

38. ESO 法と力法を用いたラチスシェル構造物の形態創生に関する研究

1310920098 森川史基
指導教員 藤井大地 教授

ラチスシェル 位相最適化 形状最適化 ESO 法 力法

1 はじめに

ラチスシェルによる屋根構造は、軽量で透光性に優れた内部空間を実現できる構造形式である。また、このようなラチスシェル構造は、接合部を 3D プリンターや NC 加工等で自由に作れるようになれば、様々な形態を作り出すことができるので、デザインの面でも魅力のある構造形式である。しかしながら、ラチスシェルの設計においては、力学的に合理性の高い構造形態を生み出すことは容易ではない。そこで、本研究では、ラチスシェル構造に対して位相と形状のどちらも最適化を行って、新たなラチスシェルの構造形態を創生する手法を提案する。本研究で提案する手法は、位相最適化に ESO 法¹⁾、形状最適化に力法²⁾を用いるものである。両手法はすでに骨組構造の最適化問題において適用されているが、これら二つを同時に適用する方法は検討されていない。そこで、本論文では、このようなラチスシェルの形態創生例として、六角形を基本とした複層ラチスシェルを取り上げ、本提案手法の有効性を検討する。

2 解析手法の概要

2.1 ESO 法を用いた位相最適化

ESO 法による位相最適化は次のように行う。

- ① グラン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。
- ② 設計対象要素(残存要素)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ンドストラクチャから除去する。
- 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。

以上のように、本手法は非常に単純であり、また、中間密度が無いため、解の選択も容易であることがわかる。

2.2 力法による形状最適化問題の定式化

本研究で用いる形状最適化手法は力法と呼ばれる方法である。本方法では、節点座標を設計変数とし、構造全体のコンプライアンスを目的関数とし、一般的な形状最適化では、この感度係数をもとに最適化問題を解き、形状を変更していくが、力法では、各節点の感度係数の大きさに比例した外力をその節点に加え、それらの外力に

よる弾性変形に倍率を掛けることで形状を変更していく。

本論文では、この場合の各ステップの形状変更の倍率を、要素長さの平均値を基準とし、初期(第 1 ステップ)の節点座標増分の最大値(絶対値)が要素長さの平均値の α 倍となるように設定する。また、最適化の総計算ステップ数を N_{op} とすると、 N_{op}/β までは、変更倍率の絞り込は行わず、それ以降のステップでは変更倍率に $1/\gamma^{(k-N_{op}/\beta)}$ を掛けて絞り込みを行う。なお、 α 、 β はデータとして与え、 $\gamma=1.01$ としている。

3 解析例

次に示す図 1 は、六角柱のユニットを並列、放射状に配置することで複層ラチスシェルのアーチ構造としたものである。なお、本例題では、本手法の基本的な特性を見るために、円筒状のシェルにはせず、単純なアーチとしている。この解析モデルの寸法は、最大スパン 5.72m、最大幅 0.94m、最大高さ 2.86m とし、すべての節点に 100KN の鉛直荷重を加えている。図 2 は、図 1 のグランドストラクチャに力法による形状最適化を適用した結果を示す。ただし、 $\alpha=0.03$ 、 $\beta=0.5$ としている。図に示すように、形状最適化により、半円がカタナリー曲線に近い形態になっている。図 3 は、図 2 の形状最適化結果に対して、ESO 法による位相最適化を行った結果を示す。図では、330 ステップの結果を示す。ちなみに図 1 のグランドストラクチャに対して、ESO 法による位相最適化を行った結果を図 4 に示す。ただしステップ数は同様に 330 ステップとしている。また、ここでは $C_0=0.2214 \times 10^4$ を用いる。この図 3 と図 4 のコンプライアンス比は、形状最適化を適用した後のモデルは 0.701 となっており、形状最適化を適用していないモデルが 1.160 なのに比べ、形状最適化を適用したモデルの方が同ステップでも剛性が高くなることが示される。したがって、形状最適化を適用することは有効であることがわかる。

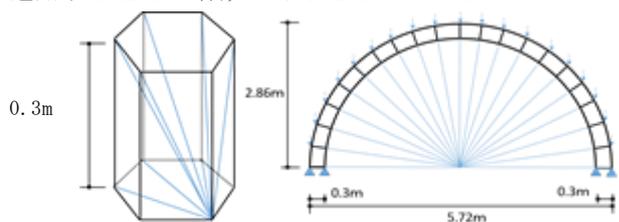
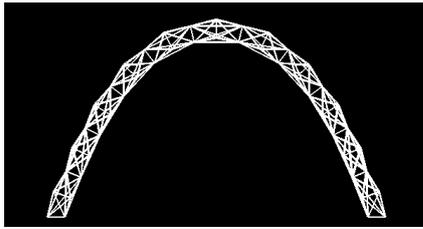


図 1 解析モデル

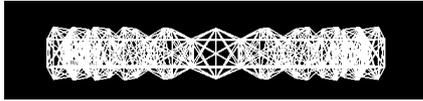
Study on morphogenesis of latticed shell structures
using ESO method and traction method

MORIKAWA Fumiki

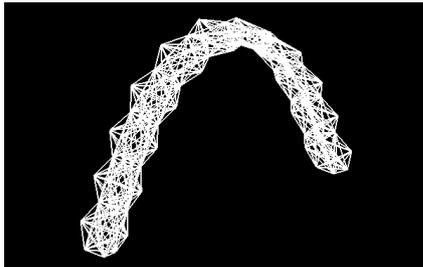
構造解析研究室



立面図



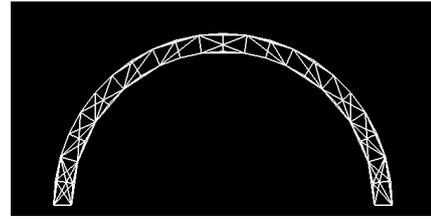
平面図



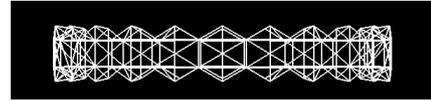
透視図

STEP80 $C/C_0=0.532$

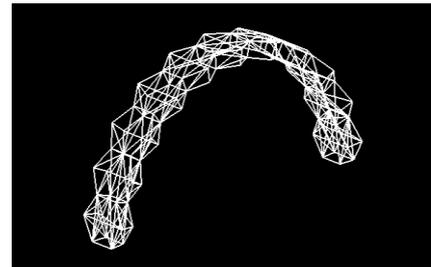
図 2 形状最適化



立面図



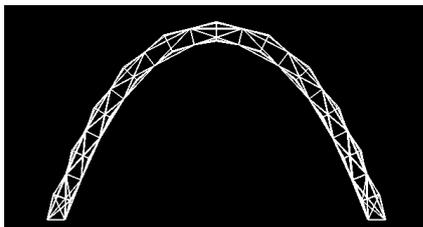
平面図



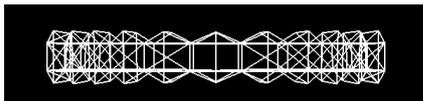
透視図

STEP330 $C/C_0=1.160$

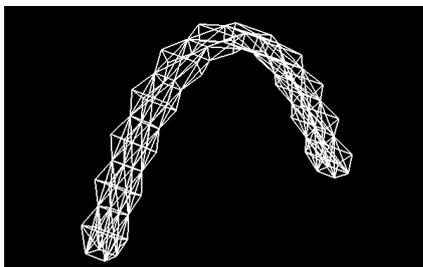
図 4 半円アーチの位相最適化



立面図



平面図



透視図

STEP330 $C/C_0=0.701$

図 3 位相最適化

4 まとめ

本論文では、六角柱を基調とし、半円アーチ状に配置することで構成した複層ラチスシェル構造物を対象とし、ESO 法と力法を用いることで、位相と形状の二つの最適化を行い、その有効性を検討した。

その結果として、形状最適化を行うことで半円アーチがカタナリー曲線に近づき、また、位相最適化ではアーチの応力分布に基づき部材配置が決定されることがわかった。そのことにより、力学的に合理的なラチスアーチ形態が得られたことが確認できた。

参考文献

- 1). 藤井大地, 垣田 仁, 力法による骨組構造の形状最適化, 日本建築学会構造系論文集, Vol.77, No.682, pp.1881-1886, 2012.12
- 2). 高坂憲治, 松本慎也, 藤井大地: ESO 法とグラ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, 81, 547-553, 2016