条件

2.4 再計算回数の検討

提案手法の有効性を示すため、「step100」で得られる位相を最終的な位相とした場合、step 数による変化と step 数をいくらに設定するのが妥当であるか検討した。図 4 に解析結果を示す。

ex04x08-01



SLP 法を用いて
行った解析の結果

CONLIN 法を用いて
行った解析の結果

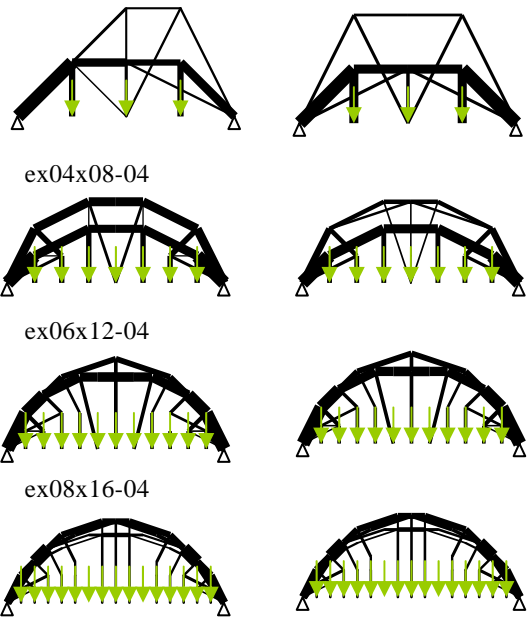
図 4 解析結果

2.5 正解の位相と CONLIN 法による解析結果の比較

CONLIN 法は、SLP 法に比べ、複雑な問題になるほど、はるかに速い速度で最適解に到達でき、位相は問題によって様々だが、コンプライアンス値など比較しても、ほぼ正解に近い結果を得ることができる。

図 5 にベンチマーク問題の正解の位相、CONLIN 法を用いて行った解析結果を示す。

ex02x04-04



ベンチマーク問題の
正解の位相

CONLIN 法を用いて
行った解析の結果

図 5 解析結果

2.6 ペナルティ法の適用

CONLIN 法を用いてトラス構造物の解析を行った場合に、ペナルティ法を適用しない場合と適用した場合での比較を行った。ペナルティ法を適用しない場合、 i 番目要素の密度を ρ_i とし、初期の要素剛性マトリクスを \mathbf{k}_i^0 とすると、要素剛性マトリクス \mathbf{k}_i は次式で表されるものとする。

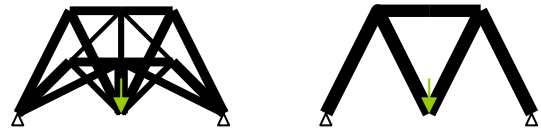
$$\mathbf{k}_i = \rho_i \mathbf{k}_i^0 \quad \rho_i \geq 0$$

また、ペナルティ法を適用した場合、要素剛性マトリクス \mathbf{k}_i は次式で表されるものとする。

$$\mathbf{k}_i = \rho_i^2 \mathbf{k}_i^0 \quad \rho_i \geq 0$$

ペナルティ法を適用した場合、ペナルティ法を適用しない場合よりシンプルな位相を求めることができる。図 6 に解析結果を示す。

ex02x04-03



ex04x08-03



ペナルティ法を適
用しない場合の解
析結果

ペナルティ法を適
用した場合の解析
結果

図 6 解析結果

3. まとめ

本研究では、グラッドストラクチャー法の解法として、SLP 法と CONLIN 法を用いて、初期値を変更して繰り返す新たな手法を開発し、高田らのベンチマーク問題を解くことによりその有効性を検討した。

その結果、最適化問題の再計算回数は 10step 以上必要であり、100step 程度計算すれば、複雑な問題でもほぼ正解が得られること、SLP 法に比較して、CONLIN 法の方がはるかに計算効率が良いことなどがわかった。また、密度を 2 乗し、低い密度にペナルティを課すことで、よりシンプルな位相が得られることがわかった。

本研究で提案した手法は、ピン接合のみならず、剛接にも適用できるため、構造デザインにも、幅広く応用できるものと考えられる。

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. パソコンで解く構造デザイン. 丸善, 2002 構造解析研究室