

## 21. 蜘蛛の巣をヒントにした 3 次元骨組構造の最適形態に関する研究

1110920012 加藤福康  
指導教員 藤井大地 教授

蜘蛛の巣 形状最適化 手法 3 次元骨組構造

### 1. はじめに

自然界には、様々な形態を持つ動植物がいる。それは、長い首で高い木にある葉っぱを食べるキリンのように、自然界の動植物は、特殊な環境に適応するために様々な進化を遂げている。その中でも、都会の電柱にハンガーなどを用いて作られたカラスの巣のように、動物の巣は周辺環境に密接にかかわっており、これらは私たち人間の建築にも共通するものがある。

その中で、特に蜘蛛の巣は、木や葉や建物の隙間など、様々な周辺環境に適応して形を変化させているにもかかわらず、その構造的機能を発揮し、風圧などに耐えている。さらに、人間が軽く引っ張れば千切れる細い糸にもかかわらず、蜘蛛や餌となる昆虫が巣に止まっても、糸が千切れることがない。つまり、蜘蛛の巣には、構造力学的に効率の良い力の伝達が行われていると考えられる。

本研究では、この蜘蛛の巣の構造を骨組構造として利用する方法を、近年様々な方法が提案されている形状最適化手法の一つである手法によって追求する。

### 2. 手法による形状最適化

本方法では、3次元骨組の形状最適化問題として、以下のような問題を考える。

目的関数

$$f_{obj}^{(k)}(\mathbf{q}) = C^{(k)} + w_1 C_0 \left( \frac{L^{(k)}}{L^{\max}} - 1 \right)^2 + w_2 C_0 \left( \frac{L^{\min}}{L^{(k)}} - 1 \right)^2$$

if  $\frac{L^{(k)}}{L^{\max}} \leq 1$  then  $w_1 = 0$

if  $\frac{L^{\min}}{L^{(k)}} \leq 1$  then  $w_2 = 0$

を最小にする節点座標

$$\mathbf{q} = \{x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots, x_i, y_i, z_i, \dots, x_n, y_n, z_n\}$$

を求める。

ただし、 $L^{(k)}$  の計算に使用される要素は任意

(1)

ここに、 $C^{(0)}$  は初期形状のコンプライアンス、 $f_{obj}^{(k)}$  は第  $k$  ステップ数の目的関数、 $n$  は座標変更を行う節点数、 $L^{\max}$ 、 $L^{\min}$  は要素総長さの上限値と下限値、 $w_1$ 、 $w_2$  は上限値、下限値に関する重み係数、 $x_i, y_i, z_i$  は  $i$  番目節点の座標値である。なお、本論文では、 $w_1$ 、 $w_2$  は入力データとして与えている。

手法では、最初に、目的関数の各節点の  $x, y, z$  座標に関する感度係数を求め、この感度係数に負号を付けたものを各節点の  $x, y, z$  方向荷重として加える。そして、各節点の変位を求め、この変位に適当な倍率を掛けたものを節点座標の増分  $\Delta \mathbf{q}$  とする。この計算を繰り返し、節点座標の増分がほぼ 0 になる解を最適解とする。なお、本論文では、要素長さの平均値、

$$\bar{l} = \frac{L}{m} = \sum_{i=0}^m l_i / m \quad (2)$$

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  $\alpha \bar{l}$  となるように変更倍率を設定する。また、最適化の総計算ステップ数を  $N_{op}$  とすると、 $N_{op}/\beta$  までは、変更倍率（ $\alpha \bar{l}$ ）の絞り込みを行わず、それ以降のステップでは  $\alpha \bar{l} / \gamma^{(k-N_{op}/\beta)}$  となるよう絞り込みを行う。ただし、 $k$  はステップ数、 $\gamma$  は 1~1.1 の範囲で与えるものとする。なお、本論文では、 $\alpha$  はデータとして与える。

### 3. 解析例

本研究では、蜘蛛の巣の作成法として、独自に考案した方法と文献 3) に示される方法を採用している。

図 1 は、独自案の一例であるモデル 1 と文献 2) を参考にしたモデル 2 の初期形状を示す。境界条件は、4 隅を完全固定とし、荷重条件は、各節点に鉛直下方の均一集中荷重を加えている。各部材は同一断面の鉄骨部材とし、断面積  $0.114 \text{ m}^2$  の鋼管を使用している。図 1 には、各モデルの初期形状と、初期形状の軸力および強軸まわりの曲げモーメントを示している。

図 2 は、固定端以外の各節点を鉛直方向のみに動かして最適形状を求めたものである。ただし、総計算ステップ数は  $N_{op}$  として図に示す値とし、 $\alpha$  は 0.01、重み係数  $w_1, w_2$  は 0.1、 $\beta$  は 0.5 としている。図中には、最適形状の軸力および曲げモーメント図も示している。これらの図より、鉛直方向の節点移動により、軸力が大きくなり、曲げモーメントが小さくなっていることがわかる。また、モデル 1 では対角線上の軸力が大きくなっているのに対し、モデル 2 では周辺部材の軸力が大きくなるのがわかる。

図 3 は、図 2 の形状から各節点を  $xy$  方向に動かして最適形状を求めたものである。図には、このときの軸力と曲げモーメントが示されているが、図 2 と比較して、軸力がより均等化されていることがわかる。また、両モデ

ルともに，蜘蛛の巣の形態を残しつつ，美しいシェル構造になっていることがわかる。

図 4 は，図 3 のモデル 1 の形状から，スペースストラクチャのイメージを作成したものである。

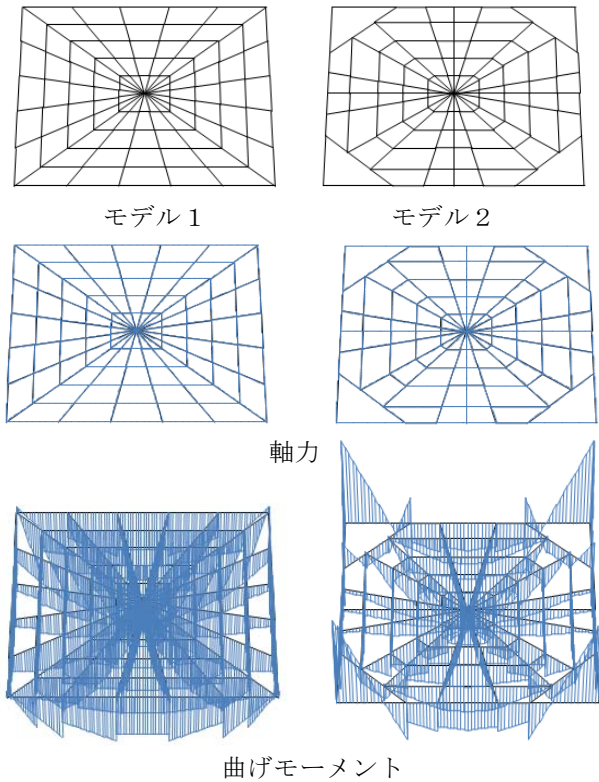


図 1 初期の解析モデル

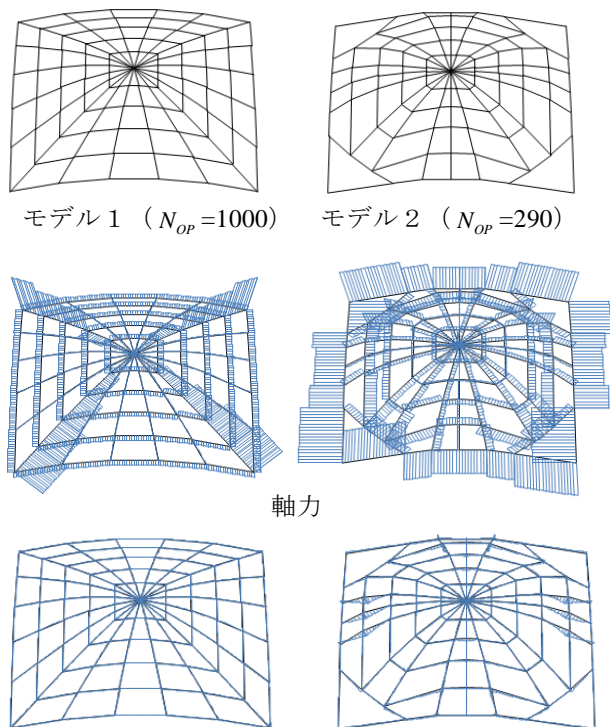


図 2 解析結果 (図 1 の z 方向の解析)

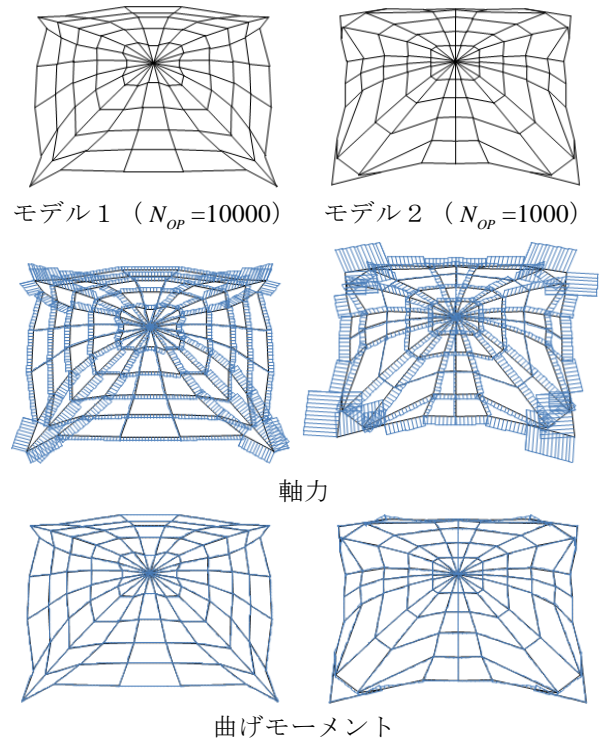


図 3 解析結果 (図 2 の xy 方向の解析)



図 4 蜘蛛の巣ドーム

#### 4. 結論

本研究では，蜘蛛の巣の形態を初期形状として，形状最適化手法を用いて，骨組シェル構造を創生する方法を提案した．その結果，蜘蛛の巣の形態を残しつつ，力学的に合理的で，しかも意匠的にも美しい形態を創生することがわかった．

#### 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) 垣田 修，藤井大地，力法による 3 次元骨組の形状最適化，日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道) 構造 I， p.20468， 2013.8
- 3) 日野惇ら：Cmonoss，コロキウム構造形態の解析と創生 2014， pp.154-p155， 2014.11