

静圧空気スピンドルの軸受配置が回転軸振れに与える影響に関する 数値的・実験的研究

Numerical and Experimental Study of the Effect of Bearing Arrangement on the Run-out of Aerostatic Spindles

東理大・工(学)*下八川 侑真 東理大(正)宮武 正明 東理大(正)吉本 成香

Yuma Shimoyakawa*, Masaaki Miyatake*, Shigeka Yosimoto*

*Tokyo University of science

1. 緒言

静圧空気軸受は、超精密加工機のスピンドルにおいて広く使用されているが、これらのスピンドルは、一对の静圧空気スラスト軸受と複数の静圧空気ジャーナル軸受により構成されている。このような静圧空気スピンドルの回転精度は、個々の軸受性能や配置により大きく左右されるが、軸受の配置を考慮した研究は、柴原[1]が行ったように実験的検討が主で、試作機の製作時間・コストの面から多くは行われていない。そのため、数値計算と実験の両観点の研究が求められている。

そこで本研究では、1対の静圧空気スラスト軸受と複数の静圧ジャーナル軸受により構成された静圧空気スピンドルを用いてエンドミル加工を行い、その際の回転軸の変位を実験的に求めるとともに、先行研究において嶋田[2]らが提案した、エンドミル加工時の静圧空気スピンドルの回転軸の振れを数値に求める手法による結果と比較し、その数値計算手法の妥当性を示すことを目的とした。

2. 静圧空気スピンドルの概要

図 1 に、本研究で取り扱う静圧スピンドルの概要を示す。回転軸は、図 2 に示す 3 個の静圧空気ジャーナル軸受と 1 対の静圧スラスト軸受によって支持されている。この 3 個の軸受配置は、嶋田^[2]らによる先行研究において使用したものであり、スラスト軸受を DC モータ側に配置したものを Type B、エンドミル側に配置したものを Type A, C とし、その中で軸受スパンを長くとったものを Type C とした。回転軸は Type A, C 用のものと Type B 用のものの 2 種類を用いた。軸の片側端部にスクエアエンドミル(刃先直径 1 mm)と、それを固定するチャックを装着した。軸の回転は、ブラシレス DC モータにより行った。

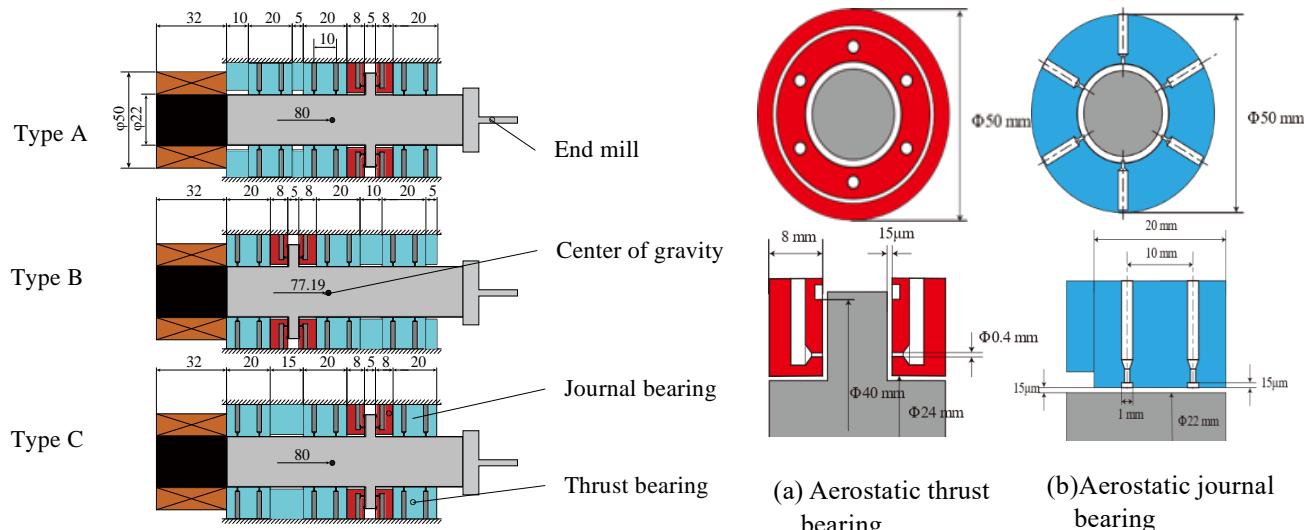


Fig.1 Bearing arrangement structure treated in this study

Fig.2 Aerostatic bearing

3. 実験方法

図3に、実験装置の概要を示す。本研究では2種類の実験を実施した。最初の実験は、非切削時の回転時の振れ量の測定である。軸を回転させ、その際の半径方向振れ量を、静電容量型非接触変位計(MicroSense 5830)により測定した。次に、エンドミル加工時の回転軸の振れ量の測定を実施した。実験においては、静圧空気スライドに固定した被削材を、電動アクチュエータにより水平方向に V_f [mm/min]で移動させることで、スクエアエンドミルを用いた側面フライス加工(ダウンカット)を行い、その際の回転軸の半径方向振れ量を非接触変位計により測定した。そして、図4に示すように、切削時の軸振幅と、エンドミルの中心の半径方向変位量を求めた。被切削材はNAK55材を用い、半径方

向切り込み量 $R_d = 0.05 \text{ mm}$, 軸方向切込量 $A_d = 0.10 \text{ mm}$ とした.

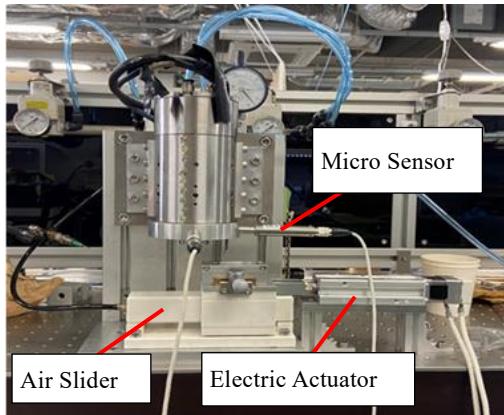


Fig.3 Experimental instrument

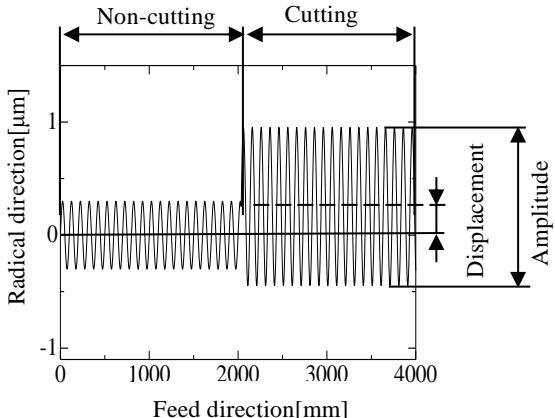


Fig.4 Image of amplitude and displacement

4. 結 果

4.1 非切削時の軸振れ量 図 5 に非切削時の各スピンドルの振幅値の実験結果と数値計算結果を示す。図に示すように、振幅値は回転数の増加にともない増加するが、これは回転軸の不釣り合いによる影響である。数値計算結果と実験結果を比較すると、20,000 rpm 以下の回転数において、その差が顕著であり、 $0.5 \mu\text{m}$ 程度の差異が見られるが、これは、回転軸の振れ量の測定部位の真円度誤差が変位計による測定値に含まれていることが原因であると考える。各スピンドルの結果を比較すると、Type C > Type A > Type B の順で回転精度が良くなっていることがわかる。Type A と C は同一の回転軸を使用しており、不釣り合いの影響は同程度であることから、ジャーナル軸受スパンが長い Type C が最も優れていることがわかる。

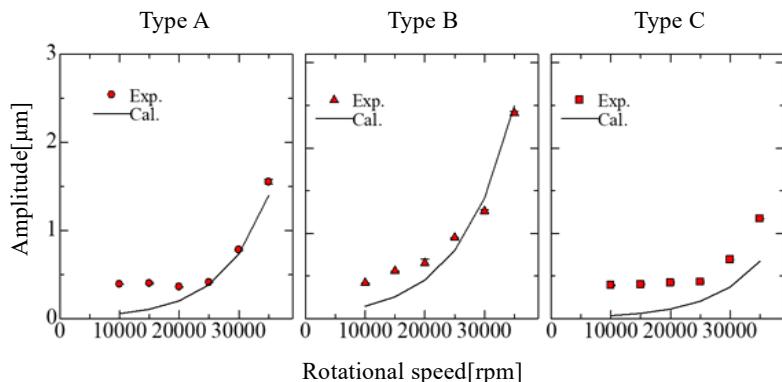


Fig.5 Amplitude of each type (Non-cutting)

4.2 エンドミル加工時の軸振れ量 図 6、7 に、送り速度 V_f 、半径方向の切り込み深さ R_d を変化させたときの、軸振幅と変位の実験結果と数値計算結果を示す。図 6 および 7 に示すように、工具振幅の実験値は、Type B > Type A > Type C の順になっており、数値計算結果との間に $1 \mu\text{m}$ 程度の差異は見られるが、各スピンドルの結果の定性的傾向は、数値計算結果と同じであり、非切削時と同じく Type C が最も優れることがわかる。なお、工具振幅は、15,000～20,000 rpm までは、回転数の上昇にともない減少するが、25,000 rpm 以上では増加している。これは、回転数が上がるほど最大切り屑厚さが低下するため、切削抵抗に起因する工具振幅は小さくなるが、不釣り合いによる工具振幅の方が大きくなっているためである。工具変位についても、工具振幅と同様に、Type B > Type A > Type C の順となっており、数値計算結果と実験結果の間には、 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 程度の差異は見られるが、各スピンドルの性能の優劣は同じ傾向を示している。工具振幅、工具変位における、数値計算結果と実験結果の間の定量的差異については、数値計算においては、被削材を移動させる静圧空気スライドの剛性の影響が考慮されていないことが要因の一つと考えている。今後、数値計算において、静圧空気スライドの剛性の影響も考慮する予定である。

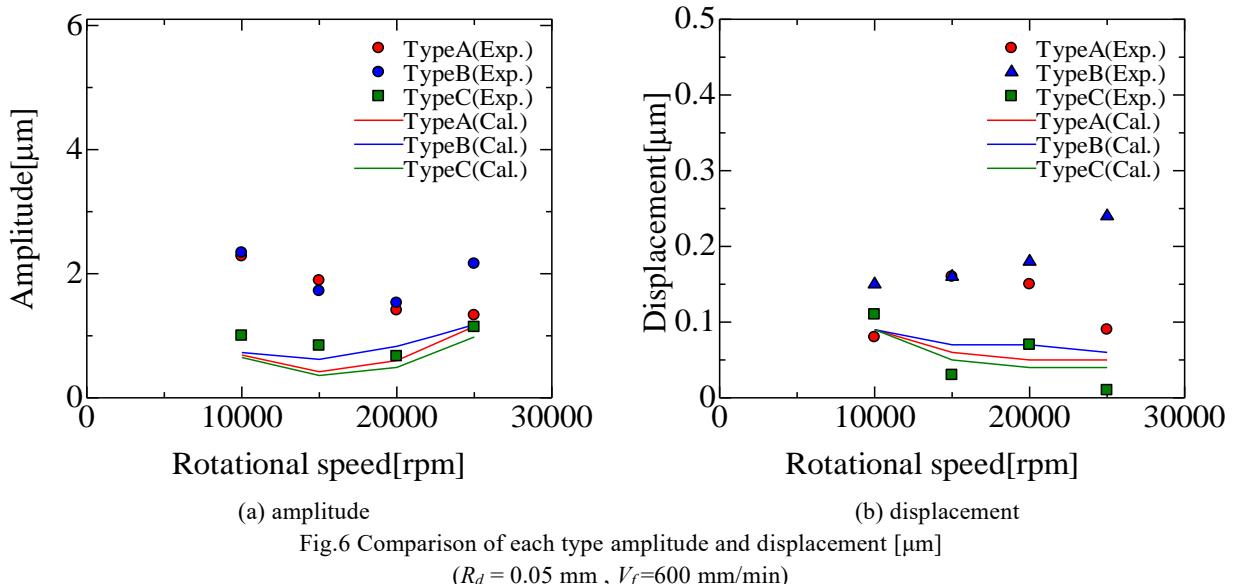


Fig.6 Comparison of each type amplitude and displacement [μm]

($R_d = 0.05$ mm , $V_f=600$ mm/min)

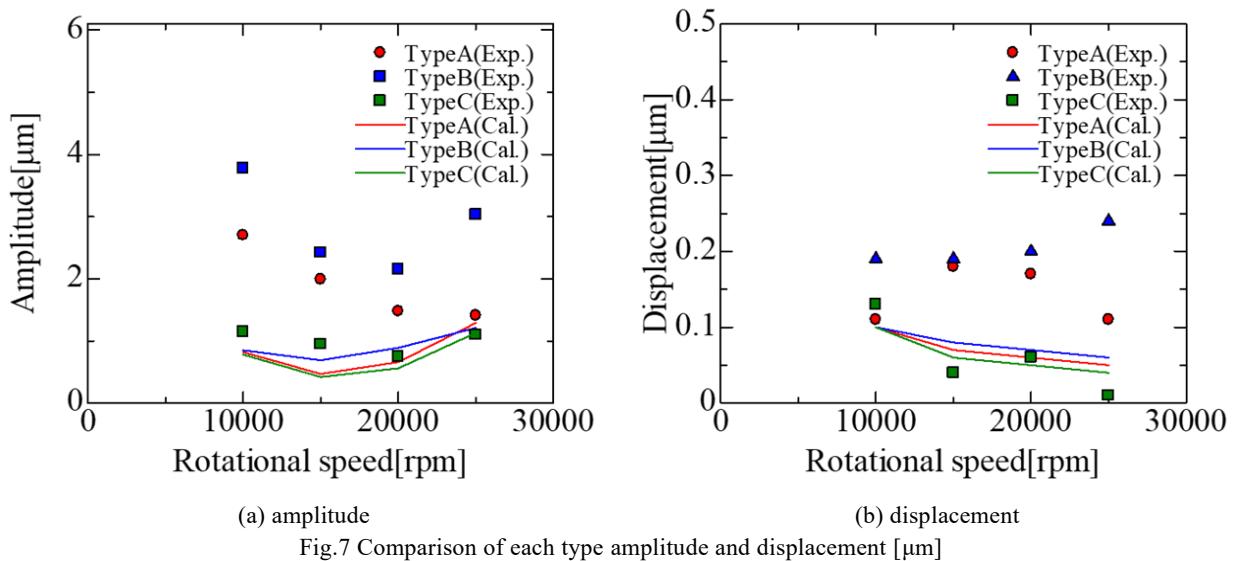


Fig.7 Comparison of each type amplitude and displacement [μm]

($R_d = 0.05$ mm , $V_f=900$ mm/min)

5. 結 言

本研究では、複数の静圧気体ジャーナル軸受と1対の静圧気体スラスト軸受により構成される静圧空気スピンドルを対象として、エンドミル加工時の工具振幅と工具変位に関して、数値的、実験的に検討し、軸受配置が加工精度に与える影響に関して、以下の知見を得た。

- (1) 軸受スパンを長くしたType Cが、加工時の工具振幅と工具変位を最も小さくすることが可能であり、静圧空気スピンドルの軸受配置として最も望ましい。
- (2) 工具振幅については、回転数の増加にともない一旦低下した後、増加する傾向を示す。これは、回転数が増加すると、切削抵抗に起因する工具振幅は小さくなるが、不釣り合いによる影響で工具振幅が増加するためである。

6. 参考文献

- [1] 柴原豪紀：微小径エンドミル加工における精度向上の一方法 研究会誌, 54(9), pp.551-556, (2010)
- [2] 嶋田圭汰, 宮武正明, 川田将平, 吉本成香：エンドミル加工時における静圧空気スピンドルの振れ精度に関する研究 トライボロジー会議 2021 秋 松江 講演論文集