

# くもの巣構造で横糸は本当に必要なのか

## The necessity of the weft in the structure of the spider's web

佐長 裕紀奈 内海 佳奈 大谷 真緒 白井 千尋  
Yukina Saiki, Kana Utsumi, Mao Otani, Chihiro Shirai

### I. 研究動機

日常生活で、くもの巣が強い衝撃を受けても壊れないことに疑問をいだき、くもの巣の構造について研究することにした。

### II. 先行研究

マサチューセッツ工科大学の Markus Buehler 他 の「Nonlinear material behavior of spider silk yields robust webs」より、少数の横糸がなくなっても巣の強度に影響を及ぼさず、強度を損なわずに縦糸、横糸の本数を変更できるということが分かっている。

### III. 研究目的

くもの糸ではない巣の構造においても、横糸は巣の強度に影響を与えていないのかどうかを調べる。

### IV. くもの巣の製作方法

まず、巣をどのように製作するのか考え、紙で作ろうと試みたが(図1)、1つの巣を作るのに膨大な時間がかかるため断念した。次に、テグスを用いて作ろうとしたが(図2)、巣ができてすぐ壊れたり、時間がかかったりしたためこれも断念した。結果、3Dプリンタで模型を作ることにした(図3)。去年の10月に3Dプリンタを購入し、11月から現在の模型(図4)を製作し始めた。私たちは図4のように縦糸と横糸を定義した。

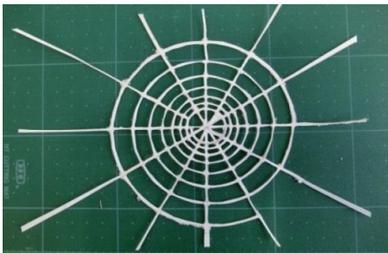


図1 紙で製作した巣の模型



図2 テグスで製作した巣の模型



図3 3Dプリンタの本体

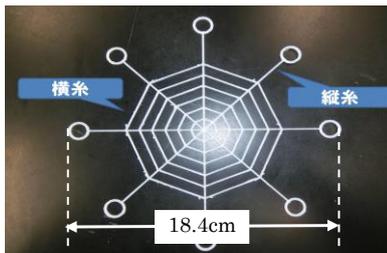


図4 3Dプリンタで製作した巣の模型

### V. 3Dプリンタでの模型の作り方

「Shade ver.14」という3DCGソフトで設計し、変換ソフトでg-codeファイルに変換する。3Dプリンタ(商品名:3D magic egg)(メーカー:MUTOH)でプリントする。模型の素材はPLA(ポリ乳酸樹脂)である。

### VI. 実験方法

パラソルハンガーに3Dプリンタで作った大きさ18.4cmの巣の模型をひっかけ、巣の模型の中心から

300gのアルミのおもりをつるす。巣の模型の中心から60cm離れた位置からカメラで撮影した(図5)。巣の模型は3Dプリンタでそれぞれ5個製作した。それぞれの模型のたわみの量を5回ずつカメラで撮影し(図6)、たわみの量を測定する。

たわみの量の測定方法は、カメラで動画を撮影し、パソコン画面上でおもりをつるす前とおもりをつるした後の定点からクリップまでの長さ(図7の緑色の矢印①)を測り、その差をとる。また、実際のクリップの長さ(図7の黄色の矢印②)を測り、パソコン画面上との比率から実際の差を求める。ここでは、巣のたわみの量が小さいほど強度が強いと定義した。



図5 実験の様子(おもりを離す前)

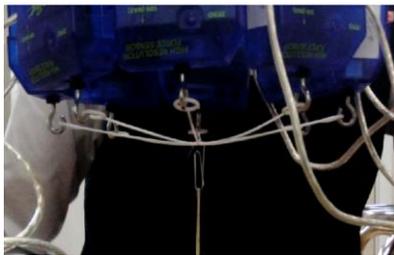


図6 実験の様子(おもりを離した後)

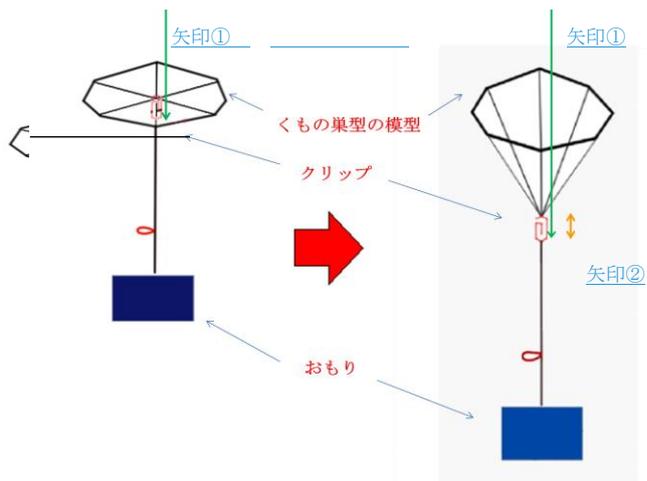


図7 実験の様子

#### VII. 実験1: 横糸の有無によるたわみの量の違い

この実験の目的は、横糸が全くない場合(図8)と横糸が6本ある場合(図9)とでは、どちらがよりたわむのかを調べることである。私たちは、くもの巣の強度はくもの糸の特性によるものであり、模型の場合では縦糸のみのほうが強度が弱く、よりたわむのではないかと仮説を立てた。

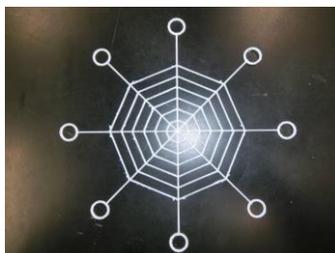
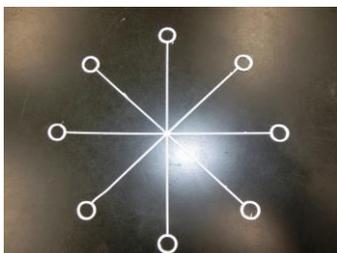


図8 縦糸のみの巣の模型

図9 横糸6本の巣の模型

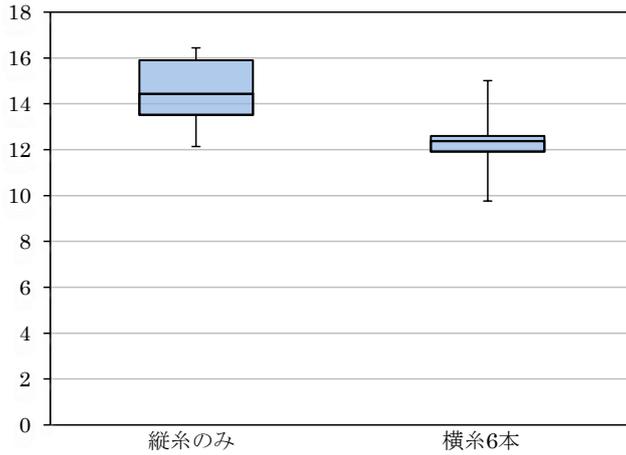
結果と考察

横糸の有無とたわみの量  
横糸の本数・場所とたわみの量

書式変更: フォント: Century Schoolbook, 10 pt, 太字

書式変更: フォント: Century Schoolbook, 10 pt, 太字

たわみの量



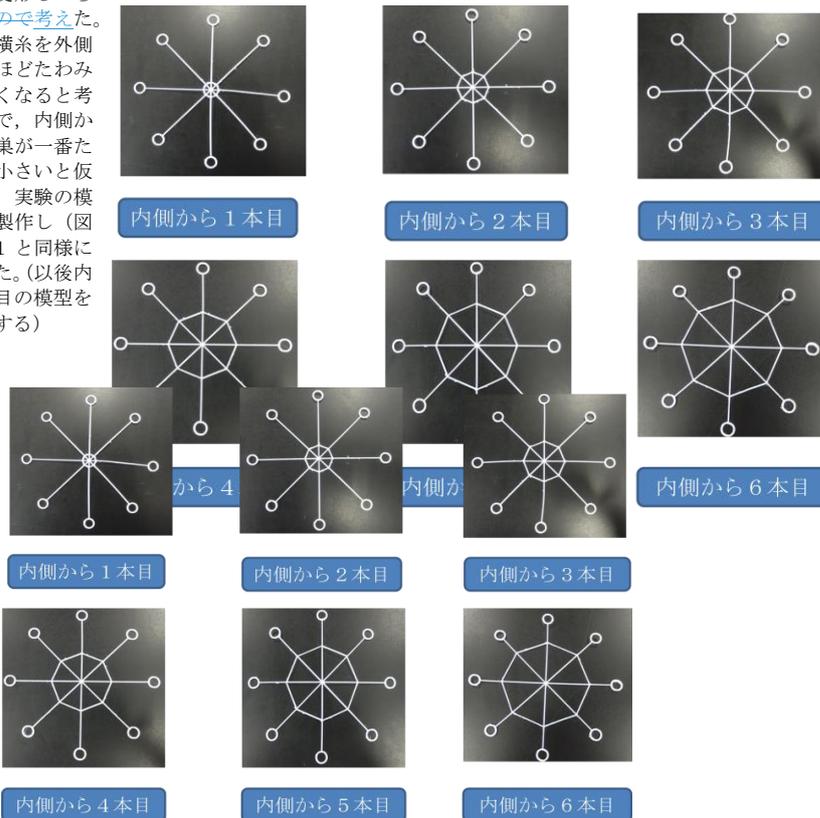
横糸の有無  
グラフ1

グラフ1は、それぞれの巣の模型で25回測定した結果を箱ひげ図にまとめたものである。はずれ値も含んでいる。(はずれ値は箱の高さの1.5倍を超えた値)

グラフ1より、縦糸のみと横糸6本の場合での中央値を比較すると、約2mmの差がある。このことより、横糸がたわみの量に関係している可能性があることが分かった。

VII. 実験2: 横糸の場所の違いによるたわみの量の変化

実験1の結果から、横糸がたわみの量に関係している可能性があるため、さらに詳しく調べるため、横糸をはる場所の違いによるたわみの量への影響を調べる実験2を行うことにした。私たちは、三角面が大きい巣のほど、変形しづら  
いと考えたので考えた。すなわち、横糸を外側にはった巣ほどたわみの量が小さくなると考えられるので、内側から6本目の巣が一番たわみの量が小さいと仮説を立てた。実験の模型は6種類製作し(図10)、実験1と同様に実験を行った。(以後内側からn本目の模型を内nと表記する)

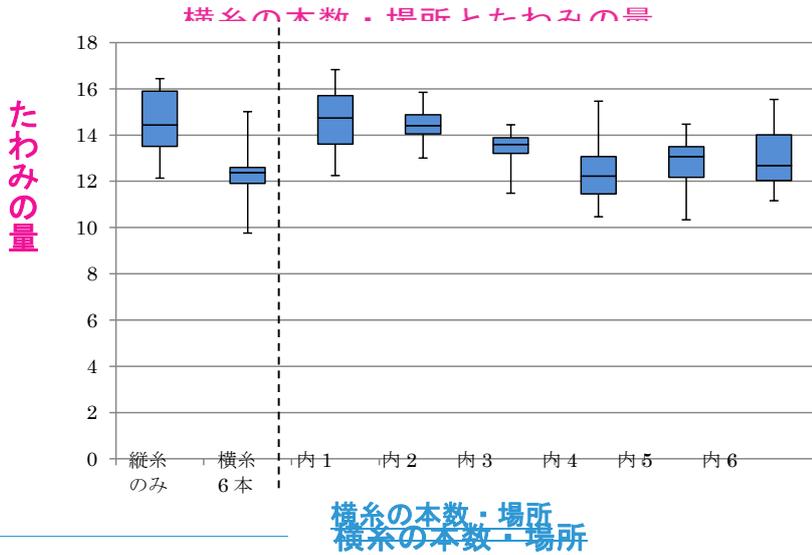


書式変更: インデント: 最初の行: 1字, 行間: 最小値 0 pt

図 10 実験 2 で使用した巣の模型

### 横糸の本数・場所たわみの量

#### 結果と考察



グラフ 2

グラフ 2 において、左側の二つのデータは実験 1 の結果である。

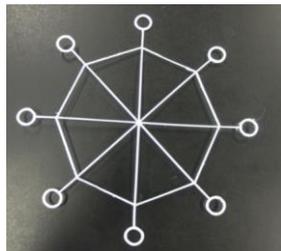
実験 1 と同様にそれぞれの巣の模型で 25 回測定した結果を箱ひげ図にまとめた。はずれ値も含んでいる。(はずれ値は箱の高さの 1.5 倍を超えた値)

グラフ 2 から、縦糸のみと、内側から 1, 2 本目の巣におけるたわみの量の中央値はほとんど変わらないので、横糸をはる場所が巣の中心に近いと、たわみの量にあまり影響しないと考えられる。また、内 2, 内 3, 内 4 の巣の中央値を比べると、私たちの仮説の通り、横糸をはる場所が中心から離れるほど、たわみの量が小さくなるのがわかった。一方、内 5, 内 6 のたわみの量は、内 4 と比べて大きくなっていることがわかる。このことから、内 4 の時が最も強度が強いと考えることができる。しかし、内 2, 内 3, 内 4 のときほどの差は見られないため、横糸をはった場所と巣のたわみの量との間に法則性があるかどうかは、はっきりとは分からなかった。

#### IX. 実験 3 : 内 7 の巣でのたわみの量

実験 2 で、内 4 よりも中心から離れた場所では、横糸をはる場所とたわみの量との間に法則性があるかどうか分からなかったため、内 7 (図 11) の巣を新たに作り、実験 2 と同様の実験を行った。

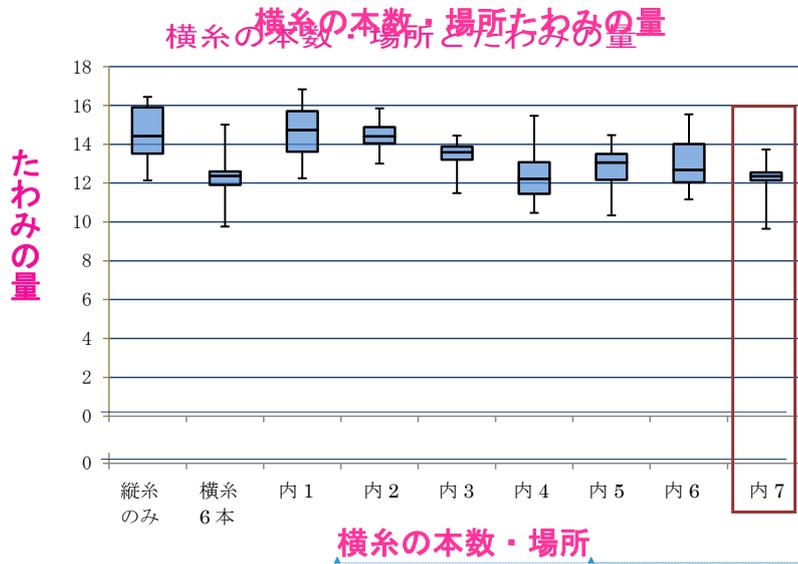
この実験の目的は、内 7 の巣におけるたわみの量を内 4, 内 5, 内 6 と比較することで、内 4 よりも外側に横糸をはった場所とたわみの量との間に法則性があるかどうかを調べることである。



書式変更: フォント: Century Schoolbook, 10 pt, 太字

図 11 内側から 7 本目の巣の模型

結果と考察



グラフ 3

書式変更: フォント: (英) +見出しのフォント - 日本語 (MS ゴシック), (日) +見出しのフォント - 日本語 (MS ゴシック), 16 pt

書式変更: フォント: (英) +見出しのフォント - 日本語 (MS ゴシック), 16 pt

グラフ 3 は、内 7 の巣の模型で 25 回測定した結果を箱ひげ図にまとめ、実験 1, 2 とならべて表示したものである。はずれ値も含んでいる。(はずれ値は箱の高さの 1.5 倍を超えた値)

グラフ 3 において、内 1 から内 7 までの中央値を比較すると、内 4 と内 7 の巣でたわみの量が小さいので、内 4, 内 7 の巣が強度が強いと考えられる。

X. 結論

八角形のくもの巣の構造において、巣の中心に近い場所にある横糸は、たわみの量にあまり影響していないと考えられる。しかし、中心から離れた場所にある横糸は、その位置や本数が強度（たわみ）に影響を与えている特定の場所があると考えられる。

内 4 より内側と外側でたわみの量の変化量に違いが見られるのは、内 4 より内側のときと外側のときで巣の変形具合に違いが生じているためではないかと考えられる。

XI. 今後の展望

横糸の本数を増やした場合のたわみの量の変化を調べる。(例: 内側から 1,3,5 本目の横糸がある場合など)

内側から横糸を追加した場合のたわみの量の変化を調べる。(例: 内側から 1,2,3 本目に横糸がある等、

連続した横糸がある場合など)

動画を解析することで、巣の変形具合とたわみの量の関係を調べる。

## **XII. 参考文献**

- 1) Markus Buehler et al. Nonlinear material behavior of spider silk yields robust webs. Nature. 2012. 2012-02-02.
- 2) 提坂 浩之. 蜘蛛の巣にみる建築的応用可能性—柔軟性と冗長性に着目して—. 東京理科大学卒業論文. 2013