



# 竹が「軽さ」と「丈夫さ」を併せもつ理由の構造・材料力学的解明

さとうもとひろ  
**佐藤 太裕**

北海道大学大学院 工学研究院  
機械宇宙工学部門  
機械フロンティア工学分野 教授 (令和元年12月6日時点)

佐藤氏は、工学的視点から「円筒状のもの」の曲がりやすさや折れやすさの研究をしています。その中で、自然界に存在する「竹」の特異な構造形態に着目し、独自のアプローチにて竹の硬さ、強さの秘訣を理論的に検証し、「節の分布」、「維管束の分布」が力学的に極めて巧妙な仕組みをもつことを明らかにしました。

## 竹とは!?!~構造力学の視点から~

- \* 中は空洞 \* 成長速度が速い
- \* しなやかで折れにくい \* 裂けやすい



## 竹の強さの秘密

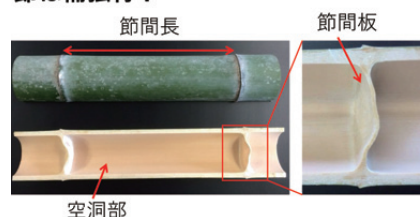
節



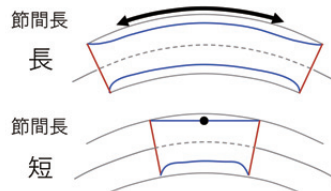
維管束



## 節は補強材!

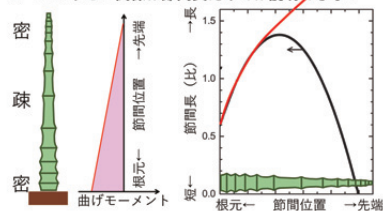


節のキャップ (曲がった時の断面扁平抑制) 効果の強さ



節と節の間の間隔 (節間長) が短いほど、曲がった時の断面扁平をより抑制し、強度や剛性を増加させることができます。

実際の竹における節の分布・・・根元で大きい曲げモーメントとの関係は節間長だけでは説明できない



竹の節間長は根元と先端で短く、中間部で長くなっています。これは外力により生じる曲げモーメントの分布と一致しません。

## 座屈のしやすさ = $\Omega$

- $\Omega \gg 2.0$   
座屈が起きやすい
- $0 < \Omega < 2.0$   
座屈が抑制される

評価パラメータ  $\Omega$

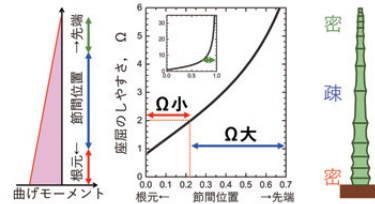
$$\Omega \equiv \left( \frac{E_{\perp}}{E_{\parallel}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left( \frac{\ell^2 w}{r^3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$E_{\perp}, E_{\parallel}$ : ヤング率 (=硬さ)  
 $\ell$ : 節間長  
 $w$ : 円筒の厚さ  
 $r$ : 円筒の半径

節間長だけではなく、竹を円筒と見立てたときの厚さや半径などに依存する評価パラメータ  $\Omega$  を構造力学の観点から導出しました。

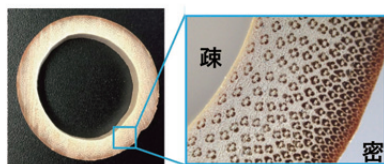
## 竹の $\Omega$ は??

・・・曲げモーメント分布と対応している



この  $\Omega$  の分布は、竹の外力により生じる曲げモーメント分布とよく一致しています。

## 竹の維管束分布



## 「曲がりにくさ」の計算式

中空円筒の曲げ剛性 (曲がりにくさ)

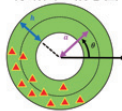
$$D_c = \int_0^{2\pi} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} dr \int_0^{2\pi} d\theta [E_c(r) \cdot r^3 \sin^2 \theta]$$

↑ 維管束をどのように分布させると曲げ剛性が最大?? (=最も曲がりにくい)

強化繊維の動径分布 (維管束分布)

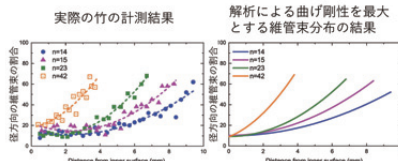
$$V_f(r) = c_0 + c_1 r + c_2 r^2 \quad \left( a - \frac{b}{2} \leq r \leq a + \frac{b}{2} \right)$$

竹断面の概念図



竹の維管束分布を考慮に入れた曲げ剛性 (曲がりにくさ) を構造的に定式化します。

## 実測と計算が似ている!



曲げ剛性が最大になるように最適配置している!

竹は維管束密度を断面内で制御し、最も効率的に曲げ剛性を最大化する配列をとっていることを発見しました。