

(様式 2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 野 嶋 賢 吾 印

題 目 有限要素解析を援用した浸炭焼入れ大ねじれ角はすば歯車の曲げ疲労強度の評価

学位論文の概要及び要旨

本研究は、浸炭焼入れはすば歯車装置の設計に用いるための歯元の曲げ疲労強度推定法を確立することを目的としている。浸炭焼入れはすば歯車のなかでも、特に近年利用され始めているねじれ角 $\beta > 30^\circ$ の大ねじれ角はすば歯車に焦点を当て、FEM による歯元応力解析および熱処理解析を援用して、その曲げ疲労強度を推定しようとするものである。さらには、確立を目指す疲労強度推定法の妥当性を確認する一連の検証によって、浸炭焼入れ大ねじれ角はすば歯車の曲げ疲労強度に及ぼすねじれ角、浸炭部およびかみ合い位置（歯元応力分布）の影響を明らかにし、浸炭焼入れはすば歯車の曲げ疲労設計を行うための基礎資料を得ることをも目的としている。

本研究で対象とするはすば歯車は、運転がなめらかで低騒音であることから平歯車と同様に非常に多く用いられる。はすば歯車は、歯すじ方向に歯がねじれているためスラスト荷重が発生するという課題があり、このスラスト荷重は β が増加するほど増大するため、従来のはすば歯車では $\beta \leq 30^\circ$ のものが一般に用いられてきた。しかし、最近では、スラスト荷重に十分に耐えられる軸受が開発され、 $\beta > 40^\circ$ のものも使用され始めている。

大ねじれ角はすば歯車の曲げ疲労強度の推定では、従来のはすば歯車では問題とならなかった、以下のことが懸念される。すなわち、図 1 に示すとおり、はすば歯車の歯は、その歯幅端の両側にそれぞれ鋭角および鈍角の不完全三角形部を有し、この鋭角および鈍角の度合いは β の増加にともない顕著になる。はすば歯車の歯元応力に対しては、鋭角側(A. end)の不完全部の影響が大きいことが指摘されており、大ねじれ角はすば歯車の歯元応力の評価においては、この A. end の不完全部の影響を明らかにする必要があると考えられる。さらに、大ねじれ角はすば歯車を浸炭焼入れする場合、A. end の不完全部では、歯面および歯車側面の両面から炭素が侵入し、不完全部の狭い領域に拡散するため、表面のみならず芯部までも炭素濃度が高くなり、過度に厚い硬化層が形成される。この厚すぎる硬化層は、疲労強度を低下させると言われているため、浸炭焼入れ大ねじれ角はすば歯車の疲労強度に及ぼす A. end の硬化層の影響を把握しておくことが必要であると考えられる。

ところで、浸炭焼入れはすば歯車の疲労強度の推定には、(i)歯元応力の推定と、(ii)浸炭焼入れされた歯車材料の疲労強度の推定が求められる。上記の(i)と(ii)には、つぎのような課題がある。まず、(i)歯元応力の推定については、はすば歯車は、歯すじ方向に歯がねじれていることや、歯幅端の一方には鋭角、他方には鈍角の不完全部を有することから、平歯車に比べかなり複雑な歯元応力分布となる。

従来、はすば歯車の歯元応力の推定には、ISO 6336-3 による方式（以下、ISO 式と略す）や、ISO 式と同一思想の AGMA 式および BS 式などが一般に用いられてきた。歯車装置の最適化を目的とした高度な解析をともなう設計には、久保・梅澤の方法が用いられる場合もある。

ISO 式は、相当平歯車により計算される歯元応力に各種の修正係数を加える方式であり、その計算結果はねじれ角 $\beta \leq 25^\circ$ において保証され、 $\beta > 25^\circ$ に適用する場合には有限要素法（Finite Element Method, 以下、FEM と略す）や応力測定などによる詳細な検証を行うことが推奨されている。

一方、久保・梅澤の方法は、かみ合い進行にともなう歯面荷重分布状態の変化を計算する理論と、実験結果をもとに作成された関数を用いる方法である。また、久保・梅澤の方法は歯車の各種誤差の影響を考慮できる高度な計算手法であり、自動車用トランスミッションの設計にも用いられている。しかし、久保・梅澤の方法を自動車会社以外で利用するためには、現状では計算プログラムを自作する必要がある、多くの機械設計者が利用できる ISO 式のような環境は整っていない。

こうしたなかで、機械設計者が 3D-CAD 操作の延長で扱える FEM は急速に普及しており、ISO 式と久保・梅澤の方法を代替する設計ツールとして有用と考えられるが、FEM による歯元応力解析結果を用いて浸炭焼入れはすば歯車の疲労強度を評価した事例はみあたらない。

さらに、(ii) 浸炭焼入れされた歯車材料の疲労強度の推定については、浸炭部の疲労強度に対して炭素濃度（浸炭部の硬さ）のほかに、残留応力および残留オーステナイト量などの影響が大きいことが知られている。これらの値は、歯車材料の成分元素や熱処理条件で異なるため、個別の条件に対する検討が必要であり、種々の条件において浸炭焼入れはすば歯車の疲労強度に影響を及ぼす因子を実験的に調べる研究も行われている。しかし、疲労試験をともなう実験評価には、多大な労力、時間、費用を要するため、熱処理解析により浸炭焼入れされた歯車材料の疲労強度を推定できるようになることが望まれる。

以上のような観点から本研究では、はじめに、FEM によるはすば歯車の歯元応力解析法を確立し、その有効性を示した。つぎに、有効性を示した FEM 解析法により大ねじれ角はすば歯車の歯元応力を解析し、従来の解析法との比較検証を行った。また、FEM 解析を援用した浸炭焼入れはすば歯車の曲げ疲労強度推定法を確立し、 $\beta = 30^\circ$ までのはすば歯車の曲げ疲労試験結果と比較検証し、当該推定法の妥当性を示した。さらには、当該推定法を $\beta = 40.88^\circ$ までのはすば歯車に適用し、曲げ疲労試験結果と比較検証し、大ねじれ角はすば歯車の曲げ疲労強度に及ぼすねじれ角、浸炭部およびかみ合い位置（歯元応力分布）の影響について明らかにするとともに、大ねじれ角はすば歯車の曲げ疲労設計法についても言及し、浸炭焼入れはすば歯車の曲げ疲労設計を行うための基礎資料を提示した。

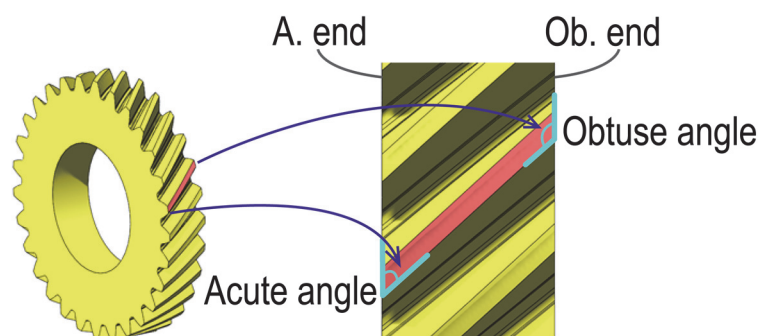


Fig. 1 はすば歯車の歯