

13. ESO法を用いた部分的複層スペースフレームの形態創生に関する研究

1610920018 水谷友香
指導教員 藤井大地 教授

位相最適化, ESO法, ラチスシェル, スペースフレーム, 構造形態創生

1. はじめに

ラチスシェルは、線材の組み方として単層と複層に分けられる。単層ラチスシェルは荷重に対し面内力で抵抗する曲面形状が選択され、その耐力は全体座屈で決定されることが多い。一方、複層ラチスシェルは上下弦材が腹材と協働し面外曲げに対し軸力で抵抗するため高い面外剛性・耐力を有し、多くの場合その耐力は個材の座屈耐力で決定される。このため、単層ラチスシェルと比較して設計が容易で広く普及しているが、部材数が膨大になるといふ問題を抱えている。そこで、本研究では一部の複層部材をESO法によって除去し、安全かつ経済的に優れた部分的複層ラチスシェルの形態が創生できないかを検討している。本論文では、まず、部分的な複層が全体剛性にどの程度効果があるかを確かめるため、上層を鋼材の剛接フレームとし、複層部分を木材のピン接フレームとする平面スペースフレームを考案し、提案している形態創生法の有効性を検討する。

2. 最適化手法の概要

本論文に用いる形態創生手法は、文献1)に提案するESO法に基づくもので、骨組解析によって得られる各要素(部材)のひずみエネルギーの最も小さい要素から順に1本ずつ除去していく非常に単純な最適化手法である。ただし、最適化の各ステップで、ひずみエネルギーが等しい要素が複数ある場合は複数除去される。このような計算過程(進化過程)をすべての設計対象要素が除去されるまで繰り返し、各進化過程の形態から変位・応力等の制約条件を満足する解を選択する。

ただし、文献1)等で用いているプログラムでは、連立方程式の解法として直接法(LU分解法)を用いていたため、除去要素は完全に除くのではなく、剛性1/1000の要素として残っていた。しかし、これをスペースフレームに適用した場合、残存する除去要素が剛性に寄与し、要素を完全に除いて解析したコンプライアンス値より低い値となる場合があった。そこで、本研究では、連立方程式の解法として間接法(CG法)を用い、除去要素を完全に除いて解析できるように改良した。ただし、要素の連結がない完全独立節点に関しては、連立方程式からその自由度を抜く処理を加えている。

3. 基本的解析例

まず、図1、図2に示す基本的解析例で、本手法の有効性を検討する。解析モデルの上層は鋼材(H-150×150×7×10)の剛接フレームとし、ヤング係数 E を $2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比を0.3とする。また、複層材は、 E が $1.2 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、 G が $8.0 \times 10^2 \text{N/mm}^2$ の木材(集成材)(150×150)をピン接合するものとする。境界条件は、図2に示す4点をピン支持とする。荷重条件は、積雪荷重と固定荷重を併せた 2.01kN/m^2 を上層面の節点荷重として加える。

図3に要素除去過程、図4は、解析結果を示し、図5は、これらの結果から有効と思われる形態を抽出し、模型を作成したものを示す。 C_0 は初期のコンプライアンス、 C は各ステップでのコンプライアンス、 n は複層部材数である。これらの結果および模型から、部分的に複層部材を付加することで、大幅に剛性を改善できることや、本手法で得られた解では、複層部材が有効に働いていることが確かめられた。また、表1より、モデルbでは、プログラムの改良によって、コンプライアンス比(C/C_0)が要素を完全に除いた場合と一致することがわかる。

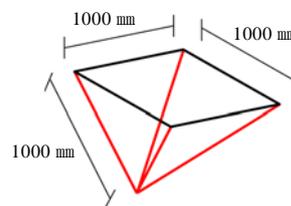


図1 寸法

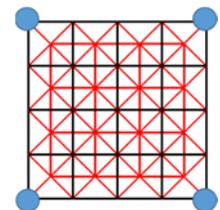


図2 平面図, 支持点

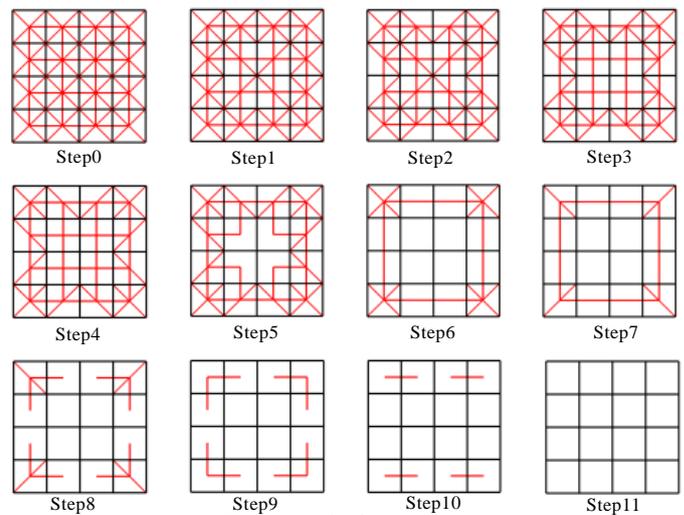


図3 要素除去過程

Study on computational morphogenesis of partial multi-layer space frame using ESO method

MIZUTANI Yuka

構造解析研究室

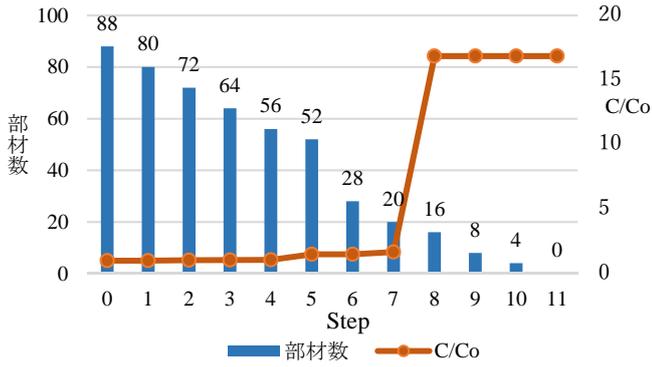


図4 部材数とコンプライアンス比の推移

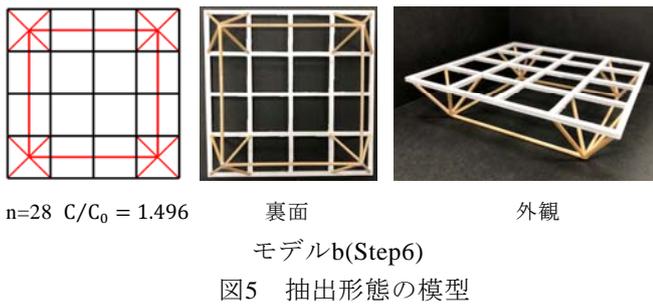
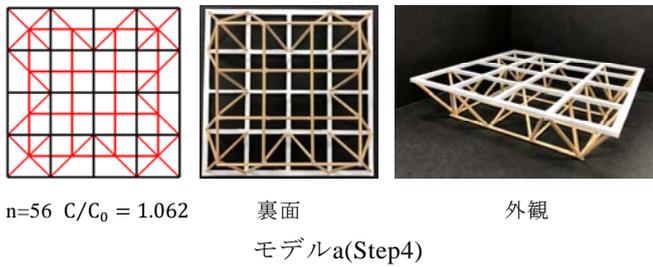


図5 抽出形態の模型

表1 コンプライアンス比の比較

解析モデル	改良前	改良後	比較解
モデル a	1.062	1.062	1.062
モデル b	1.493	1.496	1.496

4. 応用的解析例

次に、応用的例題として、図1に示す四角錘ユニットを10×12で配列したモデルの解析結果を示す。平面図、支持点を図6に示す。その他解析の諸条件は前述の解析と同様とする。図7より、ステップ90付近でコンプライアンス比の増加量が大きくなるため、それ以前に出力される形態を解として選択することが望ましい。今回は図8に示す2種の形態を提案解とする。提案解のステップは55と80、複層部材数は354と176で、初期状態の部材数698より大幅に減少している。また、コンプライアンス比を見ると両者とも2.0以下で、単層のみのコンプライアンス比32.0と比較して極めて小さく、部分的な複層部材の付加が十分に単層スペースフレームの剛性改善に有効であると言える。

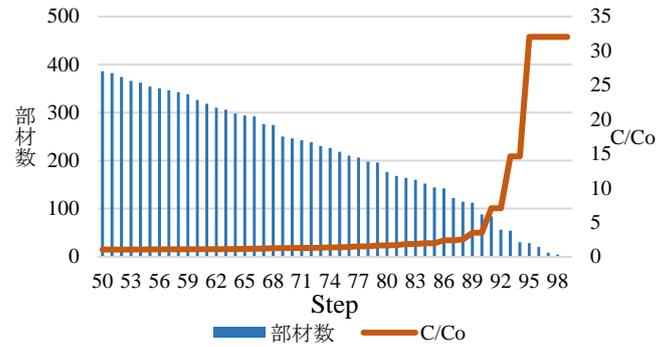
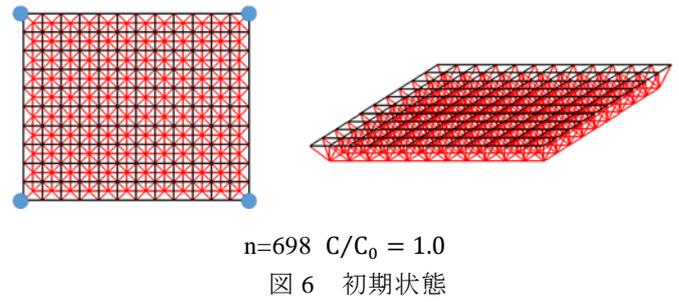


図7 Step50からの部材数とコンプライアンス比の推移

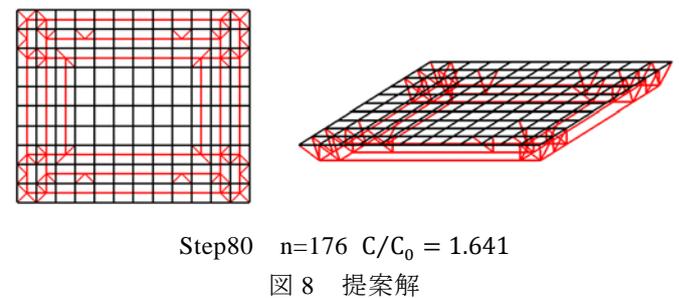
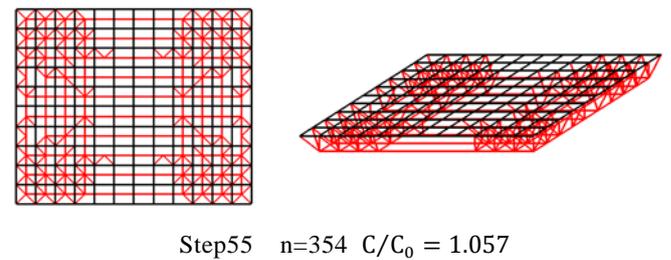


図8 提案解

5. まとめ

本論文では、平面スペースフレームを対象とし、ESO法で求めた部分的な複層部材の付加の効果を検討し、部分的にでも複層部材を付加することで大幅に全体剛性を改善できることを明らかにした。

参考文献

- 1) 高坂憲治, 松本慎也, 藤井大地: ESO法とグラウンドストラクチャ法を用いた骨組構造物の位相最適化, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.721, pp.547-553, 2016.3