

# 11. ESO 法を用いた部分的複層ラチスシェルの形態創生に関する研究 —座屈特性の検討—

1510920006 大谷昂暉  
指導教員 藤井大地 教授

ESO 法 グランドストラクチャ法 ラチスシェル構造 座屈 構造形態創生

## 1. はじめに

ラチスシェル構造は、軽量で透光性に優れた構造形式である。このようなラチスシェル構造には、大きく分けて単層ラチスシェルと複層ラチスシェルがある。単層ラチスシェルは、軽快で美しい構造を実現できるが、座屈を生じると急激に耐力が低下する全体座屈が生じやすい。これに対して、複層ラチスシェルは、上下弦材が腹材と協働して面外曲げに抵抗するため高い面外剛性と耐力を有する。また、面外曲げに対しても部材の軸力で抵抗するため、その耐力は個材座屈で決定される場合が多い。このため、単層ラチスシェルに比較して設計も容易であり、広く普及している。

一方、最近では、解析技術や生産技術の進歩により、幾何学曲面に依らない自由曲面で設計されるシェル構造が増えてきている。このような自由曲面シェルにおいても、意匠性が重視される建物では、今後単層ラチスシェル構造が増えてくると考えられる。しかしながら地震という不確定要素を抱える日本では、全体座屈崩壊の危険性が高い単層ラチスシェル構造には不安が伴う。

そこで本研究では、単層ラチスシェルを基本とし、これを構造的に補う形の部分的複層ラチスシェルの可能性を検討し、その形態創生法を提案している。本論文では、提案手法で創生された部分的複層ラチスシェルの座屈特性に着目し、単層ラチスシェルに比較して全体座屈荷重がどのように改善されるかを明らかにする。

## 2. ESO 法を用いた部分的複層ラチスシェルの形態創生

本論文に用いる形態創生手法では、まず、複層ラチスシェルをグランドストラクチャとし、骨組解析を行う。そして、ESO法（進化的構造最適化手法）にもとづき、設計対象要素のひずみエネルギー密度を感度指標として、これが最も小さい要素を除去する。ただし、ひずみエネルギー密度が等しい要素が複数ある場合は、複数除去する。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す。そして、保存された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、要素の除去過程では、要素が連結しない節点が現れたり、回転が自由になる要素が現れたりするため、要素除去は、要素密度を初期の1/1000にすることで行う。また、部材の接合部は剛接合として解析を行う。

## 3. 解析例

提案手法の有効性を確かめるため、ここでは図 1 に示す四角錐ユニットを複数個配列したラチスシェルの形態創生例を示す。図 2 は平面シェル、図 4、図 6 は円筒シェル、図 8 はドーム型のシェル、それぞれの初期構造モデルと支持点位置を示す。ただし、荷重は、固定荷重と積雪荷重を考慮し、 $2.01\text{kN/m}^2$  とし上層面のすべての節点に均等に加える。また、ヤング係数  $E$  は  $2.05 \times 10^8 \text{kN/m}^2$ 、せん断弾性係数  $G$  は  $7.9 \times 10^7 \text{kN/m}^2$  としている。各要素の部材諸元は表 1 に示す。また、主構造を単層ラチスとしているので上層は剛接、他はピン接とする。

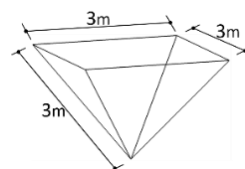
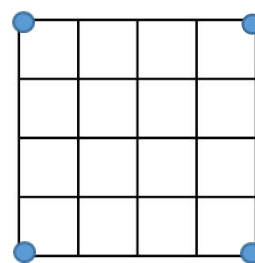


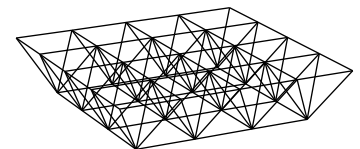
図 1 四角錐ユニット

表 1 部材諸元

部材	サイズ [mm]	断面積 [cm <sup>2</sup> ]
上層	$\phi$ -165.2×11	53.29
トラス	$\phi$ -101.6×8.5	24.86



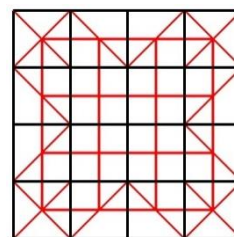
Step 14  $C/C_0 = 981.7$   
Step 14  $P/P_0 = 0.00102$   
上から見た図



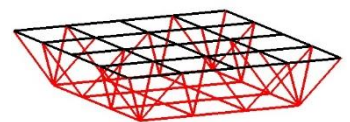
外観図

横から見た図

図 2 解析モデル



Step 5  $C/C_0 = 6.543$   
Step 5  $P/P_0 = 0.928$   
上から見た図



外観図



横から見た図

図 3 提案解

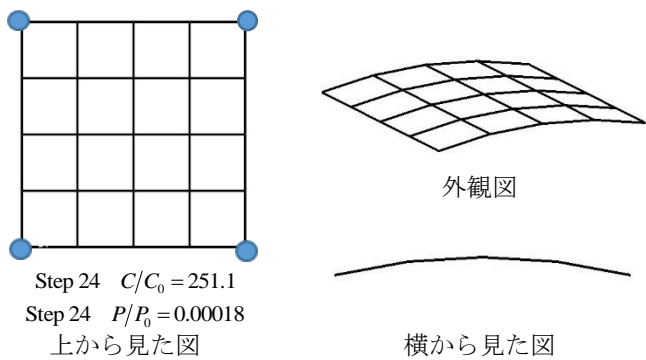


図 4 解析モデル

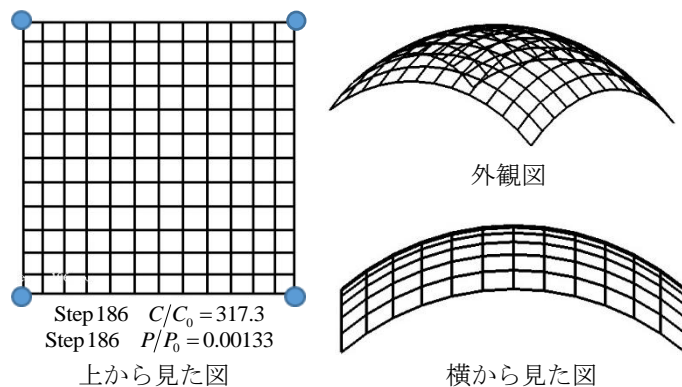


図 8 解析モデル

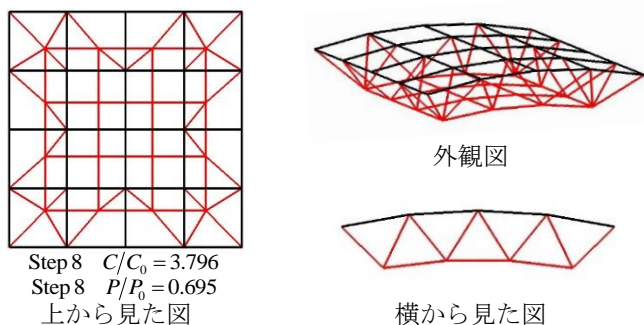


図 5 提案解

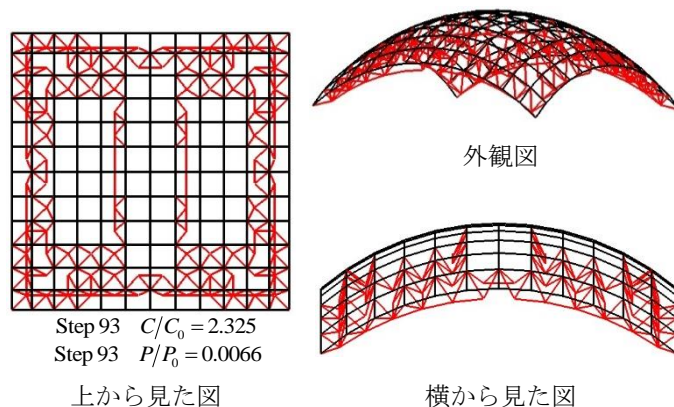


図 9 解析モデル

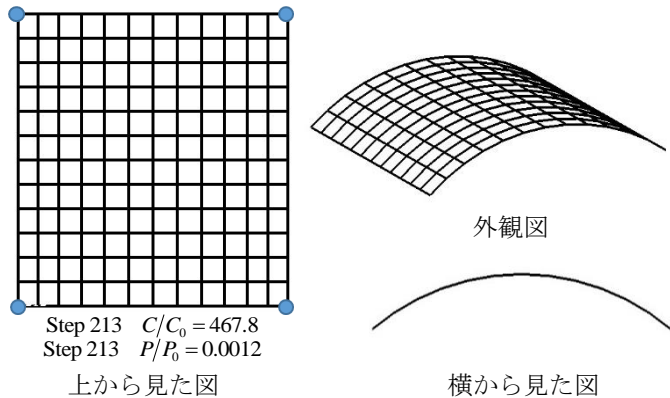


図 6 解析モデル

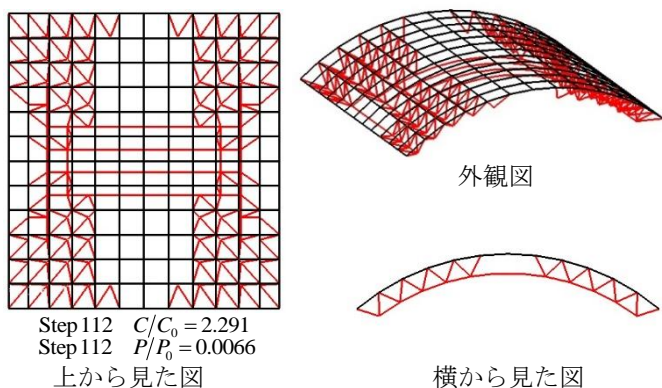


図 7 提案解

図 3.5.7 は、それぞれのシェルの複層部材の除去後の提案解を示している。図中には、単層構造のコンプライアンス  $C_0$ 、座屈荷重  $P_0$  と提案解のコンプライアンス  $C$ 、座屈荷重  $P$  との比を示している。設計者は、これらのコンプライアンス比（剛性比）と座屈荷重比、シェルのデザインを考慮して部分的複層ラチスシェルの形態を決めることになる。

#### 4. まとめ

本論文では、単層ラチスシェルを部分的に補強して剛性を高める部分的複層ラチスシェルの形態創生法を提案し、一般的なラチスシェルで、その有効性を検討した。その結果、単層ラチスシェルに比較して大幅に剛性を高め、複層ラチスシェルに比較して大幅に部材数を減らすことができる部分的複層ラチスシェルの創生が可能であることがわかった。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会編：ラチスシェル屋根構造設計指針，日本建築学会
- 2) 陳 沛山ら：1.5 層スペースフレームの幾何学的構成及びデザインの多様性についての基礎研究，構造工学論文集，Vol.60B，pp.153-158，2014.3