

## 28. 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

1710920044  
指導教員

秋山恵人  
藤井大地 教授

位相最適化, ESO 法, ラチスシェル, 円筒型部分的複層ラチスシェル

### 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。このラチスシェル構造は単層ラチスシェルと複層ラチスシェルに分けられる。単層ラチスシェルは、軽快で美しい構造を実現できるが、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。これに対し、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、その耐力は個材の座屈耐力で決定される。このため、単層より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う問題を抱えている。

そこで、本研究では一部の複層部材を位相最適化手法の一つである ESO 法によって不必要部材を除去することによって、安全且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、より実用的に近い円筒シェルでの部分的複層ラチスシェルの形態創生により安全性が確保できるか検討する。

### 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、骨組み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、文献 1) で用いられているプログラムでは直接法（LU 分解法）が用いられているため、ここでは文献 2) によって間接法（CG 法）に改良されたプログラムを用いている。

### 3. 基本的解析例

まず、図 1, 図 2 に示す 4×4 の平板スペースフレームの解析例で、自重を考慮した場合新しい形態創生が可能であるか検討する。解析モデルの上層部分は鋼材（H-150×150×7×10）の剛接フレームとし、ヤング係数  $E$  を  $2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、せん断弾性係数  $G$  を  $8.0 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$  とする。また、複層材はカラマツ（150×150）をピン接合するものとし、 $E$  を  $9.8 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、 $G$  を  $2.8 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$  とする。境界条件は、平板の四隅をピン支持とする。荷重条件は、積雪荷重と固定荷重を合わせた  $2.01 \text{ N/mm}^2$  を上層面の節点荷重として加える。また、部材自体の自重は鋼材の単位体積重量  $\gamma$  を  $7.85 \times 10^{-6} \times 9.8 \text{ g/mm}^3$  とし部材重量  $w$  を

$3.05 \times 10^3 \text{ g}$ 、カラマツの単位体積重量  $\gamma$  を  $0.53 \times 10^{-6} \times 9.8 \text{ g/mm}^3$  とし部材重量  $w$  を  $1.17 \times 10^3 \text{ g}$  として加える。

図 3 に示すモデル a, c が自重なしの解析結果、モデル b が自重ありで解析を行うと出てくる新形態。その a と c の部材数の間の b の解析条件を a と c の条件と同じにする。すると、表 1 より a, b, c のコンプライアンスが 6642.83 で同値なので構造的には意味のない部材が除去されたことが分かる。同様に図 4 に示すモデル d, f が自重なし、モデル e が自重ありの新形態。同様の手順で表 2 より、d より部材数の少ない e のほうがコンプライアンスが良くなった。さらに、同様の手順で 8×8 のスペースフレームで解析を行う。図 5 に示すモデル g, i が自重なし、モデル h が自重ありの新形態。同様の手順で表 3 より、g より部材数の少ない h のほうがコンプライアンスが悪くなった。これらの結果より、新しい形態創生には部材自体の重量はあまり関係がないことが明らかとなった。

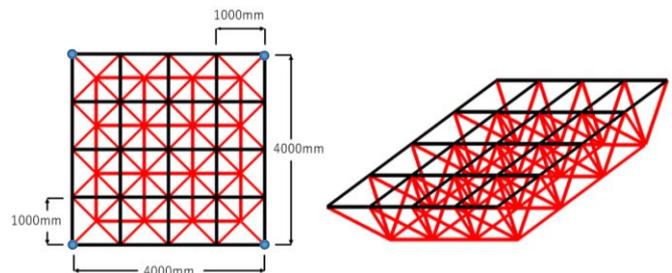


図 1 寸法, 初期状態平面図 図 2 初期状態外観

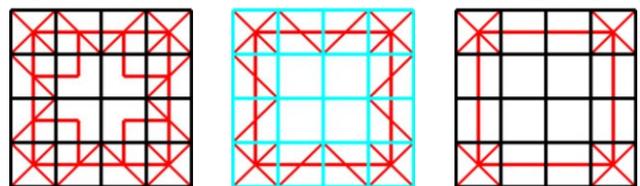


図 3 モデル a モデル b モデル c  
表 1 解析条件を同様にしたコンプライアンスの比較

	部材数 n	コンプライアンス C
モデル a	52	6642.83
モデル b	44	6642.83
モデル c	28	6642.83

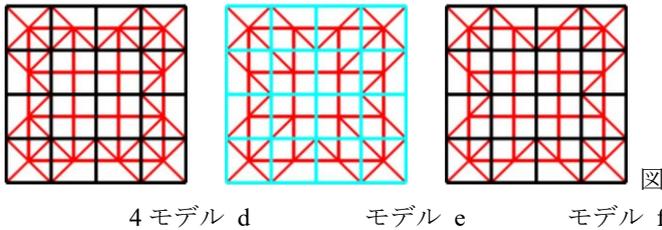


表 2 解析条件を同様にしたコンプライアンスの比較

	部材数 n	コンプライアンス C
モデル d	64	4735.51
モデル e	60	3885.51
モデル f	56	4791.15

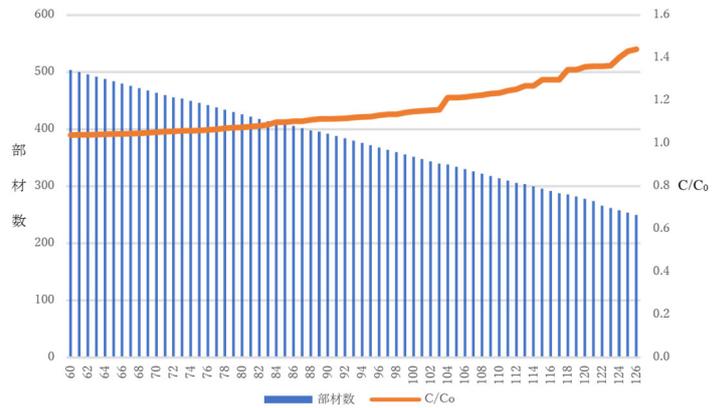


図 7 Step60 からの部材数とコンプライアンス比の推移

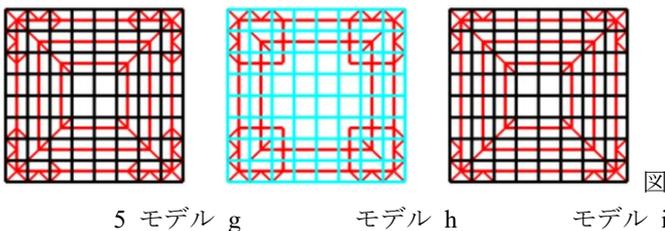
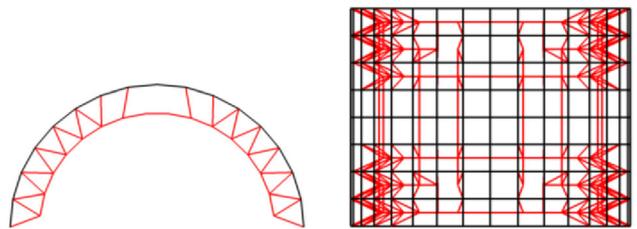


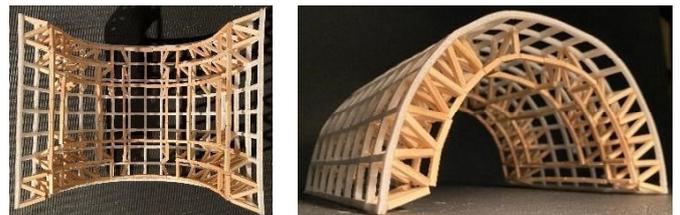
表 3 解析条件を同様にしたコンプライアンスの比較

	部材数 n	コンプライアンス C
モデル g	124	305526.2
モデル h	108	445536.7
モデル i	108	305526.2



Step103 n=340 C/Co=1.1581

図 8 提案解

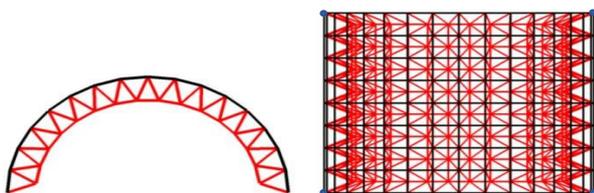


裏面

外観図 9 1/50 模型写真

#### 4. 円筒型部分的複層ラチスシェルの解析例

前章 3 の結果より、解析条件としては前述の解析と同様とし、自重に関しては考慮しないものとし、円筒型ラチスシェルの解析を行う。Step0 の初期状態の平面図、立面図を図 6 に示す。図 7 より、Step104 付近からコンプライアンス比が急増しているためそれ以前の形態が望ましいと考える。今回は図 8 に示す Step103 の形態を提案解とする。提案解の複層部材数は 340 本で初期状態 744 本から大幅に除去された。コンプライアンス比は 1.16 で、単層のみのコンプライアンス比 12.6656 より極めて小さいため、単層よりも強度を高めつつ、部材数を最小限に抑えた形態創生が可能である。



n=744 C/Co=1.000  
図 6 初期状態 平面図, 立面図

#### 5. まとめ

本論文では、自重を考慮した解析結果において新しい形態は生まれたが、コンプライアンスが必ずしも良くなるというわけではなかったため、部材自体の重量はこの研究においてあまり関係がないことが明らかとなった。また、より実用的に近い円筒シェルで大幅に部材数を減らしても安全性が確保でき、部分的複層円筒ラチスシェルの創生が可能であることが分かった。

#### 参考文献

- 1) 高坂憲治, 松本信也, 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, Vol.81, No.721, pp.547-553, 2016.3
- 2) 水谷友香, 松本慎也, 小野聡子, 藤井大地: 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, 構造工学論文集 Vol.67