

論文名

歯車の歯打ち現象に関する基礎的研究

氏名

長崎大学大学院生産科学研究科 濱野 崇

本論文では、変速機の歯打ち現象に対して、従来、全く考慮されなかったギヤかみ合い時のかみ合い剛性変動、トルク変動の高次成分、歯形誤差などの影響を、高速、高精度の数値解析手法であるシューティング法を用いて、そのメカニズムを明らかにし、防振のための設計指針を得ることを目的としている。

歯打ち現象は、振動・音の発生源が歯車の接触にあるにも関わらず、フライホイールやクラッチなど、歯車以外のデバイスによる対策が行われているのが現状である。よって、本論文では、歯車のかみ合いに基づく歯打ち理論の構築、およびそれにより防振の基本的考え方を確立することを目指しており、その基礎的研究の結果を以下にまとめる。

まず、1 対のはすば歯車系の運動方程式にかみ合い剛性変動を導入し、かみ合い剛性変動の有無、静的トルクと動的トルクの比、および駆動トルク変動の高次成分が歯打ちに及ぼす影響について数値解析により調べた。その結果、剛性変動が原因で低角振動数域に共振ピークが発生し、その加速度振幅が大きいこと、一定トルクと変動トルク振幅の大小関係が高調波振動の発生に影響し、特に変動トルク振幅が一定トルクよりも小さいと、極めて低い角振動数域で主共振振幅以上の振幅をもつ振動が発生することを明らかにした。また、トルク変動の 1 次成分による高調波共振とトルク変動の高次成分による共振あるいは高調波共振との相互作用のため、それらの共振振幅が大きくなること、変動トルクに高次成分を含む場合、カオスの発生領域が広くなることを明らかにした。また、歯形誤差を運動方程式に導入することにより、それが歯打ち現象に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。

次に、1 対のはすば歯車系を多段のはすば歯車系に発展させ、その歯打ちの数値解析を行った。多段歯車系の解析においてもかみ合い剛性変動、トルク変動、歯形誤差を考慮している。数値解析から以下のことを明らかにした。(1) 変動トルクとかみ合い剛性変動の相互作用により、ギヤノイズに似た共振が低い振動数領域で発生する、そして、それらの数は固有振動数の数と歯車の段数の数の積に等しい。(2) このタイプ、および、小さな一定トルクのために極めて低い振動数で発生するタイプの歯打ちにおいては、一段目の歯打ちが支配的

である。(3) 一对の歯車系と同様に広い振動数領域でカオスが発生し、カオスへのルートは周期倍分岐である。(4) 歯形誤差が存在すると歯打ちの振幅が数倍に大きくなるが、極めて低い振動数における歯打ちは歯形誤差の影響は少ない。

以上の数値計算結果を受けて、以下のような変速機的设计指針を提案した。

(1) 歯形誤差を考慮した設計が必要である。歯打ち時の振幅は歯形誤差により数倍大きくなるので、設計時にこれを考慮することは大変重要である。(2) かみあい剛性変動を考慮した設計が必要である。歯打ち時の振幅はこれにより数倍大きくなるので、かみあい剛性変動を考慮することは大変重要である。(3) 多段はすば歯車系では一段目のかみ合いが歯打ち現象を支配するので、歯打ち防止対策は一段目に対して行うことが効果的である。

本論文は、以下の構成となっている。

第1章では、本研究論文の目的及び概要について述べる。

第2章では、本研究の数値計算で使用した計算手法の説明をする。本研究では、シューティング法という数値解析手法を使用している。シューティング法とは、まずある初期値を用いて一周期間、数値積分を行い、応答が周期解とはならない場合、つまり初期値と一周後の値が異なる場合は、ニュートン法の原理を用いて初期値を修正することで、高速かつ高精度に周期解（周期解となる初期値）を求める手法である。本研究の歯打ち現象のように、急激に剛性に変化するような場合にも適用可能な手法である。

第3章では、変速機の歯打ち現象の基礎的研究として、一对のはすば歯車系を対象に、従来考慮されていなかったかみ合い剛性変動を考慮した数値解析を行い、その振動特性を調べ、かみ合い剛性変動と駆動トルクとの間の相互作用の有無を検証する。また、実際の駆動系で存在するトルク変動の高次の振動数成分の影響についても調べる。さらに、実際の歯車に存在する歯形誤差を数値計算に導入し、その影響について検証する。

第4章では、前章の一对のはすば歯車からなる歯打ちモデルを発展させた三軸二段の多段はすば歯車系を対象に、従来考慮されていなかったかみ合い剛性変動を考慮した数値解析を行い、かみ合い剛性変動の影響を調べるとともに、多段歯車系の歯打ちの特徴を明らかにする。また、一对のはすば歯車系の歯打ち解析と同様に、歯形誤差を導入して、数値解析を行い、その影響について検証する。

第5章では、本論文の総括を行い、研究から得られた知見をまとめるとともに、実際の変速機の防振設計の指針を示す。