

葉の画像処理からの葉脈抽出と構造形態への適用

An Architectural Structure Based on Leaf Vein by Image Processing of Leaf

○前 稔文*¹, 木田 龍也*², 小林 竜一*³, 松本 裕司*⁴

Toshifumi MAE*¹, Tatsuya KIDA*², Ryuichi KOBAYASHI*³ and Yuji MATSUMOTO*⁴

*1 大分工業高等専門学校都市・環境工学科 准教授 博士 (工学)

Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, National Institute of Tech., Oita College, Ph.D.

*2 大分工業高等専門学校機械環境システム工学専攻 准学士

Mechanical-Environmental System Engineering Major, National Institute of Technology, Oita College

*3 フリーランス

Freelance, M. Eng.

*4 京都工芸繊維大学デザイン・建築学系 助教 博士 (学術)

Assistant Professor, Design and Architecture, Kyoto Institute of Technology, Ph.D.

キーワード：葉; 葉脈; Canny 法; 建築構造; 骨組解析

Keywords: Leaf; leaf vein; Canny edge detector; architectural structure; frame analysis.

1. はじめに

自然界に存在する形状は、複雑で不規則な形状をしているが、それらの形状は、自然科学上の合理的理由に基づいて形成されていると考えられる。筆者らは、その思想の下で、樹形図を構造物に応用した積層アーチの形状生成に取り組んできた。

本研究では、その自然界に存在する形状として、我々の生活において身近に存在する葉に着目した。

葉は、葉脈（主脈，側脈）や葉肉，葉縁などで構成されている。その葉の構造は薄いにも関わらず、それ自身の自重や風などの外力を受けながらも、一時的な形状の変化を見せるものの、その後、葉全体が元の形状に戻ろうとする力を持ち、主脈を主とした葉脈や、葉肉，葉縁で形状を維持していると考えられる。

一般的に、葉脈の役割としてよく知られているのは、その植物個体の隅々に水分や栄養を運ぶことであろう。しかし、構造的観点から葉脈の役割に焦点を当てると、葉脈は単に栄養や水分を運ぶだけではなく、葉脈が葉の骨組の役割を果たし、形を維持する力が生じているためと考えられる。これより、葉の構造は自然の力や自重に対して自立する何らかの合理性があるのではないかと考えたことが、葉の構造と思われる葉脈に着目した理由である。

本研究の目的は、自然界に存在する葉脈のかたちの形成について数理的に扱い、それを構造に適用することで新たな構造物の形状を模索し、その形状に合理性を見出すことである。

2. 葉脈の抽出

本研究では、python を用いて画像上の葉脈の座標を表示するために、葉脈・外周を抽出する方法を行った。まず、抽出に先立ち、OpenCV の Canny 法によるエッジ検出を行う。この方法は、OpenCV で実装されているもので、輝度勾配が大きい部分を検出することで、簡単にエッジを検出できるものである。

2.1. Canny 法による操作

Canny 法のエッジ検出は、輝度勾配、閾値に基づく方法であり、弱いエッジも正確に検出ができるという利点がある。また、他のエッジ検出と比較してノイズに対する誤検出も少ない手法である。この方法では、最小の閾値である \minval と最大の閾値である \maxval の2つの閾値を必要とし、エッジが \maxval の値以上であれば正しいエッジと見なし、 \minval の値以下であればエッジではないと見なし抽出しない。

また、2つの閾値の間であれば、正しいエッジとそうでないエッジとの隣接関係を基に区別し、それぞれ閾値が大きければ、より大きな輝度変化の時に初めてエッジと判定されるため、エッジが検出されにくい1)。図1の結果では、1)は細かいところを抽出しすぎており、3)は葉脈が途中で消えている。

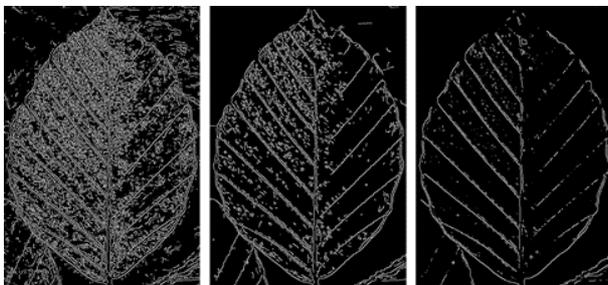
そこで、2)のように線の途切れている所が少なく、ノイズもできるだけ少なくなるように閾値を設定した。このように、葉の画像ごとに、適切に閾値を設定する必要がある。

2.2. 座標の表示と形状生成

次に、python を用いて座標の表示を行い、得られた座標を CAD に打ち込むことにより、モデルの外形を表示させる。なお、プログラムでは交点が赤色の点でプロットされるが、線が途切れている箇所や、画像の光飛びでノイズがある箇所に関しては、予めペイントソフト等を用いて線を繋ぐなどの処理をする必要がある。

ここでは、二階調化処理した画像の交点を表示するプログラムを作成し、交点座標を抽出した。ラベリング処理、ペイントによる微調整をした後に、交点の座標を抽出するプログラムを実行し、葉の外周、主脈と筋との交点座標を得る。なお、プログラムでは全ての交点が抽出できるように交点の数を指定し、赤色の点でプロットする。

こうして抽出した交点座標を基にして作成した葉脈の形状を図2に示す。本研究で扱う葉については、葉脈の交点が多い、目立った曲線が見られない等から、抽出した曲線を直線で近似している。なお、同図の a) から o) は上述の方法で生成したモデルであり、ここでは、p) および q) の放射状のモデル、r) の樹形図に基づいたモデル、s) から u) の格子状のモデルを比較対象の構造モデルとして作成した。また、葉脈の構造的役割を把握するため、葉縁を取り除いた葉脈のみで構成されるモデルも作成した。



1) 30 30 2) 50 70 3) 100 100

図1 各閾値における抽出結果 (minval, maxval)

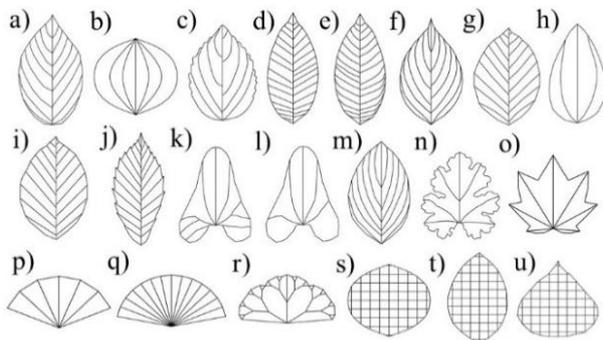


図2 各構造モデルの形状

3. 骨組解析

ここでは、図2に示す各構造モデルについて骨組解析ソフト Multiframe で扱えるように CAD データファイルを DXF 形式に変換した。

構造モデルには、前述の通り、葉脈と葉縁で構成された葉全体のモデルと、葉脈のみで構成されたモデルを準備した。なお、葉脈のみで構成されたモデルについては、葉脈の分岐が比較的わかりやすいモデルを対象としている。

さらに、これらのモデルについて、葉の平坦な形状を片持ちの構造モデルにした場合と、荷重荷重により湾曲した形状の基部と端部を支持した構造モデルにした場合のものを骨組解析の対象とした。

なお、片持ちの構造モデルに対しては自重を作用させており、空間を覆う面積は全モデルとも約 2.0m² と均一にした。

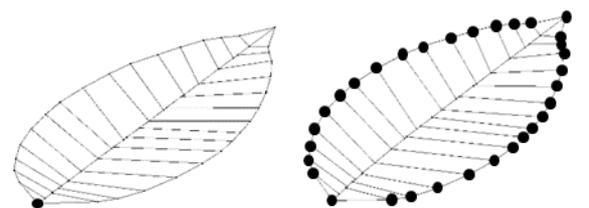
このとき、部材には、構造部材は土木、建築分野において広く使用される JIS 規格のステンレス鋼管 (SUS304) を用いており、密度は 7.93g/cm³、縦弾性係数 E は 1.93kN/mm²、せん断弾性係数 G は 74.0kN/mm² である。また、断面寸法については文献2)を参考にし、各モデルとも、側脈は主脈の約 50%としており、主脈の外径は $D=76.3\text{mm}$ 、厚さ $t=3.0\text{mm}$ 、側脈の外径は $D=34.0\text{mm}$ 、厚さ $t=2.8\text{mm}$ とした。

一方、荷重荷重により湾曲した形状の構造モデルについては、自重に加えて 1kN/m² の等分布荷重を作用させて骨組解析を行った。このとき、空間を覆う面積を約 300m² としており、片持ちのモデルよりも極端に広がっているが、このことは解析条件により結果が大きく異なるようにするためである。

なお、b) のモデルのように、主脈と側脈との区別がつきづらく湾曲により節点移動した葉縁を支点に設定する判断が困難なモデルは扱っていない。

また、断面寸法については、主脈の外径は $D=508.0\text{mm}$ 、厚さ $t=50.0\text{mm}$ 、側脈の外径は $D=267.4\text{mm}$ 、厚さ $t=28.6\text{mm}$ とした。

最後に、図3に葉脈と葉縁の構造モデルで基部のみ、および基部と葉縁を支持部とした例を示す。



a) 基部を固定
(自重)

b) 葉縁を固定
(自重と 1kN/m² の荷重)

図3 構造モデルの例

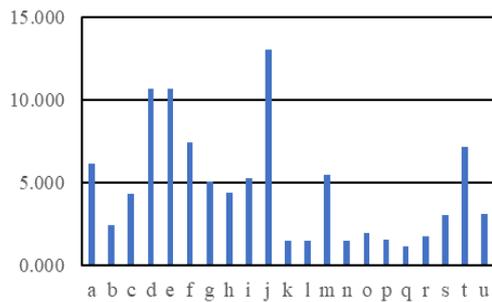
4. 解析結果

4.1. 片持ちにした葉脈と葉縁のモデル

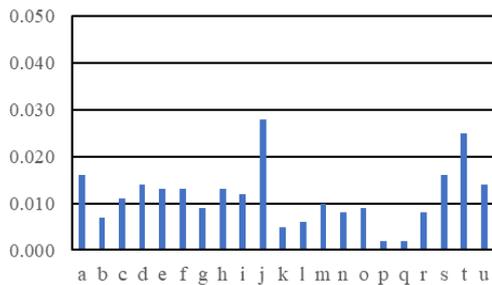
まず、変位に着目する。最大変位が最も大きかったのは、モデル j) で 13.010mm, 最も小さかったのは、モデル q) で 1.114mm であった (図 4 a))。当然のことながら、モデル d), e), j) は、他のモデルに比べて縦長の構造であり、主脈の節点が多いことから、変位が大きいことが確認できた。

さらに、応力に着目すると、ねじれモーメントが最も大きかったのは、モデル j) で 0.028kN・m, 曲げモーメントが最も大きかったモデルは e) で 0.716kN・m であった。一方で、ねじれモーメント、曲げモーメントともに最も小さかったモデルは p) および q) で 0.002kN, 0.121kN・m となった (図 4 b, c))。

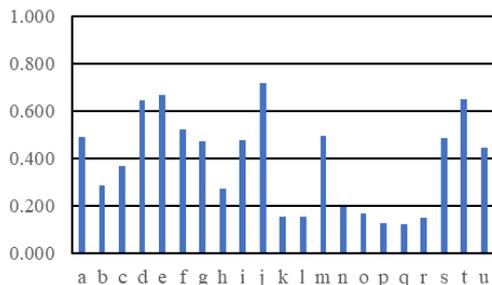
応力が大きくなったモデルについては、主脈の基部から先端に至るまでの間に部材が多く分岐していることにより、力が支点に結合する部材に大きく作用することが原因と考える。



a) 変位 (cm)



b) ねじれモーメント (kN・m)



c) 曲げモーメント (kN・m)

図 4 片持ちにした葉脈と葉縁のモデルの解析結果

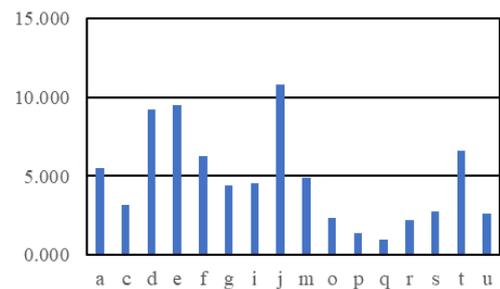
4.2. 片持ちにした葉脈のみのモデル

まず、変位に着目すると、葉全体のモデルに自重を作用させた場合と同様に、モデル j) で最大、モデル q) で最小となった (図 5)。葉脈モデルでは、葉脈のみのモデルに自重を作用すると、約 2~2.5 倍最大変位が大きくなった。幾何学形状である q), r) に対して、自然界の形状である葉は、葉縁をもつことによって変位が小さくなっていることが確認できた。

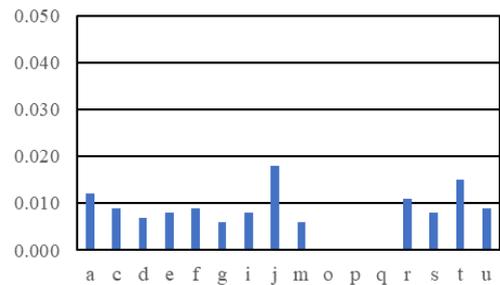
次に、応力に着目する。鉛直モーメントと曲げモーメントに関しては、あまり変化が見られないが、葉脈のみのモデルの方が多少大きくなっている。しかし、ねじりモーメントに関しては、葉脈モデルで値が大幅に小さくなっているものも見られた。

4.3. 湾曲した形状を基本とした構造モデル

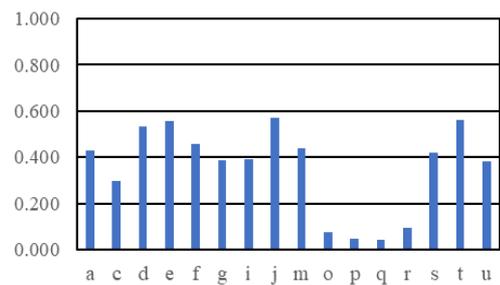
ここでは、葉縁の有無に着目して湾曲した形状の構造モデルの解析結果について述べる。両解析結果を図 6 および 7 に示す。



a) 変位 (cm)

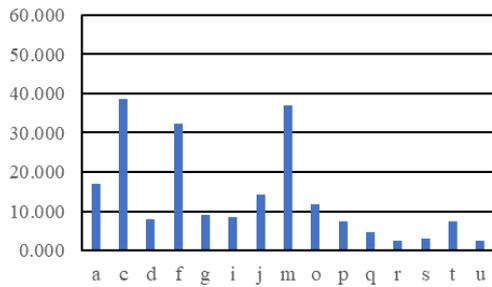


b) ねじれモーメント (kN・m)

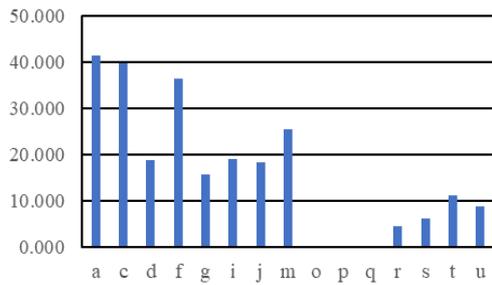


c) 曲げモーメント (kN・m)

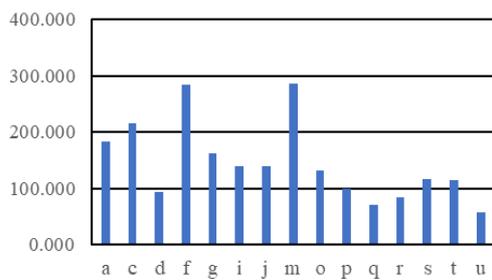
図 5 片持ちにした葉脈のみのモデルの解析結果



a) 変位 (cm)

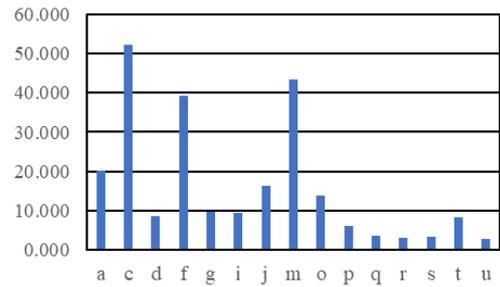


b) ねじれモーメント (kN·m)

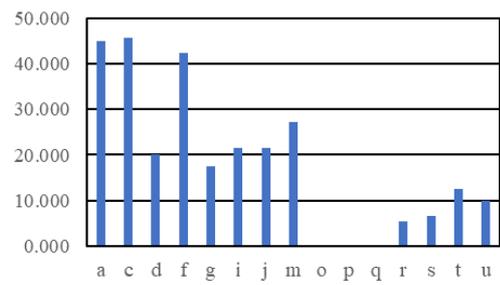


c) 曲げモーメント (kN·m)

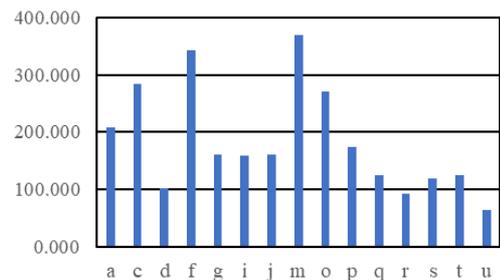
図6 湾曲した葉脈と葉縁のモデルの解析結果



a) 変位 (c)



b) ねじれモーメント (kN·m)



c) 曲げモーメント (kN·m)

図7 湾曲した葉脈のみのモデルの解析結果

片持ちにした構造モデルと異なり、全体的に、葉縁の有無による傾向の違いはそれほど大きくなかった。

変位については、葉脈のみのモデルの方全体的に大きくなったが、その差はモデル c)が最も大きく、およそ13cm 余りだった。

ねじれモーメントについても同様に、両者に顕著な差は見られなかったが、モデル c)などで値に違いが見られたものの、その差はおよそ 6kN・m だった。

曲げモーメントについては、その差は比較的顕著で、モデル o)においてその差は最大でおよそ 138kN・m であった。

なお、曲げモーメントが最も大きいモデルは m)であり、最も小さかったのはモデル d)であった。両者の形状について、一見大きな差は見受けられないが、側脈の生成の仕方がモデル d)に比べて m)の方が先端に向けて伸びている。このことから、葉の生長のしくみが形状の強さに影響を与えており、力を伝達するメカニズムが異なるのではないかと推察できる。

5. まとめ

片持ちにした構造モデルの場合、葉縁がある方が変位や応力の値は大きくなったが、湾曲した構造モデルの場合、その逆の傾向を示した。当然のことながら、形状も異なれば支持条件も異なるので、傾向が異なることは明白だが、葉縁の有無によって力の伝達機構が異なることが示唆された。その中で、葉縁を含めた構造モデルの方が変位等の値が小さいことは、その構造に力学的合理性をうかがえたのではないと思われる。

今後は、湾曲した構造モデルに対して、空間構造としての強度などを検討する予定である。また、ドームのような形状を基本系と見なし、その骨組解析から構造物としての強度を模索していく予定である。

[参考文献]

- 1) Canny 法によるエッジ検出
<https://qiita.com/Takarasawa/items/>
- 2) 立川浩幹：葉脈の形態分類と物質輸送の分析，東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻修士論文，2009
<https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/>