

ベース振動の影響を受ける NC 工作機械送り系（第 2 報） -位置決め時の残留振動の抑制方法-

京大工 ○松原 厚, 茨木創一, 東芝機械(株) 濱村 実, 藤田 純, 甲斐義章, JFE スチール(株) 梅本雅資

Feed Drives of NC Machine Tools Influenced by Base Dynamics (2nd Report)— Control of Vibration at Positioning—

Kyoto University Atsushi MATSUBARA, Soichi IBARAKI

Toshiba Machine Co., LTD. Minoru HAMAMURA, Jun FUJITA, Yoshiaki KAI

JFE Steel Corporation Masashi UMEMOTO

In this paper, a feed drive under the influence of base dynamics is investigated in an existing horizontal machining center. By using sensitivity analysis on the servo simulation model with base dynamics, vibration at positioning are analyzed. As a result, it is found that the vibration at positioning can be reduced by the change of installation condition of the machine.

1. はじめに

近年, 送りサーボ系の高速・高応答化に伴い, 加工テーブルの加減速時に発生する慣性力により低周波の機械振動が励起されて運動精度を悪化させるケースが目立ってきている。特に 60Hz 以下の減衰性の悪い低周波振動が工具-工作物の相対運動に現れることが多い。この原因として機械全体の剛体運動に伴って生ずる慣性力により工具-工作物間にも相対振動が生じることが過去から指摘されている¹⁾。著者らは, 実機のモード解析結果に基づいてベース振動の影響を加味した送り系のサーボシミュレーションモデルを構築した²⁾。本論文ではこのモデルを用いて, コラム質量やベッド下剛性等の機械特性が位置決め時の振動にどのような影響を与えるかを調査する。

2. ベース振動を考慮した送り系のサーボモデル

本研究で解析の対象としているマシニングセンタを図 1 に示す。マシニングセンタは横型で, 設置床はコンクリート基礎である。設置床と基礎全体の絶縁はされていない。テーブル下部のベッド 1 点が直接床に接触し, コラム下部のベッド 2 点がレベルングブロックを介して床に接触している。

機械系と設置床の力学系を表現するモデルとして, 文献²⁾で構築したロッキング振動を考慮した送り系モデルを用いる。図 2 に送りサーボモデルとロッキングモデルをあわせたシミュレーションモデルのブロック線図を示す。

図 2 中においての x_b : コラム駆動点におけるベッドのロッキング振動変位 (m), K_b : ベッド下剛性 (N/m), C_b : ベッド下減衰係数(Ns/m), M_b : 等価ベース質量(kg), u : ベッドに対するコラムテーブルの相対変位(m, 以下コラム変位と呼ぶ),

M_c : コラム質量(kg), C_c : ガイド減衰係数(Ns/m), T : 送りモータトルク(Nm), θ_m : モータ回転角度 (=ボールねじの回転角度, rad), J_m : 回転系のイナーシャ(kgm²), D : 回転系の粘性減衰係数(Nms/rad), K_{bs} : ボールねじおよび支持系の機械剛性(N/m), $R=p/2\pi$: 回転系から直線系への変換係数(m/rad), p : ボールねじのリード(m), γ : ロッキング振動中心からコラム重心までの距離と駆動点までの距離の比 (重心駆動率) である。

また, サーボ系は標準的な速度 P I 制御+一次遅れ補償と位置 P 制御を組み合わせたものであり, サーボパラメータは ω_o : 位置ループゲイン(rad/s), ω_c : 速度ループゲイン(rad/s), ω_a : 積分補償折れ点周波数(rad/s), ω_b : 一次遅れフィルタカットオフ周波数(rad/s), $J_s(=J_m+M_cR^2)$: 駆動系の総イナーシャの回転系換算値(kgm²)である。

実機にはコラム変位を測定するためのリニアエンコーダが

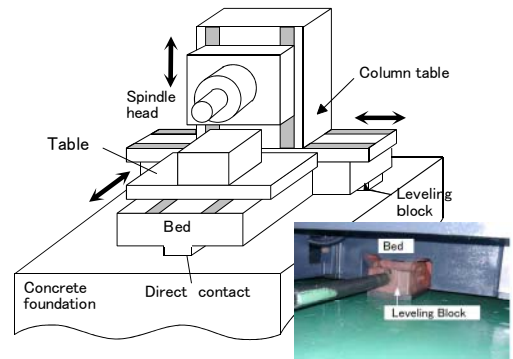
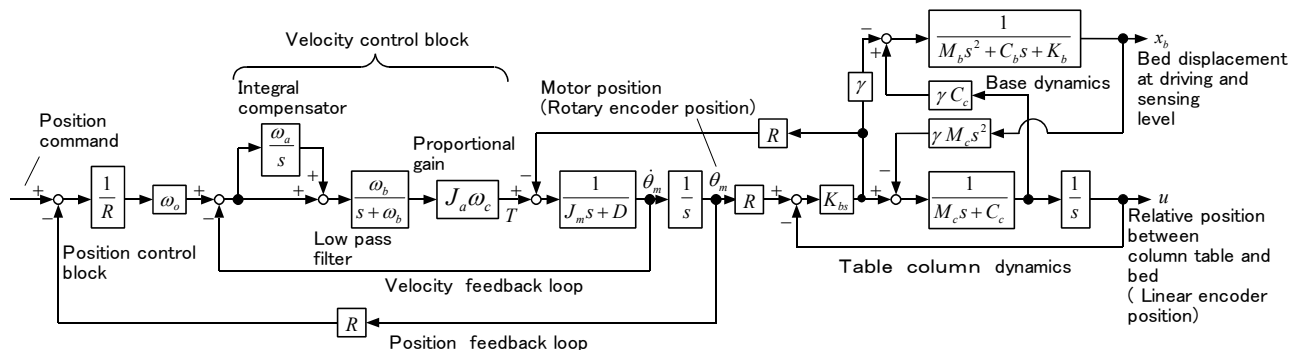


図 1 マシニングセンタの概観と接地状況



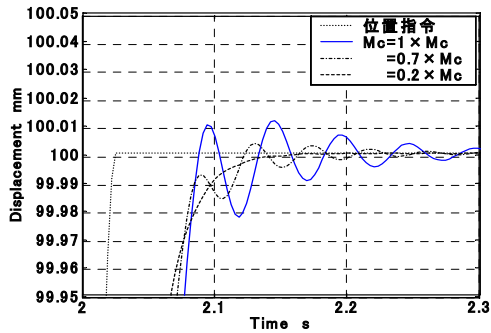


図3 コラム質量 M_c のコラム変位に対する影響

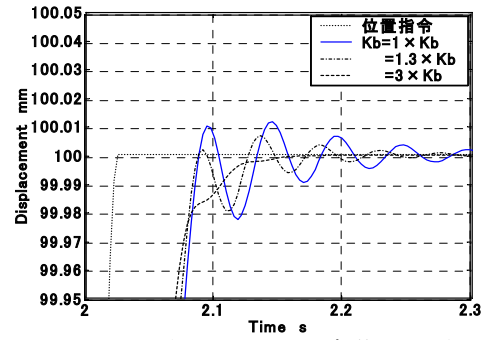


図5 ベッド下剛性 K_b のコラム変位に対する影響

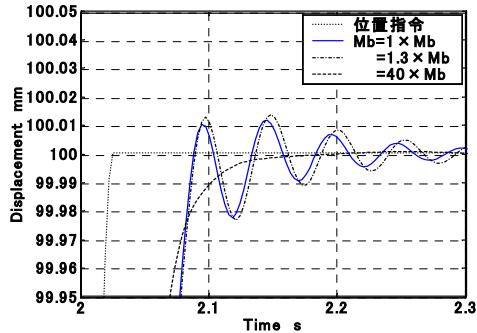


図4 等価ベース質量 M_b のコラム変位に対する影響

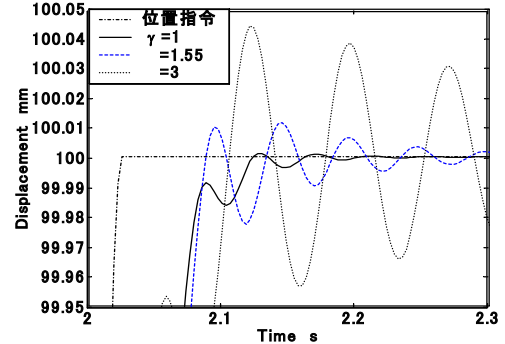


図6 重心駆動率 γ のコラム変位に対する影響

設置されているが、シミュレーションと実験はセミクローズドループ制御で行う。

3. 機械パラメータの影響

3.1 コラム質量と等価ベース質量

図3に示すようにコラム質量 M_c を減少させると、位置決め時のコラム変位の時間応答は非振動的になっている。一方、図4に示すように等価ベース質量 M_b を増加させると、コラム変位の時間応答は非振動的になる。コラム質量を現状の70%にすれば振動振幅はかなり抑制され、20%に減らすと位置決め時の振動はほとんどなくなる。一方、等価ベース質量を現状の30%増加しても、あまり効果がみられない。

3.2 ベッド下剛性

ベッド下剛性 K_b を増加させると、図5に示すように位置決め時のコラム変位の振動振幅が減少する。特にベッド下剛性を3倍に増加するとかなり非振動的になる。

3.3 重心駆動率

重心駆動率 γ の値を変化させたときの位置決め時のコラム変位の振動振幅を図6に示す。現状の機械では、 $\gamma=1.55$ であるが、これを1、すなわち重心でコラムを駆動すると振動はかなり低減できる。反対に、大きくすると非常に振動的になることが分かる。

4. 実験

ベッド下剛性がベース振動に及ぼす影響を機械の設置方法を変えて実験により調査する。以下の2通りの設置方法を考える。

接地面 A：図1中に示すようにコンクリートの基礎に直接レベリングブロックを設置する。レベリングブロックで機械のレベル出しを行う。レベリングブロックの調整しろを超える場合はスペーサで調整する。

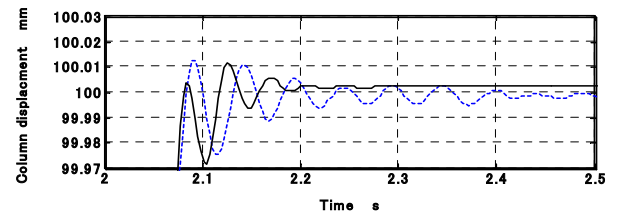
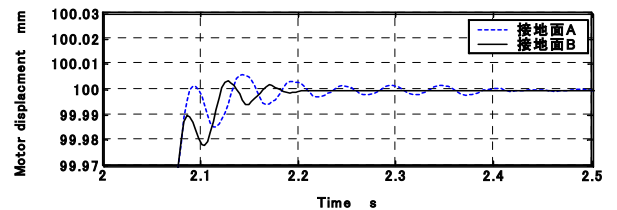


図7 接地面の違いがコラム及びモータ変位に及ぼす影響

接地面 B：鉄板上（3箇所）にレベリングブロックを設置する。ベッドにサイドジャッキを4箇所設ける。レベリングブロックを設置する鉄板は表面を加工し、3点の平面度をレベリングブロックの調整しろ以内に抑えて、レベル出しを行う。

それぞれの接地面上に機械を設置したときの、コラム変位とモータ変位の比較を図7に示す。図より、接地面 A のときは接地面 B のときに比べて固有振動数が低くなり、減衰性が悪化していることがわかる。接地面 B では厳密なレベル出しを行っているため、ベッド下剛性が向上したと考えられる。

参考文献

- 1) 星鐵太郎；機械加工の振動解析，工業調査会(1990)。
- 2) 松原他：ベース振動の影響を受けるNC工作機械送り系（第1報）—ベース振動を考慮した送り系のモデリングとサーボ解析—，精密工学会誌，70,4 (2004), pp89-93。