

# スポークの最適化によるホイールの効率化

2007MI198 榊原健太

指導教員：陳 幹

## 1 はじめに

本研究では自転車のホイールの効率化におけるスポークの最適化を目指している。スポークはホイールの中にある骨組みのことであり、組み方、本数、1本あたりの強度の違いにより、ホイールの性能が全く異なってくる。スポークの本数が増えればホイールの剛性は高くなる。また、スポークの組み方によっても1本あたりにかかる張力が異なってくる。

そこで、最も適したスポークの条件について考えていく。

本研究では、人間が自転車に乗ることにより自転車のスポークにかかる張力がどの程度になるのかを導き出し、スポークが変形しないかつスポークの本数、断面積が小さいものを選びとることが目的である。

## 2 問題設定

スポークの材質はステンレスとする。スポークの断面の直径は1.8mmもしくは2mmの真円とし、リムの直径、ハブの軸の長さは一定とする。スポークの組み方はリムに向かって放射状にのびているラジアル組み、ハブに接するように組まれているタンジェント組みの2通りで行う。図1は例としてラジアル組みと6本組みのタンジェント組みを示している。タンジェント組みは、スポークが1本あたり他のスポークと何本交わっているかをあらかず交差数も変えて計算を行っていく。

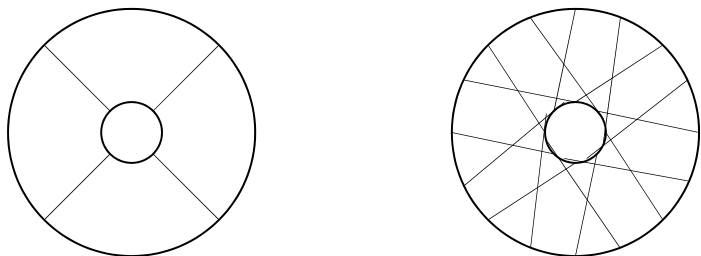


図1 左：ラジアル組み 右：タンジェント組み（6本組）

## 3 問題の解決方法

スポーク1本あたりにかかる張力をハブが沈んだ量、ホイールが横に傾いた量から計算する。タンジェント組みは交差数なども考えたうえでどのように変化するか計算する。その後、現実的な物理定数を与え、出てきたスポークの張力に対してホイールの剛性が十分であるかステンレスの機械的性質とあわせて考えて最適な値を導き出す。

## 4 ステンレスの機械的性質

表1は今回用いるステンレス SUS304 の降伏強度、ヤング率を示している。

降伏強さはその値以上の力を加えると壊れてしまう値である。(単位は  $N/mm^2$ )

ヤング係数はスポークの張力を計算するときに用いるばね定数を求める際に用いる。(単位は GPa)

S-N 曲線とは素材がある応力を与えられたときどれくらいの回数で破断するのかを表したものである。図2は SUS304 の S-N 曲線である。横軸は繰返し数、縦軸は応力 (Mpa) を表している。今回は  $2 \times 10^6$  回の応力で壊れないものは永久に壊れないものとする。

表1 ステンレスの機械的性質 [1]

種類の記号	降伏強度	ヤング率
SUS304	205	197

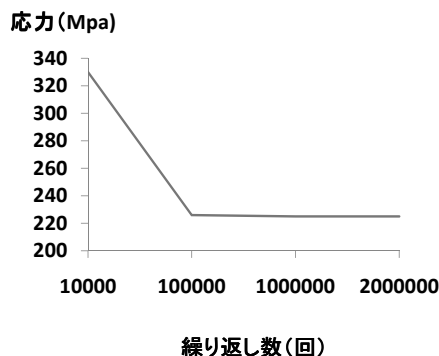


図2 SUS304 の S-N 曲線 [2]

降伏強度と S-N 曲線のグラフからそれぞれの組み方の1本あたりのスポークにかかる張力でスポークが破断しないかどうかを確認する。今回の場合、 $200N/mm^2$  以内の力であれば、スポークは破断しないと考えてよいとする。

## 5 スポークにかかる張力

人間が自転車に乗ったときのスポークに発生する張力を求める。

リムの半径を  $R$ 、ハブの半径を  $r$ 、中心からの角度を  $\phi_i$ 、タンジェント組みの場合になす角を  $\theta$ 、ハブの軸の半分の長さを  $s$ 、変化後のスポークの長さを  $A_i, B_i$ 、変化前のスポークの長さを  $Z_i, V_i$  とする。

図3はスポークを通じてハブが  $Y$  変化したことを表している。このときのスポークの変化量を  $u_i$  とすると

$$\begin{aligned} A_i^2 &= (R \sin \phi_i - r \sin(\phi_i \pm \theta))^2 \\ &+ (R \cos \phi_i - r \cos(\phi_i \pm \theta) \pm Y)^2 + s^2 \\ Z_i^2 &= (R \sin \phi_i - r \sin(\phi_i \pm \theta))^2 \\ &+ (R \cos \phi_i - r \cos(\phi_i \pm \theta))^2 + s^2 \\ u_i &= A_i - Z_i \end{aligned}$$

$$\phi_l = ((l-1)\frac{2\pi}{n}) + \phi_1$$

$$= 2(\frac{2a\pi}{n})$$

となる。

(ラジアル組みの場合は a=0, 2本組みの場合 a=1, 4本組みの場合 a=2, 6本組みの場合 a=3, 8本組みの場合 a=4)

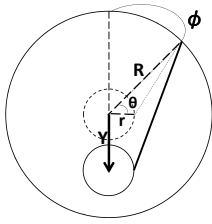


図3 ハブがY変化したホイール

図4はホイールが横にΦ傾いたことを表している。このときのそれぞれのスポークの変化をw<sub>l</sub>とすると

$$B_l^2 = (R \sin \phi_l - r \sin(\phi_l \pm \quad))^2$$

$$+ (R \cos \phi_l \cos \Phi - r \cos(\phi_l \pm \quad))^2 + (R \cos \phi_l \sin \Phi - s)^2$$

$$V_l^2 = (R \sin \phi_l - r \sin(\phi_l \pm \quad))^2$$

$$+ (R \sin \phi_l - r \cos(\phi_l \pm \quad))^2 + s^2$$

$$w_l = B_l - Y_l$$

$$\phi_l = ((l-1)\frac{2\pi}{n}) + \phi_1$$

となる。

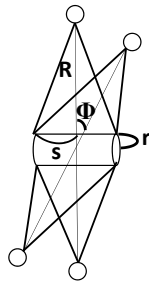


図4 ホイールが横に傾いたもの

## 6 力が加わった際のスポークの変化

スポークの本数, 組み方, 人間と自転車の重さなど必要な値を入力するとそれぞれのスポーク1本あたりの変化量がわかるプログラムを作成した。

下の図5、6は前輪(ホイールが左右対称), リムの半径300mm, ハブの半径25mm, スポークの断面の直径1.8mm, 自転車と人間の合わせた重さ80kg, ハブの軸の長さ70mmという条件において, 組み方別のハブが沈んだ量と横にホイールが傾いた量, 本数別の1本にかかるスポークの張力の最大値を表している。スポークにはあらかじめ400Nの初期張力を与えており[3], 今回の場合約108N以内であればスポークは破損しないとみてよいとしている。

スポークの張力は先に求めたスポークの変化量とばね定数  $k = \frac{ES}{L}$  で計算する。(E: ヤング係数, S: スポークの断面積, L: スポークの自然長)

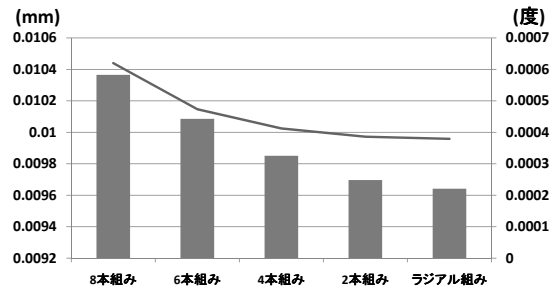


図5 組み方別のスポークの変化量

(左:棒) ハブの変化におけるスポークの変化量

(右:折れ線) ホイールの傾いた量におけるスポークの変化量

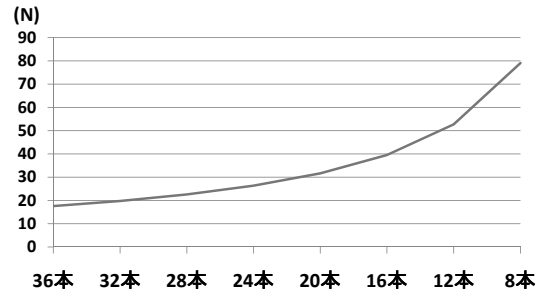


図6 本数別の1本のスポークにかかる力の最大値

## 7 終わりに

本研究では人間が自転車に乗ったとき, スポークが破損しないという範囲で最適なスポークを求めた。そして, ハブの変化, ホイールの傾いた量それぞれにおけるスポークの変化量からタンジェント組みよりラジアル組みの方が剛性がある, スポークにかかる張力の最大値から8本で組まれたホイールでもスポークが破断せず機能する, よって8本のラジアル組みが最適なスポーク数であるという結果を導くことができた。

## 参考文献

- [1] 国立天文台編 平成23年 理科年表  
金属材料の機械的強度 pp.388-389
- [2] 東京都立産業技術研究センター  
情報発信 TIRI News 2008年2月号  
研究紹介: ステンレス鋼における最適疲労設計基準の確立  
<http://www.iri-tokyo.jp/joho/kohoshi/tiri/backnumber/documents/tn20080202.pdf>
- [3] 財団法人製品安全協会  
SG基準 自転車  
9. 車輪のスポーク張力  
<http://www.sg-mark.org/KIJUN/S0052-04.pdf>