

スキューを持つころ軸受の摩擦特性解析と糸張力制御装置への応用

80121456 大串浩介 指導教員 青山藤詞郎 教授

1. 緒論

ころを転動体として支持するころ軸受は、回転軸をなめらかに回転させることが目的であるため、摩擦抵抗が小さくなるように設計されている。しかし、本研究で扱うころ軸受はスキューを持つスラストころ軸受であるため、通常のスラストころ軸受に比べて摩擦抵抗が生じ、軸受荷重により回転運動を制御可能であると考えられている。

一方、工業用マシンにおいて、電気的な制御により糸張力を制御し、所望な縫い目を自動的に作る技術が求められている。しかし、従来の技術では高速での回転体の追従性、糸張力の安定性などが原因で実用化に至っていない。

そこで本研究では、スキューを持つころ軸受の摩擦特性を調べると同時に、糸張力制御装置へと導入し、糸張力の挙動について調べた。

2. スキューを持つスラストころ軸受の摩擦特性解析

図1に本研究で使用した軸受のころと保持器を示す。図2の通常のスラストころ軸受と異なり、ころの自転軸が運動方向に対して直角を維持しないため、すべり摩擦を生じる。

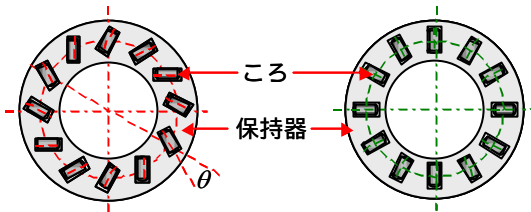


図1 スキューを持つスラストころ軸受

図2 スキューを持たないスラストころ軸受

スラストころ軸受の摩擦トルク M は、軸受荷重 W 、ころの公転半径 R 、スキュー角 θ 、自転軸に直角な方向の摩擦係数 μ_r 、自転軸方向の摩擦係数 μ_s に対して、

$$M = (\mu_r \cos \theta + \mu_s \sin \theta)WR \quad (1)$$

とあらわすことができる。

図1、図2のスラストころ軸受を組み込んだ実験装置(図3)を使用して、軸受荷重に対する摩擦トルクを測定すると図4のようになった。図4より、スキュー角ならびに軸受荷重が大きいほど摩擦トルクが大きくなることわかる。

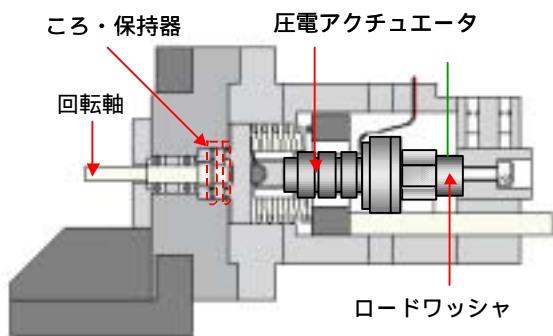


図3 摩擦トルク制御装置

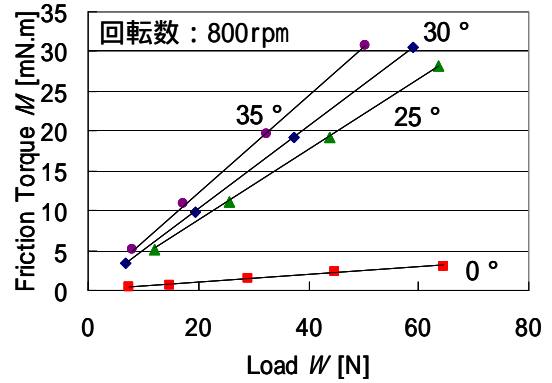


図4 軸受荷重と摩擦トルクの関係

図4の実験結果より、軸受荷重に対する摩擦トルクの近似式を求めると、

$$= 0^\circ \quad M = 0.05W \quad (2)$$

$$= 25^\circ \quad M = 0.44W \quad (3)$$

$$= 30^\circ \quad M = 0.52W \quad (4)$$

$$= 35^\circ \quad M = 0.61W \quad (5)$$

$\mu_r R = 0.05$ 、 $\mu_s R = 0.97$ と置き、理論式(1)に代入すると、

$$= 0^\circ \quad M = 0.05W \quad (6)$$

$$= 25^\circ \quad M = 0.46W \quad (7)$$

$$= 30^\circ \quad M = 0.53W \quad (8)$$

$$= 35^\circ \quad M = 0.60W \quad (9)$$

となり、実験値と理論値に近い値になることがわかる。

以上より、スキューを持つスラストころ軸受は、軸受荷重を変化させることで摩擦トルクを制御することが可能であり、ころのスキュー角と公転半径により見かけ上の摩擦係数を調節可能であることがわかった。

3. 糸張力制御装置への応用

図3の摩擦トルク制御装置を図5の糸張力制御装置へと導入し、軸受荷重の変化に対する糸張力の挙動を調べた。軸受荷重は電圧により制御可能な圧電アクチュエータを使用した。

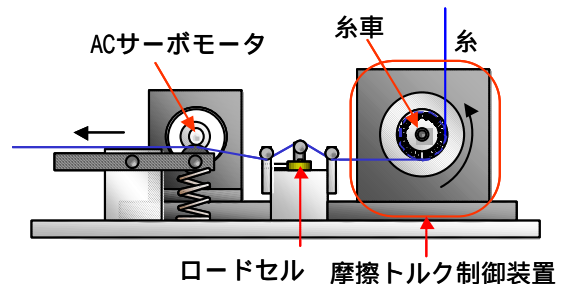


図5 糸張力制御装置

スキュー角 $\theta = 30^\circ$ 、潤滑状態のスラストころ軸受を組み込み、糸の送り速度 $v = 0.12\text{m/s}$ (軸回転数 $n = 100\text{rpm}$) で糸を動かしたとき、荷重に対する糸張力を図6に示す。なお、荷重は無回転時に予荷重のかかった状態を 0N とする。

図6より、糸張力の立ち上がりの傾きは荷重の大きさに依存しないが、荷重が大きいほど糸張力がピークに達するまで時間を要することがわかる。また、糸張力の立ち下りは、荷重が低下し始めた瞬間に起きるため、その傾きは荷重の最大値が大きいほど急になることがわかる。

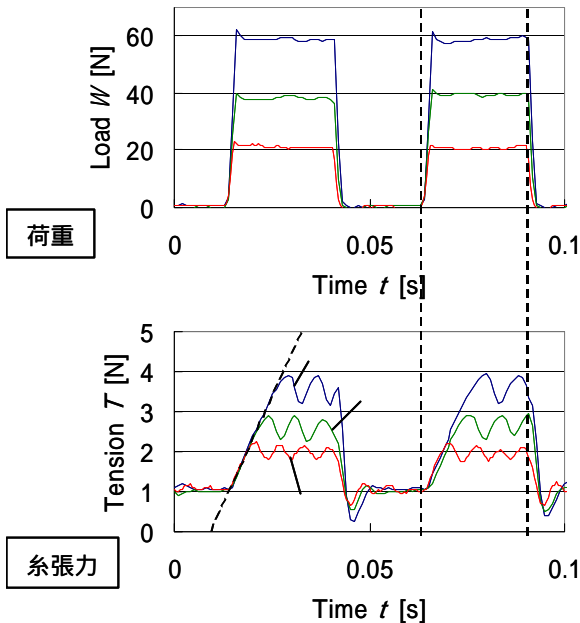


図6 荷重に対する糸張力（荷重による比較）

スキュー角 = 30°，潤滑状態のスラストころ軸受を組み込み、糸の送り速度 $v = 0.06\text{m/s}$, 0.12m/s , 0.24m/s , 0.36m/s で糸を動かしたとき、荷重に対する糸張力を図7に示す。

図7より、糸張力の立ち上がりの傾きは、 $v = 0.12\text{m/s}$ のとき $v = 0.06\text{m/s}$ の約2倍になるが、 $v = 0.24\text{m/s}$ と $v = 0.36\text{m/s}$ では差が見られないことがわかる。また、糸張力の立ち下りの傾きは、送り速度には依存しないことがわかる。

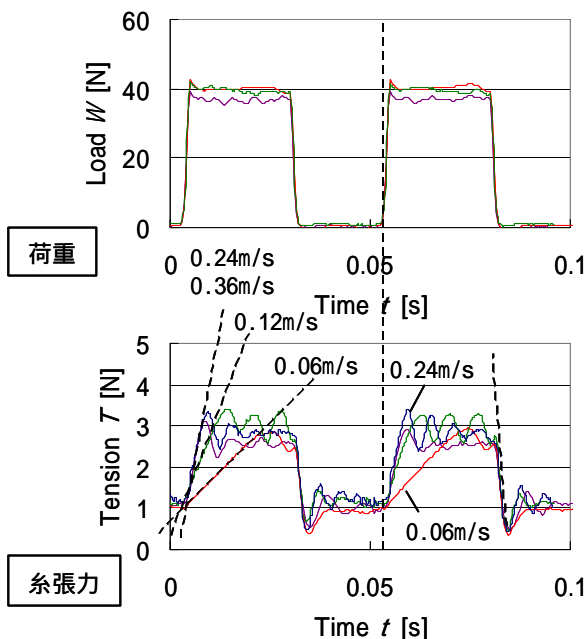


図7 荷重に対する糸張力（送り速度による比較）

4. 動力学モデルの考案

図6, 7で得た糸張力の挙動をまとめるため、図5の糸張力制御装置を動力学モデルに置き換え（図8）、運動方程式から得られた理論値を、図7の実験結果（下図）と比較した（図9）。図9より糸張力の立ち上がり、下がり、傾きが実験値と近い値を示すことから、糸張力の挙動を理論的に解析できたとと思われる。

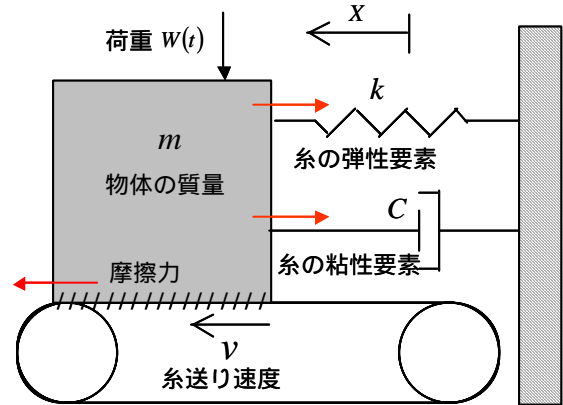


図8 糸張力制御装置の動力学モデル

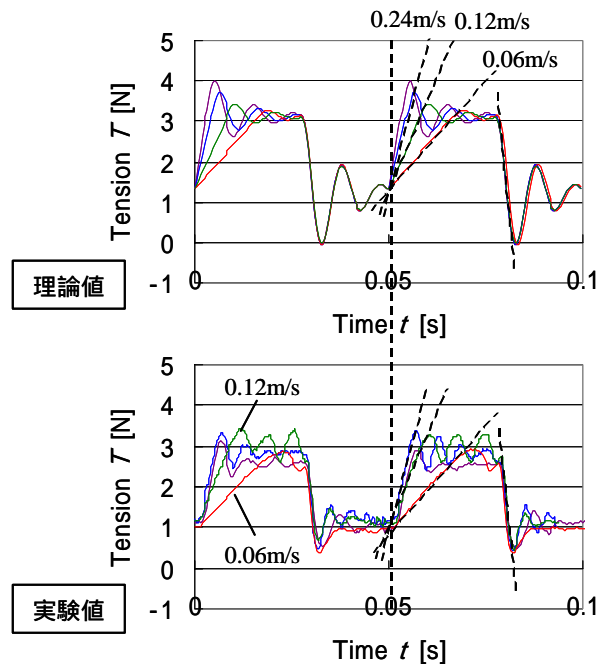


図9 糸張力の理論値と実験値の比較

5. 結論

スキューを持つスラストころ軸受は、軸受荷重を変化させることで摩擦トルクを制御することが可能であり、見かけ上の摩擦係数はスキュー角と公転半径により任意に設定できることを、実験と理論から明らかにした。

そして、荷重により摩擦トルクを制御可能な特徴を利用して、スキューを持つスラストころ軸受を糸張力制御装置へと応用することができた。

糸張力の立ち上がりは、送り速度が速いほど傾きが大きくなり、軸受荷重に対する応答性が良くなる。一方、糸張力の立ち下りは、送り速度に依存せず、荷重の変化量に依存することがわかった。そして、この特徴をもとに動力学モデルを解くと、実験値に近い状態を実現することができた。