

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	摩擦の非線形挙動を考慮した転がり案内の動特性予測
Title(English)	Prediction Method for Dynamic Characteristics of Rolling Guideways considering Nonlinear Behavior of Friction
著者(和文)	酒井康德
Author(English)	Yasunori Sakai
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9969号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉岡 勇人,井上 裕嗣,山浦 弘,高原 弘樹,田中 智久
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9969号, Conferred date:2015/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名		酒井 康德	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	吉岡 勇人	准教授	審査員	田中 智久	連携 准教授	
	審査員	井上 裕嗣	教授				
		山浦 弘	教授				
		高原 弘樹	教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「摩擦の非線形挙動を考慮した転がり案内の動特性予測」と題し、緒論および結論を含む全 6 章から構成されている。 第 1 章「緒論」では、工作機械技術の変遷について述べ、工作機械構造の高剛性化の歴史を俯瞰することで、工作機械の設計において静剛性だけでなく、剛性と減衰を考慮した動特性を評価する重要性について述べている。特に加工中に生じるびびり振動の抑制という観点から、工作機械全体の動特性に大きな影響を及ぼす案内要素の重要性を指摘している。また工作機械案内として、近年広く普及している転がり案内の有用性を示すとともに、その動特性を評価・予測することの重要性を示し、本研究の目的を転がり案内における摩擦の非線形性を考慮した動特性予測に設定し、各章の構成について述べている。 第 2 章「転がり案内の動特性評価手法」では、現在までに提案されている転がり案内の動特性評価手法の例を挙げ、その特徴や問題点を指摘し、工作機械における案内は実際の加工において複合的な負荷が作用するため、これまで未検討である荷重およびモーメントが同時に作用する条件下での動特性評価の必要性を指摘している。そこで複合的な負荷条件下での動特性評価を実現するために、剛体コラムを取り付けて行う動特性評価手法を新たに提案している。提案手法により実際に転がり案内の動特性を評価した結果、テーブルの姿勢誤差に大きな影響を及ぼすピッチングモードおよびローリングモードの振動振幅を高い SN 比で測定し、そのモード特性を評価可能であることを確認している。また、ピッチングモードでは、キャリッジの送り方向の並進振動も同時に生じるため転動体とキャリッジとの摩擦減衰が生じ、ピッチング固有振動がローリング固有振動よりも高減衰比となることを明らかにしている。 第 3 章「動特性が有する加振力依存性」では、負荷の大きさが転がり案内の動特性に及ぼす影響について評価している。具体的には、加振力の大きさを変えて提案手法による動特性評価を行うことで、送り方向に加振した場合の周波数応答関数には加振力依存性が存在することを明らかにしている。前章で評価したピッチング固有振動の減衰比は、加振力の大きさによって大きく変化し、加振力が定常摩擦力（クーロン摩擦力）程度になると極大値を有することを明らかにしている。また、加振力が小さい範囲では、前章では観測されなかった送り方向への共振現象が生じることを確認している。

第4章「非線形摩擦が動特性へ及ぼす影響」では、前章で示した動特性の加振力依存性が摩擦の非線形挙動に起因することを理論的に検討している。Masing 則と呼ばれる履歴則を適用することで非線形挙動を考慮した摩擦モデルを構築し、転がり案内の送り方向動特性を解析するための数学モデルに組み込みことで、非線形挙動が動特性に及ぼす影響を数値解析している。その結果、摩擦の非線形挙動が送り方向の並進固有振動および動特性の加振力依存性を発生させること、負荷の大きさが定常摩擦力よりも大きくなると並進モードが剛体モードへ変化することを明らかにしている。また、摩擦特性と動特性の加振力依存性との関係を詳細に検討し、摩擦特性のわずかな差異によって動特性の変化傾向が著しく変化することを示している。さらに、並進固有振動の共振ピーク振動数およびコンプライアンスを実験値と比較することで解析の妥当性を検証し、提案摩擦モデルを用いて転がり案内の送り方向の動特性を予測できることを示している。

第5章「摩擦の非線形挙動を考慮した動特性の簡易解析手法」では、転がり案内の動特性解析の高度化を実現するために、摩擦の非線形挙動を考慮した周波数応答の解析手法を提案している。具体的には、解析時間を要する数値積分を必要としない解析モデルとして、前章で構築した摩擦モデルを基にして複素ばねを用いた等価摩擦モデルを提案している。提案モデルは、摩擦力を複素ばねで置換し調和バランス法によって周波数応答解析を行うもので、その解析結果は前章で示した数値積分による解析結果とよく一致することを確認している。また、本手法を転がり案内のピッチング固有振動の解析に応用し、実験と理論とで加振力依存性による動特性の変化傾向は定性的に一致することも確認している。

第6章「結論」では本研究で得られた成果を総括すると共に、今後の課題および展望について述べている。

以上を要するに、本論文は工作機械に広く採用されている転がり案内を対象に、動特性評価手法の提案、摩擦挙動の加振力依存性の確認、非線形特性を考慮した実用的解析手法の提案などを行い、実験的および解析的にその有用性を示したものであり、工学上および工業上寄与するところ大である。よって本論文を博士（工学）の学位論文として十分に価値あるものと認める。