

氏名	吉村允孝 よしむらまさたか
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第928号
学位授与の日付	昭和51年11月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	工作機械の振動特性の解析と最適設計

論文調査委員 (主査) 教授 奥島啓式 教授 岡村健二郎 教授 佐藤進

論文内容の要旨

本論文は、工作機械の振動特性を解析し、その結果を用いてびり振動の起りにくい工作機械の最適設計法について論じたもので、緒論、5章および結論からなっている。

緒論は、研究の目的およびその重要性について述べたものである。

第1章では、一般機械構造物の振動特性を解析する場合の問題点を明らかにし、それを解決するための基本的因子として、各固有振動モードにおける慣性・復元および減衰の各エネルギー分布、減衰能とは無関係で振動システム内の動的なフレキシビリティを表わすモーダル・フレキシビリティおよび機械構造内部を伝達する振動内部力の3つの因子を挙げ、それぞれの概念の定義と説明および特性の解析を行っている。ついで本研究の目的の一つである振動に関する工作機械の最適設計を行うための基本的原理について考察し、種々のびり振動のうち最も防止が困難で、かつ設計の段階で解析を必要とする再生型自励びりを支配するパラメーターの解析を行って、上記モーダル・フレキシビリティの重要性を明らかにしている。すなわちまず初期設計における各モードについてフレキシビリティを計算することにより問題とすべきモードを決定し、その固有モードについて慣性および復元エネルギーの分布が平均化するように剛性および質量の改良を行い、これによって問題としているモーダル・フレキシビリティを下げるように設計変更を行っている。

第2章においては、機械構造物の静剛性および振動特性を設計段階で求めるために、リセプタンス合成法および動剛性合成法の電子計算機プログラムを開発した結果について述べている。リセプタンス合成法とは、複数個の部材よりなる立体構造物の振動特性を、各部材ごとの力に対する変位の関係を示すリセプタンスを合成することにより理論的に求める方法で、これにより実際の構造物を分布質量・分布定数系はりの集合モデル化して、その特性を解析することができる。また動剛性合成法は、より複雑な部材により構成される機械構造物を複数個の部分構造に分割し、各部分構造の動剛性を合成する方法で、通常の有限要素、骨組集中質量要素および分布質量・分布定数系要素によるモデル化をあわせて行うことができ、さ

らに減衰を含む振動特性を従来の手法より厳密に解析することが可能である。本章では、実際の工作機械への適用例と、実験による検証により、これら手法の妥当性を示している。

第3章は、機械構造の構成要素の振動特性について述べている。まず機械における部材の代表的な結合法であるボルト結合部、溶接結合部および案内面の動的剛性と減衰能の解析を行うために、現象を正確に把握できるようそれぞれの結合部を単純化した実験モデルを、共振モードの節点の位置で空中に吊って振動を測定し、前章の振動解析法を適用した。これにより、各種結合部の接触面間に加わるモーメント、せん断力の減衰特性に及ぼす影響を求め、たとえばボルト結合部では、その部分に作用するモーメントにより減衰が発生しやすいことなどを明らかにしている。次に実際の機械における結合部の動的剛性および減衰能の解析として、円筒研削盤ホイールヘッド主軸の振動解析法ならびにテーブル案内面の減衰を駆動機構の影響を受けないで測定する方法を提示し、案内面の測定ではすべり案内面と静圧案内面の送り速度に依存する減衰比および案内面送り方向減衰係数の特性を明らかにしている。最後に結合部と同様に剛性の評価が困難である複雑な形状を持つ構造部材の動剛性を正しく評価するために、エネルギー分布の大きさに着目した剛性評価法を提唱し、実験によりその方法の妥当性を立証している。

第4章は、工作機械の再生型自励びりの防止を目的とする最適設計を、第1章に述べた最適化の原理に従い、第2章の振動特性解析の電子計算機プログラムシステムを用いて実行する具体的な手法を提唱している。この最適設計法は、第1段階として切削点での周波数応答より求まるすべての振動数範囲にわたる固有モードのうち、モーダル・フレキシビリティの値が最大となる一つの固有モードに着目し、エネルギー分布が平均化するように設計変更を行う。第2段階としては、さらに各固有モードのモーダル・フレキシビリティを多くの固有モードにわたって一様となるように、その大きい複数個の固有モードに同時に着目して設計変更を行い、数理的な探索の手法を用いて最適点を求めるもので、実例によりその有効性を実証している。

第5章は、第2章および第3章で明らかとなった機械構造物の周波数領域上で表わされる共振振動数、モーダル・フレキシビリティ、減衰比および振動力伝達比などの固有の特性を用いて、機械が目的とする作業を行っている実働状態における振動特性を求めるための基本原理について述べたものである。まず機械構造物を多自由度振動系とし、その伝達特性を入力と振動変位および入力と振動内部力の間で表示する手法を導き、次にこの振動系に加わる時間軸上で任意形状をもつ過渡的および周期的入力を周期的インパルスの組み合わせで表わし、その応答を階段関数のフーリエ級数展開を応用することにより求めるもので、適用例により、その有効性を実証している。

結論は、全体の総括を述べたものである。

論文審査の結果の要旨

金属切削工作機械による機械部品製作において、生産能率ならびに製品精度の向上のために工作機械に要求される諸性能のうち、動剛性すなわち振動に関する特性は特に重要なものの一つである。近時工作機械の振動特性に関する研究が数多くなされるようになったが、本論文は振動特性の解析に関する新しい手法の提唱と、振動的に安定した工作機械構造を設計段階で得るための方法について述べたもので、多くの

新しい知見を得ているが、その主なものは次のごとくである。

(1) 工作機械の振動時における慣性・復元および減衰の各エネルギー分布、モーダル・フレキシビリティおよび機械構造内部を伝達する振動内部力の三つを指標として、工作機械構造の最適設計を行うための基本的原理を提唱した。すなわちモーダル・フレキシビリティの計算によって問題とすべきモードを決定し、それについて慣性および復元エネルギー分布が平均化するように設計変更を行うものであるが、この手法は適用が極めて容易であり、かつその効果も大きい。

(2) 振動解析の一手法として動剛性合成法を開発した。この方法は、最も簡単な理論モデルである集中定数モデル、断面一様な軸やベッドなどに適した分布質量梁モデルおよび最も形状の複雑な有限要素モデルの三つを適当に結合して振動解析を行う計算手法で、使用する計算機の容量と計算時間が過大とならないで、しかも適確な計算結果の得られる実用性の高いプログラムシステムである。

(3) 工作機械構造におけるボルトあるいは溶接などによる結合部分および軸受あるいはすべり面などの案内部分の剛性・減衰能などは、定量的に把握することが一般に困難であるが、これらを正確に測定する新しい方法を開発し、さらにこれらの特性値を計算によって推定評価する手法について有効な示唆を与えている。

(4) 上記諸手法の適用により工作機械の最適設計法の有効性と実用性を確認したが、特に最適化を行うための試行的方法のアルゴリズムを完成し、最適解へかなり近づいた時点で数理的最適化法を用いることにより自動的に精度の高い最適解を得る方法は、高度の自動設計を可能とする点で、極めて注目すべき成果である。

以上要するに、本論文は現在機械生産の能率化、精密化のために重要な課題である工作機械の振動特性について、振動解析ならびに最適設計を目的として多くの新しい手法を開発し、各種の実験によってその有効性を立証したもので、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。