

氏 名	松 原 十 三 生 まつ ばら と み お
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 484 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 47 年 1 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 送 り 機 構 の 動 特 性 に 関 す る 研 究

(主 査)
論文調査委員 教 授 岡村健二郎 教 授 奥島啓式 教 授 会田俊夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、工作機械送り機構の動特性向上を目的として、極低速駆動時に問題となる摩擦振動現象、常速駆動時の振動伝達関数などの研究をまとめたもので、2編、8章からなっている。

第I編においては、摩擦振動現象の解析を行っており、工作機械の送り機構における摩擦振動発生限界を設計の段階から予測できるようにすると共に、摩擦振動の発生している案内面に対して、有効な防止手段を確立することを目的として解析を展開している。

第1章においては、定常摩擦特性を仮定した従来の摩擦振動理論に対して、始動摩擦に時間効果を考慮した摩擦振動理論を提案し、両者の比較検討を行なっている。特に、摩擦振動発生限界については、従来の理論が運動中の減衰作用を重視していたのに対し、この理論では振動系へのエネルギーの流入過程を動的にとらえ、新しい摩擦振動発生限界式を導いている。

第2章においては、工作機械送り機構における摩擦振動現象を実験的に解析し、前章の理論解析と比較検討している。摩擦振動時の瞬間摩擦係数を実測し、それが定常摩擦特性と著しく異なることを示し、始動摩擦のテーブル停留時間による変化を検出し、上記の摩擦振動発生限界式より求められる値が実験値とよく一致することを確認している。さらに、スティック・スリップ振動時の摺動面間油膜の変化を実測し、始動摩擦の時間効果は油膜変化の時間遅れに起因することを明らかにしている。

第3章では、あらさを持った二平面の油膜を介しての接触機構について解析し、送り機構において摩擦特性を支配する要因のすべてを明らかにすると共に、その作用機構を示している。特に、送り機構案内面の接触剛性の解析より、スティック中の油膜変動時定数を求める方法を示している。

第4章においては、前3章の結果を総合し、すべり案内面の摩擦振動に影響する表面あらさ、材質、寸法形状、平均面圧、潤滑油粘度、駆動系ばね定数などの基本的要因を取り入れた摩擦振動発生限界式を導いている。これを実際の工作機械送り機構に適用し、その実用性を検討し、送り機構における摩擦振動発生限界送り速度を低くする手段が設計の段階から取りうることを確認している。

第Ⅱ編においては、切削加工における動的加工精度の向上を目的として、油圧送り機構を用いる場合の振動特性を支配する要因を明らかにし、送り機構動剛性の改善について解析を展開している。

第1章においては、工作機械構造のもつ振動特性と切削振動との関係について考察し、機械構造の減衰作用を含めた振動伝達関数を周波数応答実験から最小二乗法を用いて正確に決定する手法を明らかにし、その実用性を検討している。さらに、機械構造をいくつかの要素の集合と考え、各要素の振動伝達関数を知って、全体の振動特性を求める手法についても考察している。

第2章では、油圧送り機構の振動特性を解析するための基礎式として、油圧送り機構を構成する各種要素（油圧管路、シリンダ、流量調整弁、送りテーブル）の運動方程式を導いている。

第3章においては、工作機械油圧送り機構の過渡応答特性について実験的解析を行なうと共に、前章の基礎式を用いて、アナログ計算機によりシミュレーションを行ない、実験値との比較から、基礎式が過渡応答特性を正しく示していることを明らかにしている。さらに、過渡応答波形として観察される長周期振動と短周期振動が何によって発生するものであるかを明らかにしている。

第4章においては、工作機械油圧送りテーブルに強制外力が作用する場合の、送りテーブルの運動に関する振動伝達関数について解析し、それに基づいて油圧送り機構の動特性改善に関して考察している。最も重要な共振点近傍における動剛性改善の方法として、油圧シリンダ間に内部もれを用いる手法について検討し、その有効性を示すと共に、その効果を定量的に計算する方法を求めている。

総括は2篇の結果を要約したもので、摩擦振動が発生しにくく、動剛性の高い、正確な送り運動を実現するための有効な手法を具体的に示すことができ、切削加工における動的精度の向上に貢献することができると述べている。

論文審査の結果の要旨

工作機械における被削材と工具の相対位置関係の制御を受けもっている送り機構においては、極低速送りを含んで、比較的広い速度範囲で高度の動的精度が必要である。機械の作動的における動特性を解析する手法は、近年著しく進歩しつつあるが、広範囲に変化する潤滑状態のもとで動作する送り機構においては、その摩擦特性が複雑であり、経験をもとにした設計と現物の試行錯誤的改善の段階にあり、組織的研究は少ないのが現状である。

本論文は、工作機械送り機構において、極低速時に発生する自励摩擦振動、および通常送り速度時に生ずる種々の振動現象を基礎的に解明し、切削加工における動的加工精度の向上に貢献しようとするもので、得られた主要な成果を要約すれば、つぎのようである。

(1) 摩擦振動発生時における瞬間摩擦係数の高精度計測を可能にし、その実測結果より、従来の解析における摩擦特性の仮定が誤りであることを指摘し、始動摩擦がスティック時間により変化することを考慮して、新しい摩擦振動理論を提案している。これにより、摩擦振動の発生限界送り速度に影響する諸因子が理論的に示され、送り機構改善の端緒を開いた。

(2) 送り機構における摺動面間潤滑油膜挙動の詳細な観察から、2面間油膜厚さはその時の速度、荷重、摺動面構造だけの条件では定まらず、前歴効果の大きいことを指摘し、摩擦振動理論で取り上げた時間効

果の物理的内容を明らかにし、摩擦振動発生限界と送り機構構成諸要因との関係を詳細に論議するための立脚点を作ったことは注目すべき成果である。

(3) 実用されている工作機械送り機構について、その摺動面あらし、材質、寸法形状、平均面圧、潤滑油粘度、駆動系ばね常数などの値を用いて摩擦振動発生限界を求める方法を示し、その実用性を確認することにより、摩擦振動発生限界速度の低い送り機構を設計する具体的方法を明示しており、この成果は加工精度向上に有効である。

(4) 複雑な機械構造物の減衰特性を精密に求める方法について検討し、精度の高い計算方式を確立した。さらに、種々の異なった振動特性を有する要素群より構成される系の振動伝達関数を、個々の要素の振動特性から求める方法の改善を行なっている。これらの手法は、送り機構のみならず、広く一般の機械構造物の振動解析に利用できるものであり、そのプログラムは実用されつつある。

(5) 油圧送り機構を構成する各種要素の運動方程式を導き、コンピュータによるシミュレーションと実験結果の比較から、油圧送り機構の過渡応答特性を支配する要因を明らかにしている。

(6) 強制外力が作用する場合の送り機構の運動を詳細に検討し、油圧送り機構の動剛性を高めるための新しい方法を提案し、その効果を定量的に評価する方法を示している。

以上要するに本研究は、工作機械の送り機構における摩擦特性の新しい認識の上に立って、自励摩擦振動、切削時の強制振動を基礎的に、組織的に解明したものであり、切削加工における動的精度の向上に有用な多くの知見を加えており、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。