

# 審査結果の要旨

氏名 西野隆之

本論文は、「はすば歯車を含む回転軸系における振動の発生機構と低減に関する研究」と題し、自動車用変速機などに使われている歯車装置から発生する固体伝播音の低減を目的として、歯車のかみあいから歯車箱の振動応答までを取り扱うことのできる振動解析手法の確立と、はすば歯車を含んだ回転軸系で発生する連成振動の発生機構の解明とその知見に基づく振動低減手法の構築を行ったもので、全8章より構成されている。

第1章は、序論であり、研究の背景、従来の研究の概観と問題点の抽出、本研究の目的、構成、モデル化に関して説明している。本研究は、自動車用変速機に使用されているはすば歯車から発生する歯車騒音の低減を対象にしている。この歯車騒音は、歯車のかみあいによって生じる歯車対の振動が軸、軸受などを介して歯車箱に伝わって発生する固体伝播音の寄与率が圧倒的に高く、歯車騒音を改善するためには固体伝播音を低減する必要がある。本研究の狙いは、固体伝播音の低減に関する設計に際し、特に開発の初期段階における歯車列の配置に関する基本設計や、歯車軸および歯車箱の詳細設計を、合理的に見通しを立てながら行えるようにすることにある。本論文の目的は、歯車のかみあいから歯車箱に至るまでの振動応答を取扱うことができるはすば歯車系の振動解析手法を確立し、はすば歯車系の連成振動の発生機構を明らかにして、連成振動特性に基づいた振動低減方法を確立することである。

第2章は、はすば歯車系の多自由度運動方程式と題し、はすば歯車の接触理論に基づき、歯面誤差を持つはすば歯車対の回転と歯車の歯の剛性について記述した後、はすば歯車系の運動方程式、荷重に対する歯の剛性の非線形特性、励振モデルやモデルの精度について記述している。歯車騒音の原因は歯面誤差による変位加振、歯のばね定数の周期的変動による係数励振およびかみあいの進行に伴う歯面荷重の作用点の移動であり、これらはそれぞれ性質が異なる内部誘起的な励振である。本研究ではまず、移動荷重による励振の影響を含まな

い多自由度運動方程式を導いている。はすば歯車では、歯車対の多方向の剛体運動によって歯がたわむ。そこで、歯対をばねでモデル化し、歯車対の変位ベクトルと歯車に加わる荷重ベクトルとの関係式を導出し、この式を用いてはすば歯車系の運動方程式を作成している。歯のばね定数は時間の経過に伴って周期的に変動するので、運動方程式は係数励振型となるが、これを定数係数の微分方程式で近似したことが特徴である。

第3章は、かみあい起振力の解析と実験検証と題し、解析方法、実験結果による解析方法の妥当性の検証について記述している。かみあい起振力を計算するには、はすば歯車の接触線に作用する分布荷重と歯のたわみを求めなければならない。このために、歯の曲げ・せん断変形の影響関数および歯の接触変形による歯面の接近距離の影響関数を求め、接触線上における歯の弾性変形の基礎式に適用し、分布荷重、歯面の接触領域、歯のたわみを求める3次元歯面接触解析手法を開発した。また、本方法を用いて計算したかみあい起振力と歯面の加振実験によって計測したかみあい起振力を比較することによって、本解析方法の妥当性を確認している。

第4章は、歯車箱を含めたはすば歯車系の振動解析と題し、先に求めた運動方程式に基づいて歯車のかみあいによって発生する歯車箱の振動のシミュレーションを行い、計測結果と比較することによって運動方程式の妥当性を検証している。ここでは、歯車箱を含めたはすば歯車系の振動解析手法として、歯車軸系と歯車箱系を一体モデルで解析する方法と歯車軸系と歯車箱系を分離して解析する方法の二種類を適用している。二つの方法による歯車箱の振動の解析結果は実用上問題ない精度で実験結果に一致し、解析方法の妥当性が検証されている。

第5章は、歯面動荷重の発生機構と低減方法と題し、ここでは、運動方程式に基づく方法と伝達関数合成法による方法の二種類を提案し、伝達関数合成法による結果の考察から歯面動荷重の発生機構は6種類に分類できることを明らかにし、歯面動荷重の低減に対する提案を行っている。

第6章は、移動荷重による励振を考慮した振動解析と題し、ここでは歯面誤差による励振力とかみあいの進行に伴った歯のばね定数の周期的変動による励振力に加え、移動荷重による励振力も考慮した振動解析手法を提案している。

はすば歯車では、かみあいの進行過程で歯面分布荷重の作用位置が歯車軸方向へ移動することによる励振力とそれに対する歯のばねによる復元力が存在する。移動荷重を受ける構造物の動的挙動の解析は複雑であり、一般的には容易でなく、本研究では、歯のばねを歯車軸方向に等間隔に配置した複数のばねに分割し、これに伴い励振力も互いに位相差をもつ複数の起振力に分割することによって移動荷重をモデル化する方法を開発している。また、本手法を一段歯車装置の振動解析に適用し、実験によって解析手法の妥当性を確認している。

第7章は、適用事例と題し、本研究で提案した手法を自動変速機歯車軸系に適用して歯車騒音を改善した事例を紹介し、本手法の工業的有用性を明らかにしている。

第8章は、結論で、本研究によって明らかになった知見を纏めている。

以上のように、本論文は、新しく提案した振動解析手法によってはすば歯車軸系の振動騒音の発生機構を明らかにし、これにより振動騒音を改善した歯車装置を開発設計できることを実証したものであって、機械工学、特に振動騒音工学および関連する工業技術の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。