

# 宮巣直後の蜘蛛の巣における応力分布を再現する単純なモデル

落合宏紀<sup>1</sup>, 石渡龍輔<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 室蘭工業大学 数理情報システムコース, <sup>2</sup> 室蘭工業大学 しくみ解明系領域

## 概要

蜘蛛の巣はバイオミメティクスの観点から注目されている。本研究では先行研究の解析的計算が可能なモデルを発展させ、巣の構造の設定をより自然界の蜘蛛の巣、特に宮巣直後に見られる螺旋状に横糸を持つ形状のモデルを作成し、その構造的特性を解析する。

A simple model reproducing stress distribution in spider webs  
immediately after nest-building

Hiroki Ochiai<sup>1</sup>, Ryosuke Ishiwata<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mathematical Information Systems Course, Faculty of Science and Engineering, Muroran Institute of Technology, Japan, <sup>2</sup> Mechanism elucidation field Muroran Institute of Technology, Japan

## Abstract

Spider webs are attracting attention from a biomimetic viewpoint. In this study, we propose a model that replicates the structure of natural spider webs, specifically the spiral-shaped configuration with cross threads observed immediately after web construction, based on previous research [2]. We analyse its structural characteristics.

## 1 はじめに

蜘蛛の巣は損傷を許容するテンセグリティを自然界に再現する好例としてバイオミメティクスの観点から注目されている [1]。ここで言うテンセグリティとは、引っ張り強度と圧縮強度のつり合いによって安定する構造である。本分野の先行研究では、数理モデルを用いて蜘蛛の巣を再現、分析を行うことで力学的特性と構造の関係を分析している。本研究は解析的計算が可能なレベルでの単純なモデルを作成した先行研究 [2] から、巣の構造の設定をより自然界の蜘蛛の巣に近づけモデル化を行う。具体的には、蜘蛛の巣過程で見られるように、横糸を縦糸に対し螺旋状に接続した場合を考える。また、先行研究で簡略化されている横糸と枠糸が巣全体にもたらす影響を考慮したうえで、横糸が損傷

した場合もテンセグリティ構造を保っているかを検討する。

## 2 従来モデルと提案モデルの違い

従来モデルと提案モデルの違いとして、横糸を同心円状ではなく螺旋状に接続していること、枠糸を計算に含めていること、縦糸にかかる力を異なる形で計算していることがあげられる。

### 2.1 従来モデルの表現方法

先行研究のモデル化は弾性素材の構造解析の文脈から、バネ定数の異なる縦糸と横糸(図1)にそれぞれフックの法則を適用している [3]。

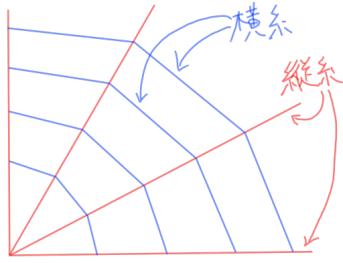


図 1: 蜘蛛の巣の基本的な部分構造 蜘蛛の巣の基本的な部分構造. 注視点から同心円状に伸びているのが縦糸, 円周方向に伸びているのが横糸である.

縦糸にかかる力の式は以下の通りである.

$$F_{m+1} = F_m + \alpha^2 \frac{k_m/l_m}{K/L} (F_1 + \dots + F_m)$$

$$(\alpha = 2\sin(\frac{\pi}{N}), N : \text{縦糸の本数})$$

$F_m$  は巣の中心から数えて  $m-1$  番目の結節点と  $m$  番目の結節点の間の縦糸にかかる応力,  $K$  は縦糸のバネ定数,  $k_m$  は横糸のバネ定数で,  $L$ ,  $l_m$  はそれぞれ縦糸の自然長と横糸の自然長である.

実験値から巣にかかる力は強度の高い糸に逃げていくことがわかっている [4]. 上記の式は横糸がもたらす放射方向の応力が縦糸に逃げていく様子が表現されている. 多くの蜘蛛は螺旋状に横糸を出すが, 先行研究のモデルでは結節点の横のつながりを同心円状にすることで簡略化している(図 2). これにより, 横糸がもたらす接線方向の力が打ち消されている(図 3).

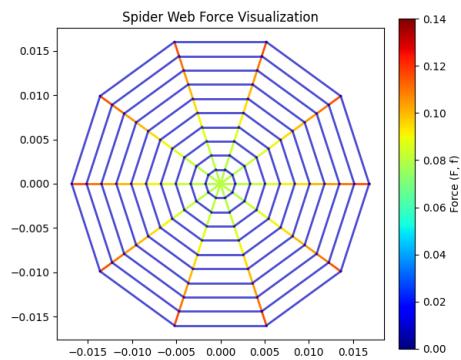


図 2: 同心円状の横糸を持つ巣の応力分布 糸にかかる応力をカラーバーを用いて図示したもの. 赤色に近い程応力が高い.

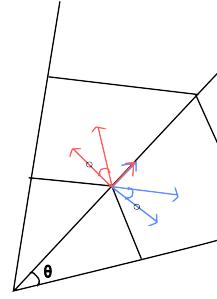


図 3: 応力の打ち消し 青と赤の線はそれぞれ左右の横糸の応力先行研究 [2] のモデルでは同心円状に横糸がつながっているため, 横糸の応力のうち接線方向の応力は打ち消される(図中の○がついた矢印).

## 2.2 提案モデルの表現方法

本研究で提案するモデルは巣の構造を結節点どうしの横のつながりをアルキメデスの螺旋を利用して表現し, 追加で巣全体を支える枠糸を持たせたものである. また, 横糸の構造を先行研究から変更したため, 本研究では縦糸の計算に横糸から掛かる縦糸方向の力を考慮したものに変更する.

## 3 今後の課題

今後の課題としては螺旋状に接続された横糸の応力を考慮し縦糸の応力を表現する式を立てることと, 枠糸に応力が流れる様子を表現する式を立てることである.

## 4 まとめ

本稿では蜘蛛の巣の単純な数理モデルについて先行研究の手法の確認ができた. より自然な構造におけるテンセグリティを物理的に解析するため, 今後はモデル化について検討を行う.

## 参考文献

- [1] Lorraine H. Lin, et al. Letters to Nature, 1995, 373, 146.
- [2] Aoyanagi Y., Okumura K., Physical Review Letters, 2010, 104, 038102.
- [3] Nakagawa S., Okumura K., Journal of the Physical Society of Japan, 2007, 76(11), 114801–1–114801–4.
- [4] Alam M. S., Wahab M. A., Jenkins C. H., Mechanics of Materials, 2007, 39(2), 145–160.