

直動ボールガイドシステムの走行性能 - テーブル剛性とウェーピングの関係 -

THK 株式会社 高橋 徹, 明治大学 清水 茂夫

Running Performance of Linear Motion Ball Guide System - Relation between Table Rigidity and Waving Accuracy

THK CO.,LTD. Tohru TAKAHASHI, Meiji University Shigeo SHIMIZU

Considering the machine tool table assembly with linear motion ball guide system and with elastic deformation of the block jaws, load distribution has been derived. Based on this equation the relation between the shape of crowning and the vibration occurring due to the re-circulating balls through the passage, responsible for waving accuracy is analyzed. However, the theoretical results obtained by this analysis are found to differ occasionally from the experimentally measured values. In this paper, an attempt is made to solve this problem by including the table rigidity also in the analysis. A clear relation between the table rigidity and the waving accuracy has been observed for the LMBG system.

1. はじめに

高橋[1]は、直動ボールガイド (LMBG) が工作機械等のテーブルに組み付けられた状態を想定し、キャリッジ顎部の変形を考慮した LMBG システム内負荷分布理論式を導き、LMBG 内のクラウニング形状とボール循環時に発生する振動、すなわちウェーピングの関係を明らかにした。しかし、実験検証を重ねていくと解析結果と大きく異なる結果が得られることが稀にあった。この要因の一つとして LMBG システムの構成部材であるテーブル剛性に着目し、解析用 LMBG システムモデルにおけるテーブル剛性を加味した解析を行い、テーブル剛性とウェーピングの関係を明らかにした結果について報告する。

2. テーブル剛性を加味したウェーピング解析

解析は、図 1 のような 2 個のキャリッジで支持された LMBG システムを想定して行う。各キャリッジ内のボールは両端がクラウニング加工された軌道面内を外部荷重、取付け誤差等

による内部荷重および予圧荷重により弾性変形した状態で転がっており、キャリッジはボールとの相対位置および有効ボール数の変化を伴いながら移動していき、ちょうどボールピッチの 2 倍である $2\kappa D_a$ ストロークすると元と同じ状態になり、その後この変化が繰り返されることになる。よって、この間はキャリッジ内負荷分布状態が変化し、それに伴ってキャリッジは姿勢変位を起こすことになる。当然、キャリッジが 2 個あれば各々のキャリッジで異なった姿勢変位を起こしながら移動していくことになる。しかし、LMBG システムでは複数個あるキャリッジがテーブルで連結されているのである。

これまで行ってきたウェーピング解析ではこのテーブル剛性を無限大としていたため、各々のキャリッジが起こそうとする姿勢変位を連結されたテーブルが押さえ込むことになり、主に各キャリッジが上下動する分しか LMBG システムとしての姿勢変位は現れないことになっていた。

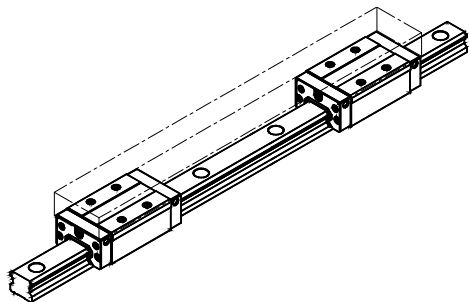


Fig.1 LMBG system for analysis

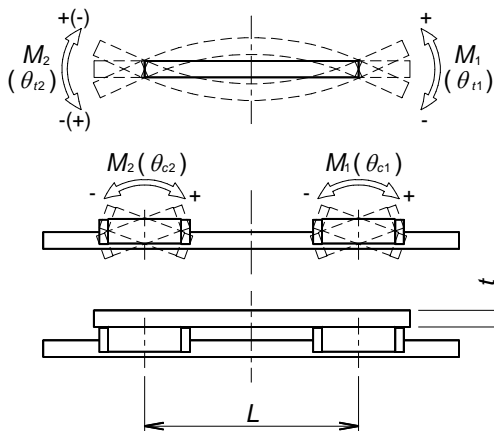


Fig.2 Analysis model

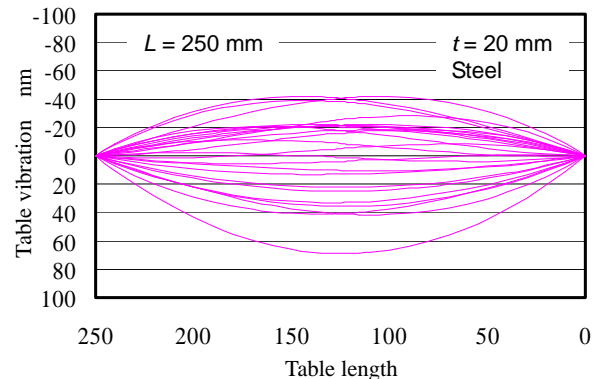


Fig.3 Table vibration analysis on t=10 mm

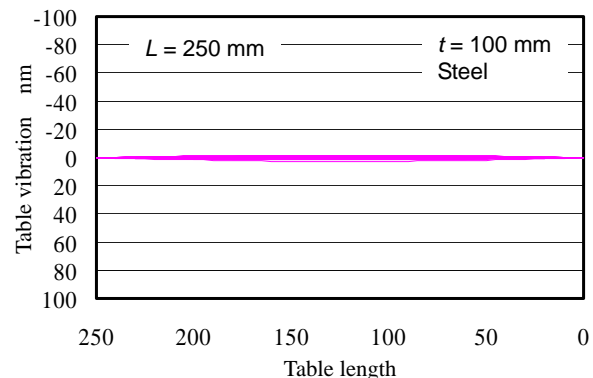


Fig.4 Table vibration analysis on t=100mm

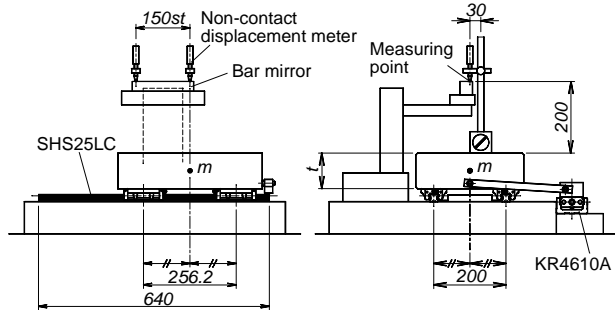


Fig.5 Experiment equipment

ところが、実際には剛性無限大は有り得ず、各キャリッジが起こす姿勢変位によってテーブルは曲げモーメントを受け変形するはずである。

図2に取り付け間距離 L で連結された2個のキャリッジのストローク中での傾きとテーブル変形の状況を示す。添え字1, 2を同図右側キャリッジ, 同左側キャリッジを示すものとし、テーブル長さは L であるものとする。ある瞬間におけるそれぞれのキャリッジの傾きを θ_{01} , θ_{02} 、各キャリッジ部に生じた不静定モーメントを M_1 , M_2 とすれば、不静定モーメントによって生じたキャリッジ側の傾きを $\theta_{1,2}$ 、テーブル側の傾きを $\theta_{1,2}$ とすれば、これらの間には次の関係が成り立つ。

$$\theta_{01} = \theta_{c1} + \theta_{11} \quad (1)$$

$$\theta_{02} = \theta_{c2} + \theta_{12} \quad (2)$$

この(1), (2)式を同時に満たす不静定モーメントを求めることによりテーブル変形が求められることになる。 $\theta_{1,2}$ はLMBG負荷分布理論より求め、 $\theta_{1,2}$ は、断面の幅をキャリッジ幅と同一、厚さを t とし、長さ L の“はり”において両端にモーメントが作用したものとして求める。

LMBGはSHS25LC形(THK)、テーブル材質は鉄、 $L=250$ とし、 $t=20$ mmとしたときの解析結果を図3に、 $t=100$ mmとしたときの解析結果を図4に示す。解析はストローク $2\kappa D_a$ 間を50分割した位置で行い、その全ての瞬間におけるテーブルの変形状態を計算し、図には1つおきの25本分の結果を示した。 $t=100$ mmではほとんどテーブル変形が生じていないのに比べ、 $t=20$ mmでは振幅にして110 nm (0.11 μ m) ほどの変形が生じていることがわかる。したがって、テーブル厚さ、すなわち剛性がLMBGシステムのウェーピングに大きく関与していると考えられる。

3. 実験結果と考察

実験装置を図5に示す。テーブル側に測定位置がテーブルセンター上方200 mmのところになるように非接触変位計をマグネットスタンドにて固定する。テーブル材質がアルミニウムのときは、100 mm \times 100 mm \times 10 mmの鉄プレートを接着剤にて固定し、そこへマグネットスタンドを固定する。ベースに設置した台座から伸ばした腕の上に直定規を設置する。ベース側面に固定した1軸アクチュエータからアームを伸ばしてテーブルに連結し、送り速度は100 mm/min、ストロークは150 mmの駆動とした。テーブルは $t=20$ mm, $t=100$ mmの鉄製2種類、および $t=20$ mmのアルミニウム製1種類の合計3種類で行った。図6にフルストロークでの走行精度を、図7に図6中で囲った範囲のストローク20~60 mm間の測定結果を縦軸目盛りを拡大して示す。

ボールピッチの2倍である $2\kappa D_a$ が8.54 mmであるのに対し、測定結果のうねりの周期も多少の誤差が生じてはいるがほぼ

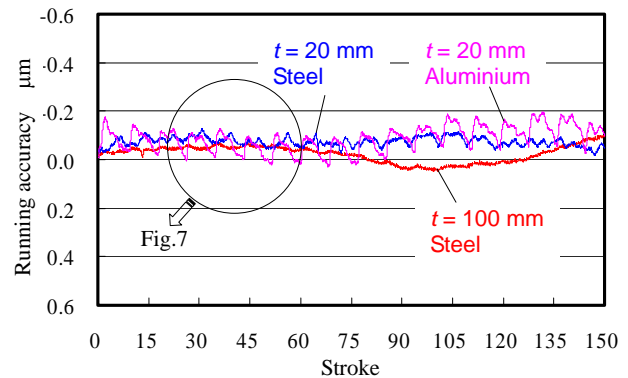


Fig.6 Running accuracy of various table

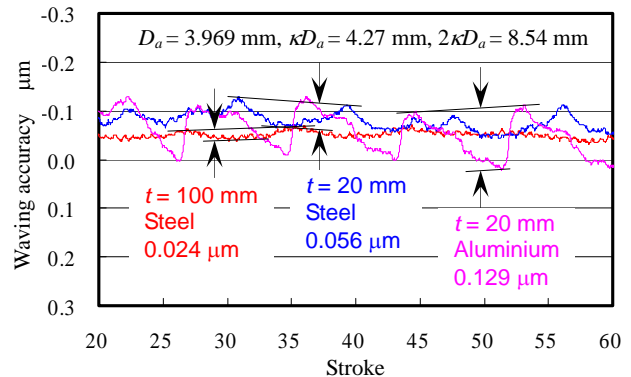


Fig.7 Test result of waving accuracy

8.5 mm 前後となっており、この現象がLMBGシステムのボール循環に起因するウェーピングであると判断できる。

テーブルは剛性の高いほうから順に $t=100$ mm Steel, $t=20$ mm Steel, $t=20$ mm Aluminium であるが、ウェーピングの値も同じ順で 0.024 μ m, 0.056 μ m, 0.129 μ m となっており、図からも明らかなようにテーブル剛性の違いにより、かつまた、比例するようにウェーピングに差が生じていることがはっきりとわかる。

キャリッジ2個でのテーブル剛性を加味した解析を行い、テーブル剛性がLMBGシステムのウェーピングに大きく関与していることを示唆したが、この実験結果より、その考えは大筋で間違っていないと考えられる。また、本装置におけるテーブル剛性無限大としたときのウェーピング解析結果は 0.019 μ m である。

ただし、実機のシミュレーションを行うには、この実験装置のようにテーブルを4キャリッジで連結されている状態として見る必要があり、そのときのテーブル変形は単純計算で求めることは困難といえ、FEMによる変形計算を導入しなければならないと考える。

4. まとめ

LMBGシステムのウェーピングは、その構成部材であるテーブルの剛性が大きく関与していることがわかった。また、実機におけるテーブル剛性を加味した解析シミュレーションを行うにはFEMを用いたテーブル変形計算を導入する必要がある。この課題については今後取り組んでいく予定である。文献

[1] 高橋 徹：直動ボールガイドの走行性能、クラウンリングとウェーピングの関係 2001年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、(2001) 565。