有限要素法による工作機械の固有値解析に関する研究

Study on Eigenvalue Analysis of Machine Tool by Finite Element Method

正 新谷 真功 (福井大学)
正 尾崎 登 ((株)武田機械)

○林 都彦 (福井大学)
正 松村 正三 (福井県工業技術センター)

Masanori SHINTANI, Fukui University, 9-1, Bunkyo 3-chome, Fukui-shi, Fukui
Kunihiko HAYASHI, Student, Fukui University
Noboru OZAKI, TAKEDA KIKAI CO.,LTD.
Masami MATSUMURA, Industrial Technology Center of Fukui Prefecture

Key Words : Finite Element Method, Modal Analysis, Modeling, Machining Center, Vibration Experiment, Bolt Assembly

1. 緒言

今日、マシニングセンタなどの切削加工機械においては、送り系の高速化が図られており、リニアモータ駆動によって 100m/min が実現している。このとき 1G を越える加速度を要求されるが、これを達成しようとするとき工作機械の動剛性を高くしていくことが必要となり、そのために、機械系の固有振動数が問題となってくる。

本研究では、一台のマシニングセンタを例にとり、工作機械の動剛性を向上させる機械の構造について調べる。そこで、工作機械の一部を振動台の上に設置して、加振実験を行い、固有振動数などを求めた。さらに有限要素法を用いてモデル化を行い、モード解析を行った。そして、実験結果と解析結果の比較検討を行い、動剛性向上の知見を得ることを目的としている。

2. マシニングセンタ

2.1 工作機械の構造 マシニングセンタはベッド、サドル、コラムならびにヘッドから構成される。図1にベッド上の構造を示している。工作機械は、床に設置されたベッドの上にリニアローラウェイで締結され左右(X方向)に移動するサドルが取り付けられ、サドル上にリニアローラウェイで締結され前後(Y方向)に移動するコラムが取り付けられ、コラム上にリニアローラウェイで締結された上下(Z方向)に移動するヘッドが取り付けられた構造になっている。

2.2 モデル化 有限要素法の解析では、サドルとコラムとヘッドを含めた移動部全体の質量が、約 800kg であるのに対して、ベッドの質量が 4000kg であるので、ベッドを無視してサドル、コラム、ヘッド部分のみのモデル化を行い、解析を行う。図1にそのモデル化を示す。

モデル化において、要素はすべて板(プレート)要素で構成した。なお、小さな穴などの細かい部分は、解析にあまり影響がないものとして省略してある。

Fig.1 Modeling of Machining Center

また、図2に実験モデルのモデル化を示している。

有限要素法構造解析プログラムは、パソコン版の NASTRAN を使用している。

3. 実験

3.1 目的 実際のマシニングセンタのヘッド、コラム部分を図2のように固定し、正弦波で加振して、固有振動数、応答特性などを調べる。固定方法は、図1と図2を対比してわかるように、コラムの後ろ側を6本の M12 ボルトで固定している。そして、ヘッドとコラムの拘束の仕方やボルト締結、リニアローラウェイのモデル化を行い、解析モデルの検討のために役立てることである。

3.2 実験方法 ホワイトノイズで加振し、FFT処理を行い固有振動数を求める。ピーク点付近において正弦波で加振して、共振実験を行い、応答曲線を作成する。その際、入力加速度を 0.2m/s^2 と一定にして実験を行った。図2に示すように固定し、振動台を矢印の方向に加振する。ヘッドの位置は、切削時の位置と一番おろした位置とその中間の位置の3ケースとした。加速度ピックアップの位置を図2に示す。ピックアップ位置の④、⑦は上下方向、残りは加振方向の加速度を測定する。

Fig.2 Experiment model

4. 実験結果

ここでは、ヘッドの位置を切削時の位置とした実験結果についてのみ示す。

図3にホワイトノイズ入力を行ったFFT解析結果を示す。図3より、20.1Hz、64.7Hz、108.0Hz にピークがあることが分かる。ただし、64.7Hz 付近において、正弦波入力を行い、共振実験を試みたが、正確な値は、確認できなかった。また、108.0Hz 付近は、上下方向の振動成分が大きかった。また、図3より、45Hz 付近成分も上下成分を含んでいることがわかった。

図4に応答曲線を示す。図4より共振点は45.0Hzであった。図2の加速度ピックアップの位置において、③が一番応答が大きく、②、⑤、⑥はほぼ同じ大きさとなった。②、③、⑤、⑥は同位相、上下方向の④、⑦もまたほぼ同位相であった。

Fig.3 Result of FFT Analysis

Fig.4 An example of response curve

Fig.5 Load-Displacement Curve of Linear Roller Way

5. 固有値解析結果

実験モデルは、図2に示すようなモデル化を行った。また、実験モデルは、6本のM12のボルトで振動台に固定されている。実験モデルは、約400kgの質量を持っているため、ボルトはばねとして評価し、ばね定数を $2.15 \times 10^9 \text{ N/m}$ とした。ボルトはばね要素でモデル化を行い、そして、ボルトの境界条件は、締め付け方向に、ばね定数を考慮し、その直角二方向は変位拘束した。そのモデルを用いて固有値解析を行った。その結果、一次固有振動数が25.9Hz、二次固有振動数が34.9Hz、三次固有振動数が118.0Hzとなった。三次モードは上下振動であった。

さらに、リニアローラーウェイのモデル化を行った。図5に荷重と変位との関係を示す。図5よりばね定数を $6.6 \times 10^{11} \text{ N/m}$ (Tension) とした。この値を、ボルトの境界条件と同様に設定した。解析の結果、一次固有振動数、二次固有振動数は、リニアローラーウェイをモデル化する前とまったく同じとなり、三次固有振動数のみ、118.8Hz とな

り、多少の影響のあることがわかった。

図6～8に、計算結果の固有モード形状を示す。図6は片側が浮き上がるモードとなっている。図7は、加振方向に応答するモードである。図8は、上下方向のモードとなっている。

6. 結言

ボルト締結された実験モデルにおいての、ボルトのモデル化の必要性のあることがわかった。ボルトをばねとして考慮すると、実験結果とよく一致した。さらに、リニアローラーウェイもばねとして考慮することもあることがわかった。

今後は、以上の結果を考慮して、図1の解析対象全体の固有値解析を行う予定である。

Fig.6 First eigen mode by FEM (25.9Hz)

Fig.7 Second eigen mode by FEM (34.9Hz)

Fig.8 Third eigen mode by FEM (118.8Hz)