



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。この近似によると、励振力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の合計である。

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る基礎式を作成した。これらの影響関数を、接触線上における歯の弾性変形の基礎式に適用した。そして、この基礎式を解き、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。本方法を用いて計算したかみあい起振力は、負荷の増加に伴って大きさが変化する。その変化傾向を歯車箱振動の実測値のそれと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。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も、本解析方法の妥当性を確認している。

次に、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、実験による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た。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た。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、励振モデルの妥当性が検証された。しかし、実験で観察される共振峰の一部は解析では現れない、あるいは振動の大きさが合わないという問題点もあり、励振モデルは改善の余地があることもわかった。

そこで、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開発した。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い。そこで、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た。このように、本研究の新規性は、変位加振，係数励振，移動荷重という異なる性質の励振を，統合した外力として扱ったことである。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。軸受は円すいころ軸受，深溝玉軸受および円筒ころ軸受の三種類を用いたが，いずれの場合にも解析による歯車箱の振動は実験結果とかなり一致していた。また，移動荷重による励振の影響を考慮しない場合には，移動荷重によって生じる起振モーメントによって誘起される振動が現れず解析精度が著しく悪い場合もあることを示し，はすば歯車系の振動に及ぼす移動荷重の影響は無視できないことを示している。

本振動解析手法を用いて歯車-歯車軸系で構成される歯車系の振動解析を行い，はすば歯車系の振動には，①歯車対の剛体運動に伴う駆動および従動歯面の歯面法線方向の並進変位が歯のかみあいを通して連成することによって生じる振動と②駆動および従動歯面の接触線まわりの回転変位が歯のかみあいを通して連成することによって生じる振動の二種類が存在することを示した。これらの連成振動のうちで，現実の歯車装置の振動では①の振動が問題になる場合が多い。そこで，本研究では，歯面法線方向変位に関する連成振動の発生機構の解明と低減方法に関する検討を掘り下げた。具体的には歯車対の振動によって歯面間に生じる歯面法線方向の歯面動荷重に着目し，新規性のある試みとして歯面動荷重を伝達関数合成法によって歯対のばね定数および駆動系，従動系のかみあい部のコンプライアンスによって陽な式で表現した。これによって振動の発生機構を歯車軸系の振動特性に関連付けて考察することが可能になった。具体的にはこの式の考察によって，最も大きな連成振動が発生するのは，歯のばね定数と歯車軸系の動剛性が同程度の大きさをもつ場合であることを明らかにしている。また，この振動の発生機構に基づき，振動を低減するには，歯のばね定数と歯車軸系の動剛性が交差しないように，可能な限り歯のばね定数を剛にし，歯車軸系の動剛性を柔らかくすることが有効であるという設計指針を提示している。

本研究の工業的有用性を明らかにするために，振動の予測，連成振動の発生機構の検討，対策案の検討といった一連の作業を自動変速機の歯車騒音の改善

に適用した。まず、本振動解析手法を適用し、軸受動荷重を解析した。そして、この軸受動荷重を用いて歯車箱の表面から放射される歯車騒音を予測する簡易的手法を開発した。次に、歯車騒音の原因となる歯車振動の発生原因を検討し、この歯車装置の場合には歯面動荷重に関連した振動によって歯車騒音が発生していることを確認した。そこで、歯面動荷重の低減方法に基づいて低振動構造を検討した。従動歯車の形状の最適化や歯のかみあい部が腹となるような振動を外部より追加することによってかみあい部のコンプライアンスを可能な限り大きくし、歯面動荷重を低減することによって歯車騒音を約 10dB 改善できた。

本研究によって、はすば歯車系の振動の予測、振動の発生機構の検討、対策案の検討といった歯車装置の開発段階における一連の作業を、机上解析によって行うことが可能になっている。この結果、初期設計が充実することによって歯車騒音が大幅に改善されたことのみならず、試作回数の削減、開発期間の短縮、歯車騒音の対策に要する費用の削減等に効果を上げている。